

N° 752

ASSEMBLÉE NATIONALE

Neuvième législature

N° 378

SÉNAT

1988-1989

SECONDE SESSION ORDINAIRE DE 1988-1989

OFFICE PARLEMENTAIRE D'ÉVALUATION
DES CHOIX SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES

RAPPORT

SUR LA TÉLÉVISION A HAUTE DÉFINITION

Rapporteurs : MM. Raymond FORNI et Michel PELCHAT, députés.

TOME II

CONTRIBUTIONS DES EXPERTS ET RÉSULTATS D'UN SONDAGE D'OPINION SUR LES NOUVELLES NORMES DE TÉLÉVISION

Déposé sur le bureau de l'Assemblée nationale

par M. Jean-Yves LE DÉAUT

Vice-président de l'Office

Annexe au procès-verbal de la séance
du mardi 13 juin 1989

Déposé sur le bureau du Sénat

par M. Jacques MOSSION

Président de l'Office

Annexe au procès-verbal de la séance
du mardi 13 juin 1989

Audiovisuel. — Antenne - Câble - Corée du Sud - Etats-Unis - Europe - Haute définition - Japon -
Réseaux hertziens - Satellites - Semi-conducteurs - Télécommunication - Télédiffusion.

AVANT-PROPOS

La télévision haute définition constitue un sujet immense et complexe, surtout si on entend ne négliger aucun des moyens qui permettent de la diffuser (satellite, câble et réseau hertzien) et aucune des étapes qui doivent permettre d'y accéder (améliorations progressives au niveau du récepteur : I.D.T.V., puis de la résolution de l'image : E.D.T.V.).

Aussi l'Office a-t-il été obligé de recourir à plusieurs experts, l'un d'eux, M. Bezard, étant recruté en tant que généraliste et les autres, MM. Oudin, Kunt et Ranquet, en tant que spécialistes des différentes techniques permettant de produire, de transmettre et de recevoir les signaux de télévision à haute définition. Un autre d'entre eux, enfin, M. Brianchon, chef de projet au B.I.P.E. (Bureau d'information et de prévisions économiques) a été chargé, avec M. Bezard, de traiter des enjeux économiques de la T.V.H.D.

Les critères de la sélection de ces experts ont été multiples et variés, en dehors de la compétence, exigée, bien sûr, de chacun d'eux.

M. Bezard, par exemple, a été retenu pour son expérience des milieux de l'industrie électronique et du cinéma ; le professeur Kunt, pour sa neutralité à l'égard du programme Eurêka EU 95 ; M. Ranquet, pour son passage au prestigieux C.C.E.T.T. (Centre commun d'études de télédiffusion et de télécommunications) ; enfin, M. Oudin, pour sa connaissance des problèmes de la production et de la création audiovisuelle.

Les extraits des contributions de chaque spécialiste, publiées dans le présent tome, sont précédés d'une brève présentation de l'intéressé ainsi que d'un résumé de ses conclusions.

Le plan de ce tome suit le cheminement du signal de T.V.H.D. : production, transmission, réception. Ces trois parties étant précédées d'une introduction générale (les contraintes en matière de télévision), rédigée par M. Bezard, et suivies d'une partie relative aux enjeux économiques de la télévision haute définition.

La diffusion de la T.V.H.D. a été envisagée à la fois sous l'angle théorique (étude sur les algorithmes et le codage des signaux confiée à M. Kunt) et d'un point de vue plus opérationnel (transmission par câble et par satellite et équipements de réception, traités par M. Ranquet). La

publication des conclusions de M. Kunt est accompagnée de celle d'un droit de réponse des participants au projet Eurêka EU 95.

Les recoupements, inévitables, entre les textes des différents experts n'ont pas tous été supprimés dans la mesure où ils permettent, parfois, des confrontations intéressantes entre divers points de vue.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION (M. René Bezard)	7
LES CONTRAINTES EN MATIÈRE DE TÉLÉVISION	8
LES PERSPECTIVES D'AMÉLIORATION DE L'IMAGE TÉLÉVISÉE	27
PREMIÈRE PARTIE : LA PRODUCTION EN HAUTE DÉFINITION	41
PREMIÈRE SOUS-PARTIE : EXPOSÉ GÉNÉRAL (M. Michel Oudin)	41
Résumé	41
Sommaire	43
DEUXIÈME SOUS-PARTIE : INCIDENCES SUR L'ACTIVITÉ CINÉMATOGRAPHIQUE (M. René Bezard)	132
Résumé	132
Sommaire	133
DEUXIÈME PARTIE : LA TRANSMISSION DE LA TÉLÉVISION HAUTE DÉFINITION	153
PREMIÈRE SOUS-PARTIE : LE POINT DE VUE D'UN UNIVERSITAIRE	153
I. - Expertise de M. Murat Kunt	153
Résumé	153
Sommaire	154
II. - Réponse des participants au projet Eureka 95	241
DEUXIÈME SOUS-PARTIE : LE POINT DE VUE D'UN INGÉNIEUR (M. André Ranquet)	248
Résumé	248
Sommaire	250
TROISIÈME PARTIE : LA RÉCEPTION ET LA VISUALISATION	293
PREMIÈRE SOUS-PARTIE : LA RÉCEPTION (ANTENNES ET DÉCODAGE) (M. André Ranquet)	293
Résumé	293
Sommaire	294

DEUXIÈME SOUS-PARTIE : LES MOYENS DE VISUALISATION	306
I. — Expertise de M. André Ranquet	306
Résumé	306
Sommaire	307
II. — Compléments apportés par M. Michel Oudin	317
QUATRIÈME PARTIE : LES ENJEUX ÉCONOMIQUES	321
PREMIÈRE SOUS-PARTIE : LES PERSPECTIVES DE MARCHÉ DES MATÉRIELS GRAND PUBLIC A HAUTE DÉFINITION (M. Jean-Paul Brianchon)	321
Résumé	322
Sommaire	323
DEUXIÈME SOUS-PARTIE : LA TÉLÉVISION HAUTE DÉFINITION, CLÉ ESSEN- TIELLE DE LA PÉRENNITÉ D'UNE INDUSTRIE ÉLECTRONIQUE COMMUNAUTAIRE (M. René Bezar)	359
Résumé	359
Sommaire	360
CINQUIÈME PARTIE : L'ATTRAIT DES NOUVELLES NORMES DE TÉLÉVISION AUPRÈS DU PUBLIC (résultats d'un sondage réalisé par la S.O.F.R.E.S.)	383

INTRODUCTION

(Par M. René Bezard.)

Présentation de l'expert

Ingénieur conseil, issu du corps des Mines, M. René Bezard a été choisi par l'Office en raison de son expérience professionnelle dans le domaine du cinéma (il a été directeur général de la société Franstudio et du Consortium Pathé) et de sa connaissance des problèmes de l'industrie électronique. Ancien vice-président du S.I.M.A.V.E.L.E.C. (Syndicat des industries de matériels audiovisuels électroniques), il est l'auteur du rapport d'activité du G.I.E.L. de 1988 (Groupement des industries électroniques). L'Office a fait appel à lui comme conseil et lui a confié une tâche générale de vulgarisation (explication des principales notions techniques nécessaires à une bonne compréhension du dossier de la T.V.H.D.) ainsi qu'une étude sur les conséquences de l'avènement de la T.V.H.D. en ce qui concerne l'industrie cinématographique, d'une part, et l'industrie européenne des composants, d'autre part. Il va de soi que M. Bezard est engagé, aux côtés de l'industrie électronique française, dans le soutien au projet Eureka EU 95. Le souci de l'Office de recueillir un point de vue indépendant sur ce projet l'a conduit à recruter, par ailleurs, un expert suisse : M. Murat Kunt, professeur à l'École polytechnique de Lausanne.

I. — LES CONTRAINTES EN MATIÈRE DE TÉLÉVISION

Résumé

Dans la première partie de cette introduction, M. Bezarid a procédé à un rappel sommaire des contraintes auxquelles un système de télévision ne peut raisonnablement prétendre échapper. Ces contraintes sont de deux ordres.

Les premières ressortent fondamentalement aux exigences physiologiques de l'œil, aux artifices techniques mis en œuvre par la télévision à ses débuts pour satisfaire à ces exigences et au caractère pratiquement irréversible de ces artifices compte tenu de l'importance du parc des téléviseurs en service et de la longévité de ce type d'appareils.

Ces contraintes concernent la fréquence des images de la télévision, leur mode d'analyse (balayage), leur dépendance de fait de la fréquence du courant alternatif délivré par les réseaux de distribution d'énergie, l'interdépendance cinéma classique/télévision et la nécessité de tenir compte, lorsqu'on fait évoluer des normes aux fins de nouveaux services, des caractéristiques des appareils du parc.

Une seconde catégorie de contraintes est la conséquence des conventions internationales et des réglementations nationales relatives à la répartition et à l'utilisation de l'espace Hertzien.

A. — CONTRAINTES DONT LES CAUSES PREMIÈRES TIENNENT A LA PHYSIOLOGIE DE LA VISION

1. Deux seuils physiologiques fondamentaux.

L'œil s'avère à beaucoup de titres un instrument beaucoup plus rudimentaire que l'oreille. L'audiovisuel en général — cinéma puis télévision — tire parti de deux des imperfections de la vision : la persistance des impressions rétiniennes et le défaut de pouvoir séparateur de l'œil, c'est-à-dire son incapacité relative à différencier deux points voisins vus sous moins d'une minute d'angle. La télévision couleur, pour sa part, met à profit une autre imperfection de l'œil, à savoir son incapacité de déceler si une couleur est simple ou composée et de discerner les radiations dont elle est formée : cette imperfection a sa contrepartie dans l'aptitude de l'œil à reconstituer les couleurs par synthèse *additive* de petites taches voisines dans trois couleurs fondamentales judicieusement choisies : vert, bleu et rouge (*).

Du fait de la persistance des impressions rétiniennes, l'homme a l'illusion de la continuité d'un mouvement dès que des images fixes se succèdent devant ses yeux à une cadence supérieure à 15 par seconde.

Cette fréquence d'apparition de l'illusion de mouvement constitue le premier seuil physiologique auquel doit se plier l'audiovisuel.

Le cinéma l'a bien évidemment respecté dès ses débuts, mais très rapidement cette nouvelle technique s'est trouvée confrontée à un second seuil physiologique : celui du « scintillement » (**). La projection cinématographique, en effet, utilise un faisceau lumineux pour projeter des images fixes sur un écran à une cadence supérieure à 15 par seconde, 24 très précisément pour le cinéma 35 mm classique ; or le projecteur doit, 24 fois par seconde, couper le faisceau pour permettre à la pellicule d'avancer d'une image ; mais, si l'œil admettrait parfaitement le rythme de 24 images par seconde qui se succèderaient continûment, les coupures du faisceau lumineux à cette même fréquence provoquent en revanche une impression insupportable à laquelle on a donné le nom de scintillement. Cette gêne disparaît à partir d'un rythme de coupure supérieur à 45 par seconde, rythme qui constitue le second

(*) A ce titre, la télévision couleur ressortit aux recherches de l'École pointilliste dont elle justifie le bien-fondé et constitue en fait l'aboutissement technologique de masse.

(**) On dit également « papillotement ».

et pratiquement le véritable seuil physiologique incontournable pour l'audiovisuel.

Le cinéma classique a résolu la difficulté en multipliant par deux ou trois la fréquence des coupures du faisceau lumineux ; l'écran de projection se trouve ainsi éclairé 48 ou 72 fois par seconde (chaque image fixe faisant ainsi l'objet de deux ou trois présentations successives, de durées évidemment réduites en proportion).

2. Conséquences en découlant pour la télévision.

21. La télévision classique — donc grand public — restitue l'image à l'aide d'un composant électronique spécifique, dénommé « cathoscope » ou « tube image ». Ce dernier est constitué par un tube cathodique dont le fond, intérieurement revêtu d'une couche fluorescente, constitue par transparence l'écran proprement dit. Le cathoscope comporte un système (*) générateur d'un mince faisceau d'électrons (simple ou composite) dont le point d'impact sur l'écran s'illumine — et lui seul. Un ensemble de dispositifs électriques intégrés dans le cathoscope permettent de maîtriser, d'une part, la direction du faisceau, donc la position du point d'impact sur l'écran, et d'autre part, la luminescence en ce point d'impact.

Au risque d'enfoncer des portes ouvertes, il peut être utile de différencier ici le cas du noir et blanc et celui de la couleur.

— En télévision noir et blanc, le cathoscope met en œuvre un très fin pinceau d'électrons unique, dont l'impact sur le fond du tube, c'est-à-dire sur l'écran, sera plus ou moins lumineux selon les incitations reçues des circuits du téléviseur, permettant ainsi la reproduction sur l'écran de la totalité de la gamme des gris, depuis le blanc pur jusqu'au noir absolu.

— En télévision couleur, l'écran du tube image est revêtu d'une mosaïque de plus d'un million de pastilles luminescentes, dites « luminophores », disposées en une juxtaposition de « triades », constituées chacune par trois luminophores susceptibles, sous l'impact d'un pinceau d'électrons, de s'illuminer respectivement en rouge, vert ou bleu, (couleurs fondamentales en synthèse additive des couleurs).

Dans un tube couleur, l'homologue du pinceau unique d'électrons du cathoscope noir et blanc est un faisceau composé de trois pinceaux élémentaires (***) — un par couleur fondamentale. Un dispositif mécani-

(*) Dit « canon à électrons ».

(**) Issus, par conséquent, de trois canons à électrons séparés.

que (grille ou masque perforé, dit « shadow mask ») empêche chaque pinceau élémentaire d'atteindre des luminophores ne correspondant pas à la couleur fondamentale à laquelle il est affecté.

A la petite zone d'impact sur l'écran du faisceau des trois pinceaux élémentaires va correspondre l'illumination d'une triade et d'une seule, chacun des trois luminophores la constituant s'éclairant plus ou moins — dans sa couleur fondamentale — selon la nature des impulsions électriques délivrées au tube-image par les circuits du téléviseur. L'œil reconstitue alors, par synthèse additive, pour cette triade, une couleur « physiologique » qui n'a pas d'existence réelle sur l'écran, puisqu'un examen de celui-ci avec une forte loupe n'y fait apparaître que des points verts, rouges et bleus plus ou moins vivement illuminés.

— Cependant, pour considérable qu'elle soit, cette différence entre les tubes image noir et blanc et couleur n'affecte pas la généralité de l'exposé ci-après : en effet, l'encombrement d'un luminophore étant de l'ordre de 400 microns, la relative médiocrité du pouvoir séparateur de l'œil justifie l'assimilation d'une triade à un point et, par là même, celle du faisceau composite du tube couleur au pinceau d'électrons unique du cathoscope noir et blanc.

22. La nature même des tubes image implique une différence fondamentale entre le cinéma classique et la télévision :

— dans une projection classique d'un film 35 mm, des images fixes occupent la totalité de l'écran 48 ou 72 fois par seconde ; le spectateur n'est donc inconsciemment tenu qu'à la reconstitution mentale du mouvement à partir d'une succession d'images fixes à une cadence supérieure à celle du seuil de scintillement ;

— si ce spectateur visionne ce film sur l'écran d'un téléviseur, il n'existe, au contraire, à un instant quelconque qu'au plus un seul point d'illuminé sur cet écran ; le spectateur est donc ainsi contraint de procéder simultanément aux opérations mentales inconscientes suivantes :

- reconstituer chaque image fixe du film à partir de la succession temporelle des points illuminés de l'écran,

- recréer l'impression de mouvement à partir de la succession temporelle d'images, inexistantes en réalité mais mentalement reconstituées,

- et, si le visionnement se fait sur un téléviseur couleur, procéder pour chaque point illuminé à une synthèse additive de trois couleurs fondamentales séparément plus ou moins vives et reconstituer ainsi la couleur d'origine de chaque point (*).

(*) A ce titre, la télévision couleur tire à la perfection parti des imperfections de l'œil.

23. Cette exploration ponctuelle de l'image télévisuelle, généralement dénommée « analyse » ou « balayage », peut, *a priori*, se concevoir d'une infinité de manières. Cependant, la plupart des systèmes existants ont opté pour une analyse « en dents de scie », procédé mettant en œuvre l'exploration de l'image par un pinceau d'électrons parcourant successivement des lignes horizontales juxtaposées : l'écran du téléviseur se trouve ainsi « balayé » par le point d'impact du faisceau qui y décrit, de gauche à droite, une succession de lignes horizontales ; chaque exploration horizontale comporte donc deux phases, l'une réservée au parcours de la ligne par le faisceau, l'autre au retour de celui-ci au point de départ de la ligne suivante.

Cela étant, et quel que soit le système de télévision en cause, deux faits apparaissent évidents :

— le premier est que l'image télévisuelle ne peut échapper à la contrainte du seuil de scintillement de 45 Hz (*cf.* plus haut) ; par conséquent, pour une reproduction correcte des images animées, il faut que chaque point de l'écran de télévision s'illumine chaque seconde un nombre de fois supérieur au seuil de scintillement et c'est donc à cette cadence qu'il faut transmettre l'information relative à chaque point d'analyse de l'image ;

— le second est que la qualité — c'est-à-dire la « finesse » — de l'image est évidemment fonction du nombre de points analysés, donc du nombre de lignes de balayage, et que cette qualité se paie en quantité d'information à transmettre, donc en espace hertzien consommé ; à ce titre, la télévision est congénitalement affectée d'une boulimie de fréquences (*).

24. L'examen au chapitre suivant des contraintes affectant la télévision ne nécessite pas une connaissance détaillée de la technique d'analyse de l'image. Toutefois, deux points méritent d'être soulignés, tous deux en rapport étroit avec le seuil de scintillement : la fréquence d'image et le nombre de lignes de balayage.

En fait, en matière d'analyse d'image, on distingue en général trois fréquences pour le spot lumineux apparaissant au point d'impact du faisceau de l'écran :

(*) On donne l'appellation de « vidéofréquence » à la fréquence instantanée du signal délivré par une caméra électronique. Plus la définition de l'image est élevée, plus la trame d'analyse est serrée et plus large est la bande couverte par les vidéofréquences.

Ainsi, par exemple, pour un système de télévision noir et blanc dont la trame d'analyse comporterait 625 lignes en permettant de diversifier 500 variations d'intensité par ligne, la vidéofréquence correspondrait à 625×500 variations possibles par image et si la fréquence des images était de 25 par seconde, la vidéofréquence serait égale à $625 \times 500 \times 25$, soit plus de 7 MHz.

- la *fréquence d'image*, nombre des passages par seconde du spot dans le même sens au même point de l'écran ;

- la *fréquence de trame* ; le nombre des lignes de balayage étant fixé et chaque ligne affectée d'un numéro d'ordre, la fréquence de trame (dite aussi d'exploration verticale) est le nombre des passages par seconde du spot dans le même sens au début d'une ligne de même numéro d'ordre ; elle peut être égale à la fréquence d'image, mais pas nécessairement, car, notamment pour parer au risque de scintillement, la fréquence de trame peut être un multiple de la fréquence d'image, le double par exemple ;

- la *fréquence ligne* (dite également d'exploration horizontale) est le nombre des passages par seconde du spot, dans le même sens en des points situés sur une verticale donnée de l'écran.

Le nombre des lignes d'analyse est le quotient de la durée de l'image par celle du parcours d'une ligne, donc le quotient de la fréquence de ligne par la fréquence d'image.

Il a été indiqué que, pour parer au risque de scintillement, la fréquence de trame pouvait être un multiple de la fréquence d'image. On dit alors communément que l'image est à *lignes entrelacées* (ou à trames intercalées). En pratique, on opte généralement pour un nombre impair de lignes entrelacées, le spot parcourant successivement toutes les lignes paires puis toutes les lignes impaires, les deux trames se situant à une demi-hauteur de ligne l'une de l'autre. La fréquence de trame étant double de la fréquence d'image, il suffit que cette dernière atteigne 25 pour que le seuil de scintillement soit nettement dépassé.

25. Cet artifice de trames intercalées à nombre impair de ligne n'est praticable qu'au prix d'un verrouillage rigoureux des deux fréquences de trame et de ligne. Cette stricte interdépendance de ces deux fréquences nécessite l'emploi d'un oscillateur dont la fréquence soit multiple de l'une et de l'autre (et l'on retient évidemment à cette fin leur plus petit commun multiple [*]) et de deux diviseurs de fréquence convenables délivrant les deux fréquences de trame et de ligne désirées.

(*) Si l'on se place, par exemple, dans le cas d'une télévision 625 lignes à 25 images par seconde avec une fréquence de trame égale à 50 Hz, la fréquence de l'image est égale à $25 \times 625 = 15\,625$ Hz (puisque nous avons vu que le nombre de lignes est le quotient de la fréquence de ligne par la fréquence d'image).

La fréquence de l'oscillateur commun sera le plus petit commun multiple de 50 et 15 625, c'est-à-dire 31 250 Hz et les téléviseurs comporteront deux diviseurs de fréquence dans les rapports 2 et 625.

3. Contraintes en résultant.

31. *La première contrainte affectant la télévision concerne la fréquence d'image ; aux premiers temps de la télévision noir et blanc, en effet, la fréquence du courant alternatif de distribution d'énergie électrique était utilisée comme base de temps pour caler en permanence la fréquence d'image, c'est-à-dire le temps s'écoulant entre deux passages, successifs et dans le même sens, du spot en un même point donné de l'écran.*

● Pour des raisons de simplicité et donc d'économie des coûts de production, la solution s'imposa alors d'adopter, comme fréquence d'image, celle (ou un multiple ou un sous-multiple) de celle du courant électrique.

Cette décision, techniquement et économiquement raisonnable, entraîna la dichotomie de la géographie mondiale de l'audiovisuel, la distribution de l'énergie électrique s'effectuant à 60 périodes dans les continents américain et japonais et à 50 périodes dans la quasi-totalité (*) du reste du monde : pour la télévision noir et blanc, les premiers adoptèrent une fréquence de trame de 60 Hz et les seconds de 50 Hz, donc très voisine du double de celle de 24 Hz adoptée par le cinéma classique. Cette remarque est de la plus haute importance, car la projection d'un film 35 mm classique, à 24 images par seconde, sur un télécinéma à fréquence de trame de 50 Hz ne soulève pas réellement de difficulté : tout au plus des mouvements sont légèrement plus rapides et les musiciens y constatent un « la » un peu trop haut dans la gamme absolue ; en revanche, de tels défauts sont rédhibitoires à 60 Hz et nécessitent la mise en œuvre d'artifices relativement complexes.

● Il convient d'ajouter ensuite que, en un lieu donné et en tout état de cause, la fréquence du courant alternatif du réseau de distribution d'énergie électrique y provoque inévitablement un environnement électromagnétique de même fréquence (tant il est vrai que les lois de Maxwell ne sont pas de celles qu'on peut abroger...), environnement toujours parasite à l'égard de l'utilisation en ce même lieu d'un matériel ou d'un système à fréquence électrique différente, une telle utilisation nécessitant alors des précautions et des protections particulières.

(*) En fait la répartition géographique fut la suivante à l'avènement de la télévision noir et blanc :

- fréquence de trame de 60 Hz : continent nord-américain, une partie de l'Amérique latine, Japon, Corée du Sud, Taïwan, Philippines ;
- fréquence de trame de 50 Hz : Europe (Est et Ouest), Afrique, Océanie, la plus grande partie de l'Asie et de l'Amérique latine.

A l'époque des débuts de la télévision, la technologie ne permettait pas de venir facilement — donc économiquement — à bout d'un tel environnement électromagnétique « hostile ».

Plus précisément, si une telle difficulté était alors soluble dans le cas de matériels professionnels très élaborés, à propos desquels des considérations de prix de revient unitaire étaient de relativement peu d'importance, il n'en allait pas de même pour des matériels grand public, fabriqués en grande série, destinés à être commercialisés à des prix de détail compatibles avec les disponibilités des ménages et donc congénitalement soumis à l'impératif du coût de fabrication minimal (**).

● A l'avènement de la télévision couleur, les pays à fréquence de trame 60 Hz en noir et blanc optèrent pour le système N.T.S.C. et le reste du monde pour les systèmes S.E.C.A.M. ou P.A.L.

Le signal de télévision couleur est composite (ou « multiplexe ») puisqu'il comporte à la fois :

- des signaux sonores d'accompagnement de l'image ;
- des signaux de « luminance », c'est-à-dire ceux correspondant à l'image noir et blanc que restitue un téléviseur noir et blanc captant une émission couleur ;
- et des signaux de « chrominance », que seuls les téléviseurs couleur sont capables d'interpréter.

En anticipant sur les considérations développées dans la seconde partie de cette introduction, il est évident que le contenu ne peut être plus grand que le contenant ; par conséquent, il a fallu limiter l'encombrement du signal couleur à la place disponible pour sa transmission. En termes techniques, il a fallu maintenir la « bande de base » du signal composite dans les limites imposées par la largeur des canaux hertziens attribués à la télévision (cf. § 42 ci-après).

Pour ce faire, on a dû placer le spectre de fréquences des signaux de chrominance à l'intérieur du spectre de luminance du signal noir et blanc, la chrominance devenant ainsi un « parasite » de la luminance et il importait de minimiser la gêne pouvant en résulter pour les possesseurs de téléviseurs noir et blanc.

(**) Si, notamment depuis l'avènement de la couleur et la mise en orbite de satellites de télécommunications les échanges en temps réel de programmes télévisés se sont relativement vite développés entre les territoires ayant opté pour une fréquence de trame de 59,94 Hz et les tenants du 50 Hz, c'est que ces échanges ne mettaient en œuvre que des matériels professionnels de « transcodage », dont le coût n'était pas un élément déterminant ; en revanche, même actuellement, à l'heure de la mondialisation permanente, les téléviseurs multifréquences (c'est-à-dire utilisables simultanément sur les continents américain et japonais ou dans le reste du monde) sont encore exceptionnels et au demeurant fort onéreux.

Si cette contrainte ne souleva pas de grave difficulté pour un système à fréquence de trame 50 Hz (P.A.L. ou S.E.C.A.M.), il n'en fût pas de même pour un système à 60 Hz. Un raisonnement arithmétique relativement élémentaire montre que, dans la zone des fréquences de trame voisines de 60 Hz, le minimum d'interférence entre les signaux de luminance et de chrominance est réalisé pour une fréquence de trame de 59,94 Hz, valeur qui fut définitivement prescrite par la F.C.C. (Federal Communications Commission) pour le système N.T.S.C. de télévision couleur.

● Enfin, concernant la détermination du nombre de lignes de balayage, deux points ont été précédemment soulignés :

— d'une part, le nombre de lignes est le quotient de la fréquence de ligne par la fréquence d'image ; à l'avènement de la télévision noir et blanc, il était donc indissolublement lié à la fréquence du courant alternatif puisqu'elle servait de base de temps pour le calage de la fréquence d'image ;

— d'autre part, l'emploi est justifié du système d'analyse d'image « à trames intercalées à nombre impair de lignes », mais cette technique entraîne la nécessité concomitante du verrouillage absolu de l'interdépendance des fréquences de trame et de ligne et l'utilisation à cette fin d'un oscillateur (d'une fréquence égale à leur plus petit commun multiple) et de deux diviseurs de fréquence ; or, lors de l'avènement de la télévision, la technologie ne permettait pas sans difficulté — donc sans prix de revient prohibitif en fabrication de masse — de diviser en une fois une fréquence par un facteur supérieur à 15 ou 20 ; des considérations d'arithmétique classique montrent que, dans un tel cas, le nombre des lignes doit être simultanément :

- impair,
- divisible par l'inverse de la moitié de la fréquence de trame,
- égale au produit de nombres entiers inférieurs à 15 et idéalement — pour des raisons technologiques — premiers entre eux.

Ces considérations justifèrent alors l'adoption des standards successifs de balayage suivants, où les nombres de lignes ont pu et peuvent encore sembler bizarres pour les non-avertis.

Territoire	Fréquence du courant électrique alternatif	Fréquence de trame	Standards de balayage (Nombre de lignes)		Justification	
			Antérieurs	En service	Parité	Produits de nombres entiers inférieurs à 15
France	50	50	455	625	impair	$455 = 5 \times 7 \times 13$
—	»	»	441		impair	$441 = 7 \times 7 \times 9$
—	»	»	819		impair	$819 = 7 \times 9 \times 13$
—	»	»			impair	$625 = 5 \times 5 \times 5 \times 5$
UK	50	50	405	625	impair	$405 = 5 \times 9 \times 9$
—	»	»			impair	$625 = 5 \times 5 \times 5 \times 5$
US	60 60	noir/blanc 60 couleur 59,94		525	impair	$525 = 3 \times 5 \times 5 \times 7$

32. Depuis, beaucoup d'années déjà se sont écoulées ; la télévision est devenue progressivement phénomène social et le parc des téléviseurs en service s'est développé de manière considérable et dans le monde entier.

En fait, il ne s'agit pas d'un parc, mais de deux groupes de parcs : d'une part, celui des pays (continents américain et japonais) où, la fréquence du courant alternatif étant égale à 60 Hz, les normes de télévision comportent une fréquence de trame de 59,94 Hz et un balayage à 525 lignes, d'autre part la quasi-totalité du reste du monde où, le courant étant distribué sous 50 périodes, la fréquence de trame est de 50 Hz et le nombre des lignes égal à 625.

La situation ainsi créée est vraisemblablement à jamais irréversible ; elle l'est, en tout cas, à court et même à moyen termes.

— Certes, depuis l'avènement de la télévision, l'évolution technique a permis de s'affranchir de la fréquence du courant comme base de temps et de venir à bout de la plupart des difficultés « historiques » concernant le fonctionnement d'un matériel 60 ou 59,94 Hz dans un environnement électrique à 50 périodes. Mais, outre le fait que « la plupart » n'est pas la totalité (*), d'autres difficultés doivent être prises en ligne de compte, qui ne comportent de solution, ni technique, ni technologique et qui peuvent se regrouper sous le titre générique de la nécessité de la compatibilité.

(*) Un exemple de difficulté insurmontable est celui de la prise de vues au moyen d'une caméra vidéo 60 Hz, c'est-à-dire de fréquence de trame égale à 60 ou 59,94 Hz, sur un plateau éclairé par des projecteurs alimentés en courant électrique à 50 périodes. La différence des fréquences engendre inévitablement pour l'image un « battement ». Un phénomène analogue se produit si, dans une pièce où l'éclairage d'ambiance est à 50 périodes, l'écran de télévision présente des images de fréquence de trame égale à 60 ou 59,94 Hz : le battement se traduit alors par un scintillement parasite qui ne peut cesser qu'à l'extinction de l'éclairage d'ambiance.

— Dans le cas de la télévision, la nécessité de la compatibilité s'avère complexe, dans ses causes et dans ses conséquences.

La compatibilité peut se définir partiellement et notamment comme l'aptitude du téléviseur grand public à recevoir, pendant toute sa durée de vie, les émissions quelles qu'elles soient captées par l'antenne à laquelle il est raccordé ou délivrées par le réseau câblé audiovisuel qui lui fournit le signal. Cette définition simple s'assortit malheureusement de deux difficultés.

La première est la longévité du téléviseur dont la durée de vie médiane est supérieure à dix années : en d'autres termes, plus de la moitié des téléviseurs vendus une année donnée sont encore en état de marche — et probablement pour la plupart en service — dix ans plus tard.

La seconde est que dans de nombreux pays et notamment en Europe, la télévision a longtemps été exclusivement l'affaire des Etats et qu'elle l'est demeurée dans l'esprit de leurs ressortissants : dans son ensemble, par exemple, le public européen estime que le paiement — fiscal ou pseudofiscal — d'une redevance d'usage du téléviseur confère à son utilisateur, *de jure* et ou *de facto*, le droit à la réception des programmes de son pays sur son téléviseur et qu'il appartient donc à la puissance publique de veiller — au besoin réglementairement — à ce que son téléviseur, pendant toute la durée de vie de celui-ci, lui permette d'accéder à tous les programmes, fût-ce au prix du raccordement de telle ou telle « boîte noire » (achetée ou louée) pour la réception de telle ou telle émission (*).

Cette approche rend évidente la dualité de la notion de compatibilité.

Il convient de distinguer, en effet, à la réception :

— la compatibilité primaire : celle des émissions couleur, en P.A.L., S.E.C.A.M. ou N.T.S.C., susceptibles d'être reçues en noir et blanc par les appareils noir et blanc en service au jour de leur avènement, sans aucune modification ni adjonction ;

— la compatibilité secondaire : celle, par exemple, des émissions de Canal + ou des émissions « antiopées » dont la réception sur un appareil standard nécessite le raccordement d'une boîte noire par

(*) Cette attitude a conduit hier le public européen à admettre de recevoir en noir et blanc les programmes couleur sur son téléviseur noir et blanc, puis à louer aujourd'hui un décodeur connectable à son téléviseur pour la réception d'émissions à péage. En revanche, des difficultés politiques surgiraient certainement si le téléviseur couleur acheté aujourd'hui ne permettait pas, au prix de boîtes noires, de recevoir demain les émissions « de télévision améliorée » en D2-Mac Paquet et après-demain celles en T.V.H.D. ; le public admettrait parfaitement de devoir acquérir un nouvel appareil pour jouir de la plénitude des avantages de ces nouvelles normes, mais il n'admettrait pas que son téléviseur acquis en 1989 ne lui permet pas de capter ces nouvelles émissions avec la même qualité d'image qu'aujourd'hui. A ce titre, l'avènement de la télévision couleur en 1967 a valeur exemplaire d'enseignement.

l'intermédiaire de la prise de péritélévision, connecteur européen standardisé et dont le montage est réglementairement obligatoire en France depuis plus de huit ans (*).

Toutefois, la compatibilité par l'entremise d'une boîte noire sous-entend que cette dernière soit commercialisée à un prix relativement peu élevé par rapport à celui du téléviseur ; des miracles technologiques sont parfois possibles, mais ils ne sont jamais gratuits et donc rarement conciliables avec les exigences de la commercialisation des matériels grand public (**) et le fait d'intégrer les circuits des boîtes noires dans les téléviseurs de la génération suivante ne modifie pas fondamentalement les données du problème soulevé puisque, au mieux, on ne fait l'économie que du coût des carters et de l'alimentation de ces boîtes.

— Il résulte des considérations précédentes que, même si les barrières techniques ne sont plus aussi infranchissables qu'elles l'étaient aux débuts de la télévision, le monde est aujourd'hui partagé en deux blocs électriquement différents et très difficilement compatibles (***).

La gêne en résultant n'est pas très sensible dans le domaine électrique proprement dit.

En revanche, dans le domaine de l'audiovisuel, l'utilisation systématique des transmissions hertziennes et l'avènement des satellites de télévision directe ont pu laisser espérer que la mondiovision ne resterait pas limitée aux échanges de programmes mais s'étendrait à l'unification mondiale des normes, des matériels et des systèmes.

(*) Créée en France en 1978 (norme NFC 922550), la prise de péritélévision à 21 broches est obligatoire en France par arrêté du 7.2.80. Elle a fait l'objet depuis de la norme européenne EN 50 049, établie par le C.E.N.E.L.E.C. sur la base de la norme française puis de la norme mondiale CEI 933-1. Elément idéal de raccordement des périphériques au téléviseur (magnétoscope, caméscope, décodeur de télétexte, décrypteur Canal +, etc.) elle équipe déjà plus de trente millions d'appareils dans la C.E.E. ; elle présente un avantage fondamental pour la domotique et la demande des consommateurs est telle que les téléviseurs récents sont équipés de 3, voire 4 prises de péritélévision.

La prise de péritélévision permettra évidemment le branchement des décodeurs nécessaires à la réception des émissions de D2-Mac Paquet. La commission de Bruxelles, qui n'en est pas à une contradiction près, soutient vigoureusement les efforts en faveur d'une T.V.H.D. européenne basée sur la notion de compatibilité systématique et utilisant le support de D2-Mac Paquet, mais vient, au nom des principes du libre échange communautaire, d'enjoindre à la France de mettre un terme à l'interdiction de l'importation et de commercialisation de téléviseurs démunis de prise de péritélévision conforme à la norme européenne ! Cette décision va évidemment à l'encontre du développement des services audiovisuels en Europe et son application porterait gravement préjudice aux consommateurs. Alors même que le dernier sommet de Rhodes vient de prôner des normes européennes pour faciliter la diffusion des programmes audiovisuels, Ubu lui-même n'aurait pu imaginer meilleure gribouillerie.

(**) Cette remarque corrobore la note en bas de page 12 relative au caractère exceptionnel des téléviseurs grand public multifréquences.

(***) Les matériels électriques (machines tournantes notamment) ont des caractéristiques différentes et font l'objet de fabrications séparées selon la fréquence du courant alternatif dans les territoires auxquels ils sont destinés.

Un tel espoir n'est réaliste ni à court ni à moyen termes, car l'importance des parcs de téléviseurs, la longévité des appareils et la nécessité — sociale et politique — de la compatibilité des émissions avec les caractéristiques des appareils en service ont littéralement bétonné deux blocs audiovisuels :

— le premier caractérisé par une distribution électrique à 60 périodes, une fréquence de trame de 59,94 Hz et un balayage à 525 lignes ;

— le second où ces grandeurs s'élèvent respectivement à 50 périodes, 50 Hz et 625 lignes.

A ce titre, la prétention N.H.K.-C.B.S. de tenter à Dubrovnik de faire recommander par le C.C.I.R. (*) une norme mondiale de télévision à haute définition à 60 Hz était à tout le moins aventurée car pratiquement incompatible avec tout système et tout parc préexistant.

La réaction des Etats européens à travers le programme Eurêka n° 95 est beaucoup plus réaliste : elle respecte le principe de compatibilité et prend donc implicitement en compte le partage préexistant du monde en deux blocs audiovisuels, l'un à 525 lignes et 59,94 Hz de fréquence de trame, l'autre à respectivement 625 et 50 Hz.

B. — CONTRAINTES RESULTANT DES CONVENTIONS INTERNATIONALES ET DES RÉGLEMENTATIONS NATIONALES DE RÉPARTITION ET D'UTILISATION DES FRÉQUENCES RADIOÉLECTRIQUES

4. Rappels et définitions.

41. La « fréquence » mesure le nombre de cycles par unité de temps d'un phénomène périodique.

L'unité internationale de fréquence est le Hertz (symbole Hz), qui correspond à une fréquence d'un cycle par seconde. Les phénomènes périodiques rapides nécessitent l'emploi de multiples de cette unité :

(*) Le C.C.I.R. (Comité consultatif pour les radiocommunications) est un organisme de la mouvance de l'O.N.U. dont la mission consiste à formuler tous les quatre ans des « recommandations » de caractère technique concernant la radio et la télévision. En fait, le rôle du C.C.I.R. est, par le biais de telles recommandations, de faire admettre des normes communes par l'ensemble des Etats membres de l'O.N.U. Son rôle est donc fondamental et déterminant.

Sa prochaine assemblée plénière se tiendra en 1990 et la télévision à haute définition est inscrite à l'ordre du jour.

- kilohertz = 1 000 Hz ;
- mégahertz = million d'Hz ;
- gigahertz = milliard d'Hz.

Il est essentiel de garder présent à l'esprit que la notion de fréquence est indépendante de la nature du phénomène en cause : il suffit qu'il soit cyclique : ainsi, en cinéma 35 mm classique la fréquence de défilement de l'image est égale à 24 Hz, la distribution d'énergie électrique se fait en courant alternatif de fréquence égale à 50 ou 60 Hz selon les régions du globe, le diapason vibre à la fréquence de 435 Hz etc.

Toutefois le développement gigantesque des techniques de télécommunication — c'est-à-dire de transmission d'un signal porteur d'une information — est responsable aujourd'hui d'une confusion de terminologies entraînant fréquemment une confusion de concepts chez les non-spécialistes de cette discipline.

En effet, les télécommunications confient très généralement aux ondes électromagnétiques la tâche de transporter des signaux ; ces ondes se caractérisent par leurs fréquences de vibration, dont l'ensemble constitue « l'espace hertzien ». Ces fréquences se classent en bandes de fréquences successives, référencées avec précision dans les conventions internationales.

A la fréquence d'un rayonnement électromagnétique, on associe sa « longueur d'onde » : un rayonnement électromagnétique se propage à la vitesse de la lumière, soit 300 000 km/sec. (*) et l'on appelle longueur d'onde le trajet qu'il parcourt durant une oscillation ; exprimée en kilomètre, la longueur d'onde se mesure donc par le quotient de 300 000 par la fréquence exprimée en Hertz.

Par exemple, une fréquence d'une oscillation par seconde (1 Hz) correspond à une longueur d'onde de 300 000 km. De même, à une fréquence de 10 MHz = 10 000 000 Hz correspond une longueur d'onde égale à $\frac{300\ 000}{10\ 000\ 000} = 0,03\text{ km} = 30\text{ mètres}$.

Le jargon des télécommunications classe les fréquences des ondes électromagnétiques en bandes kilométriques, métriques, décimétriques, centimétriques, etc. selon l'ordre de grandeur de leurs longueurs d'ondes (**).

(*) Plus précisément 299 800 km/sec.

(**) On trouvera plus loin un tableau de correspondance entre les fréquences et les longueurs d'ondes, explicitant les principaux usages des ondes électromagnétiques et précisant les appellations et abréviations spécifiques aux diverses bandes de fréquences utilisées en radio et télévision.

Les considérations précédentes concernent exclusivement les caractéristiques des ondes électromagnétiques, instruments de transport des signaux à transmettre, et généralement dénommées de ce fait « ondes porteuses ».

Or — et c'est là source de confusion chez les non-spécialistes — ces signaux à transmettre, qu'il s'agisse du son d'un diapason ou d'une image captée par une caméra de télévision, vont eux-mêmes se caractériser par des fréquences : le la du diapason correspond à une fréquence mécanique de 435 Hz que le microphone va transformer en vibration électrique de même fréquence ; on a vu (note en bas de page 9) que le « signal vidéofréquence » délivré par une caméra de télévision noir et blanc, dont la trame d'analyse comporte 625 lignes en permettant de différencier 500 variations d'intensité par ligne, correspond à la possibilité de 625×500 variations par image, soit, à raison de 25 images par seconde, $625 \times 500 \times 25$ variations possibles par seconde, et c'est là une grandeur correspondant très précisément à une « fréquence » dans l'acception que donne à ce terme la définition rappelée en tête du paragraphe 41. Cette fréquence d'un peu plus de 7 MHz caractérise le signal électrique délivré par cette caméra.

Le signal électrique de fréquence 435 Hz provenant du microphone d'enregistrement du diapason et le signal électrique vidéofréquence de 7 MHz généré par la caméra sont évidemment d'une tout autre nature que l'onde électromagnétique « porteuse » auquel est confié le soin de les transporter ; cependant une terminologie insuffisante utilise indifféremment le même vocable de « fréquence » pour le signal et pour l'onde porteuse.

Cette confusion de termes est sans inconvénient pour les initiés qui se gardent bien de confondre contenu et contenant ; en revanche les non-spécialistes commettent très souvent la confusion entre le « camion de transport », (homologue de l'onde électromagnétique support de transmission) et « l'objet transporté » (homologue du signal à transmettre) ; en conservant la même analogie « routière », on peut assimiler le chargement de l'objet dans le camion à l'opération consistant à moduler — c'est-à-dire déformer — l'onde porteuse par le signal à transmettre (*).

42. Cela rappelé, qu'elle emprunte la voie hertziennne (par rayonnement électromagnétique à partir d'une antenne) ou la voie filaire (par câble), la transmission d'un signal par ondes électromagnétiques porteuses fait appel à la notion de *bande passante* qui s'exprime également en Hertz et qui trop souvent fait, elle aussi, l'objet d'une confusion du même ordre.

(*) On donne généralement la dénomination « d'excursion » à l'écart maximal que la modulation provoque par rapport à la fréquence nominale de l'onde porteuse.

Pour un signal donné, il convient, en effet, de bien différencier les deux grandeurs suivantes :

— la *bande de base*, c'est-à-dire la largeur du spectre des fréquences du signal lui-même ; par exemple, les fréquences audibles se situant entre 20 Hz et 15 000 Hz, la bande de base d'un signal sonore se situe entre ces deux limites ; pour la caméra évoquée plus haut, sa bande de base sera évidemment égale à sa vidéofréquence, c'est-à-dire un peu plus de 7 MHz ;

— la *bande passante radioélectrique* est la largeur de la sortie du spectre des fréquences des ondes électromagnétiques qui sera utilisée pour la transmission de ce signal ; cette largeur dépend non seulement de la bande de base du signal, mais également de la nature du procédé de modulation (*) retenu pour sa transmission.

L'analogie routière peut être appliquée en matière de bande passante : à la bande de base du signal correspond l'encombrement de l'objet à transporter et la bande passante radioélectrique est l'homologue de la capacité du camion de transport utilisé, laquelle est évidemment fonction de l'encombrement de l'objet mais ne lui est pas nécessairement égale ; elle peut même parfois lui être inférieure s'il s'agit d'un produit foisonnant qu'on peut comprimer pour le transporter, ou encore d'un liquide susceptible d'être concentré avant remplissage d'un camion-citerne ; ces analogies ne sont pas gratuites, car la demande actuelle de fréquences radioélectriques est telle que les usagers sont parfois conduits à « comprimer » les signaux avant transmission, lorsque la largeur de bande passante disponible est inférieure à celle de la bande de base ; on verra que c'est notamment le cas de la télévision à haute définition.

5. Conventions et plans de fréquences.

51. On a précédemment évoqué le cas d'une caméra de télévision noir et blanc dont la largeur de bande de base dépasse 7 MHz ; la transmission de ses images par voie hertzienne va, dans le cas général, nécessiter d'utiliser une bande passante de l'ordre de 8 MHz du spectre des fréquences radioélectriques.

Cet exemple élémentaire illustre la boulimie de fréquences radioélectriques affectant la technique de la télévision. Or l'audiovisuel n'est qu'une partie prenante parmi beaucoup d'autres à l'utilisation des secteurs du patrimoine de fréquences radioélectriques dont les Etats disposent individuellement aux termes de conventions internationales :

(*) Modulation d'amplitude ou de fréquence, ou autre procédé.

les télécommunications civiles, la défense, la sûreté du territoire, les polices, l'aviation civile, les aides à la navigation etc. sont autant de compétiteurs, tous exigeants et tous prioritaires.

L'optimisation par un Etat de l'utilisation par les attributaires des fréquences dont il dispose se fait par voie réglementaire, les autorisations délivrées précisant explicitement l'usage et les caractéristiques notamment techniques (*) d'utilisation des portions de bandes allouées, dites « canaux », chaque canal étant lui-même repéré par un numéro d'ordre d'identification. Le caractère contraignant de ces procédures est le prix de la sûreté de l'utilisation du spectre hertzien, sûreté fondamentale dans les domaines prioritaires précités. En serait-il autrement que les usagers empièteraient sur les domaines voisins, y provoquant des troubles incompatibles avec la sécurité requise.

De plus, tout « plan de fréquences » — c'est-à-dire de répartition de canaux dans les bandes de fréquences radioélectriques réservées à la télévision (métriques, décimétriques et centimétriques) — doit prendre en ligne de compte les contraintes géographiques, la propagation des ondes dans ces bandes étant en effet d'autant plus affectée par les obstacles naturels que leur longueur d'onde est plus courte : à ce titre les UHF (ondes décimétriques) se propagent sensiblement comme la lumière — et la couverture géographique du territoire par un programme télévisé ne peut être réalisée qu'à travers la mise en œuvre d'un réseau d'émetteurs principaux, d'émetteurs secondaires et de réémetteurs dont les fréquences d'émission doivent être séparément déterminées de manière à parer à tout risque d'interférence entre émetteurs voisins (**).

52. Par exemple, concernant le cas de la France, la réglementation en vigueur dispose notamment que les émissions de télévision dans les bandes des ondes métriques et décimétriques utilisent exclusivement des canaux de 8 MHz de largeur, que dans chaque canal les ondes porteuses du signal son et du signal images sont espacées de 6,5 MHz, que les canaux en question sont au nombre de 3 en Bande I (VHF) numérotés 02, 03 et 04, au nombre de 6 en Bande III (VHF) numérotés de 05 à 10 et au nombre de 45 dans les ondes, décimétriques de la Bande IV et de partie de la Bande V (UHF) numérotés de 21 à 65 inclus, enfin que les signaux émis doivent eux-mêmes être conformes aux dispositions réglementaires définies par un arrêté de 1978.

(*) Pour pallier les inévitables chevauchements entre canaux successifs, les attributions autoritaires de fréquences sont souvent assorties pour les attributaires de l'obligation de n'émettre qu'en « ondes polarisées » ; une telle polarisation pouvant être soit horizontale, soit verticale, (cas des émetteurs terrestres), soit circulaire droite, soit circulaire gauche (cas des émetteurs embarqués sur satellite), une alternance autoritaire judicieuse de polarisations différentes facilite la séparation des canaux par les usagers.

(**) A ce titre les émissions à partir de satellites lourds (dits de télévision directe) permettent de « gommer » la presque totalité des obstacles géographiques et de faire ainsi l'économie d'un très grand nombre d'émetteurs terrestres.

Les émissions de télévision par satellites de diffusion directe font également l'objet de dispositions contraignantes dans la bande des ondes centimétriques de 11,7 à 12,5 GHz que leur a attribuées la C.A.M.R.S. (*) à Genève en 1977.

Les actes finals de la C.A.M.R.S. disposent notamment que cette bande de fréquences est divisée en 40 canaux de 19, 18 MHz (la France disposant des canaux numérotés 1, 5, 9, 13 et 17) avec fréquence assignée dans chaque canal à l'onde porteuse de l'émission utilisatrice ; ces actes précisent également que la transmission du signal devra se faire en modulation de fréquence avec position assignée à l'onde porteuse du signal son.

Ce qu'il importe de retenir de ces réglementations, c'est que la bande passante d'une émission de télévision ne peut en aucun cas déborder du canal attribué et que cette contrainte a un caractère absolu : en d'autres termes si, notamment du fait d'une largeur excessive de la bande de base, un signal s'avère nécessiter une bande passante plus large que le canal attribué pour sa transmission, seule la « compression » électronique de ce signal permettra de tourner la difficulté.

Or il va de soi que toute amélioration de l'image en télévision correspond à une amélioration de sa définition, donc à une augmentation de la quantité d'information à transmettre, donc à un besoin accru de bande passante. Telle est la rançon des différents procédés en lice pour tenter de rapprocher la géométrie et la qualité de l'image télévisée de celles du film 35 mm classique. Rien ne sert de disposer d'un signal performant si l'on est dans l'impossibilité de disposer parallèlement d'un canal assez large pour le transmettre — et cette considération s'applique à tous les modes de transmission par voie hertzienne ou filaire. Hors compression électronique du signal ou dégagement de nouvelles bandes de fréquences il n'y a pas de solution et, comme le montre le document en annexe, aucun espace n'est plus encombré que l'espace hertzien.

(*) Conférence administrative mondiale pour la radiodiffusion par satellites (C.A.M.R.S.).

Fréquences		Longueurs d'ondes correspondantes			Ondes électromagnétiques		
Expression en Hz et multiples du Hz		Symboles Internationaux	Expression en mètres, multiples et sous-multiples de mètre	Appellations des bandes de fréquences correspondantes (et abréviations)	Utilisation en radio et télévision		Autres utilisations (exemples et repères)
Limites de bandes de fréquences	Fréquences particulières concernant la radio et la TV				Nature	Désignation et abréviations françaises, puis anglaises puis allemandes	
De 1 Hz à 3 kHz		VLF (very low frequencies)	de 300 000 km à 100 km	GIGA ONDES			
de 3 kHz à 30 kHz			De 100 km à 10 km	MEGA ONDES			
De 30 Hz à 300 kHz	150 kHz 285 kHz	LF (low frequencies)	de 10 km à 1 km	ONDES KILOMÉTRIQUES (0. km)	RADIO (entre 150 et 285 kHz)	Grandes Ondes Long Waves Langwellen	GO LW LW Balises radio (de 275 à 325 kHz)
De 300 kHz à 3 MHz	525 kHz 1,6 MHz 2,4 MHz	MF (middle frequencies) (à ne surtout pas confondre avec l'abréviation utilisée en France pour la modulation de fréquence !)	De 1 km à 100 m	ONDES HECTOMÉTRIQUES (0. km)	RADIO (entre 525 kHz et 1,6 MHz) RADIO (entre 2,4 MHz et 26 MHz)	Petites Ondes Middle Waves Mittelwellen Ondes courtes Short Waves Kurzwellen	PO MW MW Signaux de détresse (520 kHz) Signaux Loran de navigation (de 1,7 à 1,9 MHz) Trafic maritime SW Radio amateurs (de 2,3 à 29,7 MHz) KW Signaux de détresse (19,5 MHz) Télécom 27 MHz
De 3 MHz à 30 MHz	26 MHz	HF (high frequencies)	de 100 m à 10 m	ONDES DÉCAMÉTRIQUES (0. dam)			
De 30 MHz à 300 MHz	41 MHz 87,5 MHz 108 MHz 174 MHz 230 MHz	VHF (very high frequencies)	de 10 m à 1 m	ONDES MÉTRIQUES (0. m)	TÉLÉVISION (entre 41 et 68 MHz) RADIO (Modulation de fréquence) (entre 87,5 et 108 MHz) TÉLÉVISION (entre 174 et 230 MHz)	VHF BANDE I VHF BI VHF BI * VHF Modulation de fréquence * MF VHF Frequency Modulation FM Ultrakurzwellen UKW VHF Bande III VHF B III VHF B III	Télécom. Bande A (de 30 à 41 MHz) • Bande B (de 68 à 87,5 MHz) • Bande C (de 156 à 162 MHz) Aviation - Défense et signaux de nav. aérienne (passim entre 87,5 et 156 MHz)
De 300 MHz à 3 GHz	470 MHz 880 MHz	UHF (ultra high frequencies)	de 100 cm à 10 cm	ONDES DÉCIMÉTRIQUES (0. dm)	TÉLÉVISION (entre 470 et 880 MHz)	UHF Bandes IV et V UHF B IV - B V UHF B IV - B V	Télécom. Bande D (de 440 à 470 MHz) Radioastronomie (de 606 à 614 MHz et de 1,4 à 1,427 GHz) Com. civiles (de 880 à 960 MHz) Radar (L et début S)
De 3 GHz à 30 GHz	11,7 GHz 12,5 GHz 22,5 GHz 23 GHz	SHF (supra high frequencies)	de 10 cm à 1 cm	ONDES CENTIMÉTRIQUES (0. cm)	TÉLÉVISION par satellites de radiodiffusion directe (entre 11,7 et 12,5 GHz) cf. note (3) ci-dessous	SHF SHF SHF	Radar (fin de S et X) Services fixes par satellites (entre 10,7 et 11,7 GHz, puis entre 12,5 et 12,7 GHz) Partage entre satellites et spatial entre 12,7 et 13,25 GHz)
De 30 GHz à 300 GHz	40,5 GHz 42,5 GHz	EHF (extremely high frequencies)	de 10 mm à 1 mm	ONDES MILLIMÉTRIQUES (0. mm)	Radiodiffusion par satellite 40,5 - 42,5	EHF	Pas d'utilisation prévue à moyen terme

1. En montant encore dans l'échelle des fréquences des ondes électromagnétiques, on atteint successivement les zones des rayonnements infrarouges, des ondes lumineuses visibles, des rayons ultraviolets, des rayons X, des rayons gamma et enfin des rayonnements corpusculaires (protons, mésons, etc.).

2. Concernant l'audiovisuel, les ondes électromagnétiques sont utilisées dans une plage de fréquences située entre 100 et 470 MHz dans les réseaux câblés audiovisuels. Sous réserve que ces réseaux ne provoquent aucun rayonnement extérieur, l'usage des ondes électromagnétiques n'y fait pas l'objet de réglementation.

3. Cette bande n'est actuellement attribuée qu'aux continent, américain et asiatique pour des utilisations de radiodiffusion par satellite. Une demande d'attribution identique est actuellement en cours pour l'Europe et l'Afrique.

II. — LES PERSPECTIVES D'AMÉLIORATION DE L'IMAGE TÉLÉVISÉE

Résumé

Avant de présenter les différents systèmes en lice de télévision améliorée (Mac en Europe, E.D.T.V. et I.D.T.V. dans le monde du N.T.S.C.) et de télévision haute définition, M. Bézard rappelle quelles sont les contraintes propres des trois domaines de la télévision (production, transmission et réception). Il précise quels sont les avantages des techniques numériques et les raisons pour lesquelles il est néanmoins inévitable de continuer à recourir partiellement aux techniques analogiques, notamment pour la transmission des images.

A. — RAPPELS ET TERMINOLOGIE

1. Classique ou améliorée, la télévision comporte et comportera toujours trois domaines distincts : la production, la transmission et la réception du signal.

— La production est la phase de génération du signal vidéo, lequel se caractérise notamment par la largeur de sa « bande de base » (*), c'est-à-dire par son encombrement propre, encombrement mesuré en Hertz.

— La transmission du signal met en œuvre un « transporteur », en l'occurrence un « canal » du spectre des fréquences des ondes électromagnétiques ; ce transport peut être effectué par des canaux hertziens (réseaux terrestres, ou satellites soit de télécommunication, soit de radiodiffusion directe) ou par des canaux filaires (réseaux câblés audiovisuels) ; tous ces « transporteurs » se caractérisent par une largeur de canal, exprimée en Hertz, qui constitue la limite maximale et intransgressable de la largeur de la « bande passante » (*) du signal à transmettre, tant il est vrai que le contenu ne peut excéder le contenant. Par conséquent, si la bande de base d'un signal est plus large que le canal

(*) Les notions de « bande de base » et de « bande passante » sont explicitées au paragraphe 42 du I de la présente introduction.

appelé à le transmettre, il faut, pour que la largeur de sa bande passante n'excède pas celle du canal, procéder soit à l'élagage du signal — c'est-à-dire se résigner à une perte d'information — soit à la compression électronique du signal, opérations qui l'une et l'autre se traduisent inexorablement par une plus ou moins grande baisse de qualité de l'image.

— La réception est la phase de restitution de l'image initiale sur l'écran du téléviseur. Si le signal a été comprimé avant sa transmission, la réception doit procéder notamment à sa décompression avant son traitement par les circuits habituels.

1.2. Il faut également souligner que ces trois phases de la télévision font de plus en plus fréquemment appel aux techniques numériques.

1.2.1. On rappellera d'abord que les caméras vidéo actuelles de prises de vues sont de deux types : à tubes analyseurs ou intégralement à semi-conducteurs.

Dans les premières le signal vidéo intègre les informations électriques générées par trois tubes à vide (une par couleur fondamentale : rouge, vert, bleu, en synthèse additive) : dans chacun de ces tubes un pinceau d'électrons balaye par lignes successives la cible sur laquelle se forme l'image fournie par l'objectif de prise de vues et les variations de luminosité entre les différents points successivement balayés par ce pinceau modulent un courant électrique.

Les caméras intégralement à semi-conducteurs sont munies de dispositifs dits « à transfert de charge » ou D.T.C. (en anglais « charged compled device » ou C.C.D.) ; l'image fournie par l'objectif se forme sur une plaquette d'analyse, sorte de microcarrelage composé d'un grand nombre de cellules élémentaires générant chacune une charge électrique proportionnelle à l'intensité lumineuse de l'image en ce point. Ces différentes cellules élémentaires correspondent chacune très précisément à un « pixel », c'est-à-dire à un point analysé de l'image. Ces charges électriques sont recueillies (transférées) point par point et ligne par ligne pour constituer le signal vidéo délivré par la caméra.

1.2.2. Cela étant, le signal vidéo peut être exprimé de deux manières :

— ou bien la modulation électrique est analogue à celle de la modulation de l'intensité lumineuse sur l'image fournie par l'objectif de la caméra ; le signal est dit alors « analogique » et à une ligne de balayage correspond une variation continue d'intensité électrique pour chacune des trois couleurs fondamentales, rouge, vert et bleu ;

— ou bien on mesure sur chaque ligne de balayage, en un certain nombre de points d'analyse, l'intensité du courant généré ; une ligne de balayage n'est alors pas représentée par une variation continue d'intensité d'un courant électrique, mais par la suite discontinue des valeurs de cette intensité en ces points ; exprimées en notation binaire à 8 bits (octets) ces valeurs successives sont évidemment très nombreuses (*), mais redevables des techniques de traitement informatique : le signal est alors dit « numérique ».

1.2.3. Le signal numérique possède sur l'analogique un certain nombre d'avantages et notamment les suivants :

— d'abord il est « robuste » ; sous la seule réserve que le signal ne soit pas affaibli au point de rendre impossible le dénombrement des impulsions, l'information passe intégralement, ce qui n'est évidemment pas le cas pour un signal analogique ;

— ensuite, les octets constitutifs du signal vidéo peuvent faire l'objet de traitements sur ordinateurs : des programmes informatiques adaptés permettent d'agir sur les formes et les couleurs, de supprimer des éléments de l'image ou d'en incruster d'autres, de réaliser tous les mélanges et tous les trucages et même, en passant à la limite, de créer entièrement des images de synthèse (palette graphique), pour le plus grand bonheur des concepteurs de génériques ou de spots publicitaires, par exemple ;

— enfin l'emploi des techniques numériques est courant dans les convertisseurs de programmes entre systèmes de télévision différents rendant ainsi possibles et aisés les transcodages nécessités en permanence par la mondiovision.

1.2.4. Ces avantages sont tels que des esprits insuffisamment avertis seraient en droit de se demander pourquoi la télévision n'adopte pas le « tout numérique » et pourquoi les systèmes les plus récents de télévision améliorée font encore largement appel à la technique analogique.

A cette question la réponse est à la fois technique et économique : les difficultés ne sont pas toutes résolues et certaines ne l'ont été que récemment ; le volume d'information numérique est considérable et soulève des difficultés de bande passante pour la transmission/diffusion du signal ; la compatibilité est indispensable avec les systèmes et les équipements préexistants ; enfin, à tous les stades, le numérique est plus coûteux que l'analogique.

(*) Le « bit » est l'unité élémentaire d'information susceptible de prendre deux valeurs distinctes, notées 0 et 1. Les mesures correspondant à chaque point d'analyse s'expriment en « octets », groupes de 8 bits. Pour un signal vidéo couleur normal, P.A.L. ou S.E.C.A.M., le débit d'information atteint 150 millions de bits par seconde.

Ces différentes raisons expliquent et justifient le désordre apparent qui semble présider au partage, entre analogique et numérique, des techniques de la télévision même dans ses développements les plus récents, fût-ce au sein d'un même système, tant la pratique est actuellement courante de reconversions analogique/numérique et numérique/analogique.

1.2.5. Quoi qu'il en soit, deux domaines font et feront appel de plus en plus aux techniques numériques : celui de la production du signal vidéo (studio (*)) et celui de la compression du signal vidéo de base pour en ramener la largeur de bande passante à une valeur compatible avec celles des canaux affectés à sa transmission.

En 1982, l'assemblée générale du C.C.I.R. (**) émit à l'unanimité un avis référencé 601 sur les « paramètres de codage de télévision numérique pour studios ». Sous l'appellation générale et sybilline de « norme 4-2-2 », cet avis répond notamment au souci suivant :

— dans l'intérêt des producteurs et radiodiffuseurs de programmes télévisés, maximiser, dans les normes numériques pour studios (*), le nombre de valeurs de paramètres essentiels communes aux systèmes de télévision à 525 et 625 lignes en permettant ainsi ;

— d'une part, de développer des équipements présentant de nombreux éléments communs, donc générateurs d'économies d'exploitation et de simplification dans les échanges internationaux de programmes, et, d'autre part, de faciliter les traitements complémentaires actuellement nécessaires et répondre aux besoins futurs.

Sans entrer dans le détail de cet avis, on signalera simplement qu'il porte sur la fréquence d'échantillonnage par ligne des éléments d'analyse de la luminance et de la chrominance et sur les conditions de transmission des signaux numériques.

On notera l'importance du flux d'information numérique à transmettre dans un signal conforme à la « norme 4-2-2 » : il s'élève à 243 millions de bits par seconde, soit, pour fixer les idées, 55 fois plus que pour un disque compact à lecture laser.

On soulignera enfin que, le nombre des points d'analyse par ligne de balayage étant respectivement de 858 et 864 en 525 et 625 lignes,

(*) C'est-à-dire les caméras, les analyseurs de films, les magnétoscopes et les dispositifs pour effets spéciaux.

(**) Organisme de la mouvance de l'O.N.U., le C.C.I.R. (Comité consultatif international pour les radiocommunications) a mission de formuler tous les quatre ans des « recommandations » de caractère technique concernant la radio et la télévision. En fait, le rôle du C.C.I.R. est, par le biais de telles recommandations, de faire admettre des normes communes par l'ensemble des Etats membres de l'O.N.U. Son rôle est donc fondamental et déterminant.

le nombre des informations parvenant en tout état de cause à l'œil de l'observateur ne sera au mieux que de $858 \times 525 = 450\,450$ ou de $864 \times 625 = 540\,000$ par image, soit environ le sixième du nombre d'informations délivrable par une image de film 35 mm standard.

Un autre domaine d'élection du numérique en télévision est celui de la compression du signal vidéo. Les méthodes employées procèdent de deux principes différents.

Le premier décompose l'image en un petit nombre de sous-ensembles dont les « volumes » sont réduits par compression temporelle et transmis dans un même petit nombre de trames successives ; à la réception un décodeur les stocke au fur et à mesure en mémoire, ce qui lui permet de reconstituer une image entière à partir de ce même nombre d'éléments successifs. (Par exemple si ce nombre est égal à 4, ce système ne transmet jamais à un instant donné que le quart de l'information de l'image, quart qu'on remélangerà à la réception avec les trois autres quarts stockés en mémoire respectivement depuis une, deux et trois durées de trame).

Le second principe, très différent, consiste à sélectionner ce qui dans une image diffère de l'immédiatement précédente et de limiter le signal à transmettre à une pondération complexe d'informations concernant ces modifications. A la réception ces informations modifient le contenu stocké en mémoire de l'image précédente, laquelle va apparaître modifiée sur l'écran et par là-même conforme à celle du signal vidéo généré par la caméra.

Il va de soi que de tels systèmes ne sont évidemment concevables qu'en faisant appel à des composants électroniques spécifiques et complexes (mémoires et circuits intégrés) dont la fabrication de masse soulève nécessairement de sérieuses difficultés.

B. — LES SYSTÈMES EN PRÉSENCE

2.1. Les premières démarches techniques et technologiques d'amélioration de la télévision ont été menées dans et pour les territoires desservis en N.T.S.C., 525 lignes, 59,94 trames par seconde. Elles ont d'abord abouti à deux systèmes désignés par les sigles d'E.D.T.V. (Extended — ou Enhanced — Definition Television) et d'I.D.T.V. (Improved Definition Television).

Ces deux systèmes ne visent simplement qu'à l'amélioration de la qualité de l'image et ne modifient pas son « format », qui reste donc égal à 1,33 (4/3), dans l'acception précédemment définie pour ce terme.

– L'E.D.T.V. tire, à l'émission et à la réception, un meilleur parti de la norme N.T.S.C. à 525 lignes desquelles le téléspectateur japonais ou américain ne perçoit guère que 300 sur son écran. Améliorant la séparation entre les signaux de luminance et de chrominance, ce système implique pour les stations d'émission des investissements relativement importants et en fait dissuasifs si l'on en juge par leur réserve à son égard. Quoi qu'il en soit, le ministère japonais des Postes et Télécommunications prévoit l'avènement de l'E.D.T.V. courant 1989.

– L'I.D.T.V. à l'opposé, recherche l'amélioration de la qualité de l'image à travers des modifications du seul téléviseur par doublement des lignes de balayage à la réception à l'aide de mémoires de trames. La charge de cette amélioration incombe donc uniquement au consommateur. De tels appareils (*) ont fait leur apparition dans le très haut de gamme des fabrications japonaises.

2.2. Soutenue par la C.B.S. lors de l'assemblée générale du C.C.I.R. en 1986 à Dubrovnik, la démarche japonaise de la N.H.K. est d'une tout autre ambition.

2.2.1. Dénommé H.D.T.V. (High Definition Television), présenté sous la marque Hivision, le système N.H.K./C.B.S. faisait table rase du N.T.S.C. et, par là-même des parcs japonais et américains de téléviseurs en service ; son standard d'émission comportait un balayage à 1 125 lignes entrelacées (**), un format d'image de 1,67 (5/3) et un nombre de « pixels » (points d'analyse de l'image) suffisamment élevé pour permettre l'usage de très grands écrans (de l'ordre de grandeur du mètre carré de superficie).

Ce signal Hivision comportait la possibilité de quatre sons numériques de qualité standard ou de deux sons de haute qualité ; enfin une voie était réservée pour la transmission de données concernant d'autres services (notamment cryptage, télécopie radiodiffusée, etc.).

La largeur de bande de base du signal Hivision atteignant 20 MHz, c'est-à-dire excédant de beaucoup la largeur des canaux réservés à la télévision, Hivision s'accompagnait d'un système de codage dénommé Muse (***) , ramenant la bande passante à 8,1 MHz, par décomposition de chaque image en quatre sous-ensembles, dont les volumes sont réduits par compression temporelle et compensation de mouvement,

(*) Par exemple, un téléviseur de ce type, de marque Hitachi, muni d'un écran de 1,20 m de base et pesant 68 kg, a été commercialisé en octobre 1988 dans une zone de prix de détail d'un ordre de grandeur équivalent à 23 000 F.

(**) Cf. I de cette introduction (§ 24, *in fine*).

(***) Sigle signifiant « Multiple Sub-Nyquist Sampling Encoding ».

puis transmis dans chaque trame successive, selon le premier des principes exposés en fin du paragraphe 1.2.5 ci-dessus.

Tel quel, le système était totalement incompatible avec les équipements de production, de diffusion et de réception fonctionnant aux normes actuelles (Systèmes N.T.S.C. (*), P.A.L. et S.E.C.A.M.). Il soulevait en outre des difficultés techniques complexes pour la diffusion des films en 35 mm dont le stock mondial est énorme.

2.2.2. Telle était la situation en 1986 et au début de 1987. Depuis cette époque, les choses ont évolué à l'incitation de trois événements principaux :

— l'ampleur et l'efficacité de la réaction européenne à travers le programme Eurêka 95 ;

— la très nette prise de position de la Commission fédérale allemande (F.C.C.-Fédéral Communications Commission) à l'encontre de tout système de télévision améliorée incompatible avec le N.T.S.C. et d'une largeur de bande passante supérieur à 6 MHz (largeur des canaux terrestres réservés à la télévision) ;

— l'intention exprimée par le Pentagone de financer un programme de développement d'une nouvelle technologie de très grande définition pour écrans de télévision à des fins civiles et militaires et le sursaut de l'industrie électronique grand public aux U.S.A. (**).

(*) Concernant la « fréquence de trame », si cette dernière est de 50 Hz en P.A.L. et S.E.C.A.M., elle n'est pas exactement de 60 Hz en N.T.S.C., mais de 59,94 Hz.

La saison en a été explicitée précédemment.

Il est simplement rappelé ici que le signal de télévision couleur comportant des signaux sonores, des signaux de luminance, (c'est-à-dire en première approximation ceux correspondant à l'image noir et blanc que restitue un téléviseur noir et blanc captant une émission couleur) et des signaux de chrominance (que seuls les téléviseurs couleur interpréteront), afin de maintenir le signal de base dans les limites imposées par la largeur des canaux hertziens attribués à la télévision, on a dû placer le spectre des signaux de chrominance à l'intérieur du spectre de luminance du signal noir et blanc : la chrominance est donc à ce titre un « parasite » de la luminance et il importe de minimiser la gêne qui peut en résulter pour le possesseur d'un téléviseur noir et blanc. Des considérations arithmétiques relativement élémentaires montrent que, dans la zone d'une fréquence de trame de 60 Hz, le minimum d'interférence entre les signaux de luminance et de chrominance est réalisé pour une fréquence de 59,94 Hz, valeur qui fut définitivement prescrite par la F.C.C. (Federal Communications Commission) pour le système N.T.S.C.

Faisant table rase des normes en vigueur et sans aucun souci de comptabilité avec quoi que ce soit de préexistant, le système N.H.K. a adopté une fréquence de trame de 60 Hz et non de 59,94 Hz ; le système N.H.K. est donc bien universellement incompatible.

(**) Sursaut manifesté notamment en juin 1988, à Santa Clara (C.A.L.) en juin 1988 par une réunion organisée par l'American Electronics Association et concrétisée par la proposition du système A.C.T.V. (Advanced Compatible Television) par N.B.C., le S.R.I. (Sarnoff Research Institute) et Thomson Consumer Electronics.

2.2.3. Aujourd'hui, la situation japonaise n'apparaît pas très stabilisée.

En fait, si l'actuel signal de base du système Hivision est demeuré conforme à celui de 1986, le système de compression s'est considérablement diversifié puisque le sigle Muse caractérise aujourd'hui une famille de normes propres à répondre aux différentes contraintes inhérentes aux différents modes de transmission :

- Muse T, bande passante de 16,2 MHz pour les liaisons de contribution ;
- Muse E, bande passante de 8,1 MHz pour la diffusion par satellite de télévision directe ;
- Muse 6 et Muse 9, bande passante de 6 et 9 MHz pour la diffusion sur les réseaux hertziens terrestres ;
- Narrow Muse, bande passante de 6 Mhz.

On doit préciser que N.H.K. a mis au point un convertisseur grand public (*) de signaux Muse 6 et Muse 9 en signaux N.T.S.C., palliant l'incompatibilité initiale avec les parcs américains et japonais de téléviseurs en service. Les systèmes destinés aux ondes terrestres et regroupés sous l'appellation de « Muse Family » seront présentés par N.H.K. en mars 1989.

Enfin, on signalera que les laboratoires de la N.T.T. développent parallèlement un système de compression du signal T.V.H.D. basé sur le second principe exposé au § 1.2.5. *in fine*, consistant à détecter ce qui dans une image diffère de l'image immédiatement précédente et à ne transmettre d'informations que sur cette différence appréciée sur un échantillonnage pondéré de points d'analyse assurant une représentation conforme à cette différence (**).

2.3. Devant l'importance considérable pour elle des enjeux économique, industriel et culturel entraînés par l'avènement relativement proche de la télévision à haute définition, l'Europe a réagi dans un esprit très différent de celui de l'approche japonaise, puisque fondé à la fois sur la notion de progressivité et sur celle de la compatibilité.

2.3.1. Cette compatibilité concerne trois niveaux : le parc des téléviseurs en service, les matériels de studio et les équipements de transmission.

(*) Cet appareil serait commercialisé dès 1989 par Sanyo et Mitsubishi (aucune information n'a été communiquée sur le prix public de tels adaptateurs).

(**) « High-Efficiency T.C.M. ». Plusieurs communications ont été publiées sur ce procédé.

— Compatibilité rigoureuse, d'abord, entre les futures normes d'émission et les caractéristiques techniques des téléviseurs en service ; en d'autres termes, à tout instant de la durée de vie de son téléviseur, le téléspectateur doit pouvoir y recevoir les émissions nouvelles avec le même degré de qualité que les anciennes, sous la seule condition d'acquiescer à cette fin un adaptateur peu onéreux et connectable à son récepteur (*).

— Compatibilité au niveau des matériels de studio afin de permettre l'introduction progressive et compatible de nouveaux équipements de production tout en conservant la possibilité de continuer d'utiliser les matériels anciens.

Conformité rigoureuse à la norme « 4-2-2 » c'est-à-dire à la recommandation 601 du C.C.I.R. de manière à permettre aux équipements numériques futurs de pouvoir fonctionner indifféremment en systèmes : 525 lignes, fréquence de trame de 59,94 Hz ; ou 625 lignes, fréquence de trame de 50 Hz.

Cette double possibilité est du plus grand intérêt économique car, d'une part, elle donne un caractère mondial au marché des matériels et permet d'en diminuer le coût ; d'autre part, elle facilite les échanges de programmes entre les deux mondes audiovisuels 525/59,94 et 625/50, lignes/Hz.

— Souci enfin de permettre aux radiodiffuseurs de remplacer leurs équipements d'émission de manière progressive et compatible et ce sans dommage pour le téléspectateur.

2.3.2. Pour satisfaire à ces soucis, la démarche européenne se démultiplie en deux phases successives.

2.3.2.1. La première phase, simultanément, réalise déjà une nette amélioration de la télévision et constituera ultérieurement le support de la seconde phase, c'est-à-dire de la télévision à haute définition proprement dite.

Cette première phase est celle de l'avènement des systèmes de la famille Mac, notamment pour les émissions des satellites de radiodiffusion directe.

(*) Les récepteurs P.A.L. et S.E.C.A.M. de fabrication européenne sont équipés, notamment à cet effet, d'une (ou plusieurs) prise de péritélévision normalisée européenne. (En France, cet équipement est même une obligation réglementaire.)

Ces systèmes diffèrent entre eux par la nature des compromis qu'ils réalisent entre la largeur de bande passante qu'ils nécessitent et les contraintes propres auxquelles doivent satisfaire les différents pays d'Europe (*).

Sans entrer dans les détails techniques des systèmes de la famille Mac, il est essentiel d'en souligner les caractéristiques suivantes :

- possibilité de transmission par câble, si l'on opte pour le système D2-Mac ;
- nombre des éléments d'image (pixels) supérieur de 50 % à celui des signaux S.E.C.A.M. et P.A.L. ;
- « format » de l'image pouvant être porté à 1,78 (16/9), c'est-à-dire à une valeur voisine de celle du format cinéma dit « écran large » (1,85) ;
- 625 lignes de balayage entrelacé, et fréquence de trame de 50 Hz ;
- transmission séquentielle des signaux de son, puis de luminance, puis de chrominance, par multiplexage temporel (**), parant

(*) Ainsi, l'importance des réseaux câblés audiovisuels existant en France et en R.F.A. ont conduit ces deux pays à l'adoption du D2-Mac Paquet dont la relative étroitesse de bande passante permettra la distribution filaire, collective et en l'état, des signaux reçus de leurs satellites de télédiffusion directe (TV-SAT, TDF 1 et 2) ; ce choix a eu sa contrepartie dans la limitation à quatre du nombre des sons numériques de haute qualité qui accompagneront ces émissions, inconvénient jugé mineur par ces deux Etats qui ont préféré limiter à quatre le nombre des langues plutôt que priver les abonnés des réseaux câblés de la plénitude des avantages visuels et sonores de la télévision améliorée.

En revanche, les pays scandinaves n'ont pratiquement pas de servitudes en matière de réseaux câblés audiovisuels mais la diversité des langues dans la zone de réception de leurs émissions de télévision les amène à donner la préférence au nombre des sons d'accompagnement plutôt qu'à l'étroitesse de la bande passante ; ces pays ont donc opté pour le système « D.-Mac » dont la bande passante plus large autorise l'émission de huit langues simultanées sur la même image.

(**) Il est rappelé qu'un « signal multiplex » est un signal complexe intégrant plusieurs modulations élémentaires indépendantes, transmis par une voie unique et permettant à la réception de récupérer isolément chacune des modulations élémentaires constitutives. Le signal de télévision, par exemple, est un signal multiplex, puisqu'il intègre normalement la modulation sonore et les signaux de chrominance et de luminance.

Le multiplexage de ce signal de télévision peut être réalisé de deux manières :

— multiplexage en fréquence » (ou F.D.M. : frequency division multiplex), comme en P.A.L. et en S.E.C.A.M. : dans la largeur de bande passante occupée par le signal, on assigne une fréquence porteuse propre à chacun des signaux constitutifs ; à la réception, des filtres séparent les trois signaux élémentaires, mais cette séparation peut ne pas être parfaite entre luminance et chrominance, ce qui provoque le moirage (cross color) signalé plus haut ;

— « multiplexage temporel » (ou T.D.M. : time division multiplex) ; c'est le cas des systèmes de la famille Mac : dans cette technique on assigne des créneaux temporels successifs aux différents signaux constitutifs et l'on utilise successivement la totalité de la bande passante pour transmettre séparément chacun d'eux ; plus précisément, sur les 64 microsecondes que dure le balayage vidéo d'une ligne, le système Mac réserve les 12 premières aux données numériques (sons et données notamment alphanumériques éventuelles), les 17,5 suivantes au signal de chrominance et les 34,5 restantes à celui de luminance ; ce mode de multiplexage pare donc à tout risque d'interférence à la réception entre les différents signaux constitutifs du signal multiplex, puisque deux signaux primaires de natures différentes ne co-existent jamais dans le canal à un même instant donné.

à tout risque de « cross color » (c'est-à-dire de moirage parasite particulièrement sensible, par exemple, avec les tissus rayés ou Prince de Galles) ;

— multiplicité des sons d'accompagnement de qualité numérique (de quatre à huit selon le système Mac adopté) ;

— possibilité d'embrouiller ou crypter facilement les émissions (par exemple pour péage) ;

— possibilité de télétextes additionnels (pour sous-titrage, par exemple) ;

— si l'on s'en tient au seul côté « télévision améliorée » des systèmes Mac, ils présentent une série d'avantages sur l'E.D.T.V. et l'I.D.T.V. japonais précédemment décrits :

● ils sont conformes à l'avis 601 du C.C.I.R. (norme 4-2-2),

● ils améliorent considérablement la qualité de l'image (50 % de pixels de plus que les systèmes P.A.L. et S.E.C.A.M., suppression de tout risque de scintillement et de moirage),

● ils permettent de multiplier les sons d'accompagnement avec une qualité « numérique », c'est-à-dire analogue à celle obtenue par lecture laser d'un disque compact.

2.3.2.2. A ce stade, il convient de signaler les explorations actuellement conduites en Europe, de procédés — bien entendu compatibles — consistant à dupliquer le nombre de lignes d'un signal Mac au format 16/9 :

— soit en conservant le balayage entrelacé ;

— soit en adoptant un balayage progressif par utilisation de mémoires ligne par ligne.

Si de telles explorations peuvent sembler s'apparenter aux démarches E.D.T.V. et I.D.T.V. japonaises (cf. § 2.1.), on doit souligner que, sans ressortir encore à la véritable haute définition, les images obtenues sont d'une qualité déjà saisissante (*).

2.3.2.3. La seconde phase de l'approche européenne est celle de la télévision à haute définition proprement dite, objet du programme Eureka 95.

Fonctionnant en multiplexage temporel avec une possibilité de « format » d'image de 1,78 (16/9), les systèmes de la famille Mac

(*) Une intéressante démonstration en a été organisée par la Société T.V.E. (Thomson Vidéo Equipement), le 18 février 1989 à Paris dans les locaux de l'Empire, avenue de Wagram.

pourront très aisément transporter des images à haute définition pour grand écran.

Conforme aux principes ci-dessus définis au paragraphe 231, le système de télévision européenne à haute définition, dit « HD-Mac », actuellement développé dans le cadre d'Eureka 95 et qui demandera à l'assemblée générale du C.C.I.R. de 1990 de lui reconnaître le caractère de norme mondiale, présente notamment les caractéristiques suivantes :

— il conserve l'intégralité des avantages précités de la famille Mac (*), puisqu'il en utilise les systèmes comme support de transmission ;

— il met en œuvre un système de balayage progressif — et non entrelacé comme le système N.H.K. — à 1 250 lignes, mais il les transmet sous forme de signaux à 625 lignes ; à la réception, un téléviseur à 625 lignes ne se verra donc pas frappé d'obsolescence, tandis qu'un récepteur à haute définition restituera les 1 250 lignes initiales ; le principe de compatibilité avec le parc en service est ainsi respecté ;

— le nombre des points d'image (pixels) est quatre fois supérieur à celui des actuelles images P.A.L. ou S.E.C.A.M. et 2,67 fois plus élevé que le nombre de pixels des émissions actuelles du satellite TDF 1 de télévision directe.

2.3.2.4. En appui du programme Eureka 95 et de la politique des industriels européens, le *Journal officiel* des Communautés européennes du 14 février 1989 a publié le texte de la proposition du Conseil relative à la télévision à haute définition.

Ce document propose notamment les objectifs suivants pour constituer la base d'une stratégie communautaire globale :

— assurer que l'industrie européenne développe en temps utile toute la technologie ainsi que tous les composants équipements nécessaires pour le lancement progressif des services de télévision à haute définition durant les années quatre-vingt-dix ;

— assurer que *la proposition européenne reposant sur les paramètres 1 250 lignes (analyse séquentielle ligne par ligne), 50 images par seconde soit adoptée en tant que norme mondiale unique pour la production et l'échange de programmes de télévision à haute définition ;*

— assurer parallèlement que les *normes de radiodiffusion (qui seront différentes selon les pays dits à 50 Hz et à 60 Hz) soient*

(*) Il est d'ailleurs envisagé, pour assurer la parfaite stabilité de l'image et éliminer tout risque de scintillement, de porter à 100 Hz la fréquence de trame des systèmes Mac, c'est-à-dire de la doubler ; réalisée à la réception, cette éventuelle duplication des trames n'affecterait pas les standards d'émission et serait donc compatible avec les parcs de matériels préexistants.

conformes aux règles déjà fixées par la recommandation 601 du C.C.I.R. et donc facilement et réciproquement convertibles ;

— assurer l'utilisation la plus large possible du système européen de télévision à haute définition partout dans le monde, ainsi que la mise en place de l'environnement le plus favorable possible pour la vente des équipements et programmes européens de télévision à haute définition.

2.4. Enfin, ayant pris conscience de l'enjeu économique de la télévision haute définition pour l'ensemble de l'industrie électronique, les Etats-Unis ne veulent manifestement plus se laisser imposer une norme en la matière.

2.4.1. Depuis moins d'un an, plusieurs propositions américaines de télévision à haute définition se font jour ; il en a déjà été fait état au paragraphe 2.2.2. à propos de la prise de position très nette de la F.C.C. à l'encontre du système N.H.K.

Ces propositions nouvelles respectent dans l'ensemble la notion de compatibilité avec les parcs de matériels en service, à la production et à la réception.

L'A.C.T.V. (Advanced Compatible Television), par exemple, présenté par N.B.C., le S.R.I. (Sarnoff Research Institute) et Thomson Consumer Electronics, comporte deux étapes, à l'instar de l'approche européenne :

— la première phase, « A.C.T.V. I », utilise pour sa transmission un canal de 6 MHz, comme le N.T.S.C. actuellement ; l'image, à 525 lignes, mais avec capacité de duplication, est améliorée en géométrie (élargissement au format 16/9) et en qualité (luminance et couleur) ;

— la seconde phase, « A.C.T.V. II », prévoit l'utilisation de deux canaux de 6 MHz pour transmettre une image réellement haute définition, à 1 050 lignes de balayage et haut degré de résolution.

2.4.2. Si ce sursaut américain redistribue les cartes en faisant pièce à la tentative d'hégémonie de la N.H.K., la rapide évolution des techniques numériques, le parallélisme des approches actuellement menées de part et d'autre de l'Atlantique, et les performances de l'électronique professionnelle laissent bien augurer d'un avenir où les équipements de production deviendront progressivement les mêmes (« norme unique ultime ») tout en étant capables de travailler selon deux modes différents (« norme duale »), selon celui des deux mondes audiovisuels où on les utilisera, et de permettre entre ces deux mondes des échanges de programmes sans conversion.

2.5. Pour résumer la situation actuelle de la télévision à haute définition, on peut espérer que le C.C.I.R. recommandera une norme de production « ultime unique » mais en même temps « duale », c'est-à-dire propre à favoriser la constitution d'un marché de matériels studio, compatibles avec ceux existant, propre à permettre les échanges de programmes sans conversion, et propre à laisser au niveau du studio latitude de produire et transmettre dans l'un ou l'autre des mondes audiovisuels, celui à 50 Hz et celui à 59,94 Hz ; on verra plus loin qu'il n'est pas indifférent pour le cinéma qu'une telle norme de production « ultime unique » soit à 50 Hz et non 59,94, afin d'éviter une cascade d'interpolation d'images dans les transferts vidéo↔film.

PREMIÈRE PARTIE

LA PRODUCTION EN HAUTE DÉFINITION

PREMIÈRE SOUS-PARTIE

EXPOSÉ GÉNÉRAL

(Par M. Michel Oudin.)

Présentation de l'expert et résumé.

M. Michel Oudin, délégué général aux stratégies de développement de la S.F.P. (Société française de production et de création audiovisuelles) a accepté, malgré les charges de travail qui sont les siennes, de rédiger, pour le compte de l'Office, une étude sur la production en haute définition, avec l'aide d'une équipe qu'il a lui-même constituée. M. Oudin aborde principalement les problèmes des normes de production, de l'avance japonaise dans le domaine des matériels de production et des avantages comparatifs de la haute définition par rapport aux techniques du cinéma ou de la vidéo actuelle.

— S'agissant des normes de production, M. Oudin qui a été l'un des initiateurs et des artisans du « sursaut de Dubrovnik » dresse l'historique des débats au sein du C.C.I.R. Il fait l'éloge de la compatibilité qui, souligne-t-il, protège le consommateur, tout en rassurant les investisseurs (industriels, producteurs, diffuseurs, annonceurs) et permet une évolution progressive, au fur et à mesure des progrès de la technologie, vers le *nec plus ultra* des normes de haute définition : la norme H.D.P., qui suppose un balayage progressif de l'image, sans réduction du débit des informations numériques.

En attendant une telle norme, seule capable de détrôner un jour celle du cinéma 35 mm, rien n'empêche, selon M. Oudin, d'adopter une famille de normes, compatibles entre elles, par le choix d'un débit commun de données, plutôt que d'une structure d'image commune.

— La disponibilité de matériels professionnels éprouvés, de deuxième génération, renforce la crédibilité de la norme japonaise, même si celle-ci présente le sérieux inconvénient de nécessiter de coûteuses conversions pour le passage aux normes de diffusion actuelles ou pour l'utilisation des films 35 mm.

Le danger est de voir ainsi la norme de production nipponne « Hivision » s'imposer *de facto* dans les studios et sur le marché de l'édition vidéographique de haute définition (cassettes ou vidéodisques).

Aujourd'hui, souligne M. Oudin, le Japon contrôle les trois passages obligés de toute réalisation technologique dans le domaine de la haute définition, c'est-à-dire : les semi-conducteurs pour le codage et la réception des signaux ; les magnétoscopes numériques, maillons indispensables de toute chaîne de production, et, enfin, les écrans à cristaux liquides et les capteurs d'images C.C.D., destinés à remplacer les tubes de prise de vues (qui, actuellement, sont, de toute façon, tous japonais). Européens et Américains doivent donc se mobiliser pour rattraper leur retard.

— Le principal atout de la haute définition, en production, réside dans la perspective de pouvoir profiter des avantages de la vidéo (tournage et montage simplifiés, effets spéciaux et traitements de l'image) dans la réalisation de programmes haut de gamme. Pour le moment, cependant, les techniques de production haute définition sont encore défectueuses (1) et relativement coûteuses. Loin de vouloir opposer la haute définition au cinéma, M. Oudin préfère insister sur leurs complémentarités. Bien qu'il soit difficile de comparer la qualité des images de chaque système, du fait de la possibilité d'améliorer l'image enregistrée en vidéo, il est indéniable que la résolution de l'image du film 35 mm est et restera longtemps supérieure. La haute définition permettra de mieux mettre en valeur la qualité des œuvres cinématographiques diffusées à la télévision (2) et d'introduire, dans la pratique de la vidéo, les exigences artistiques du cinéma. Elle facilitera la production d'effets spéciaux cinématographiques. Longtemps encore la télévision continuera à avoir besoin de films 35 mm, et le cinéma à avoir besoin de l'argent de la télévision. Bientôt cependant, des fictions télévisées, tournées auparavant en 35 mm, seront réalisées directement en haute définition. En ce qui concerne, enfin, la distribution en salle, d'œuvres cinématographiques, elle pourrait, d'un côté, être concurrencée par la vidéo-projection d'images haute définition (à domicile ou dans de petites salles); d'un autre côté, la télédiffusion par satellite de films convertis en haute définition pourrait contribuer à sauver de la fermeture de nombreuses salles de province (mais se poseraient alors les problèmes du coût des installations de réception, de la programmation, et de la concurrence de la télévision à domicile...).

(1) Effets de traînage et mise au point critique à la prise de vues, manque de mobilité des matériels pendant le tournage, absence de magnétoscopes numériques limitant le nombre de copies, mise en conformité difficile de l'original avec les copies de travail, choix d'effets spéciaux limité, etc.

(2) Surtout avec la norme européenne de diffusion dont les 50 Hertz sont compatibles avec les vingt-quatre images par seconde du cinéma.

SOMMAIRE

	Pages
INTRODUCTION	45
CHAPITRE PREMIER : LA CHAÎNE DE PRODUCTION AUDIOVISUELLE	48
I. — Architecture générale	48
II. — Les matériels professionnels de production	49
A. — <i>Les sources d'images</i>	49
B. — <i>Le traitement des images</i>	53
C. — <i>L'adéquation des moyens de production aux produits</i>	57
III. — Les normes de production et de diffusion actuelles	62
CHAPITRE DEUXIÈME : LES NORMES DE PRODUCTION EN HAUTE DÉFINITION	65
I. — Le C.C.I.R. et la T.V.H.D.	66
II. — Les familles de normes proposées au C.C.I.R.	69
A. — <i>Philosophie générale</i>	69
B. — <i>Les familles de normes en présence</i>	71
1. Les propositions basées sur un débit commun	72
a) proposition européenne	72
b) proposition des pays de l'Est	75
2. La proposition japonaise d'une norme unique	75
3. Les propositions basées sur une structure d'image commune	76
III. — Annexe : les positions des instances nationales ou internationales	78
CHAPITRE TROISIÈME : LES MATÉRIELS DE PRODUCTION EN HAUTE DÉFINITION	82
I. — Les caméras	82
II. — Les optiques	85
III. — les télécinémas	86
IV. — Les magnétoscopes	86
V. — Les autres matériels	88
VI. — Annexes :	
A. — <i>Les studios de production</i>	90
B. — <i>Les coûts de production</i>	91
1. Le cas d'une régie	91
2. Le cas d'une salle de post-production	92

C. — <i>Récapitulatif des matériels de T.V.H.D. disponibles</i>	93
D. — <i>Prospective du matériel Euréka 95</i>	94
CHAPITRE QUATRIÈME : LES ŒUVRES RÉALISÉES EN HAUTE DÉFINITION ...	96
I. — La qualité de l'image	96
A. — <i>La résolution</i>	97
B. — <i>La restitution des mouvements et le scintillement</i>	98
C. — <i>L'élargissement du format</i>	99
D. — <i>Les données de gamma et de colorimétrie</i>	100
II. — Les techniques de production	101
A. — <i>La prise de vues et l'enregistrement</i>	101
B. — <i>La post-production</i>	103
C. — <i>Les effets spéciaux</i>	105
D. — <i>Les transferts</i>	107
1. <i>Les télécinémas</i>	108
2. <i>Le kinescopage</i>	108
III. — Conditions et coûts de production	109
A. — <i>Le style de tournage</i>	109
B. — <i>Les équipes</i>	110
C. — <i>L'ergonomie</i>	111
D. — <i>Les temps de tournage</i>	112
E. — <i>Les coûts de production</i>	114
1. <i>Par rapport au 35 mm</i>	114
2. <i>Par rapport à la vidéo actuelle</i>	115
3. <i>Par rapport au 35 mm pour la télévision</i>	115
IV. — Programmes et producteurs	116
A. — <i>Cas particulier de la situation actuelle</i>	118
B. — <i>Les producteurs de programmes pour la télévision</i>	118
C. — <i>Le cinéma électronique</i>	119
D. — <i>Les producteurs indépendants</i>	120
E. — <i>Les autres marchés</i>	121
V. — La distribution	123
A. — <i>Le circuit cinématographique</i>	124
B. — <i>L'édition vidéographique</i>	125
C. — <i>La diffusion par la télévision</i>	126
1. <i>Selon les standards actuels</i>	127
2. <i>En haute définition</i>	128
CONCLUSION	129

INTRODUCTION

Dans le cadre du projet Eurêka 95 (T.V.H.D.), L'Europe a — depuis trois ans — mobilisé et rassemblé les ressources intellectuelles et technologiques les plus en pointe des industriels d'équipements TV et matériels TV grand public, des radiodiffuseurs, des administrations des P.T.T. et des universités. Les études, travaux et développements menés en commun ont permis qu'existe aujourd'hui une chaîne complète de télévision haute définition européenne comprenant les matériels de production, de diffusion et les équipements de visualisation : l'ensemble de la chaîne opérationnelle a été démontrée avec succès à Brighton en septembre 1988 et des développements nouveaux seront présentés cette année à Montreux puis à Berlin dans le cadre de l'I.F.A.

L'Europe a choisi une approche de la haute définition évolutive et compatible tant au plan de la diffusion qu'à celui de la production.

Compatible avec les services de radiodiffusion par satellite de diffusion directe (de la famille Mac Paquet) et avec les services de diffusion par câble qui, dès aujourd'hui sont opérationnels à travers l'Europe, cette philosophie de compatibilité qui protège le consommateur est maintenant reconnue comme essentielle par de nombreux autres pays en dehors de l'Europe.

Elle permet que soient lancés immédiatement de nouveaux services de télévision de qualité améliorée (des images couleur 625 lignes exemptes des défauts connus du P.A.L. ou du S.E.C.A.M., au format actuel 4/3 puis au nouveau format élargi 16/9, avec son stéréophonique et possibilité de sons multilingues).

Elle permet surtout qu'à partir de 1992 soient introduites progressivement sur ces réseaux Mac des émissions (des tranches de programmes) réalisées en haute définition qui bien entendu seraient reçues sans aucune conversion, ni boîte noire supplémentaire par le parc de récepteurs adaptés à la réception du Mac, en attendant que se constitue à partir des années 94/95 un parc de récepteurs haute définition.

Cette introduction progressive de la haute définition est essentielle tant pour les futurs téléspectateurs que pour les opérateurs de programmes.

Mais l'ambition de l'Europe n'est pas uniquement d'avoir la meilleure approche pour ses besoins, elle est de démontrer, grâce aux

études faites — en particulier la maîtrise des techniques numériques — qu'elle offre le meilleur choix pour un standard mondial unique d'échanges de programmes.

Aujourd'hui le support universel de production de haute qualité est le film 35 mm. La haute définition est souvent présentée comme le nouveau moyen de production des films cinématographiques, mais elle ne fera pas disparaître le cinéma. Elle le cotoiera encore pendant de longues années et ne pourra le remplacer que le jour où le 35 mm ne sera plus le meilleur outil de production et de distribution des films.

L'approche européenne de la haute définition vise en effet le plus haut niveau de qualité possible en tenant compte des futurs progrès technologiques et offre à cet égard le maximum d'atouts :

1. le choix de la fréquence de 50 images/seconde qui préserve la compatibilité totale avec la production cinématographique à 24/25 images/seconde ;

2. son étape finale, la plus ambitieuse du point de vue technique : prise de vue 1 250 lignes à balayage progressif avec traitement d'images en numérique, seul véritable façon de rivaliser avec la qualité de la production cinéma en 35 mm ;

3. une progression vers ce but final par étapes — sans urgence puisqu'il y a le 35 mm — en assurant parfaitement, la cohérence et la compatibilité entre les étapes successives ;

— images 625 lignes au format 16/9 à balayage progressif, pouvant être traitées et postproduites avec les équipements des actuelles chaînes numériques 4-2-2, avec un contenu informatif suffisant pour qu'elles puissent être, le moment venu, utilisées en doublant le nombre de lignes,

— images 1 250 lignes à balayage entrelacé offrant une résolution supérieure : les premières chaînes complètes de production de ces images existeront dès la fin de cette année,

— images 1 250 lignes à balayage progressif 50 images/seconde dont la définition, la stabilité et la qualité de restitution des mouvements sont supérieures à celles du 35 mm produites avec tous les avantages offerts par les chaînes de traitement numérique qui sont en cours de développement expérimental.

A ce terme final, la haute définition fera disparaître la distinction traditionnelle entre production cinématographique et production télévisuelle : il y aura les programmes de qualité et de prestige d'un côté, les programmes d'actualité, de sports, de consommation immédiate de l'autre : ces derniers pouvant être produits, pour la haute définition, aux meilleures conditions économiques grâce au choix possible de matériels adaptés.

Tous ces programmes pourraient être distribués, non seulement par les réseaux d'émission (satellite, câble) vers les écrans de réception individuelle, mais aussi par des réseaux spécialisés (ou par support physique : vidéodisque) vers des points de réception collective sur grands écrans ou écrans de taille moyenne : l'industrie européenne se préoccupe également de la mise au point des matériels nécessaires à cet environnement.

Parce qu'elle assure la meilleure cohérence, la conversion la plus facile et la plus économique avec les normes d'émission les plus largement utilisées au niveau mondial, mais aussi qu'elle est, à son stade final, la seule à pouvoir offrir au monde une véritable norme de production universelle capable d'être complémentaire avec le 35 mm, l'approche européenne est la plus réaliste.

CHAPITRE PREMIER

LA CHAÎNE DE PRODUCTION AUDIOVISUELLE

I. – ARCHITECTURE GÉNÉRALE

L'architecture du monde télévisuel peut se découper d'une façon simple :

sources d'images :

- images réelles :
 - d'origine électronique (vidéo) ;
 - d'origine photochimique (film) ;
- images artificielles :
 - générateurs de mires et d'écriture ;
 - synthèse d'images ;

traitement des images :

- mélanges ;
- générations d'effets ;
- enregistrement-lecture ;
- montage.

L'ensemble de tous ces moyens est coordonné par des appareils permettant de synchroniser, distribuer, contrôler et d'asservir ces différents sous-ensembles dans une même cohérence.

Diffusion :

- terrestre ;
- satellites ;
- câbles.

Distribution :

- vidéo → film : par film ;
- vidéo → vidéo : par cassette ;
- film → vidéo : par disque.

Réception :

- écrans sur tubes ;
- projection-rétroprojection ;
- écrans L.C.D. (à cristaux liquides).

II. — LES MATÉRIELS PROFESSIONNELS DE PRODUCTION

A. — Les sources d'images.

1. LES IMAGES RÉELLES

1.1. *Les caméras vidéo.*

Il existe actuellement plusieurs types de caméras utilisées pour la fabrication d'images de télévision :

— *La caméra de studio ou de reportage.*

Celle-ci est d'un fort encombrement, parce qu'équipée d'optiques à grande variation de focale afin qu'avec un minimum de déplacement on puisse aller chercher le détail au milieu du décor, ou un événement sportif éloigné. L'ensemble se déplace sur des pieds lourds, son poids important n'est pas un inconvénient car il permet une meilleure stabilité des images, notamment lors du travelling. Le prix de l'optique de la caméra est maintenant égal sinon supérieur au prix de l'électronique.

— *La caméra portable.*

Elle est conçue avec les mêmes caractéristiques électroniques que la caméra lourde de plateau mais équipée d'optiques de plus petites dimensions. Le but ici est de rendre au contraire la caméra la plus légère et la moins imposante possible afin de permettre au cadreur de s'intégrer au plus près de l'action.

– *La caméra légère et camescope.*

Une faible consommation pour un maximum d'autonomie est un critère essentiel pour ce type de caméra.

L'allègement de ces ensembles a été remarquable ces dernières années ; l'ensemble caméra-magnétoscope de qualité professionnelle, avec une possibilité d'enregistrement de trente minutes, pèse moins de sept kilos.

– *Les capteurs d'images.*

Technologiquement, les différents tubes de prise de vues sont utilisés tels que : Saticon - Vidicon - Plombicon, mais l'apparition des capteurs C.C.D. (*) est en train de faciliter la fabrication d'images dans les circonstances difficiles. Si certaines caractéristiques des C.C.D. sont encore légèrement inférieures à celles des tubes (bande passante) leurs nombreux avantages :

- robustesse,
- faible poids - faible consommation,
- facilité et rapidité d'utilisation,
- grande sensibilité,
- plus grande dynamique,

risquent de faire l'unanimité et provoquer la disparition à plus ou moins long terme des tubes de prise de vues vidéo. Comme les capteurs C.C.D. sont très sensibles, on va pouvoir se permettre de faire varier les temps d'exposition de chacune des 25 images (ou 50 trames) impressionnées sur le capteur. La quantité de lumière reçue sera diminuée, mais comme dans l'appareil photographique, les images prises au millième de seconde sont plus nettes que les images prises au cinquantième dans des actions rapides. La mise au point d'un obturateur électronique à vitesse variable permet de faire des ralentis magnétoscopes parfaitement nets.

La maîtrise des technologies de fabrication des capteurs C.C.D. (pour arriver à un processus « 0 défaut » qui permet les prix compétitifs) est un des enjeux essentiels de la compétition actuelle Europe-Japon dans la guerre des composants.

(*) C.C.D. : Charge Coupled Device - D.T.C. : Dispositif à transfert de charge.

1.2. *Les caméras film.*

La majorité de l'occupation de l'écran audiovisuel est toujours constituée de productions d'origine film (cinéma et télévisuelle) : surtout en 35 mm (en 16 mm pour la production nationale européenne).

Si l'on considère :

- que la technique du tournage film est parfaitement rôtée ;
- que les progrès des supports chimiques et des optiques permettent de doubler les performances techniques tous les dix ans ;
- que le 35 mm est aujourd'hui le seul support universel de production,

il est logique de trouver une gamme complète et performante de caméras film, produites essentiellement par l'industrie américaine ou européenne, adaptée à toutes les conditions d'utilisation imposées par les professionnels du cinéma (robustesse, maniabilité, ergonomie étudiée, pas de câbles...).

Récemment sont apparues sur le marché des caméras de prise de vues film qui permettent d'incruster sur la pellicule pendant le tournage un code temporel similaire et (compatible) avec le code temporel inscrit sur la bande vidéo ce qui rend maintenant possible la postproduction vidéo de matériaux tournés en film.

1.3. *Les télécinémas.*

Les télécinémas sont les appareils de lecture de film 16 mm ou 35 mm qui transforment les images optiques de la pellicule en signaux vidéo. Dans les systèmes en 60 périodes il va falloir fabriquer 30 images à partir de 24 images du film. Ceci est obtenu de la façon la plus simple par la répétition alternative de deux fois et trois fois des images consécutives du film. Cette répétition alternée est la cause d'une composante basse fréquence qui entraîne des défauts dans les mouvements (artéfacts = effets de saccades). La complexité est encore aggravée si l'on veut respecter la fréquence exacte des pays 60 c/s qui est en fait de 59,94 c/s. Le respect des vitesses exactes des deux supports de film et vidéo sans défaut de restitution des mouvements nécessiterait de nombreuses mémoires d'images et de puissantes unités de calculs, c'est la raison pour laquelle des pays 60 c/s font des propositions de tournage film 35 mm en 30 images (en trois ou quatre perforations par image) ;

les conséquences d'une telle modification sur le parc mondial de projecteurs de salle, de télécinémas, de tables de montage, etc. rendent cette proposition inacceptable.

1.4. *Les analyseurs d'images fixes (A.I.F.).*

Ce sont des appareils qui traduisent également des images réelles, en général des diapositives 24 × 36, en signaux vidéo.

Aujourd'hui les appareils les plus perfectionnés sont associés à des mémoires à disque dur qui permettent de stocker en « banques de données » plusieurs milliers d'images ainsi traduites en vidéo.

2. LES IMAGES ARTIFICIELLES

2.1. *Les générateurs d'écriture (de mire, de logos...).*

Les générateurs d'écriture (ou de caractères) sont devenus aujourd'hui des outils indispensables pour toute production télévisuelle, ils permettent non seulement de composer des textes avec tous types de caractères en 2 D ou 3 D (*), mais aussi de fournir des logos, des sigles, des animations simples.

A cette catégorie d'appareils peuvent être rattachés tous les générateurs de mires de signaux de référence ou de signaux tests caractérisant la norme utilisée.

2.2. *Images de synthèse.*

Les images de synthèse sont en 2 D ou 3 D.

Elles sont soit réalisées manuellement à partir de palette graphique, soit calculées par des algorithmes codés. Le choix de matériels est maintenant très vaste, les écarts de coûts entre appareils pouvant être très importants. Leur conception d'origine étant la plupart du temps informatique, il est parfois nécessaire d'utiliser des convertisseurs d'adaptation à la norme télévision. La production de ce type d'images est souvent connue sous le nom de « Computer graphics ».

(*) 2 D caractérise une image dont les données n'existent qu'en deux dimensions et qui est projetée sur un plan. 3 D caractérise une image dont les données existent en trois dimensions (en volume) et dont on peut choisir la représentation sur un plan à deux dimensions.

B. — Le traitement des images.

1. LE MÉLANGEUR

C'est l'organe central d'une régie de production ou de postproduction.

Il reçoit les différentes sources d'image :

- les caméras ;
- les magnétoscopes ;
- les générateurs de mires, d'effets et de caractères ;
- les télécinémas et A.I.F. ;
- les images de synthèse.

Il enchaîne, mélange, découpe les images en conservant leurs dimensions d'origine.

Il les distribue vers différentes destinations en vue de :

- manipulations touchant à la structure de l'image (effets spéciaux) ;
- enregistrements (magnétoscopes) ;
- distribution (diffusion de programme).

Il existe divers types de mélangeur travaillant dans des normes et standards différents :

- S.E.C.A.M. ;
- P.A.L. ou N.T.S.C. ;
- composantes analogiques ;
- composantes numériques 4-2-2 (625 1, et/ou 525 lignes) (*).

(*) Thomson vidéo équipement a, le premier, conçu ce type de matériel et le commercialise depuis deux ans.

2. LES EFFETS SPÉCIAUX

Il n'est pratiquement pas une émission d'actualité, de variétés ou de sports qui ne fasse appel à des générateurs d'effets.

Certains sont intégrés au mélangeur, ce sont ceux qui découpent l'image sans en modifier les dimensions.

En particulier il est possible de découper, d'extraire certaines parties d'images pour les réinsérer dans d'autres cadres. La technologie courante consiste à découper des personnages ou des objets dont la prise de vues est faite sur fond bleu, technique similaire à celle du cinéma. Ces incrustateurs sont intégrés ou externes au mélangeur.

Depuis l'apparition d'appareils permettant la numérisation des signaux analogiques, il est possible par des calculateurs rapides d'effectuer des rotations, perspectives, réductions, agrandissements. Il existe maintenant de nombreux types de générateurs d'effets spéciaux numériques dans toutes les gammes de prix.

Une nouvelle génération de systèmes est apparue récemment sur le marché. Sous une forme très intégrée ils mettent en synergie toute une panoplie d'appareils complémentaires tels que palettes, ramcordeurs (*) générateurs. Ce sont de véritables ensembles autonomes de postproduction.

3. LES ENREGISTREURS (MAGNÉTOSCOPES)

Le magnétoscope professionnel a maintenant trente ans et il est devenu le **maillon indispensable de la production vidéo**. Son utilisation a évolué en même temps que ses possibilités et si les premières machines atteignaient des poids voisins de la tonne, aujourd'hui pour une qualité supérieure, ce poids avoisine le kilo. Malheureusement la multiplicité des standards et des formats incompatibles entre eux rend les échanges difficiles et conduit inévitablement à un suréquipement. Les magnétoscopes étaient jusqu'à ces dernières années des enregistreurs-lecteurs de signaux vidéo codés correspondant à la norme du pays. Il est apparu récemment une nouvelle génération de machines enregistrant en composantes analogiques ou numériques, facilitant quelque peu les échanges entre pays de même fréquence (50 ou 60 Hz) ; les choix étant de plus en plus orientés vers les enregistreurs en composantes numériques car

(*) Ramcordeur : enregistreur statique.

ils sont les seuls à permettre les multiples générations (*) sans perte de qualité.

Les différents types de matériels :

	Formats du support magnétique
— magnétoscope-camescope :	
● composantes avec magnéto. intégré	cassette 1/2 pouce
● composite avec magnéto. séparé	
— magnétoscope portable :	
● composite format B (**)	bande 1 pouce
● composite format C (**)	bande 1 pouce
● composite numérique (D2)	cassette 3/4 pouce
● composantes analogiques	cassette 1/2 pouce
— magnétoscope de régie :	
● composite format B	bande 1 pouce
● composite format C	bande 1 pouce
● composite numérique (D2)	cassette 3/4 pouce
● composantes analogiques	cassette 1/2 pouce
● composantes numériques (D1)	cassette 3/4 pouce

D'autres machines qu'il est difficile de classer sous une rubrique particulière sont les enregistreurs sur disques magnétiques ou optomagnétiques qui sont en général associés à des effets spéciaux. Il y a également les enregistreurs appelés « ramcordeurs » cités précédemment et dont l'usage va croissant.

Aujourd'hui l'emploi de magnétoscopes composantes analogiques se généralise en Europe, les Etats-Unis semblant préférer l'usage de magnétoscopes composites numériques.

L'avance technologique de l'industrie japonaise dans le domaine des enregistreurs magnétiques est certaine. Cependant l'Europe (en particulier B.T.S.) (***) tente de combler ce retard. En effet, plusieurs technologies sont en cause :

(*) Ici génération signifie une étape « lecture » suivie d'une étape « enregistrement » : en production il est nécessaire de procéder ainsi par copies successives (ou générations) pour obtenir le produit final.

(**) Les formats B et C caractérisent les deux types de magnétoscopes 1 pouce introduits sur le marché.

(***) B.T.S. : Broadcast television system, né de la fusion des départements broadcast de Bosch et de Philips.

- l'intégration très poussée de l'électronique ;
- la fabrication mécanique de précision (têtes vidéo) ;
- la fabrication des bandes magnétiques à particules métalliques destinées aux enregistreurs composantes analogiques (Sony est seul aujourd'hui capable de fournir cette bande).

4. LES MONTAGES

Ils permettent, à partir de signaux lus par 2, 3, 4... magnétoscopes de lecture, d'effectuer l'assemblage des séquences constituant le produit final, par recopie sur magnétoscope. En général, le système de montage est associé à un mélangeur pour constituer une régie de postproduction.

Les systèmes de montages modernes sont des micro-ordinateurs qui gèrent des listes de points d'entrée et de sortie des séquences retenues, définies par le code temporel du signal vidéo ; les systèmes commandent également automatiquement les magnétoscopes, le mélangeur, les effets spéciaux. Les montages se différencient par les capacités de leur logiciel.

Il y a deux façons de procéder en matière de montage :

a) montage « on-line » :

— on monte directement à partir des originaux le produit final, ce qui, compte tenu de la nature des opérations de trucage et d'effets spéciaux, peut conduire à 3, 4... générations successives ;

b) montage « off-line » :

— on monte à partir de « copies travail » effectuées par copie des originaux sur cassettes (demain sur disque). La « liste » de montage permet d'effectuer la conformité. Ces systèmes de montage « off-line » mettent en œuvre un équipement de moindre coût.

Les appareils de montage s'adaptent à tous les standards mais les régies de postproduction (mélangeur et magnétoscopes) sont en général spécifique d'une norme.

5. APPAREILS DE CONTRÔLE DE MESURES (MONITORINGS)

Ce sont des appareils de contrôle et de mesure des signaux d'image ainsi que ceux qui permettent de visualiser les images dans des conditions de qualité et de fiabilité nécessaire à l'exécution des différentes tâches de la chaîne de production : réalisation, directeur photo, ingénieur vision, montage.

Leurs principales caractéristiques sont :

- stabilité ;
- définition ;
- rendu colorimétrique ;
- étalonnage automatique ;
- géométrie.

Ce sont des appareils professionnels dont les coûts sont plus élevés que ceux des appareils grand public.

C. — L'adéquation des moyens de production aux produits.

Il y a donc plusieurs chaînes de fabrication des images : les chaînes de fabrication film sur support 35 mm ou 16 mm, les chaînes de fabrication vidéo mettant en œuvre soit des matériels dits de studio (« vidéo broadcast »), soit des matériels plus légers dit de reportage électronique « E.N.G.-E.F.P. » *); existent aussi maintenant des chaînes de fabrication d'images entièrement synthétiques (« Computer Graphics »).

La production cinématographique utilise quasi exclusivement le support film (essentiellement le 35 mm), **la production télévisuelle utilise toutes les chaînes de fabrication film ou vidéo.**

Jusqu'à un passé récent, et plus spécialement en Europe, production cinéma et production télévisuelle constituaient deux domaines bien séparés.

Aujourd'hui ces deux marchés ont tendance à se fondre. Quelles en sont les causes ?

1. UNE COMPÉTITION ACCRUE ENTRE LES PROGRAMMATEURS

La multiplication des supports de diffusion (réseaux terrestres, câble, satellites), l'arrivée des chaînes commerciales (à péage ou financées par la publicité) conduisent maintenant en Europe — comme c'était déjà le cas aux Etats-Unis — à une situation de compétition aiguë pour l'acquisition de programmes.

* E.N.G. : Electronic News Gathering.-E.F.P. : Electronic Freed Production.

Cette situation a deux composantes :

— **la nécessité de rendre les programmes plus attractifs**, ce qui conduit généralement à augmenter leur coût de production pour gagner quelques points d'audience supplémentaires. Ceci est particulièrement vrai en fiction — produit attractif par excellence — par la recherche de textes originaux plus élaborés, par le recours à une distribution de prestige.

— **une forte décroissance des taux moyens d'audience**, ce qui rend de plus en plus incertain l'amortissement du coût des programmes et va conduire à une offre limitée de productions originales de qualité.

2. LA RECHERCHE DES ÉQUILIBRES ÉCONOMIQUES

Placés devant cette situation liée d'une part à une transformation profonde du paysage audiovisuel, mais aussi à une modification tout aussi importante des modes de consommation du produit cinématographique (baisse de fréquentation des salles, montée de la consommation sous forme de vidéocassettes, diffusion plus importante et plus rapide sur les chaînes de TV des films cinéma), les producteurs vont chercher les données d'un nouvel équilibre économique.

a) *Face à l'offre limitée de programmes de haute qualité, donc à coûts de production plus difficiles à amortir, on constate :*

— **un mouvement d'internationalisation des programmes** : les produits doivent être revalorisés sur de plus vastes marchés que sur les seuls marchés nationaux. Les échanges internationaux de programmes s'accroissent, mais chaque pays veut aussi maintenir une industrie de programme nationale et cherche donc à mettre en place une politique de coproduction à l'échelle européenne, voire mondiale.

— **la recherche d'une approche multimédia** : un même produit doit être diffusé sur des marchés différents. Aux États-Unis, depuis longtemps, les productions télévisuelles réalisées sur support 35 mm sont commercialisables dans les circuits cinématographiques (80 % du « prime time » est réalisé en 35 mm). Aujourd'hui, en Europe, les chaînes de TV investissent de plus en plus dans la production cinématographique pour disposer — après un certain délai — des produits de qualité nécessaires. Ces produits sont d'ailleurs conçus pour pouvoir être utilisés soit sous forme d'un grand film, soit sous forme de plusieurs épisodes d'une série plus longue (4 fois 1 h 30).

Ces deux mouvements concomittants conduisent à privilégier la production sur le seul support de diffusion internationale utilisable tant pour la télévision que pour le cinéma : **le film 35 mm.**

b) *Pour limiter l'augmentation des coûts de production, qui porte essentiellement sur la partie « haute » du devis (« above the line ») c'est-à-dire sur le soft, va être recherché tout ce qui peut accroître la productivité et donc diminuer la partie « basse » du devis (« below the line ») (*)*.

Chacun sait que la vidéo offre à cet égard des possibilités considérables par rapport à l'utilisation traditionnelle du film :

- au niveau du tournage ;
- mais surtout au niveau de la postproduction en vidéo et des effets spéciaux de plus en plus recherchés.

L'emploi de la vidéo, au-delà des gains de productivité qu'elle permet à chacun de ces deux stades de la fabrication, conduit surtout à une réduction importante des délais de livraison des produits donc à une meilleure rotation des capitaux investis dans la production et à une réduction des frais financiers.

Mais jusqu'à maintenant la qualité de la vidéo 625 l (ou 525 l) et l'impossibilité de la transférer correctement sur support film 35 mm interdisent totalement d'en concevoir l'utilisation pour des programmes de haut niveau.

3. L'ADÉQUATION DES MOYENS DE PRODUCTION AUX PRODUITS

A partir des constatations précédentes on s'aperçoit que l'analyse des conditions actuelles de production des programmes fait apparaître un lien très net entre le type de programme et le format utilisé pour sa fabrication.

Plusieurs familles de produits peuvent ainsi être distinguées :

— **la fiction cinématographique** : ce genre recouvre les films longs métrages destinés prioritairement à une exploitation en salle. Même si une exploitation télévision est prévue, le format 35 mm reste dominant puisque d'une part les salles sont équipées de projecteurs 35 mm, et que, d'autre part, la valorisation du film résulte de son succès commercial sur grand écran. Il faut cependant bien noter qu'aujourd'hui plus de 50 %

(*) Dans le devis de production — et plus spécialement dans les devis américains — sont en général distinguées :

- la partie « créativité » : scénario, adaptation, dialogues, distribution, musique, droits... ;
- et la partie « technique » : matériels, équipes, supports, laboratoire, postproduction.

Une ligne fictive est censée séparer ces deux parties du devis.

de l'amortissement d'un film provient de « recettes TV » (télévision à péage et câble, vidéocassettes, diffusion sur réseaux terrestres en clair).

– **la fiction télévisuelle** (téléfilms, séries, dramatiques,) est le genre commercial qui connaît aujourd'hui la plus grande mutation. Deux tendances se font jour, toutes deux allant dans le même sens, à savoir la disparition progressive du 16 mm encore aujourd'hui format privilégié en Europe. Cette distinction s'opère en fonction des budgets :

– *pour les fictions haut de gamme* les producteurs recourent de plus en plus souvent au 35 mm afin de pouvoir valoriser le programme sur d'autres canaux de diffusion : de ce fait, les fictions haut de gamme sont produites non plus uniquement pour la télévision mais dans une perspective multimédia. L'emploi du super 16 permet sans majorer le budget de production d'obtenir un produit final qui, gonflé en 35 mm aura une qualité presque équivalente,

– *pour les fictions bas de gamme* (séries, sitcoms), le recours à la vidéo a tendance à se généraliser, ceci d'autant plus que le besoin de diffuser un grand nombre de programmes entraîne une recherche de rentabilité même si elle s'assortit d'une baisse de la qualité générale au profit d'une plus grande variété.

– **les produits de consommation télévisuelle** (informations, sports, retransmissions, jeux, variétés...) sont des produits qui ne trouvent pas de valorisation en-dehors de la télévision. Si la vidéo « studios » reste le format dominant, on assiste à la montée en charge de la vidéo légère concernant les reportages, les magazines, le spectacle vivant ou le sport, au détriment du 16 mm (quasi-disparu) ou de la vidéo lourde ;

– **les productions spécifiques** (dessins animés, films publicitaires, génériques, bandes annonces...) : le format dépend principalement du budget alloué à la réalisation du programme. L'importance de la qualité pour ces programmes, courts en durée, nécessite le recours au support 35 mm ou aux images de synthèse, pour les films publicitaires et les bandes annonces. Aux motifs de qualité s'ajoutent des raisons historiques puisque les films publicitaires étaient produits pour être distribués dans les salles cinématographiques. Une des caractéristiques de ces programmes est leur degré d'ouverture aux nouvelles techniques de production. La production vidéo numérique avec tous les traitements d'images qu'elle permet a trouvé avec succès sur ce type de marché ses premières applications.

4. LES TENDANCES ET LA PLACE DE LA HAUTE DÉFINITION

L'évolution du système audiovisuel et la multiplicité des circuits de distribution devraient renforcer dans les prochaines années les tendances actuelles à une dichotomie entre :

- d'un côté, les programmes destinés à une valorisation multimédia réclamant une qualité d'image supérieure ;
- de l'autre, ceux destinés à former l'assortiment d'une grille de programmation.

La vidéo haute définition peut être considérée comme un nouveau format de production à côté des formats traditionnels. Elle est normalement appelée à être complémentaire du film 35 mm pour les programmes haut de gamme à vocation multimédia, mais il faut pour cela qu'elle réponde à deux conditions essentielles :

- **l'universalité** : appelée à être distribuée dans les actuels circuits de l'exploitation cinématographique ; il faut pouvoir effectuer le transfert d'un produit haute définition sur support film 35 mm : ce que les Japonais ont bien compris, ce que les Européens doivent rapidement mettre au point.

En effet, pour la production haut de gamme, la valorisation d'un film s'opère d'abord par son exploitation en salle, la notoriété du film acquise en salle constituant l'élément majeur de structuration de l'audience. Par ailleurs, la norme de production du signal haute définition doit être choisie pour permettre une utilisation avec le maximum de qualité et le minimum de surcoût dans la majorité des pays du monde, quelles que soient leurs normes de diffusion haute définition.

- **Une qualité et des conditions d'emploi comparables** (sinon supérieures) à celles du 35 mm.

La qualité est celle requise pour des projections sur grand écran en salle (par vidéoprojecteurs ou suite à un transfert sur pellicule 35 mm) mais c'est aussi la qualité intrinsèque de l'image dans ses caractéristiques colorimétriques, dans sa capacité de restituer les mouvements, dans sa définition, dans son absence de défauts. Sans oublier la qualité de la restitution sonore accompagnant l'image.

Les conditions d'emploi concernent non seulement la souplesse et la maniabilité des matériels, la sensibilité des caméras de prise de vues, mais aussi les possibilités de traitement de l'image, de réalisation d'effets spéciaux, de postproduction.

Les nombreuses réalisations déjà effectuées tant en Amérique du Nord et au Japon, qu'en Europe avec des matériels (de deuxième génération) construits par l'industrie japonaise, ont prouvé que la voie était ouverte (et que la haute définition ouvrait des possibilités nouvelles).

Même si la vidéo haute définition s'inscrit déjà avec certitude pour répondre à des besoins de production du type publicité, clips, génériques et pour réaliser des effets spéciaux (longs et coûteux en 35 mm) en combinaison avec des images de synthèse, elle n'a pas encore les capacités suffisantes pour convaincre l'industrie cinématographique (cf. chap. III).

III. — LES NORMES DE PRODUCTION ET DE DIFFUSION ACTUELLES

La télévision est en perpétuelle évolution technique et il existe toujours plusieurs systèmes (ou standard) de production incompatibles entre eux.

Une première caractéristique est la **fréquence ligne** :

— 625 lignes par image pour les pays dont la fréquence du secteur est de 50 périodes par seconde ;

— 525 lignes pour les pays dont la fréquence du secteur est de 60 périodes par seconde.

Une seconde caractéristique est le choix du **système de codage couleur**. Les images en couleurs sont toujours élaborées, que ce soit en imprimerie, en photographie ou en télévision à partir de trois couleurs fondamentales, rouge-vert-bleu (principe de la trichromie).

En télévision, les signaux correspondant aux trois couleurs sont d'abord additionnés avec certains coefficients, pour former trois signaux de base, à savoir un signal luminance et deux signaux de chrominance : le signal de luminance correspond à l'image noir et blanc, les signaux de chrominance permettent de restituer de la couleur.

Ces trois signaux sont ensuite combinés pour former un signal unique comportant toutes les informations : c'est le principe du **codage couleur** qui permet d'obtenir un **signal composite**. Plusieurs systèmes de codage sont utilisés :

- S.E.C.A.M. : Système électronique couleur à mémoire ;
- P.A.L. : Phase Alternative Line ;
- N.T.S.C. : National Television System Committee.

Ces différents systèmes (ou standard) de production devront être obligatoirement convertis dans le système (ou standard) du pays diffuseur par une série d'appareils que l'on appelle des « transcodeurs » ou des « convertisseurs » selon la complexité des signaux à transposer (transcodage : P.A.L. → S.E.C.A.M. : même nombre de lignes : 625 lignes ; conversion : P.A.L. 625-50 → N.T.S.C. 525-60).

Depuis quelques années se généralisent des normes non codées appelées **composantes** qui simplifient les passages entre standards en conservant la qualité du signal vidéo.

Ce sont en *production* :

- **les composantes analogiques** qui sont les valeurs modulées en amplitude des trois couleurs fondamentales rouge-vert-bleu dont le mélange, dans une proportion variable, caractérise la couleur de chaque point d'une image analysée par le déplacement d'un spot ;

- **les composantes numériques** qui représentent également les variations d'amplitude des trois couleurs fondamentales rouge-vert-bleu mais dont l'expression est traduite sous forme d'un train d'impulsions numériques selon la *recommandation 601 du C.C.I.R.* dite norme 4-2-2.

En *diffusion* :

L'utilisation des composantes va faire apparaître de nouvelles normes. Jusqu'à présent, la chaîne du signal qui va de la production à la diffusion et à la réception est monolithique : le signal produit en S.E.C.A.M. est transmis en S.E.C.A.M., diffusé en S.E.C.A.M. Il en est de même pour le P.A.L. ou le N.T.S.C.

Le codage du signal (dit signal composite) est une nécessité imposée pour la diffusion des trois composantes couleur dans une bande passante réduite.

Aujourd'hui, le progrès technologique des composantes électroniques permet, par numérisation du signal, de transmettre jusqu'au télé-spectateur simultanément les trois composantes avec les « compressions » nécessaires.

C'est ainsi que pour la diffusion est apparue une nouvelle famille de standards composantes non codées : la famille Mac comportant les standards D2-Mac Paquets, D Mac. Ces standards sont utilisés par les nouveaux vecteurs de diffusion : satellite de diffusion directe, câble. Rien n'interdit théoriquement leur emploi sur les réseaux terrestres.

La haute définition est conçue pour s'adapter directement à cette nouvelle famille des composantes.

**RÉCAPITULATIF DES NORMES DES SYSTÈMES DE PRODUCTION
ET DES SYSTÈMES DE DIFFUSION**

Systèmes de production	Traitements d'adaptation des images entre systèmes de production et systèmes de diffusion	Système de diffusion
S.E.C.A.M. 625 lignes P.A.L. 625 lignes P.A.L. 525 lignes N.T.S.C. 525 lignes Composantes 625 lignes : - analogiques - numériques Composantes 525 lignes : - analogiques - numériques Composantes T.V.H.D. : - analogiques - numériques	TRANSCODAGES CONVERSIONS FILTRAGES	<p align="center">Basse définition.</p> → S.E.C.A.M. → P.A.L. → N.T.S.C. → D2-Mac → D-Mac <p align="center">Haute définition.</p> HD-Mac Muse(s) Projets américains

CHAPITRE DEUXIÈME

LES NORMES DE PRODUCTION EN HAUTE DÉFINITION

Le concept de la télévision haute définition a été introduit par les Japonais (au début des années 80 suite à des études effectuées dans les laboratoires de la N.H.K. depuis le milieu des années 70).

L'instance internationale de normalisation en matière de radiodiffusion (radio et TV) et d'échanges de programmes — le C.C.I.R. — a pris en compte dès 1983 l'étude d'une norme de production haute définition.

La norme haute définition qui doit servir de cadre aux outils de production doit remplir plusieurs conditions :

- pour une qualité maximale des images, elle doit permettre d'assurer l'enregistrement et les traitements en progressif et en numérique ;

- étant donné la multiplicité des relations avec le cinéma, elle doit garantir la meilleure compatibilité possible avec la fréquence cinématographique, soit le 50 Hertz ;

- avoir avec les normes de diffusion actuelles une compatibilité qui assure à la fois des conversions économiques et qui respectent la qualité des enregistrements.

Ainsi la norme de production répondrait à ces deux critères : le respect de la qualité intrinsèque et la capacité d'échange de programmes.

Avant de passer en revue les différentes propositions de normes H.D. actuellement en présence, un bref résumé historique du rôle et du travail déjà effectué par le C.C.I.R. est donné en introduction à ce chapitre. L'analyse des normes sera suivie d'un exposé des positions actuelles des principales instances internationales qui ont une influence sur les débats du C.C.I.R. et sur le choix d'une (ou de) norme(s) H.D.

I. – LE C.C.I.R. ET LA T.V.H.D.

A. – Présentation du C.C.I.R.

Organisme international dans la mouvance de l'O.N.U., le C.C.I.R., Comité consultatif international pour la radiocommunication, a pour mission d'émettre des « recommandations » de caractère technique concernant la radio et la télévision. Ces recommandations ont pour but d'établir des règles communes pour l'ensemble des Etats membres de l'Organisation des Nations Unies et de tenter ainsi une relative homogénéisation dans le monde des normes en vigueur. En tant qu'organe inter-administrations de régulation, il édite des spécifications en recommandant de les utiliser, mais ne peut en aucune façon imposer leur utilisation.

Le travail du C.C.I.R. est organisé par grands thèmes répartis entre des commissions d'études elles-mêmes subdivisées en groupes de travail.

Les réunions plénières, où les recommandations finales sont prises, ont lieu tous les quatre ans, la prochaine étant en 1990. Entre-temps, les commissions d'études se seront réunies en comité final pour préparer la réunion plénière six mois avant celles-ci.

En cours de cycle d'étude, deux ans avant la réunion plénière, une réunion intérimaire tient compte des avancées des projets.

Enfin, entre la réunion intérimaire et la réunion finale, des groupes de travail se réunissent pour approfondir les sujets concernés.

Le C.C.I.R. comprend ainsi une commission d'étude sur la télévision, la commission XI, présidée par un Soviétique, M. Krivocheiev.

A l'intérieur de cette commission, les groupes de travail concernant la T.V.H.D. sont :

– Le groupe de travail XI/6.

Il étudie les normes de production T.V.H.D. ainsi que la norme de diffusion terrestre. Il est présidé par M. Tadokoro (ex-N.H.K., maintenant Ikegami).

– Le groupe de travail XI/7.

Il s'occupe principalement des normes numériques. En 1982, la réunion plénière du C.C.I.R. avait recommandé comme norme mond-

iale pour la production numérique d'images télévisées, la norme 4-2-2 (recommandation 601 du C.C.I.R.). Ce groupe est présidé par M. Heightman (Royaume-Uni).

— Le groupe de travail X/XI/3.

Il s'intéresse principalement aux normes d'émission par satellite. C'est dans le cadre de ce groupe que la norme D2-Mac, lors d'une réunion intérimaire, a été reconnue. Ce groupe est sous la présidence de M. Makitalo (Suède, télécommunications).

B. — Historique des travaux sur la haute définition.

En septembre 1983, le groupe de travail XI/6 était créé pour étudier l'opportunité d'une recommandation d'un standard international unique de production, pour la télévision haute définition, cette recommandation devant être examinée lors de la session plénière de 1986 à Dubrovnik.

En octobre 1985, la France, les Pays-Bas et l'Australie obtenaient que le groupe de travail du C.C.I.R. n'adopte pas un « projet » de recommandation, comme il avait été demandé dès 1982 par les Japonais, mais seulement une « proposition » de recommandation en faveur du système N.H.K. de production haute définition. Ce qui, suivant la terminologie juridique du C.C.I.R., rendrait toute tentative d'adoption dudit standard lors de la réunion plénière de mai 1986 à Dubrovnik impossible.

Ceci ne suffisait pas : en effet, la C.B.S., prenant complètement le parti de faire adopter la norme N.H.K. lors de la réunion de Dubrovnik, se livrait à un lobbying international très actif.

Il apparut alors qu'il fallait que l'Europe puisse opposer au projet japonais une proposition bâtie sur une approche technologique plus ambitieuse. Elle était particulièrement bien placée pour le faire puisque depuis dix ans, les laboratoires européens étudiaient une évolution de la TV vers une qualité améliorée passant par l'utilisation des technologies numériques et la diffusion par satellite de diffusion directe. Le projet japonais, par son approche « révolutionnaire », c'est-à-dire l'introduction directe de la T.V.H.D. de façon incompatible, ruinait complètement l'évolution envisagée par les Européens, qui avait déjà fait l'objet de nombreux travaux (la norme numérique 4-2-2 est née dans les laboratoires du C.C.E.T.T., de la B.B.C. et de l'I.B.A. — ainsi que les nouvelles normes de diffusion de la famille Mac).

Deux démarches parallèles ont été menées entre octobre 85 et mai 86 (réunion de Dubrovnik) :

— la mise au point d'une proposition de norme H.D. de production compatible avec la future diffusion en Mac, et l'introduction d'un concept de balayage progressif (*) ;

— la recherche d'une communauté de point de vue de l'ensemble des pays européens à partir du noyau franco-hollandais auquel se sont ralliés la Grande-Bretagne, l'Allemagne (administrations des P.T.T. et de l'industrie) puis sous l'impulsion de la Commission européenne de Bruxelles l'ensemble des pays de la Communauté.

En mai 1986 à Dubrovnik, pour la réunion plénière du C.C.I.R. l'opposition européenne a été renforcée par le soutien des pays de l'Europe de l'Est et par celui d'une majorité de pays du tiers monde qui, au-delà des enjeux industriels et technologiques voyaient dans cette proposition les risques d'un contrôle de la fabrication industrielle des équipements par les Japonais et de la réalisation des programmes par les Américains. La proposition japonaise de norme de production H.D. n'a pas été retenue par l'assemblée plénière.

Le C.C.I.R. dans un esprit de compromis a décidé d'ouvrir une période d'étude complémentaire (originellement de deux ans) pour permettre aux Européens de développer et démontrer la faisabilité d'un système T.V.H.D. basé sur la philosophie de compatibilité et d'évolution.

C'est pourquoi et compte tenu d'une certaine paralysie au sein de l'U.E.R. (**) les travaux ont été poursuivis activement tant par les industriels que par les laboratoires des radiodiffuseurs, dans le cadre du projet Eurêka 95 (haute définition) lancé par la conférence des ministres en juin 1986.

En juin 1987, les Européens ont formellement notifié les valeurs paramétriques de leur système T.V.H.D. Ces valeurs ont reçu le même statut officiel au sein du C.C.I.R. que les valeurs proposées par le Japon.

Le calendrier du C.C.I.R. prévoit que l'Europe soit en mesure de démontrer la réalisation pratique de ses concepts T.V.H.D. avant la réunion de mai 1989 du groupe d'étude XI du C.C.I.R.

La technologie à démontrer est celle dite de la chaîne T.V. intégrale, qui va de l'environnement du studio (caméras, enregistreurs, mélangeurs, tables de montage, transfert film-vidéo...), à l'environne-

(*) Cf. document : « une approche pour le développement d'une norme mondiale haute définition compatible avec les systèmes existants » rédigée par le groupe de travail français présidé par Michel Oudin sous l'égide du ministère français de l'Industrie et en liaison étroite avec les industriels Thomson et Philips. Ce document a été ensuite largement diffusé à travers le canal diplomatique pour faire connaître l'argumentation européenne opposable à l'argumentation C.B.S./N.H.K. elle-même largement diffusée.

(**) U.E.R. : Union européenne de radiodiffusion à l'époque où des radiodiffuseurs allemands et la R.A.I. ne partageaient pas complètement les vues sur l'approche évolutive et compatible.

ment domestique (écran T.V., magnétoscope...), en passant par la voie de transmission (satellite).

Le progrès réalisé par les industriels européens est tel que lors de la convention internationale de radiodiffusion (I.B.C.) à Brighton, en septembre 1988, la présentation d'une chaîne complète en H.D., selon la norme 1250/50, a remporté un succès indéniable.

La « bataille de Dubrovnik » a été un moyen de montrer que les Européens étaient capables, quand de grands intérêts étaient en jeu, de se réunir et de former une coalition homogène.

Aujourd'hui, à la veille de la réunion exceptionnelle du groupe XI et à quelques mois de la réunion plénière de mai 1990, des propositions nouvelles sont encore enregistrées et font l'objet d'études approfondies. Ces positions « politiques » d'origine des différents pays évoluent (particulièrement les Etats-Unis). C'est pourquoi l'examen des familles des normes présentées au C.C.I.R. et des enjeux qu'elles sous-entendent est important.

II. — LES FAMILLES DE NORMES PROPOSÉES AU C.C.I.R.

A. — Philosophie générale.

Le rapport 801-2 du C.C.I.R. donne la définition de la T.V.H.D. : système de télévision présentant environ deux fois la définition horizontale, deux fois la définition verticale des images de télévision conventionnelle avec un format d'image plus large. Il fait référence à la recommandation 601 de 1982, il s'agit d'images analysées en composantes.

Toute la problématique de la détermination d'une nouvelle norme, repose sur la division actuelle du monde en deux fréquences, 50 Hz et 59,94 Hz.

Or, la recommandation 601 n'est pas qu'un simple ensemble de caractéristiques mais est conçue comme « une famille extensible de normes de codage numérique compatible ». Actuellement on utilise la norme 4-2-2 en 625 lignes et en 525 lignes avec deux modes : l'un correspondant à la fréquence trame 50 Hz, l'autre à la fréquence 59,94 Hz.

En effet, les nombreux résultats obtenus tant expérimentalement qu'en exploitation ont confirmé le bien-fondé des principes adoptés :

- les normes numériques tiennent compte des deux fréquences de trame ;
- les valeurs des caractéristiques sont choisies dans toute la mesure du possible de manière à être communes aux deux modes ;
- lorsque ce n'est plus possible il faut s'efforcer de réduire au maximum les différences entre les appareils correspondants pour qu'ils soient communs le plus possible aux deux fréquences de trame.

Le groupe de travail XI/6 a recherché, en collaboration avec le groupe de travail XI/7, à définir différents paramètres numériques et analogiques répondant à ces principes. Lors de la dernière réunion il est apparu que les seuls accords mondiaux aujourd'hui possibles portent sur :

- un balayage de gauche à droite, de haut en bas ;
- un format 16/9 ;
- 1920 points utiles par ligne ;
- l'utilisation d'un blanc D 65 comme blanc de référence, ce qui laisse entier le problème de la détermination d'une norme.

En effet, tous les protagonistes du débat, toutes les unions de radiodiffusions ont exprimé leur attachement à défendre le concept d'une norme mondiale unique de production H.D. : se serait, en effet, la meilleure solution possible pour faciliter les échanges mondiaux de programmes, si la future norme de production H.D. doit un jour (comme beaucoup l'ont encore à l'esprit) se substituer au film 35 mm aujourd'hui seul support universel.

Mais la détermination d'une norme mondiale unique ne pourra se faire que par le choix de l'une ou l'autre des deux fréquences : 50 c/s ou 59,94 c/s comme fréquence trame unique du système H.D. mondial.

Or, des enjeux trop importants au niveau industriel, programmes, philosophie d'approche compatible ou non avec les systèmes de T.V. existants, divisent aujourd'hui la communauté internationale pour qu'un ralliement à l'une ou l'autre de ces fréquences puisse être espéré.

Aujourd'hui pour sortir de l'impasse, il faut, en s'appuyant sur la philosophie de la recommandation 601 (*), proposer une famille de normes, acceptables par une majorité, permettant de commencer à produire et à diffuser en H.D., tout en conservant l'idée de la nécessité d'aboutir ultérieurement à une norme mondiale unique.

(*) Le système 1125/60/2 proposé par la N.H.K. ne prend pas en compte cette philosophie. Après une période de mutisme imposée par la N.H.K. à ses industriels, ces derniers affichent aujourd'hui leur volonté de se rallier à cette approche.

Cette philosophie écarte toute velléité d'imposer aujourd'hui une norme mondiale unique. Les Etats-Unis l'ont bien compris puisque le département d'Etat a fait savoir le 5 mai dernier qu'il demanderait le report de la décision du C.C.I.R. à 1994.

Indépendamment de l'examen d'un système de normes tels que ceux actuellement discutés au C.C.I.R. et explicités ci-après, et des mérites qui peuvent ressortir sur le plan théorique de telle ou telle proposition, **le choix final dépendra largement de la capacité qu'auront les industries d'équipement (grand public et professionnel) à prouver la faisabilité de leur système en s'alliant avec les industries de programme qui les mettront en valeur.**

B. - Les familles de normes en présence.

Les familles de normes qui prennent en considération les deux types de fréquences trames existants actuellement, le 50 Hz et le 59,94 Hz, tout en tâchant de définir un maximum de paramètres communs pour faciliter au mieux les échanges internationaux de programmes, sont dites duales.

Il est possible de mettre en place deux types de normes duales, basées sur la fixation :

- d'un *débit commun* ;
- d'une structure d'image commune (ou *format commun*).

Le *débit* caractérise le flux des données binaires nécessaire à la reproduction d'images en mouvement.

La *structure d'image* est caractérisée par le nombre de lignes utiles et le nombre de points actifs par ligne.

Paramètres à définir		
a) Fréquence trame	50	59,94
b) Nombre de lignes utiles par image	identique si format commun différent si débit commun	
c) Nombre de points actifs par ligne	1920	1920
d) Débit	identique si format commun différent si débit commun	

1° LES PROPOSITIONS BASÉES SUR UN DÉBIT COMMUN

a) Proposition européenne.

Cette proposition, correspond à une même *famille de normes* structurée sur trois niveaux successifs, de qualité croissante :

— 1° **H.D.I.** : ce niveau correspond à une image décrite en balayage entrelacé (*) et traitée par des techniques analogues ;

— 2° **H.D.Q.** : l'image est décrite en balayage progressif (**) mais le débit d'informations est réduit par une structure d'échantillonnage de l'image en quinconce (***) ligne pour être identique à celui du niveau précédent. Ce niveau implique déjà l'utilisation de techniques numériques ;

— 3° **H.D.P.** : l'image est toujours décrite en balayage progressif mais il n'y a plus de réduction de débit.

La famille de normes proposée par l'Europe s'applique *aussi bien au monde 50 Hz qu'au monde 60 Hz* selon le principe de normes duales suivant la recommandation 601 du C.C.I.R.

Elle conduit à préconiser :

- pour la fréquence 59,94 Hz : 1 050 lignes (2×525) ;
- pour la fréquence 50 Hz : 1 250 lignes (2×625).

Les paramètres de cette famille de normes sont décrits dans le tableau ci-après.

L'intérêt de la structuration sur trois niveaux successifs est lié aux stades de développements technologiques, qui en matière de matériels de production, rendent immédiatement réalisables les équipements **H.D.I.**, puis à très court terme, les équipements **H.D.Q.** et réserve à un stade ultérieur — en préservant toutes les possibilités d'une qualité maximale — la réalisation d'équipements **H.D.P.**, l'état de la techno-

(*) Balayage entrelacé : les lignes d'une image sont décrites en deux balayages verticaux, l'un pour les lignes paires, l'autre pour les lignes impaires, mais il n'y a que 25 images par seconde (ou 30 im/sec).

(**) Balayage progressif : toutes les lignes d'une image sont décrites 50 fois par seconde (ou soixante fois par seconde).

La nature du balayage entrelacé introduit des défauts tel que flicker de lignes, moiré de lignes... qui sont supprimés par le balayage progressif.

(***) Quinconce : on ne prend qu'un point (ou pixel) sur deux, en diagonale d'une ligne à l'autre.

logie actuelle ne le permettant pas encore (excepté pour la caméra dont un prototype est déjà réalisé).

TABEAU 1
Familles de norme à débit commun H.D.I. (2:1) et H.D.Q. (1:1) - 1050/59,94 - 1250/50

Caractéristiques	Système 60 Hz		Système 50 Hz	
	H.D.I.	H.D.Q.	H.D.I.	H.D.Q.
Format d'image	16/9	16/9	16/9	16/9
Balayage	2:1 entrelacé	1:1	2:1 entrelacé	1:1
Structure d'échantillonnage	Orthogonale	luminance : quinconce de ligne (1) chrominance : orthogonale (2)	Orthogonale	luminance : quinconce de ligne (1) chrominance : orthogonale (2)
Nombre total de lignes par image	1 050	1 050	1 250	1 250
Nombre total de lignes actives par image	968	968	1 152	1 152
Fréquence de trame	59,94 Hz		59,94 Hz	
Fréquence de ligne	31,469 kHz		31,250 kHz	
Fréquence d'échantillonnage :				
- luminance	72 MHz	Idem	Idem	Idem
- différences de couleur	36 MHz	Idem	Idem	Idem
Nombre d'échantillons par largeur d'image	2 288	2 288	2 304	2 304
Nombre d'échantillons par ligne active :				
- luminance	1 920	Idem	Idem	Idem
- différence de couleur	960	Idem	Idem	Idem
Débit binaire total	1 152 Mbit/s	Idem	Idem	Idem

(1) A image répétitive.

(2) Image et ligne répétitives.

Cette structuration à trois niveaux de la norme de production s'insère dans la logique de normes de diffusion inchangées : par exemple le H.D. Mac tel qu'il est défini, est conservé.

La finalité de l'approche européenne est de proposer le niveau final H.D.P. comme norme mondiale unique de production haute définition.

TABEAU 2
NORME MONDIALE UNIQUE DE PRODUCTION H.D.P. - 1 250-50-1 : 1 -
PRÉSENTÉE PAR LES EUROPÉENS

Caractéristiques	Paramètres
Format d'image	16/9
Balayage	1:1
Structure d'échantillonnage :	
- luminance	orthogonale
- différence de couleur	orthogonale
Nombre total de lignes par image	1 250
Nombre total de lignes actives par image	1 152
Fréquence de trame	50 Hz
Fréquence de ligne	62,5 kHz
Fréquence d'échantillonnage :	
- luminance	144 MHz
- différences de couleur	72 MHz
Nombre d'échantillons par largeur d'image	2 304
Nombre d'échantillons par ligne active :	
- luminance	1 920
- différence de couleur	960
Débit binaire total	2 304 Mbit/s

L'intérêt de cette approche est également, compte tenu du choix du débit commun de permettre que des magnétoscopes identiques puissent enregistrer ou lire aussi bien le standard défini en 50 Hz qu'en 59,94 Hz ; facilitant par là même les échanges internationaux de programmes.

Sur le plan industriel cette approche duale par un débit numérique commun permet également la fabrication en grande série de matériels commutables bénéficiant d'une réduction de coût en raison de l'économie d'échelle établie.

Cette économie d'échelle concernant les maillons les plus onéreux de la chaîne de production est à considérer tout particulièrement.

b) *Proposition des pays de l'Est.*

Cette proposition qui tente de jeter un pont entre la norme japonaise et le monde à 50 Hz est avancée par l'O.I.R.T. (1) et l'Union soviétique. Les paramètres sont donnés dans le tableau 5 en annexe.

Cette norme proposée d'un strict point de vue théorique n'a donné lieu côté 50 Hz à aucune réalisation concrète. On peut s'interroger sur sa validité, en matière de compatibilité, aux normes américaines actuelles. C'est pourquoi récemment, une variante d'un couple dual à débit numérique commun : 1 155/59,94/2 — 1 375/50/2 a été avancée.

2. LA PROPOSITION JAPONAISE D'UNE NORME UNIQUE

Les paramètres de la norme japonaise 1 125 lignes 60 (2) trames par seconde, balayage entrelacé sont décrits dans le tableau 3, ils ne retiennent en commun avec les autres normes que le format 16/9 et le nombre de points actifs par ligne : 1 920. Cette norme était initialement analogique, elle est maintenant présentée dans une version numérique.

Sa faiblesse, pour son adoption comme norme mondiale unique, outre son incompatibilité avec tout ce qui existe, est qu'elle ne propose que le balayage entrelacé. Face à cet argument, les Japonais n'excluent pas l'utilisation du balayage progressif suivant une approche identique à l'approche européenne.

Le soutien principal de la norme japonaise réside dans l'existence et la mise à disposition sur le marché de matériels professionnels déjà expérimentés et de deuxième génération (voir C.H. III ci-après).

Face à la détermination européenne de soutenir mondialement son approche et son étape finale 1 250/50 progressif comme norme internationale unique, s'oppose la fermeté japonaise. Ils n'admettront jamais que le 1 125/60/2 puisse disparaître des textes du C.C.I.R.

Les Japonais, même si aucune décision n'est prise par le C.C.I.R. en 1990, essaieront d'implanter au maximum leur matériel pour imposer leur norme « *de facto* ».

(1) O.I.R.T. : Union des radiodiffuseurs des pays de l'Europe de l'Est (structure similaire à l'U.E.R.).

(2) 60 Hz et non 59,94 Hz, ce qui pose certains problèmes de compatibilité avec le standard de diffusion nord-américain si la norme de production japonaise devait être retenue dans une approche compatible.

TABLEAU 3
NORME UNIQUE DE PRODUCTION HD : 1125/60/2:1 présentée par la N.H.K.

Caractéristiques	Paramètres
Format d'image	16/9
Balayage	2:1
Structure d'échantillonnage :	
— luminance	orthogonale
— différence de couleur	orthogonale
Nombre total de lignes par image	1 125
Nombre de lignes actives par image	1 035
Fréquence de trame	60 Hz
Fréquence de ligne	33,75 kHz
Fréquence d'échantillonnage :	
— luminance	74,25 MHz
— différences de couleur	37,125 MHz
Nombre d'échantillons par largeur d'image	2 200
Nombre d'échantillons par ligne active :	
— luminance	1 920
— différence de couleur	960
Débit binaire total	1 188 Mbit/s

3. LES PROPOSITIONS BASÉES SUR UNE STRUCTURE D'IMAGE COMMUNE (OU FORMAT D'IMAGE COMMUN)

Cette famille de normes est définie de telle sorte que le nombre de lignes utiles dans une image et le nombre de points actifs sur une ligne soit identique, qu'il s'agisse de systèmes à 59,94 Hz ou 50 Hz.

L'argument avancé en faveur du format d'image commun est de conduire à une fabrication industrielle de capteurs C.C.D. identiques pour les applications 50 Hz et 59,94 Hz. Il en sera de même dans le futur pour la fabrication des écrans plats à cristaux liquides (L.C.D.).

Un autre intérêt est de permettre une parenté plus étroite des systèmes de traitement de l'image : en effet, puisque la structure de l'image active est identique, les logiciels d'effets spéciaux utilisables tant en 50 Hz qu'en 59,94 Hz.

Les valeurs possibles de paramètres à retenir pour une norme basée sur une structure d'image commune sont entièrement théoriques.

Deux propositions sont avancées :

— l'une prend en compte comme point de départ une norme à 1 125 lignes tant en 60 Hz qu'en 50 Hz : elle émane d'une proposition australo-canadienne ;

— l'autre, basée sur un nombre total de lignes de 1 200, conduit à un nombre de lignes actives identiques à la proposition européenne 1 250/50.

Ce ne sont que des exemples établis rapidement pour démontrer le principe du format commun, les valeurs indiquées conduisent pour certains paramètres à des valeurs irréalistes.

Mais sur le fond, *deux remarques fondamentales* remettent en cause le principe même de l'adoption d'une famille de normes à format commun.

En matière de production des capteurs C.C.D. à semi-conducteurs, le facteur coût est moins lié à une économie d'échelle qu'à la maîtrise du processus d'industrialisation basée sur une chaîne de fabrication « 0 défaut » ; ce qui coûte cher, ce sont les déchets considérables d'une fabrication industrielle non encore maîtrisée. Les Japonais ont sur ce point une avance certaine sur l'Europe.

L'adoption d'une norme basée sur un format d'image commun n'a aucune incidence sur la maîtrise d'un processus industriel : la volonté de parvenir à « 0 défaut » est le seul critère d'amortissement rapide des coûts élevés engagés dans ce type de production où les quantités à produire seront de toute façon élevées.

La structure d'image commune imposera un surdimensionnement de la capacité de certains appareils de la chaîne de production (magnétoscopes en particulier) pour leur utilisation dans la norme 50 Hz, en effet le débit numérique en 50 Hz est de 20 % inférieur à celui nécessaire en 59,94 Hz.

Des appareils conçus pour répondre aux besoins des deux normes, donc dimensionnés au débit le plus élevé, celui des pays 59,94 Hz, seront payés 20 % plus chers que nécessaire sur le marché des pays 50 Hz.

Notamment pour ces raisons, cette proposition de « dernière minute » qui se pare de toutes les apparences d'un compromis fort séduisant est inacceptable pour les Européens et l'ensemble des pays à 50 Hz, soit 75 % des pays du monde.

Il est encore impossible de recenser les positions officielles que prendront les délégués des pays représentés au C.C.I.R., mais les

opinions déjà émises par les différentes associations internationales montrent qu'il est peu probable qu'une décision concrète en faveur de tel ou tel type de norme soit prise en 1990 et même qu'un vote ait lieu.

Il est important de rappeler que le C.C.I.R. se prononce sur un standard mondial de télévision pour la production et l'échange international de programmes.

Il paraît donc plausible, en raison des grandes difficultés qui planent sur la détermination des valeurs à accorder aux paramètres techniques de la T.H.V.D. qu'un texte aussi flou que vague sorte de la prochaine assemblée plénière du C.C.I.R. en mai 1990. Ce texte pourrait signifier que la norme mondiale sera finalisée dans le futur, permettant des échanges plus souples, que cette norme sera appuyée par une technologie éprouvée mais qu'en attendant, des applications intérimaires pourraient être effectuées, par exemple l'utilisation du 1 125/60 ou du 1 250/50.

Cette indécision est cependant favorable à l'Europe. Elle marque ainsi la capacité mobilisatrice de l'Europe, malgré un fort soutien des Américains, jusqu'à présent, en faveur de la norme N.H.K.

Même si la proposition officielle du département d'État américain n'est pas d'accepter aujourd'hui sans conditions la proposition européenne, un désengagement vis-à-vis du 1 125/60 affaiblit beaucoup le Japon et atteint la crédibilité de cette norme.

Dans les quatre années à venir, les Européens devront se battre pour prouver, non seulement auprès des radiodiffuseurs, des industriels mais aussi auprès du monde du cinéma, qui devrait être le premier intéressé par l'utilisation du progressif et surtout par le maintien du 50 Hz, que la seule norme de production acceptable comme norme mondiale unique est le 1 250 lignes à fréquence trame de 50 c/s, utilisant les technologies numériques et le balayage progressif.

III. — ANNEXE : LES POSITIONS DES INSTANCES NATIONALES OU INTERNATIONALES

A.B.U. (Asian Pacific Broadcast Union) : si en 1985, le soutien en faveur de la norme N.H.K. était la position officielle en raison de la forte influence japonaise au sein de l'A.B.U., dans les textes récents, aucune référence explicite n'apparaît à un soutien du 1125/60/2. La volonté d'une norme mondiale unique demeure.

A.S.B.U. (Arab Association Broadcast Union) : s'abstient de prendre à l'heure actuelle une position en faveur de telle ou telle norme.

O.I.R.T. : si elle ne prend pas position officiellement entre la norme européenne et la norme japonaise, elle soutient la proposition soviétique pour une norme d'approche duale.

N.A.N.B.A. (National Association North American Broadcast) : sans avoir de réelle position officielle, n'est cependant pas réticente à l'idée d'une norme duale.

A.S.T.C. (Advanced Television Standard Committee) : le désentagement des Américains face à la norme japonaise se confirme, mais ils ne peuvent soutenir une norme ayant une fréquence trame inférieure à 59,94 c/s. Cependant les propositions américaines en faveur d'une éventuelle dualité des normes diffèrent notablement des positions européennes. De plus, l'A.T.S.C. s'oppose à ce qu'un standard régional puisse être adopté en l'absence d'une définition de norme permettant l'échange international de programmes.

Enfin, la nécessité d'obtenir un peu plus de temps pour approfondir et compléter les recherches engagées, devient impérative pour mieux contrer la poussée hégémonique japonaise, et trouver une meilleure solution pour les industries nord-américaines.

U.E.R. : l'U.E.R. s'est attachée à la recherche d'une norme unique de production T.V.H.D. dans la mesure où cet objectif semble réalisable, et elle poursuit ses efforts dans cette direction. La possibilité de ne pas pouvoir aboutir à une norme mondiale unique a cependant été admise, auquel cas l'U.E.R. est persuadée qu'il faut définir une norme de T.V.H.D. duale, fondée sur les principes de *la norme numérique mondiale de la recommandation 601*.

Lors de la récente réunion de la commission technique de l'U.E.R. en avril 1989 ont été adoptées deux déclarations (ci-jointes en annexe à ce chapitre) :

- l'une relative à l'adoption du H.D. Mac comme système de diffusion de la T.V.H.D. ;
- l'autre marquant la préférence nette de l'U.E.R. pour l'adoption d'une norme mondiale unique basée sur la fréquence de 50 Hz.

Par ailleurs, d'un point de vue pratique l'U.E.R. met l'accent sur certains objectifs à garder présents à l'esprit, et insiste sur l'importance qu'il y a à étudier la conversion de normes. Elle considère que les travaux portant sur une optimisation des caractéristiques d'un projet de système doivent se faire suivant les points suivants :

1. réduction du prix du matériel de production grâce à des économies d'échelle ;
2. conversion pratiquement transparente entre les deux modes et d'un coût raisonnable ;
3. simplification des possibilités de réalisation d'appareils de production aisément commutables entre les deux modes ;
4. prise en considération de la future distribution numérique des programmes, ce qui pourrait par nature faciliter la convergence vers un mode de production universel et unique.

*
* *

**DÉCLARATIONS DE L'U.E.R. FAITES PAR SA COMMISSION TECHNIQUE
RÉUNIE À CONSTANCE LE 21 AVRIL 1989
SUR LE CHOIX DES CARACTÉRISTIQUES D'UN SYSTÈME D'ÉMISSION T.V.H.D.**

1. Première déclaration : sur le H.D.-Mac comme norme de diffusion.

Considérant :

1. Qu'un système d'émission T.V.H.D. du type généralement dit à bande étroite ne doit interdire la mise en œuvre d'aucun des scénarios suivants :

— introduction directe d'un système d'émission T.V.H.D. de la plus haute qualité pratique à l'intention de récepteurs à écran large observés à une distance de 3 m,

— possibilité de création de récepteurs relativement peu coûteux mis sur le marché en même temps que les véritables modèles T.V.H.D. Les récepteurs de ce genre seraient soit du type Mac offrant une qualité intermédiaire, soit des modèles avec adaptateur Mac et conversion en P.A.L. ou S.E.C.A.M. d'un prix relativement insignifiant,

— introduction progressive d'un système T.V.H.D. après création d'un service Mac/Paquets, en conservant son public ;

2. Que la technique de compensation des mouvements adaptative dans des blocs et l'adaptation de la réponse en fréquence au moyen de l'assistance numérique ont démontré la possibilité éventuelle d'atteindre en matière de compression de bande passante T.V.H.D., des objectifs qui étaient auparavant hors de portée dans un environnement compatible ;

3. Qu'un tel système pourrait permettre de faire un compromis raisonnable entre la qualité de l'image T.V.H.D. et celle de l'image compatible en choisissant bien les caractéristiques du décodeur en fonction des besoins d'un scénario donné.

Conclut :

— que si l'on peut démontrer qu'un système H.D.-Mac assure un compromis suffisant entre la qualité de l'image T.V.H.D. et l'image compatible, tout en assurant une continuité de service intégral pour les données existantes dans les systèmes Mac/Paquets, l'U.E.R. serait favorable à l'adoption d'un tel système pourvu qu'il puisse être diffusé dans le cadre du plan de la C.A.M.V.R.S. 1977 pour la radiodiffusion par satellite. Une consultation satisfaisante entre les radiodiffuseurs devrait alors s'établir concernant le développement et l'évaluation du système.

2. Deuxième déclaration : sur une norme de production à 50 Hz.

Considérant :

1. La reconnaissance universelle de la valeur d'une norme de production de T.V.H.D. unique sur le plan mondial ;

2. L'intérêt dans les pays à 50 Hz d'un système d'émission de T.V.H.D. (1) qui permet une réception compatible dans une définition classique et tenant compte que des études ont montré (2) que l'utilisation par de tels systèmes de sources de programmes fonctionnant au même débit temporel peut offrir des avantages importants et qu'en outre 70 à 80 % du monde se trouvent dans la catégorie des pays à 50 Hz, y compris les pays en voie de développement qui souhaiteront réduire au minimum les frais de conversion de normes ;

3. Que la conversion au rythme de défilement d'images 24/25 Hz est une nécessité absolue ;

4. Que pour une bande passante donnée, un système à 50 Hz offrira une définition spatiale plus élevée de 20 % par rapport à un système à 60 Hz.

Conclut :

— que si l'on peut s'entendre sur une norme d'échanges de programmes unique au niveau mondial, des considérations techniques et économiques indiquent que globalement il serait préférable qu'elle soit basée sur la fréquence trame de 50 Hz.

L'U.E.R. poursuivra le dialogue avec les autres organismes internationaux, afin de profiter des progrès techniques qui favoriseront le processus de convergence. Elle s'efforcera aussi de faire en sorte qu'un délai suffisant soit laissé pour étudier tous les principes possibles susceptibles de conduire à une norme mondiale unique.

(1) Déclaration de l'U.E.R.

(2) Contribution du G.T.I. 11/6-2008 du C.C.I.R.

CHAPITRE TROISIÈME

LES MATÉRIELS DE PRODUCTION EN HAUTE DÉFINITION

I. — LES CAMÉRAS

La caméra est un des maillons les plus importants dans la chaîne des équipements H.D., que ce soit pour une production destinée à la T.V.H.D. ou encore plus dans l'éventualité d'une production destinée à être transférée sur film. Si les problèmes de poids ont moins d'importance pour les caméras de studio, il est impératif que des caméras portables H.D. légères existent le plus rapidement possible.

Tous les défauts graves tels que trainage et rémanence ne sont pas encore résolus ainsi que le manque général de sensibilité.

En H.D., la définition de l'image fait que l'œil recherche encore plus le détail ; une grande profondeur de champ est donc nécessaire ce qui n'est malheureusement pas le cas pour l'instant pour les caméras : les faibles sensibilités des tubes obligeant à travailler à pleine ouverture.

Plusieurs types de capteurs de prise de vue sont utilisés :

— **1 pouce Saticon** : ce tube relativement peu sensible équipe cependant la majorité des caméras T.V.H.D. actuelles. Il travaille avec un minimum de 2 000 lux pour des ouvertures de 2,8 à 4,5 engendrant une trop faible profondeur de champ ;

— **1 pouce 1/4 Plumbicon** : le tube Plumbicon a de bonnes caractéristiques de bruit mais de moins bonnes en bande passante. Pour remédier à ce dernier inconvénient, il a été imaginé d'augmenter le diamètre du tube jusqu'à 1 pouce 1/4, avec en conséquence l'obligation d'utiliser des optiques de plus fort diamètre.

Actuellement une seule caméra utilise ce type de tube (Ikegami).

— **3/4 pouce H.A.R.P.** (High Gain Avalanche Rushing Photoconducteur) : ce nouveau type de tube associé à des préamplificateurs F.E.T. à faible bruit permet des sensibilités 10 fois plus grandes que celles permises avec la génération de tubes précédents, autorisant également des encombrements et des consommations plus faibles ; reste

encore à résoudre le problème du rapport signal/bruit, et ce qui est encore plus important, à avoir un rapport durée de vie/coût suffisamment grand pour être acceptable (1 caméra Sony équipée de ces tubes : poids 6,5 kg, sensibilité de 200 lux à F 2,8) ;

— les C.C.D. : déjà utilisé dans la télévision conventionnelle, c'est l'espoir de résoudre les problèmes de sensibilité, traînage, fiabilité... pour la T.V.H.D.

Ces circuits, pour la télévision conventionnelle sont formés de matrices de photoconducteurs constituant des ensembles de 2/3 ou 1/2 pouce de diagonale, comprennent 780 à 810 éléments horizontaux, ce qui représente 300 à 400 000 éléments de surface. Pour la T.V.H.D., si l'on veut conserver toute la qualité requise, il sera nécessaire d'obtenir des circuits formés de 2 000 000 de pixels (1 920 pixels par ligne \times 1 150 lignes actives = 2 212 000).

Ces capteurs sont encore à l'état de prototype.

Les caméras 1 125 lignes.

Un choix important commence à être disponible sur le marché japonais dans le standard 1 125/60 :

1° Caméras dites de cinématographie électronique :

— la caméra Ikegami EC 1 125 : très étudiée ergonomiquement afin de répondre aux habitudes du film, elle est équipée de 3 tubes 1 pouce 1/4 Plumbicon. Elle est presque toujours représentée avec un petit zoom, munie de grands pare-soleil et d'un viseur type œilleton ;

— la caméra Sony H.D.C. 300 a également une ergonomie cinéma ;

2° Caméras lourdes de studio :

— la caméra N.H.K. qui utilise des tubes Saticon de plus grandes dimensions qu'à l'habitude (31 mm) ce qui permet ainsi de multiplier par 3 la sensibilité par rapport au tube Saticon traditionnel de 1 pouce ;

— la caméra Hitachi SK 1 200 : elle utilise 3 tubes Saticon D.I.S. (Diode Opération Impregnated Saticon) de 1 pouce ;

3° Caméras portables :

— la caméra Sony H.D.C. 300 : c'est une caméra très modulaire et adaptable aux différents modes d'utilisation et en particulier aux habitudes du film. Elle utilise 3 tubes de 1 pouce Saticon (prévue également pour être équipée de tubes H.A.R.P.). Choix important d'optiques fixes et zooms, 3 types de viseurs disponibles de 1,5 à 7 pouces. Elle est très facilement adaptable en caméra portable car compacte et légère (8 kg) quand elle est équipée d'un petit zoom et d'un petit viseur.

Les caméras 1 250 lignes.

Dans le cadre du programme Eurêka sont en cours de développement les approches qui permettent de répondre à la hiérarchie de normes définies :

— la caméra K.C.H. 1 000 fabriquée par B.T.S. : 1 250/50/2 H.D.I. (entrelacé) essentiellement une caméra de studio ou de vidéo mobile. 15 à 20 caméras de ce type sont réalisées ou en cours pour 1989 ;

— la caméra Thomson à 1 250/50/1 H.D.P. (progressif) : Thomson L.E.R. a réalisé un prototype de cette caméra et poursuit sa mise au point industrielle pour 1990.

Il est démontré que le balayage progressif est le système qui offre potentiellement les meilleures performances. Il est ensuite procédé à une réduction de débit par filtrage diagonal sur la luminance et filtrage quinconce sur les voies chroma afin de se maintenir dans un débit convenable permettant l'enregistrement des signaux (1,2 gigabit/sec. en numérique).

Toutes ces caméras sont équipées de tubes japonais. On peut envisager la sortie de tubes de prise de vue européens dans les trois ans mais il est beaucoup plus probable que la réalisation de capteurs C.C.D. H.D. européens sera une réalité à plus court terme.

Un travail très important reste à faire pour la réalisation d'une caméra portable mais aussi pour améliorer l'ergonomie des caméras de studio en vue de leur emploi en cinématographie électronique.

Il faut cependant signaler que Thomson T.V.E. a réalisé une caméra « Proscan » 625/50/1 à balayage progressif et au format 16/9 équipée de tubes Plumbicon de 1 pouce ou 3/4 pouce.

Le signal après filtrage diagonal est traité dans une chaîne numérique 4-2-2 et est enregistré sur magnétoscope numérique D1 - 625 lignes.

L'intérêt de cette approche est de permettre :

— des images de qualité supérieure, au format 16/9, pour diffusion sur réseau D2 Mac, obtenues avec un faible surcoût puisque utilisant les éléments de chaînes existantes ;

— la mise en évidence des améliorations apportées par le balayage progressif ;

— la possibilité d'utiliser les images ainsi produites par doublage du nombre de lignes (soit 1 250 entrelacé) pour des transmissions H.D. Mac avec une qualité très suffisante dans l'état actuel des possibilités des appareils de visualisation.

II. – LES OPTIQUES

C'est une partie importante pour la génération d'images de haute qualité car tous les paramètres, bien que souvent contradictoires, doivent être améliorés en même temps :

- résolution ;
- pouvoir de transmission (transparence) ;
- ouverture ;
- distorsions géométriques ;
- aberrations chromatiques.

Les améliorations passent par des recherches sur le traitement de matériaux de base et par l'utilisation de la microélectronique.

La société Angénieux a réalisé pour la caméra B.T.S. un zoom 12 × 12 assisté par microprocesseur incorporé à l'optique.

La diminution du diamètre des tubes ou l'emploi de C.C.D. permettra la réduction du diamètre des optiques, donc également leur poids et leur coût.

Actuellement il est encore impossible de réaliser avec les critères de qualité nécessaires à la T.V.H.D. les rapports de grossissement employés en T.V. conventionnelle. Par ailleurs, le prix d'une optique H.D. sera environ le double du prix de la même optique pour la T.V. d'aujourd'hui.

Les sociétés japonaises ont déjà réalisé de nombreuses optiques adaptées à la T.V.H.D. :

- Canon : 2 zooms ;
- Fujinon : 5 zooms et 2 jeux de 5 optiques fixes correspondant à des tubes de 1 pouce ou 1 pouce 1/4 ;
- Nikon : 2 zooms, 2 optiques fixes.

III. – LES TÉLÉCINÉMAS

1° I 125-60.

Deux technologies sont utilisées pour la T.V.H.D., le problème du transfert de 24 im/s film à 30 im/s H.D. vidéo est plus ou moins bien résolu :

– télécinémas à laser (N.H.K.) : l'analyse de l'image est obtenue grâce à trois sources de lumière fournies par trois lasers rouge-vert-bleu associés à des mémoires de conversion avec détection de mouvements. Ces télécinémas donnent une brillance suffisante surtout dans les noirs, une bonne résolution et un excellent rendu colorimétrique ;

– télécinémas « flying-spot » : c'est l'extension à la T.V.H.D. des télécinémas de la télévision traditionnelle. Ils ont une bande passante de l'ordre de 20 MHz, la fréquence de 60 trames est obtenue par la répétition alternative deux fois puis trois fois de chaque image du film. (Cf. chapitre III, p. 65.)

2° I 250-50.

Deux technologies :

– télécinéma « flying-spot » (Rank-Cintel) : déjà réalisés depuis trois ans ; les problèmes de défauts des mouvements n'existent pas pour le standard I 250/50, car on fait lire au télécinéma le même nombre d'images film que celui d'images vidéo que l'on veut obtenir ;

– télécinéma C.C.D. : le film défile en continu devant trois barreaux d'analyse C.C.D., ceux-ci ayant pour la T.V.H.D. plus de 4 000 éléments d'analyse. Le télécinéma de B.T.S. est prévu pour la fin de l'année 1989.

IV. – LES MAGNÉTOSCOPIES

1. LES MAGNÉTOSCOPIES I 125

Trois types de magnétoscopes ont été construits :

a) *Magnétoscopes analogiques* : cette première génération de magnétoscopes est basée sur une extrapolation des machines format C

dont on a augmenté la vitesse de défilement, et doublé le nombre de têtes vidéo. On peut enregistrer ainsi une heure de programme sur bande standard un pouce en composantes R.V.B. Des machines compatibles entre elles sont aujourd'hui présentées par Sony-Hitachi-Toshiba.

b) *Magnétoscopes analogiques à cassettes* : afin de réaliser des machines plus légères, il a été développé quelques prototypes utilisant des bandes d'un demi-pouce en cassette. La bande passante luminance est de l'ordre de 20 MHz avec la possibilité de quatre sons numériques.

Au N.A.B. (*) 1989, Sony présentait une machine opérationnelle, de la taille d'une machine d'enregistrement de signaux vidéo conventionnels, utilisant des cassettes d'un demi-pouce d'une heure de capacité. Était présent également un prototype de chez Panasonic.

c) *Magnétoscopes numériques* : plus les signaux ont un spectre étendu, plus difficile est leur reproduction sans perte de qualité. Comme dans la télévision conventionnelle, le produit final destiné à l'antenne est obtenu après une succession de copies, le but est de sauvegarder le maximum de qualité par rapport à l'original ; seul l'enregistreur et le lecteur numérique le permettent.

Sony a réalisé ce type de machine à partir d'une mécanique de machine au format C. La vitesse de la bande magnétique, à particules métalliques, a été accélérée pour permettre l'enregistrement par l'intermédiaire de huit têtes d'un débit de 1,2 gigabit. Une machine à bande passante réduite avait été présentée par Hitachi lors du N.A.B. 1988.

Lors du N.A.B. 1989, Sony annonçait que seuls les magnétoscopes numériques allaient dorénavant être fabriqués à un coût approximatif de 300 000 dollars.

Sur son stand, Hitachi faisait fonctionner également deux nouvelles machines « pleine bande » et compatibles avec celles de Sony. **La réalisation de ce type de machine représente une performance technologique remarquable.**

2. LES MAGNÉTOSCOPES 1 250

Magnétoscope analogique : à partir d'une platine de transport au format B, B.T.S. a réalisé une machine T.V.H.D. ayant une bande passante de 20 MHz en luminance et 10 MHz sur chacune des différences de couleur. La vitesse de défilement accéléré permet une heure d'enregistrement avec grandes bobines, une demi-heure avec bobine normale. Le nombre de copies à partir de ce type d'enregistrements analogiques est limité. Le prix de cette machine est de 1 800 000 francs.

(*) N.A.B. : National Association of Broadcasters. Cette association des radiodiffuseurs américains organise chaque année aux Etats-Unis la plus grande exposition internationale de matériels professionnels radio et T.V.

Magnétoscope numérique : des études sont réalisées chez B.T.S. et Philips, une machine numérique devrait être opérationnelle en 1991. Ce type d'appareil est absolument indispensable pour la production en haute définition.

L'avance technologique de l'industrie japonaise dans le domaine des enregistreurs magnétiques est considérable.

Il est essentiel que l'Europe puisse combler ce retard.

Plusieurs technologies sont en cause :

- l'intégration très poussée de l'électronique ;
- la fabrication mécanique de précision (têtes vidéo) ;
- la fabrication des bandes magnétiques à particules de métal.

V. - LES AUTRES MATÉRIELS

A. - Les analyseurs d'images fixes (A.I.F.).

En 1 125-60 : les appareils sont associés à des bibliothèques enregistrées sur disque C.D.-R.O.M.

En 1 250-50 : l'A.I.F. réalisé par Thomson utilise un barreau C.C.D. de 2 048 pixels.

B. - Les images artificielles.

Une palette dérivée de la Paint Box de chez Quantel fonctionne en H.D. dans les deux standards 1 125 et 1 250.

Shima Seiki présentait au N.A.B. 1989 une palette adaptée au 1 125/60.

C. — Les mélangeurs.

1. T.V.H.D. 1 125

Il n'existe à ce jour que peu de fabricants de mélangeurs en composantes analogiques T.V.H.D. (Sony-Ikegami, N.E.C., Grass Valley). En dehors d'un élargissement de bande et d'un bon rapport signal/bruit, ce type de matériel ne pose pas plus de problème particulier en T.V.H.D. qu'en télévision conventionnelle. Il n'existe toujours pas de mélangeur numérique, parce que cette technologie s'avère par contre encore très complexe (débit de 1,2 gigabit).

2. T.V.H.D. 1 250

Un mélangeur analogique est en voie de réalisation chez B.T.S., il sera présenté à Montreux en juin 1989.

D. — Effets spéciaux.

Peu de réalisations en dehors de l'Ultimatte qui permet d'excellentes découpes et donc la possibilité d'incruster des images mobiles sur des fonds. Cet appareil fonctionne dans les deux standards 1 125 et 1 250.

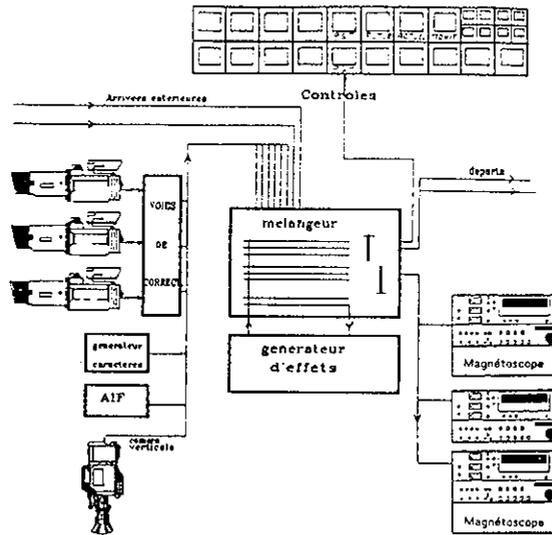
Réalisation d'une mémoire d'image par N.H.K.-Shibasoku en 1 125 lignes.

Au dernier N.A.B., en 1989, Sony a présenté un générateur d'effets trois dimensions (H.D.-D.M.E. [Digital Multi Effects]), comblant ainsi un des maillons les plus couramment utilisés dans la télévision traditionnelle. Le coût de tels appareils est encore exorbitant mais s'il y a une demande, les frais d'études peuvent s'amortir rapidement. A noter que **pour les besoins actuels de la production en haute définition, ce type de produit n'est pas encore un impératif, seul un bon incrustateur est nécessaire.**

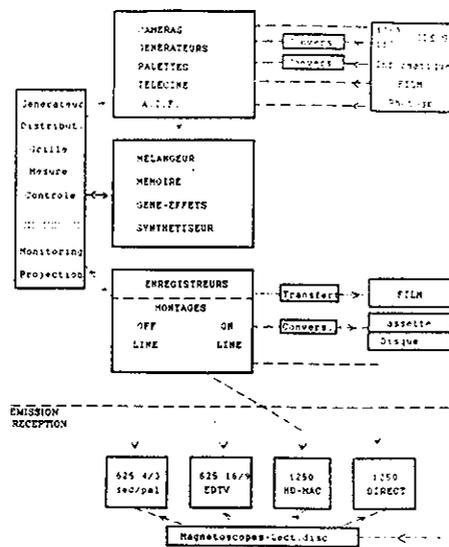
VI. - ANNEXES

A. - L'organisation d'un studio.

1. Schéma d'une régie de production.



2. La chaîne du signal vidéo T.V.H.D.



B. — Les coûts des équipements.

I. LE CAS D'UNE RÉGIE DE PRODUCTION DE FICTION

(Etude comparative : P.A.L., 4-2-2, T.V.H.D.
pour une régie équipée de trois caméras.)

	(En milliers de francs.)		
	P.A.L.	4-2-2	T.V.H.D.
Générateurs-distributeurs	600	700	900
Grilles et contrôles	700	1 000	3 200
Caméras - optiques supplémentaires ..	2 100	2 100	6 000
Mélangeur	650	2 000	2 000
Magnétoscopes (3 Beta, 2 D1, 2 T.V.H.D. numériques)	750	2 000	4 000
Son : console, micros, accessoires, ordres	3 500	4 000	5 000
Total	8 300	11 800	21 100
Options :			
Caméra verticale	120	200	1 000
Effets spéciaux numériques	1 500	1 500	6 000 (?)
Générateur de caractères	350	350	600
Total	1 970	2 050	7 600
Total général	10 270	13 850	28 700

2. LE CAS D'UNE SALLE DE POST-PRODUCTION

(A trois machines.)

(En millions de francs.)

	P.A.L.	4-2-2	T.V.H.D.
Générateurs-distributeurs	200	250	500
Grilles - Cablage - Contrôles techniques	650	750	850
Système montage (C.M.X. ou G.V.G. ou Sony)	350	350	350
Monitoring vidéo (composantes analogiques numériques ou T.V.H.D.) ...	140	230	1 500
Son : console - Ecoutes - V.U.	350	350	400
Image : G.V.G. 200 R.V.B., T.T.V. numérique N.E.C. en H.D.	650	1 600	1 500
Magnétoscope Beta - D1 - Numérique H.D.	750	3 000	6 000
Total	3 090	6 530	11 100
<i>Options : (Cf. tableau précédent)</i>	1 970	2 050	7 600
Total général	5 060	8 580	18 700

C. - Récapitulatif des matériels de T.V.H.D. disponibles.

Matériels	1 125/60	Europe
Sources.		
Caméras de cinématographie électronique	E.C. 1125 Ikegami H.D.C. 300 Sony	
Caméras studio	S.K. 1200 Hitachi H.D.K. 1125 Ikegami H.D. 100 Sony	B.T.S. K.C.H. 1000 Thomson
Caméras portables	H.L. 1125 Ikegami	
Télécinémas	T.C.K. 1125 Ikegami Rank-Cintel M.K.III H.D. N.H.K. (laser)	B.T.S. Rank-Cintel
Palette	Shima Seiki S.G.X. Quantel	Quantel
A.I.F.	N.H.K.	Thomson
Traitements.		
Mélangeur	Ikegami HDS 1000 Sony N.E.C. 16 entrées	B.T.S.- R.M.H. 1000
Mémoires	H.I.M. 2182 Ikegami	
Effets spéciaux	N.H.K. (Shibasoku) Sony-Ulimate	Ultimate
D.V.E.	N.E.C.-Sony	
Ramcodeurs	V.T.E. Digital Vidéo GmbH Sony	
V.T.R.		
Analogique	Ikegami Toshiba-T.V.R. 1000	B.T.S. B.C.H. 1000
A bande	H.D.V. 1000 Sony Hitachi	
A cassette	Hitachi Sony-Panasonic 1055	
Numérique	Sony-Hitachi	
Environnement.		
Générateurs	Ikegami, Shibasoku Magni, Tektronix, Sony	Cox B.T.S. Magni, Tektronix
Distributeurs		
Grilles	Utah Scientific	
Mesures	Tektronix	Tektronix
Contrôles		
Monitoring	Shibasoku, Sony, Panasonic Mitsubishi, N.E.C., Toshiba	Barco
Conversions		
T.V.H.D. → T.V.H.D.		
T.V.H.D. → 525/625	Ikegami, Sony, N.E.C. Merlin, Snell & Wilcox	Thomson
T.V.H.D. → E.D.T.V.		
T.V.H.D. → Mac		
T.V.H.D. → H.D.-Mac-Muse	Sony-Toshiba	
Transferts		
→ disque	Sony	
→ films	Sony (beam) N.H.K. (laser)	
Réception.		
Récepteurs		
Rétroprojection	T.P.P. 50 Ikegami Toshiba-Philips Hitachi C54-C110 Panasonic	Barco Philips Thomson Nokia
Projecteurs	T.P.P. 1000 Ikegami Panasonic-Mitsubishi H.D.I.H. 200-120 Sony General Electric-N.E.C. N.H.K.-Gretag-Eidophore	Gretag Eidophore
Enregistreurs domestiques	Sony H.D.L. 2000	Philips E/L H.D.-Mac
Lecteurs	Sanyo	Videodisc Philips H.D.

D. - Prospective du matériel Eurêka 95.

Caméras	Une quinzaine de caméras déjà fabriquées (B.T.S.). Optiques réalisées pour T.V.H.D. (Angenieux), reste l'intégration dans la caméra du traitement numérique des corrections. Fabrication de tubes caméra européens.	Existent 3 ans
Télécinémas	Les barrettes C.C.D. sont prêtes (B.T.S.), des télécinémas T.V.H.D. existent dès 1989 (B.T.S - Rank-Cintel).	Existent
Mélangeurs	Le mélangeur analogique va bientôt exister (B.T.S.) Etude d'un mélangeur numérique plein débit (Thomson).	Existent 1992
Mémoires	Liées à la décision européenne pour la fabrication des circuits.	??
Générateurs d'effets ..	Un temps relativement important est nécessaire ou extrapolation de ce qui a déjà été réalisé en 4-2-2.	3/4 ans
Enregistreurs :		
Analogiques	Une douzaine de machines ont déjà été réalisées (B.T.S. - B.C.H. 1 000).	Existent
Numériques	Le problème est difficile en 1,15 G.bit/s (en séquence entrelacée avec réduction de débit).	1991 ? B.T.S.
Cassettes	Pas de projet.	
Convertisseurs	Les recherches sont bien avancées H.D. vers 625 (sans Panscan). Tous les types de convertisseurs devraient être réalisés à l'horizon 1992-1993.	Existent
Transfert → Film	Pas de solution définitive à ce jour. Etude d'une machine type kinescope.	?? 1992
Vidéo-disque	On sait faire en compressé à la norme H.D. - Mac.	
Monitoring	C.R.T. : 32 kHz - 51 cm, 66 cm, 70 cm (Barco), rétroprojection Philips. H.D.- Mac 1 250 lignes en fabrication série vers 1994.	Existent 1994-1995

EXPECTED HDTV EQUIPMENT & PRODUCTS



	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
HD-MAC TRANSMISSIONS		EXPERIMENTAL		PILOT	REGULAR		
PROFESSIONAL EQUIPMENT IN USE:				INTRODUCTION			
CAMERAS:							
1.250 INTERL.	25	50	100	300			
1.250 PROGR.	0	2	3	5			
RECORDERS:							
ANALOG	10	20	30	30			
1.15 GB/S DIGITAL	-	-	1	160			
TAPE → FILM	-	-	-	1			
HD-MAC ENCODERS	1	1	3	20	100	150	200
(CONSUMER) PRODUCTS IN USE							
> 50" (FRONT PROJ)			500	1.000	} 10K	100K	300K
< 50" (PTV + DV)			200	≥ 1.500			
HD-MAC VCR				200	5K	50K	150K
DBS-D(2)MAC SATELLITE CHANNELS	5	23	28				
		FRANCE					
		GERMANY					
		UK					

CHAPITRE QUATRIÈME

LES ŒUVRES RÉALISÉES EN HAUTE DÉFINITION

Ce chapitre fait état des productions réalisées à ce jour en 1 125 et en 1 250 lignes. Parmi les plus importantes de ces productions figurent la série de quatorze heures de la télévision canadienne C.B.C. *Chasing Rainbow*, le long métrage produit par la R.A.I. *Julia et Julia*, et le téléfilm d'une heure trente de C.B.S. *Littlest Victims*.

Ces productions en haute définition sont caractérisées par le stade actuel de développement du matériel, et en particulier l'absence presque totale des possibilités du numérique. Par ailleurs, ces productions n'ont pas de véritable marché pour l'instant.

Néanmoins, elles permettent déjà de situer la haute définition par rapport au cinéma et à la télévision actuels, en comparant les qualités d'image, les techniques de production, les procédures et les coûts, les stratégies développées par les producteurs.

Sur ces bases, il est possible de prédire dès aujourd'hui que la haute définition occupera une place très importante dans la communication audiovisuelle des prochaines décennies sur les marchés traditionnels comme dans d'autres domaines où la vidéo actuelle est insuffisante.

I. - LA QUALITÉ DE L'IMAGE

La qualité de l'image haute définition représente, sans aucun doute, un saut qualitatif spectaculaire par rapport à la vidéo actuelle.

L'équivalence avec le film, sur toutes les caractéristiques de l'image, est plus contestable, les deux supports n'étant pas comparables sur bien des points.

A. — La résolution.

En haute définition, la résolution est doublée horizontalement et verticalement, la norme européenne en 1 250 lignes représentant la meilleure résolution mise en application.

L'image haute définition contient donc 5,3 fois plus d'informations que la vidéo actuelle (en tenant compte de l'élargissement du format). C'est, à l'observation, un saut qualitatif spectaculaire qui accroît considérablement le réalisme et l'impression de transparence de la vidéo actuelle.

Lorsque la norme 1 125/60 a été définie par la N.H.K. au Japon, elle fut déterminée comme établissant une qualité d'image suffisante pour justifier le renouvellement complet des équipements électroniques et capable de concurrencer le 35 mm.

Actuellement, de nombreux observateurs, même parmi les partisans de cette norme, reconnaissent que « la haute définition, ce n'est pas de la télévision, ce n'est pas du film, c'est un nouveau mode d'expression ».

Cette augmentation de la lecture des détails de l'image implique une beaucoup plus grande précision de toutes les autres composantes de l'image : qu'il s'agisse des performances techniques comme la mise au point ou la qualité du signal ; artistiques comme les décors, les costumes, le maquillage, la précision des mouvements, la qualité de la réalisation en général.

Selon les experts, cette résolution n'atteint que la moitié de la résolution moyenne du film. Mais la polémique est sans fin car, contrairement à la vidéo, la résolution cinématographique est variable (selon la grosseur des grains de l'émulsion, s'il s'agit du négatif ou du positif, s'il est fait usage de filtres diffuseurs, selon que l'on observe l'image à la loupe ou en projection, etc.). Il est probable que le cinéma a encore de longues et belles années devant lui (de par l'amélioration continue des optiques, des pellicules et ses grandes qualités ergonomiques). L'existence actuelle de super-formats cinématographiques (Imax ou Showscan) démontrent le niveau des performances actuelles des techniques photochimiques.

Pendant, les diverses expériences de transferts d'images électroniques sur film, réalisées par des sociétés d'effets spéciaux, révèlent

qu'une résolution de plus de 1 000 lignes non entrelacées pourrait être suffisante dans la majorité des cas (1).

Pour l'instant, la résolution de l'image haute définition n'est pas jugée équivalente à l'image 35 mm en projection sur grand écran car les transferts sur film et les vidéo-projecteurs ne restituent pas complètement la qualité de l'image originellement enregistrée en haute définition.

En revanche, lors des transferts de films en haute définition, la qualité de la restitution par rapport à la vidéo actuelle représente un progrès considérable dans le respect des œuvres cinématographiques originales.

B. — La restitution des mouvements et le scintillement.

Les fréquences d'images des normes de haute définition utilisées actuellement en production sont inchangées par rapport aux fréquences actuelles de la télévision et n'ont donc pas d'incidence directe sur la qualité actuelle de l'image haute définition.

Cependant, les problèmes de compatibilité entre le monde 60 Hertz et le monde en 50 Hertz ou avec le cinéma entraînent des saccades dans la restitution des mouvements lors des échanges de programmes. Ces défauts existent depuis les origines de la télévision, mais s'ils pouvaient être négligés en basse résolution, ils ne sont plus acceptables dans la qualité de la haute définition.

Les partisans de la fréquence à 60 Hertz estiment que le scintillement dû à la fréquence est moins visible en 60 Hertz qu'en 50 Hertz. Selon les études faites sur la perception visuelle, ce scintillement ne disparaît complètement qu'aux environs de 80 Hertz. Cette différence entre 50 et 60 existe, mais est-elle suffisante pour imposer au monde 50 Hertz la révision de sa fréquence ?

De plus, s'il s'agit d'améliorer la résolution temporelle, c'est-à-dire d'assurer un meilleur rendu des mouvements, la technologie du balayage progressif qui analyse cinquante images complètes par seconde permettrait, tout en conservant la compatibilité de fréquence avec le cinéma, d'obtenir une résolution temporelle nettement supérieure au 35 mm.

(1) A titre d'exemple, dans le film *Le Secret de la pyramide*, un plan traité numériquement a été retransféré sur film dans une résolution de 700 lignes équivalente au reste de la séquence tournée avec des filtres diffuseurs et des fumigènes.

Dans l'espoir de rendre le cinéma plus compatible avec la télévision en 60 Hertz, des rapports ont été réalisés par les commissions de la S.M.P.T.E. (1) et de la B.K.S.T.S. (2) afin d'étudier les différences visuelles entre vingt-quatre à trente images (et non plus de trames ou demi-images) par seconde en cinéma. Les résultats révèlent de légères améliorations de la stroboscopie ou du scintillement dans certaines conditions, mais celles-ci **n'ont pas été jugées suffisantes par les industries du cinéma pour modifier tout le matériel cinématographique, briser la compatibilité avec le patrimoine cinématographique existant et surtout avec le parc international des projecteurs de cinéma.**

Par contre, basé sur les mêmes études, le nouveau format de cinéma Showscan en 70 mm à soixante images par seconde est actuellement développé aux Etats-Unis. Ce format très spectaculaire et relativement simple à mettre en œuvre appuie son développement sur une synergie avec haute définition en 1 125/60.

Ces diverses tentatives développées aux Etats-Unis démontrent l'importance de la compatibilité de la norme haute définition avec le cinéma et, en conséquence, le grand avantage de la norme européenne qui n'a aucun besoin, pour cela, de déstabiliser les réseaux existants ou de développer de nouveaux et coûteux systèmes de conversions.

C. — L'élargissement du format.

Lorsque l'industrie cinématographique a subi ses premières baisses de fréquentation, elle a adopté les formats larges afin d'accroître le pouvoir attractif de l'image. La démarche est la même en haute définition aujourd'hui, le format large étant plus proche du champ visuel humain, il augmente le confort de vision et l'impression d'harmonie esthétique de l'image.

Le 16/9 (ou 1,77/1) se rapproche des formats larges utilisés dans le cinéma, sans toutefois correspondre avec exactitude à aucun d'eux (3). Comparativement au 4/3, le 16/9 constitue cependant une très nette amélioration des conditions de visualisation des films.

(1) S.M.P.T.E. : Society of Motion Picture and Television Engineers.

(2) B.K.S.T.S. : British Kinematography Sound and Television Society.

(3) 1,85/1, aux Etats-Unis ; 1,66/1 en Europe. Quand au Cinemascope, il est encore beaucoup plus large, avec un rapport de format en projection de 2,35/1.

D. — Les données de gamma (*) et de colorimétrie.

Celle-ci ont été légèrement améliorées par rapport à la vidéo en basse résolution, et différentes propositions, surtout européennes, sont faites pour aller plus loin.

En ce qui concerne les caractéristiques de gamma et de colorimétrie, l'image électronique et l'image cinématographique sont de natures différentes et difficilement comparables.

Les cinéastes attachent beaucoup d'importance à la dynamique de l'image cinématographique, c'est-à-dire sa capacité à enregistrer une gamme de lumières beaucoup plus étendue que la vidéo, offrant une latitude plus grande à l'expression artistique.

Les ingénieurs électroniciens reconnaissent cette performance du film, mais ils mettent l'accent sur les possibilités de réglages et d'améliorations de l'image enregistrée beaucoup plus nombreuses en vidéo (telles que la possibilité de régler le gamma dans chacune des couleurs, ou d'intervenir uniquement sur les hautes et les basses lumières). En ce domaine, les deux supports ont chacun leurs avantages et leurs inconvénients, inhérents à leur technologie.

Ainsi, la qualité de la haute définition n'est pas scientifiquement équivalente au 35 mm mais elle s'en rapproche suffisamment pour envisager de nouvelles complémentarités.

On peut parfois se demander si la concurrence offensive par rapport au 35 mm menée par les partisans de la norme de production I 125/60 ne sert pas à masquer l'incompatibilité fondamentale de cette norme avec la fréquence du cinéma. Il peut s'agir aussi, en l'absence de réseaux de distribution adaptés à la haute définition, de faire miroiter, aux yeux des clients éventuels, l'immense marché du cinéma. C'est peut-être, tout simplement, un argument marketing de choc dont l'efficacité n'est plus à prouver auprès du grand public, mais qui a provoqué une hostilité excessive de la majorité des professionnels du cinéma envers la haute définition.

Cependant, parce que le cinéma et la haute définition sont tous deux des formats de très grande qualité d'images, ils nécessitent des conditions de production extrêmement précises, assurant à la fois la meilleure qualité de l'original et la conservation de cette qualité à toutes les étapes de traitement et de postproduction.

(*) Les signaux vidéo issus de capteurs d'image sont fonction des flux lumineux reçus par ceux-ci. Cette fonction est dénommée réponse de transfert. Une fonction identique existe également à l'autre extrémité de la chaîne pour le récepteur. Représentée en échelle logarithmique, la partie utile de la fonction est proche d'une droite dont la pente est appelée gamma. Mais les fonctions de transfert dans les caméras et dans les récepteurs sont différentes et pas toujours linéaires : d'où la nécessité d'introduire dans la chaîne des appareils dits correcteurs de gamma pour que la réponse globale soit le plus possible linéaire et voisine de 1-1,2. La partie linéaire de la courbe de réponse globale caractérise la gamme de contrastes (ou dynamique de l'image) possible.

II. — LES TECHNIQUES DE PRODUCTION

A. — La prise de vues et l'enregistrement.

1. LA PRISE DE VUES

Les caméras ont une sensibilité assez faible d'environ 50 ASA car pour diminuer le bruit du signal, il est fréquent de tourner à -3 db, en réduisant de moitié la sensibilité nominale annoncée (autour de 100 ASA).

Cette limite incite à privilégier les tournages en extérieur et augmente, de toutes façons, la quantité de matériel électrique nécessaire à la prise de vues, alourdissant les conditions de tournage (coûts et durées) comparativement à la vidéo actuelle et au cinéma.

De plus lorsqu'il faut tourner en 60 Hertz dans un environnement en 50 Hertz, certaines lampes à décharges produisent un effet de battement dus à la différence des fréquences.

Les tubes Saticon employés en haute définition ont un défaut de trainage (lag) qui a pour principale conséquence de limiter la vitesse des mouvements, en particulier dans des conditions de contraste élevé.

Dans le domaine des optiques, les zooms Fujinon ($14 \times 12,5$) et Nikon (7×12), sont les plus souvent employés (1). L'emploi de zooms facilite le choix d'une focale et évitent des déplacements de caméra. Cependant les optiques fixes sont aussi utilisées pour des focales plus longues (téléobjectifs) ou pour respecter les critères de qualité des professionnels du cinéma.

Les changements d'optiques exigent des réglages (alignements) qui font perdre du temps et Sony a intégré dans son dernier modèle de caméra, la H.D.C. 300, la possibilité de mémoriser les alignements des différentes optiques.

Il n'y a pas de différence fondamentale de qualité entre l'image produite par une caméra 1125 et par une caméra 1250. Les techniciens

(1) Angénieux a également développé un prototype de zoom à microprocesseur permettant le meilleur placement des lentilles (pour la définition mais aussi le contrôle des aberrations optiques) en fonction de la distance de mise au point et de la focale choisie. On observe, dans cette conception originale la mise en relation de l'optique avec les possibilités de l'électronique.

de la R.A.I. qui ont pratiqués les deux formats jugent la caméra B.T.S. plus sensible (environ 80 ASA), que la caméra Sony. Mais, sur tous les autres plans, cette caméra leur rappelle les modèles de la première génération de caméras Sony, en particulier sur deux points :

— le poids et l'encombrement :

Sony H.D.C. 300 (3 ^e génération)	B.T.S. K.C.H. 1000 (1 ^{re} génération)
Poids 8,2 kg	33 kg
Hauteur 29 cm	44 cm
Longueur 29 cm	56,5 cm
Largeur 16,6 cm	31 cm ;

— l'absence de l'« image enhancer » (*) en sortie de la caméra B.T.S. Celui-ci permet d'améliorer numériquement l'image sur les fonctions de contours, de gammas, de colorimétrie, de niveaux de noirs et de blancs.

D'une manière générale, les électroniciens d'exploitation ont l'impression, avec la haute définition, de se retrouver dans les conditions techniques des débuts de la télévision en couleur. Cette observation n'est pas une critique de la haute définition mais la prise en compte de ces limites provisoires, qu'ils ont déjà connus, pour assurer l'excellente qualité du résultat.

Les récents progrès réalisés par le matériel japonais révèlent que l'on est dans la même logique de développement qu'en basse résolution. Le développement des caméras à C.C.D. en haute définition permettra d'améliorer la sensibilité, le contraste, de diminuer les réglages et l'encombrement.

2. L'ENREGISTREMENT

La caméra B.T.S. est relié à sa voie de contrôle par un câble dont la longueur ne peut pas dépasser 100 mètres. Cette limite n'existe pas en vidéo normale ni avec le matériel japonais grâce à l'utilisation des fibres optiques pour transmettre le signal. **Ce manque de mobilité est une entrave pour de nombreuses situations de tournage avec le matériel européen.**

Les magnétoscopes actuellement employés sont analogiques ce qui pose de très sérieux problèmes de génération tout au long de la chaîne de production. Sony a présenté depuis plusieurs années le

(*) Traitement tendant à améliorer les caractéristiques des signaux de l'image pour en permettre ensuite une reproduction de meilleure qualité.

magnétoscope numérique qui devrait être livré aux prestataires dans le courant de cette année.

L'enregistrement se fait sur des bandes un pouce. Ces bandes magnétiques doivent être très soigneusement contrôlées et polies. Défilant deux fois plus vite que dans le format traditionnel, le nombre de bandes nécessaires est deux fois plus élevé en haute définition.

L'ensemble du matériel utilisé pour l'enregistrement : les magnétoscopes, les contrôles de voies, le mélangeur, les moniteurs de contrôle et éventuellement l'« image enhancer » (1) représentent un ensemble encombrant et peu maniable.

La solution adoptée actuellement consiste à rassembler tous ces équipements dans un car servant de régie pour les extérieurs comme pour les tournages en studio. Ce car mobile comprend également tous les équipements nécessaires à l'enregistrement du son.

B. — La post-production.

En post-production, c'est-à-dire pour le montage image, le montage et le mixage du son, la haute définition fait appel aux équipements existant de la vidéo actuelle. Ces étapes de post-production sont donc très similaires à la post-production vidéo classique et à la post-production électronique de produits tournés en 35 mm.

Cette méthode pose cependant des problèmes de synchronisme et de conversions complexes, en particulier lorsque les fréquences des systèmes de montage sont différentes de celles des systèmes d'enregistrement.

1. Le montage est réalisé en « off-line » (2) sur des bancs de montage en vidéo standard, après conversion de la haute définition en P.A.L. ou en N.T.S.C.

Pour des raisons pratiques, ce transfert est souvent réalisé en refilant l'image haute définition sur un moniteur. Mais elle peut être aussi effectuée en utilisant un convertisseur H.D. - P.A.L. ou N.T.S.C. en bout de chaîne d'enregistrement. Cette seconde solution est préférable car de meilleure qualité, et plus sûre au niveau de la compatibilité des codes temporels.

La méthode de montage off-line convient particulièrement bien à la haute définition car elle évite l'emploi de bancs de montage haute

(1) Traitements tendant à améliorer les qualités de l'image.

(2) C'est-à-dire à partir de copies.

définition encore peu développés et coûteux. Elle permet de bénéficier de toutes les facilités des bancs de montage existants que ce soit par l'expérience qu'en ont les monteurs ou l'existence de fonctions de synchronismes développées.

Cette conception de la post-production vidéo N.T.S.C. ou P.A.L. ressemble fortement à la méthode utilisée lors de la production en 35 mm, de certains clips, certaines publicités, de séries comme *Dallas* ou *Falcon Crest* ou même de certains longs métrages (*Full Metal Jacket* de Stanley Kubrik, entre autres).

Dans ce cas on utilise des bancs de montage vidéo informatisés, développés pour éviter les manipulations du film en respectant les habitudes de travail des monteurs de cinéma. Ces systèmes, tel le système « Montage », permettent de raccourcir les durées de montage et de réduire le nombre des assistants monteurs. Un système « Montage » a été utilisé pour monter *Littlest Victims* le téléfilm produit en haute définition par C.B.S. en 1988.

Lorsque le montage est terminé il existe sous la forme d'une copie de travail en 3/4 de pouce et d'une liste de données informatiques de points de montages que l'on utilise pour la conformation de l'original.

2. Les codes temporels d'enregistrement jouent un rôle important dans l'étape de post-production car ils sont le seul lien qui permet de retrouver les plans de façon fiable pour le montage on-line. Or les différences de fréquences quand il s'agit de haute définition en 60 Hertz avec le 59,94 Hertz du N.T.S.C. ou le 50 Hertz du P.A.L., impliquent un travail complexe de synchronisation et d'interfaçage pour retrouver avec exactitude le code temporel de l'original.

3. La conformation ou montage « on-line » (1) est ensuite réalisée avec le souci de conserver un minimum de générations. En effet, la haute définition analogique ne supporte pas plus de deux ou trois générations à partir de l'original : le master monté et les copies de distribution.

Cette étape de conformation est plus longue que dans une production traditionnelle car c'est à ce stade que sont réalisés les fondus entre les plans et les corrections de couleur, et parce qu'il n'est pas encore possible de mémoriser ces fonctions.

4. Le son a une très grande importance en haute définition car il donne tout son relief à la qualité de l'image. Il est enregistré en stéréo analogique ou numérique.

Pour lui conserver toute sa qualité à travers ces différentes étapes de transfert, il est préférable de traiter le son en numérique. A la fin des

(1) C'est-à-dire directement à partir des originaux.

étapes de montage et de mixage, les pistes sonores sont reportées sur le master haute définition.

La post-production du son est identique à ce qui est fait dans les productions actuelles, si ce n'est qu'on retrouve, à ce niveau, les mêmes problèmes de compatibilité de fréquences pour synchroniser le son, et que sont mises en œuvre des solutions identiques.

C. – Les effets spéciaux.

Les effets spéciaux constituent l'apport principal de la haute définition à la production de programmes de qualité.

Cependant, actuellement, en l'absence des outils de traitement numériques et compte tenu des problèmes de générations, l'usage des effets spéciaux est encore limité à quelques fonctions comme l'incrustation.

Les possibilités actuelles en 4.2.2 permettent de préfigurer que la future régie numérique haute définition sera le centre de traitement des images de toutes origines, dans les années qui viennent.

1. LES FONCTIONS D'EFFETS SPÉCIAUX

Ceux actuellement utilisés en production haute définition sont :

- l'incrustation (Ultimatte) ;
- les fonctions de mélanges (volets et fondus) ;
- les palettes graphiques.

Pour éviter les générations, ces effets sont généralement réalisés en direct à la prise de vues, ou au stade de la conformation finale.

La qualité de l'Ultimatte en haute définition est excellente. Il fut employé sur la série de quatorze heures tournée par la télévision canadienne « Chasing Rainbow » pour incruster les décors de certaines scènes censées se dérouler en Europe et éviter ainsi des coûts beaucoup plus importants.

Mais en l'absence de possibilités d'enregistrement en numérique et de machines de trucages numériques, **un bon nombre d'effets possibles**

en 4.2.2 (rotations, déformations, etc.), et de mise en page manquent encore (1).

Ces développements numériques sont imminents et ils donneront à la haute définition sa véritable dimension dans le domaine des effets spéciaux.

2. LA COMPATIBILITÉ AVEC LES EFFETS SPÉCIAUX DU CINÉMA

Il faut être prudent dans l'affirmation que la vidéo haute définition remplacera les effets spéciaux du cinéma car ceux-ci sont enregistrés sur des formats supérieurs au 35 mm (Vistavision ou 70 mm) afin d'être raccordés, après transferts, avec la qualité des images non truquées.

Dans de nombreux cas, la vidéo en haute définition peut servir d'assistance à la production d'effets spéciaux cinématographiques, pour préparer et visualiser (en particulier dans le cas des incrustations) les trucages réalisés ensuite dans la qualité cinématographique.

Le numérique est, pour les spécialistes d'effets spéciaux de cinéma, un moyen de réaliser relativement facilement, de visu et beaucoup plus rapidement qu'en film, des traitements d'images complexes.

Lors d'expériences d'intégration d'images de synthèse dans les films, ceux-ci estiment que les outils de traitements d'images peuvent être intégrés à la production d'effets spéciaux du cinéma à condition :

- qu'elles puissent être à résolution variable avec une moyenne d'environ 1 000 lignes en progressif ;
- que les fonctions de traitement numérique puissent être programmables tout en restant accessibles à des spécialistes de l'image, le savoir-faire ainsi développé restant le principal investissement, indépendant de l'obsolescence des machines ;
- qu'elles permettent un traitement artistique, pixel par pixel, de l'image. Des exemples de développements de logiciels en 2D interfacés avec des palettes graphiques existent déjà aux Etats-Unis et en Grande-Bretagne.

Technologiquement, la haute définition à balayage progressif pourra remplir ces conditions.

(1) En mai 1989 au N.A.B., Sony a présenté pour la première fois le maillon manquant de cette chaîne d'effets : le H.D.-D.M.E. Voir le chapitre III de ce rapport.

3. LES EFFETS SPÉCIAUX NUMÉRIQUES EN HAUTE DÉFINITION

La haute définition apportera aussi aux outils numériques existants, en 4.2.2 une qualité d'image correspondant mieux à leur sophistication.

La régie numérique haute définition sera un moyen de mélanger des techniques d'origines diverses et d'exploiter les complémentarités en utilisant :

- les techniques du film encore impossibles en vidéo (les variations de vitesses de prises de vues, essentielles pour les effets spéciaux) après inversion en numérique des images cinématographiques ;

- les palettes graphiques pour les traitements 2D et toutes les possibilités de mise en page ;

- les ordinateurs graphiques pour la création d'objets non réels ou de décors ;

- les systèmes de prises de vues informatisés (Motion Control) pour coupler tout mouvement numérique avec une prise de vues réelle ;

- les distorsions et les mouvements des fonctions intégrées dans les truqueurs numériques actuels ;

- les corrections de couleur, retouches (1), caches flous, etc.

D. — Les transferts.

Les transferts du film en haute définition (les télécinémas) et de la haute définition en film (les kinescopes) sont la clé de la complémentarité entre le film et la haute définition.

Relativement simples à mettre en œuvre, les télécinémas favoriseront la diffusion des films sur support électronique. Le transfert de la haute définition sur le film, uniquement pratiqué dans le cadre de la haute définition 1 125/60, n'a pas encore donné toute sa mesure.

(1) La R.A.I. a utilisé ces fonctions de retouches des images par la palette graphique Quantel sur la production de la coproduction F.I.A.T.-R.A.I. réalisée en début d'année 1989.

1. LES TÉLÉCINÉMAS.

Les télécinémas (Rank-Cintel) produisent des images haute définition de qualité excellente, en particulier en haute définition à 50 Hertz ou aucune conversion ne vient dégrader l'image.

En 60 Hertz, on effectue une interpolation de deux sur trois (transferts d'une image film pour deux trames électroniques, puis transferts de l'image suivante sur trois trames). Cette technique introduit des défauts de visualisation, une saccade (judder) dans les parties en mouvement de l'image.

Les télécinémas, comme les analyseurs d'images fixes, peuvent servir à produire des fonds pour les effets spéciaux.

Ils peuvent également être utilisés, pour intégrer dans des films en haute définition des plans tournés en 35 mm encore impossibles ou trop complexes à réaliser en haute définition (grandes vitesses de prises de vues, ou conditions de mobilité du matériel, par exemple).

Mais l'importance des télécinémas est surtout relative à la distribution des films en haute définition. Déjà importante en basse résolution (80 % du prime time des chaînes, distribution cassettes), elle étendra encore ses réseaux (salles de cinéma équipées de vidéoprojecteurs, vidéodisques, réseaux câblés) en fonction de la qualité et de l'économie du transfert. La compatibilité de fréquence (50 Hertz) est donc essentielle à la distribution des films en haute définition.

2. LE KINÉSCOPAGE (TRANSFERTS DE LA HAUTE DÉFINITION SUR FILM)

Lors du transfert de la haute définition sur le film, la compatibilité est encore plus critique.

En effet, dans tous les cas où l'on veut utiliser la haute définition sur du film, que ce soit pour des projections sur grands écrans, ou simplement pour insérer des plans dans des longs métrages (effets spéciaux), la qualité de l'image haute définition doit être maximale. En effet, ces images seront projetées en grand format et le défaut de saccade inhérent à la conversion du 60 c/s en vingt-quatre images par seconde y sera d'autant plus visible.

Actuellement, deux technologies différentes sont employées, le transfert à faisceau électronique (Electron Beam Recorder) et le transfert à laser. L'E.B.R. est actuellement le moyen le plus utilisé. Il se perfec-

tionne d'année en année, employant chaque fois des techniques plus complexes pour compenser les défauts de restitution de mouvements. Dans le sens 60 Hertz à vingt-quatre images seconde, il y a disparition d'une trame toutes les deux images 35 mm. Il faut alors compenser le phénomène de saccade par des traitements d'interpolations vectorielles extrêmement complexes. L'image est impressionnée sur le film en trois images noir et blanc distinctes selon le principe de la sélection tri-chrome, et recomposé ensuite dans une tireuse optique.

Selon M. Visintin, directeur technique du centre de production de la R.A.I. à Milan, « la nécessité de maintenir la stabilité du système tout au long du processus du transfert, d'éviter les saccades potentielles tout en préservant la qualité de l'enregistrement et du montage en haute définition, tout cela fait de ce transfert l'opération la plus complexe de toute la production », (Maastricht, avril 1989).

Malheureusement, les transferts sur film à partir de 50 Hertz, qui devraient donner de biens meilleurs résultats à partir de techniques beaucoup plus simples, n'existent pas encore. L'intérêt de développer rapidement un tel système est maintenant complètement pris en compte dans le programme Eurêka 95.

III. — CONDITIONS ET COÛTS DE PRODUCTION

A. Le style de tournage.

La plupart des productions en haute définition réalisées aujourd'hui ont, pour des raisons à la fois techniques et artistiques, été tournées en monocaméra, avec des méthodes très similaires au film.

Il n'y a pas d'impossibilité fondamentale à tourner en multicaméra. Les raisons généralement avancées en faveur du tournage monocaméra sont les suivantes :

- parfaire la qualité de l'image en concentrant les moyens sur un seul axe de prise de vues ;
- cette méthode correspond mieux aux habitudes de travail des professionnels du cinéma responsables de la production ;
- elle simplifie les réglages et les problèmes techniques.

L'encombrement des caméras, leur mobilité et le peu d'équipements encore disponible aujourd'hui peuvent être d'autres raisons.

Par ailleurs, le tournage multicaméra correspond surtout à la production de programmes de télévision ou d'émission en directs, qui, en l'absence de réseau de transmissions, n'ont pas encore été produites.

Néanmoins les cars de tournage sont souvent équipés de deux ou trois caméras et de deux magnétoscopes.

Les deux unités d'enregistrement sont utilisées parfois comme deux unités mobiles séparées. La R.A.I. a ainsi équipé deux petits cars permettant de tourner des plans en mouvements.

Le plus souvent, afin de réduire les temps d'installation, on prépare un plan avec une caméra pendant qu'on tourne avec l'autre.

On utilise aussi les tournages à deux caméras :

– comme en cinéma, pour des scènes difficiles, de coûts élevés ou dangereuses (accidents, explosifs, etc.) ;

– dans le cas de trucages en direct où l'une des caméras filme le fond tandis que l'autre filme les personnages sur fond bleu.

En haute définition, la mise au point est extrêmement critique. Il n'est pas possible de contrôler le point dans le viseur de la caméra. Il est donc nécessaire d'avoir, comme en cinéma, un assistant opérateur qui ne se charge que de la mise au point.

B. – Les équipes.

La production en haute définition exige des équipes plus qualifiées que la vidéo actuelle. Cette qualification, artistique autant que technique, est à la fois issue du savoir-faire des professionnels du cinéma et d'un accroissement des compétences des professionnels de la vidéo.

Dans les expériences de tournage en haute définition, les équipes de tournage ont été constituées en mélangeant les professionnels du cinéma et de la vidéo. Les postes occupés par les professionnels du cinéma sont les postes artistiques et certains postes de direction : le directeur de la photographie et toute son équipe image, le directeur artistique et le monteur. Le réalisateur est également un professionnel de cinéma mais il est souvent choisi pour son expérience ambivalente.

Cette équipe est entourée de techniciens de la vidéo extrêmement compétents qui ont la charge, devenue essentielle, de contrôler la qualité technique de l'image et le bon fonctionnement de tous les équipements.

C. — L'ergonomie.

L'ergonomie du matériel est un facteur très important des conditions de tournage car il a d'importantes conséquences à la fois sur les coûts de production et sur la qualité de l'image en production. Il peut être un argument déterminant du choix d'un équipement, plus important même que la compatibilité.

Dans l'ensemble, les équipements haute définition sont plus encombrants et plus lourds que les équipements de cinéma et que les équipements électroniques actuels.

Ce manque de mobilité accroît considérablement les temps d'installation quand il n'empêche pas de tourner dans certaines conditions de place ou de distance.

Pourtant les nécessités de précision et de qualité donnent à l'ergonomie du matériel une importance beaucoup plus grande que dans la vidéo actuelle. Les professionnels du cinéma, habitués à l'ergonomie du film, proposent aux constructeurs des modifications de certaines fonctions. Celles-ci n'exigent pas de modifications électroniques complexes. Il s'agit de formes, de poids, du développement d'accessoires ou de fonctions simples : types de viseurs, mise au point, de montures optiques, de porte-filtres, etc.). Mais leur existence a une incidence importante sur les temps de tournage et la précision du travail réalisé.

Sur ce point, **les ingénieurs japonais prêtent une très grande attention aux conditions de tournage** et modifient le matériel d'une génération à l'autre, selon les demandes des professionnels de la production. Ikegami fut la première société à intégrer, dès 1987, ces fonctions inspirées du cinéma dans une caméra, suivi en 1989 par Sony avec la caméra H.D.C. 300.

Comparativement, **le matériel européen reste très proche du matériel de laboratoire**, les ingénieurs européens, sans doute par manque de moyens, n'ayant établi que peu de communications avec les professionnels du tournage. Cela ralentit les possibilités d'expérimentation du matériel.

Pour les équipes de tournage, l'ergonomie et la fiabilité du matériel sont des notions fondamentales car chaque minute perdue se reporte sur les frais de production.

La présence des ingénieurs-constructeurs, le suivi de la maintenance dans la situation actuelle d'exploitation d'un matériel encore

pratiquement à l'état de prototype est un facteur déterminant dans le choix d'un équipement de production, beaucoup plus important que la compatibilité avec une norme.

Sur la fiabilité, tous les rapports de tournage mettent l'accent sur l'absence de retards dus à des pannes.

D. — Les temps de tournage.

Les temps de production observés sont plutôt longs, et, en grande partie, le résultat de l'état actuel du développement du matériel et de l'absence du numérique ayant une incidence directe et très importante sur les coûts de production, leur réduction est la composante principale de l'équilibre économique des productions en haute définition.

Les réductions de temps annoncées avec le perfectionnement du matériel doivent tenir compte des temps de tournage nécessaires à toute création artistique ou programme de haut de gamme.

1. EN PRODUCTION

Le long métrage « *Julia et Julia* » a été tourné en soixante-dix-neuf jours, pour une moyenne de durée de tournage des longs métrages tournant autour de neuf semaines (cinquante jours). Le téléfilm d'une heure trente *Littlest Victims* a été tourné en vingt-trois jours, et les quatorze heures de *Chasing Rainbow* en dix-huit mois. Comparativement, un épisode d'une heure de *Dallas* se tourne en sept jours, en 35 mm.

Actuellement aucun des producteurs ne fournit de raisons sur ces durées de tournage au-delà des normes, mais lorsqu'on analyse les conditions de tournage, il est évident que les durées de tournage sont accrues par :

— l'encombrement, la lourdeur et le manque d'ergonomie du matériel exigeant des temps d'installation importants ;

— les temps de réglage d'un matériel à la limite du prototype et ne possédant que très peu de possibilités de mémorisation des réglages ;

— la qualité de la production. La qualité de l'image, des décors, du maquillage et de la mise en scène augmente les temps d'installation dans des proportions similaires à une production de long métrage.

L'argument le plus souvent avancé pour prédire la réduction des durées de tournage par rapport au 35 mm sont dus au contrôle immédiat de l'image et au tournage multicaméra.

Actuellement, comme nous l'avons vu, le tournage multicaméra est peu pratiqué en haute définition.

Quant au contrôle de l'image, il est au contraire analysé actuellement comme une perte de temps car il introduit des discussions et un trop grand souci de perfectionnisme. Les productions en haute définition ont toutes progressivement abandonné le moniteur de contrôle sur le plateau.

2. EN POST-PRODUCTION

En post-production, les temps de montage sont les mêmes qu'en vidéo normale ou qu'en post-production vidéo pour un film 35 mm. A ce sujet, il est intéressant de noter que **les temps de montage sont effectivement bien moindres en vidéo qu'en film car de nombreuses manipulations disparaissent.** Cependant, Andy Mondshein, le monteur des trois derniers films de Sydney Lumet avec le système « Montage », remarque que dans le cas d'un long métrage, « on monte beaucoup plus vite, mais on ne monte pas moins longtemps. On fait un meilleur montage en essayant plusieurs versions ».

Le gain de temps à cette étape sera donc fonction de la catégorie de programme à réaliser.

Actuellement, par contre, l'étape de conformation (*) est beaucoup plus longue en haute définition qu'en vidéo à cause des synchronisations de codes temporels et des effets ou corrections qui ne peuvent être faits qu'à cette étape.

Il est évident que les temps de tournage et de post-production seront réduits par l'enregistrement numérique, l'augmentation de la sensibilité des caméras, la possibilité de mettre des fonctions en mémoire, et le développement de l'ergonomie de l'ensemble.

Mais il reste à évaluer quelle est, dans ces temps, la proportion de la part artistique et créative, la part qui revient uniquement à la précision de l'image, car celle-là sera incompressible. Cette proportion sera variable selon le type de produits réalisés et son marché de distribution.

(*) « Conformation » : mise en conformité de l'original avec la copie travail (cf. chapitre premier, p. 15).

E. — Les coûts de production.

Les coûts de production sont actuellement élevés et le resteront par rapport à la vidéo actuelle.

Dans le cas de comparaison avec des productions 35 mm pour la télévision, les coûts devraient rester comparables. La seule différence pouvant se situer au niveau du type de produit et en particulier de l'usage d'images traitées.

Actuellement, les coûts de production en haute définition ne sont pas divulgués par les producteurs. Il y a plusieurs raisons probables :

— ils sont élevés, à la suite de ce qui a été développé précédemment ;

— il s'agit de productions expérimentales (expérimentation du matériel, de l'équipe, de la gamme de produit) desquelles il est difficile de déduire les chiffres pour la production courante.

Ces coûts contrediraient les stratégies officielles dans lesquelles la haute définition doit toujours être présentée comme concurrentielle avec le 35 mm, plus économique et équivalente en qualité. Ce qui est loin d'être prouvé.

1. PAR RAPPORT AU 35 MM

Parmi les éléments non officiels en notre possession, nous évaluons la production en haute définition actuelle comme équivalente à une production en 35 mm chère.

La production de *Julia et Julia* aurait coûté entre 40 et 60 millions de francs. A titre de comparaison, le budget moyen d'un long métrage français se situe entre 20 et 30 millions de francs.

Dans l'esprit d'une comparaison avec le 35 mm, l'augmentation des coûts vient :

— de l'augmentation des temps de production dûs au manque d'ergonomie et de performances (sensibilité) du matériel ;

— de l'augmentation du personnel de production en contrôle électronique, en maintenance et en manutention.

La qualité artistique ou qualité de réalisation pouvant être considérée comme équivalente en haute définition et en 35 mm.

Les temps de production se réduiront progressivement mais il n'est pas possible actuellement de dire ni dans quelle proportion ni quand.

2. PAR RAPPORT À LA VIDÉO ACTUELLE

En comparaison avec la vidéo actuelle, les coûts d'achat et, par déduction, de location de matériels de tournage sont dans un rapport de 1 à 3 et en post-production, de 1 à 4.

L'augmentation de la qualité générale de la mise en scène (correspondant à 60 % du budget) devrait également se situer dans cette proportion.

La société japonaise Imagica évalue que les coûts de la haute définition resteront pendant longtemps de trois à cinq fois plus élevés que ceux de la vidéo standard actuelle.

3. PAR RAPPORT AU 35 MM POUR LA TÉLÉVISION

Le rapport détaillé des coûts de production présenté par C.B.S. propose un autre type de comparaison : la comparaison avec une production en 35 mm pour la télévision.

Dans cette étude, la production en haute définition représenterait une réduction de 15 % par rapport à une production en 35 mm, sur un total de 1,3 millions de dollars pour une heure de fiction pour la télévision. L'évaluation de ce que pourraient être les coûts de la haute définition en production courante est faite à partir de certaines données connues aujourd'hui, extrapolées sur les conditions de production en N.T.S.C. Il en est déduit :

1. une réduction générale des temps et de l'équipe de tournage ;
2. une réduction des coûts de matériels due au remplacement du 35 mm par des bandes vidéo ;
3. les économies de traitement et de laboratoire ;
4. des réductions de temps induisant une réduction de coûts des cachets de comédiens et de la réalisation ;
5. réduction du temps sur la post-production.

Globalement, cette comparaison avec le 35 mm n'est pas tout à fait exacte car les coûts dus au traitement électronique autres que l'amortissement de la caméra, du magnétoscope et du banc de montage : la maintenance, les personnels spécialisés, l'ensemble des outils de contrôle, etc., ce qu'on pourrait appeler : le laboratoire immédiat de la vidéo, sont nettement sous-estimés.

La réduction des temps de tournage est la part la plus importante des économies envisagées (plus de 60 %), sur la base de l'argument selon lequel la possibilité de visionner directement l'image sur le plateau est un facteur important de réduction du temps de tournage. Nous avons vu ce qu'il en était en haute définition. Ce budget prévoit cinq jours de tournage en haute définition (nous en sommes encore loin) contre sept jours en film, pour un programme d'une heure.

Ce budget ne prévoit aucune augmentation due à l'amélioration de la qualité de l'image et du type de programme, alors qu'il est prévisible que pour la télévision haute définition, les productions qu'elles soient en 35 mm ou en vidéo seront globalement plus chères, correspondant à des programmes de prestige.

Quand à la post-production électronique qui représenterait une réduction des coûts de 46 %, il faut savoir qu'elle est déjà largement pratiquée en vidéo par les productions en 35 mm destinées uniquement à la télévision, qu'il s'agisse de publicités, de clips, ou de séries.

Avant d'annoncer des réductions de coût en haute définition, il faut donc bien distinguer les comparaisons budgétaires en fonction du type de produit à réaliser : s'il s'agit d'un produit pour la télévision, s'il s'agit d'un long métrage, d'un programme court avec effets spéciaux, ou d'une émission en direct.

Ces données budgétaires existantes ne prennent pas suffisamment en compte le fait que le grand avantage de la haute définition sera la réalisation des effets spéciaux ainsi que la possibilité de mélanger des images et des données issues d'origines différentes, numériques ou cinéma. Mais, en dehors de l'usage plus développé des possibilités du numérique, on ne verra pas apparaître de réduction de coûts exceptionnelle.

D'autre part, ces coûts, même élevés ne sont pas forcément une entrave au développement et à la commercialisation de programmes de qualité en haute définition. Tout cela dépend des stratégies développées par les producteurs :

— s'agit-il d'immobiliser moins longtemps les capitaux par rapport à une production cinématographique beaucoup plus longue ?

— ou bien s'agit-il de programmes de stock qui pourront être distribués internationalement et éventuellement rediffusés ?

*
* *

En ce qui concerne la production, les équipements en haute définition doivent donc être de la meilleure qualité possible, non seulement sur le plan technique mais aussi, dans leur ergonomie. Les constructeurs européens doivent rapidement combler le retard qu'ils ont par rapport aux constructeurs japonais si l'on veut voir se développer les productions en 1 250/50.

A plus longue échéance, pour répondre aux besoins des effets spéciaux du cinéma et des autres procédés d'imagerie électronique, les équipements de la haute définition doivent atteindre 1 000 lignes en progressif et au-delà.

Quant aux coûts de production, ils seront sans doute encore longtemps plus élevés qu'avec la vidéo actuelle, mais cela ne devrait pas entraver le développement d'un marché de programmes et d'équipements professionnels très important.

IV. — PROGRAMMES ET PRODUCTEURS

La situation actuelle ne peut pas révéler complètement ce que sera le futur marché de la haute définition. Elle n'en représente que les points de départ.

Au niveau des chaînes de télévision, les programmes produits actuellement en haute définition visent essentiellement le marché des programmes tournés en 35 mm. Mais la R.A.I. a aussi fait l'expérience de se placer sur les marchés du long métrage, alors que les indépendants s'inscrivent plutôt dans les nouveaux réseaux à circuits fermés.

Cette première étape est révélatrice de l'ampleur des futurs marchés de programmes et d'équipements de la haute définition, surtout si l'on tient compte également des applications à tous les autres domaines de la communication audiovisuelle.

A. — Cas particulier de la situation actuelle.

En l'absence d'un marché de programmes en haute définition, les productions actuelles sont soit :

— des « expériences » :

Dans ce cas, les motivations pour la production en haute définition sont avant tout de l'ordre de l'investissement en formation, afin de préfigurer les conditions de tournage et d'évaluer les futures conditions économiques.

Les producteurs jouent aussi sur l'investissement dans l'image de marque, selon le principe de « qui peut le plus, peut le moins », en démontrant leurs aptitudes pour des productions de qualité et complexes, ou leurs capacités de développement et d'adaptation aux mutations en cours.

— des productions publicitaires pour le système lui-même : productions de démonstrations subventionnées par les constructeurs, les banques ou les organismes publics intéressés au développement de la haute définition.

Les facilités de mise à disposition du matériel constituent également un des éléments de cette promotion.

Mais les producteurs sont bien conscients que cet état de grâce ne durera pas et qu'il faudra trouver de véritables marchés.

M. Lionetti, responsable technique de la production de *Julia et Julia*, disait dans sa conférence à la S.M.P.T.E. en 1987 : « Si nous avions fait une simple expérience, nous aurions beaucoup moins appris et cela nous aurait coûté beaucoup plus cher que de produire expérimentalement un film que nous espérons rentabiliser. »

B. — Les producteurs de programmes pour la télévision.

D'une manière fondamentale, les chaînes de télévision attendent de la haute définition un moyen de retrouver un public pour résister à la concurrence des autres réseaux de distribution de programmes (cassettes, vidéodisques et câble).

Cette stratégie passe par la production de **programmes de prestige** qu'ils envisagent de rentabiliser sous plusieurs formes :

— soit en remplaçant le 35 mm comme support original d'enregistrement d'un certain nombre de produits de télévision (80 % du prime time est tourné en 35 mm, dont les séries comme *Dallas*, des documentaires, les clips, etc.) et de gérer eux-mêmes, plus économiquement, la production de ces émissions. C'est le cas de l'expérience de C.B.S. avec le téléfilm *Littlest Victims* ou de la télévision canadienne C.B.C. avec la production de la série de quatorze heures *Chasing Rainbow*.

Ces productions sont réalisées pour une diffusion immédiate en N.T.S.C. après conversion du signal. Plus que la qualité intrinsèque du système, ce sont les conditions de production électronique qui comptent alors, ainsi que la compatibilité avec le réseau de diffusion envisagé :

— soit en produisant des programmes de prestige dont la distribution est envisagée dans l'immédiat sur le plan international et dans l'avenir pour le réseau de télévision haute définition. Dans ce cas, la qualité devient un facteur plus important ainsi que la compatibilité entre les futures normes de haute définition. Dans un premier temps, la conversion 625-525 peut suffire.

C. — Le cinéma électronique.

La conception du cinéma électronique est basée sur les relations que le cinéma et la télévision entretiennent depuis de nombreuses années. **D'une part, les chaînes de télévisions ont besoin du cinéma** pour constituer le haut de gamme de leurs grilles de programmes. **Et d'autre part, la production cinématographique, dont la rentabilité se fait maintenant à plus de 50 % sur support électronique, dépend de l'investissement des chaînes et des nouveaux distributeurs sur support électronique.**

Avec la haute définition, la R.A.I. entend prouver qu'une chaîne de télévision est capable de produire seule pour le marché du cinéma et se placer ainsi sur les différents marchés de distribution : le réseau des salles de cinéma, la télévision et la distribution de cassettes.

La production cinématographique constitue le haut de gamme des programmes. C'est une vitrine exceptionnelle. On peut considérer que le film *Julia et Julia*, par ses qualités techniques de réalisation et, en particulier, le travail de l'image a plus fait pour « vendre » la haute définition que la plupart des autres productions. La R.A.I. a compris qu'en haute définition, la qualité d'image implique, comme en cinéma, que le talent soit l'investissement principal.

Mais la production cinématographique n'est pas le seul objectif visé par la R.A.I. C'est une **première étape pour la diversification** de ses programmes.

« Le savoir-faire de production acquis au cours des années précédentes et le développement des équipements 1 125/60 atteignant la troisième génération, nous allons maintenant commencer la seconde phase en élargissant la recherche aux autres formes de productions comme la publicité, les sujets d'actualité et les documentaires artistiques. » (F. Visintin, directeur technique du Centre de production de la R.A.I. à Milan.)

Les producteurs indépendants ont déjà commencé à explorer ce type de productions.

D. — Les producteurs indépendants.

Actuellement, les producteurs qui ont investi dans la haute définition sont de petites sociétés également prestataires de service (*). Ils produisent essentiellement des publicités, des documentaires ou des clips qu'ils rentabilisent sur un petit marché de circuits fermés (musées, expositions) ou en diffusion dans les standards actuels.

Pour eux, la qualité des équipements et leur ergonomie étant prioritaire, ils investissent dans le matériel le plus performant : le 1 125/60.

Intéressés par la multiplication la plus rapide des réseaux de distribution, ils soutiennent le développement de nouveaux circuits non télévisuels comme l'édition vidéographique, le câble ou le réseau téléphonique par fibres optiques.

Les grandes compagnies comme les studios d'Hollywood n'investissent pas encore dans la haute définition car elles ne voient pas encore se dessiner clairement les applications de la haute définition à la grande échelle qui est la leur. Leur marché étant traditionnellement lié à la télévision et au cinéma, elles attendent que ces deux mondes industriels aient pris des décisions (*).

(*) En France : Captain Vidéo (David Niles).

(*) La S.F.P., qui avait expérimenté en 1983 le matériel H.D. 1 125/60, réalise actuellement avec le matériel européen 1 250/50 le film de présentation de la H.D. européenne, par Euréka 95, pour le symposium de Montreux 1989.

E. — Les autres marchés.

Au-delà de ce marché de programmes traditionnels, la haute définition va établir des liens avec un ensemble d'applications industrielles, médicales, militaires ou scientifiques.

Tous ces domaines utilisent aujourd'hui les images électroniques sous forme de vidéo ou d'images de synthèse. Ils attendent les équipements haute définition pour analyser, enregistrer et visualiser les images, dans les cas où la vidéo actuelle n'est pas suffisante :

- pour la lecture des détails d'une image médicale ou scientifique ;
- pour mettre plus d'informations sur une image (texte + image) ;
- pour la qualité de la simulation éducative ;
- pour transmettre, archiver ou reproduire (imprimerie) une qualité existante (par rapport au film ou à la photographie).

**TABLEAU DES PRINCIPALES UTILISATIONS
INSTITUTIONNELLES DE LA H.D.**

Utilisateurs	Applications
Services publics.	
Bibliothèque	<ul style="list-style-type: none"> - présentation vivante d'images documentaires pour permettre une compréhension rapide du développement des sciences et technologies ; - provision d'informations à propos de l'état de la situation en technologie, sciences, histoire, géographie pour profanes ; - stockage d'informations sur disque optique qui permettra de sauver de l'espace en bibliothèque et offrira une plus grande facilité de recherche et de meilleures conditions de stockage.
Hôpital	<ul style="list-style-type: none"> - stockage d'informations, d'images comme les radios à rayons X et images de scannographe ; - transmission de données entre le domicile du patient et l'hôpital ;
Musées, galeries d'art, etc.	<ul style="list-style-type: none"> - prises de vues de tableaux, sculptures, ruines, etc ; montrer ces images aux expositions, ventes aux enchères, etc. ; - échange d'informations picturales avec d'autres galeries d'art.
Education	<ul style="list-style-type: none"> - matériel d'étude scientifique et social ; - lectures simultanées d'images dans différentes classes de cours ; - enregistrement d'opérations chirurgicales pour du matériel d'étude en médecine.
Autres	<ul style="list-style-type: none"> informations municipales ; - présentation touristique de sites.
Secteur privé.	
Imprimerie	<ul style="list-style-type: none"> - préparation du matériel à imprimer sur écran ; - organisation simultanée de l'impression et de la création d'images ; - distribution simultanée et impression d'images multiples.
Distribution industrielle	<ul style="list-style-type: none"> - information et autres services au consommateur dans les grands magasins ; - applications publicitaires.
Autres	<ul style="list-style-type: none"> - formation et séminaire ; système de téléconférence ; - information immobilière par visualisation vidéo ; - tournage en conditions spéciales ; - tournage sportif.

Dans la mesure où ces secteurs d'activités utilisent souvent les images de synthèse dans une résolution d'environ 1 000 lignes, la haute définition leur permettra de conserver cette résolution en duplication et en transmission des données.

Beaucoup de spécialistes signalent que la résolution qui conviendrait le mieux à toutes ces applications est d'environ 2 000 lignes, mais ils considèrent que **la haute définition est une bonne position d'attente.**

Enfin, les outils numériques permettront d'interfacer des informations de tout ordre sur les machines de mélange et de traitement numériques conçues pour la production.

Ils mettront à la disposition de ces utilisateurs des équipements complémentaires (mémoires d'images, systèmes de visualisation) à leurs instruments, beaucoup moins chers car amortis sur d'autres marchés.

Il est prévisible que le marché des équipements dans ce domaine sera beaucoup plus important qu'il ne l'est aujourd'hui avec les équipements de la vidéo actuelle.

En dehors de ces secteurs où la demande existe déjà, la haute définition se développera probablement dans de nombreux secteurs de communication visuelle comme les informations dans les lieux publics, la publicité urbaine, les communications d'entreprise, expositions, etc.

La cohésion de la demande d'équipements haute définition qui se dessine aujourd'hui dans des domaines aussi différents et aussi importants que le cinéma, la télévision, la communication audiovisuelle, la mémorisation et la transmission de données scientifiques permet d'envisager un effet boule de neige sur tout l'ensemble de la chaîne haute définition.

V. — LA DISTRIBUTION

Les trois grands médias de circulation de l'image animée sont :

- le circuit cinématographique ;
- l'édition vidéographique ;
- la télévision diffusée (réseaux, satellites, câbles).

Une brève analyse de leur adaptation à l'image H.D. est faite ci-dessous.

A. — Le circuit cinématographique.

Pour introduire dans ce circuit une œuvre produite en haute définition, trois solutions sont envisageables, mais il faut avoir présent à l'esprit que l'exploitation cinématographique connaît depuis plusieurs années une diminution de la fréquentation des salles et que dans ce contexte de morosité économique l'introduction de la haute définition ne pourra être envisagée que si elle apparaît comme une solution technique à des questions d'ordre économique ou si elle contribue à renforcer le caractère de « spectacle haut de gamme » de la projection d'un film en salle.

1. *Première solution : exploitation en salle d'œuvres converties en 35 mm.*

La production ou le distributeur prend à sa charge le transfert de l'œuvre vidéo produite en haute définition sur un support 35 mm : les copies de distribution sont effectuées de façon classique par un laboratoire film.

Ce scénario est le plus crédible à court terme puisqu'il ne modifie en rien l'économie de la distribution cinématographique. Son inconvénient majeur est le coût du transfert difficile à évaluer aujourd'hui mais représentant de 3 à 4 % du coût d'une production de moyenne importance.

2. *Deuxième solution : la distribution par satellite.*

Ce scénario, souvent cité, doit être abordé avec précaution. En effet, l'utilisation d'un canal satellite conduit à une uniformisation de la politique de programmation de toutes les salles qui seront équipées pour recevoir ce canal (et aux mêmes horaires). Pour une multiprogrammation, il faudrait donc disposer d'autant de canaux satellites différents et à large bande que l'on voudrait avoir de films différents en exploitation simultanée sur un même territoire, à moins de recourir à l'enregistrement dans chaque salle de films diffusés successivement sur un canal de satellite.

Dans ce cas, l'exploitant devrait donc acquérir, outre un ensemble de projection vidéo grand écran à haute définition, un système d'enregistrement-lecture H.D. en plus de l'équipement de réception du canal H.D. satellite (soit un investissement représentant cinq à six fois le coût d'une cabine de projection 35 mm dolby). Ceci semble donc à écarter dans une première phase.

La distribution par satellite suppose, même ramenée à sa configuration la plus simple, un équipement de réception et de vidéoprojection qui représente un surcoût considérable pour l'exploitant, mais des possibilités d'économies substantielles pour les distributeurs. Par ailleurs, les risques de piratage (les signaux devraient être embrouillés) et l'impossibilité d'un contrôle précis de la diffusion sont des inconvénients importants par rapport aux habitudes de l'industrie cinématographique.

Dans ce même schéma doit être incluse la distribution par réseaux câblés à large bande (R.N.I.S.). Des études plus précises seraient nécessaires pour connaître les configurations possibles de ces réseaux, leur coût d'utilisation, les délais pour qu'existent les réseaux à 140 Mbit/s qui permettront la transmission de la H.D. en préservant toutes ses qualités.

3. Troisième solution : projection de vidéodisques haute définition dans les salles.

Ce scénario suppose que les salles soient équipées de projecteurs vidéo haute définition et de lecteurs haute définition : ces lecteurs ne pourraient être que des lecteurs de vidéodisques, étant donné le coût trop élevé des lecteurs de supports magnétiques, et la technicité requise pour leur mise en œuvre.

Là aussi, l'exploitation cinématographique aura à supporter des charges d'équipement en vidéoprojection. **Ce scénario conduit à une restructuration économique importante de l'ensemble distribution-production.** Il est donc peu vraisemblable qu'il puisse s'introduire rapidement dans les pays où l'exploitation cinématographique individuelle représente encore une part non négligeable des ressources, et où l'exploitation du patrimoine 35 mm coexistera longtemps avec celle des nouveaux produits haute définition.

Ces scénarios supposent en outre que des vidéoprojecteurs de haute brillance et fiables, couvrant des surfaces d'écran importantes (8 à 10 mètres de base) soient mis au point, et offerts sur le marché à des conditions économiques possibles pour les exploitants.

B. — L'édition vidéographique haute définition (cassettes ou vidéodisques).

C'est l'hypothèse du « cinéma à domicile » dont on suppose qu'elle sera suffisamment attractive sur le plan de la qualité de projection pour entraîner la dépense importante à laquelle les ménages devront faire face pour acquérir un ensemble lecteur vidéodisque + récepteur (ou rétroprojecteur) HD : au minimum 30 000 F (?).

Un éditeur ne lancera une série de produits (vidéodisques HD) que s'il a l'assurance de trouver un parc prêt à accepter ses produits.

Le consommateur ne fera l'acquisition de l'équipement que s'il est certain d'avoir un choix de programmes renouvelé.

Ce choix de programmes peut concerner des produits spécifiquement réalisés en haute définition mais aussi la transcription en haute définition des films 35 mm les plus connus qui pourront, grâce à la qualité de la haute définition et à son format 16/9, être enfin visualisés dans des conditions optimales.

La seule issue à ce problème de la poule et de l'œuf est qu'il soit introduit parallèlement un service de télévision haute définition radiodiffusée par satellite ou par câble qui permettra la constitution progressive du parc.

Il faut aussi tenir compte ici du développement que pourront prendre des produits réalisés en haute définition à des fins scientifiques, éducatives ou de communication industrielle et qui utiliseront également le vidéodisque haute définition comme support de diffusion.

Ces applications permettraient une ouverture du marché à des domaines plus larges que la simple utilisation domestique. Elles constituent un moyen de rentabiliser plus vite le coût de développement de matériels destinés à la TVHD.

Il faut souligner que ce scénario d'introduction de la haute définition, dénommé « scénario privatique », mérite d'être considéré avec attention : l'offensive japonaise peut venir de là. En effet, avant même que la haute définition soit diffusée par la télévision, pourraient s'ouvrir de façon quasi simultanée :

- le marché domestique,
- le marché des petites salles équipées de vidéoprojecteurs et lecteurs de disques,
- le marché des autres applications de la haute définition à la communication tel que décrit à la fin du chapitre IV.

Pour ces deux derniers marchés, le prix des appareils de visualisation a une moindre importance que pour le marché domestique.

C. — La diffusion par le média « télévision »

L'introduction d'un service de télévision haute définition de façon progressive et compatible est un principe maintenant bien admis tant en Europe qu'aux Etats-Unis. L'examen ne porte donc plus sur l'intérêt « industriel » de cette introduction de la haute définition mais sur

l'intérêt pour les producteurs qui ont le souci de trouver l'amortissement des productions en haute définition.

Ceci doit être examiné par rapport à l'utilisation prévisible de produits haute définition :

- soit sur les actuels réseaux de diffusion ;
- soit sur les futurs réseaux qui pourront transmettre la haute définition.

1° A court terme : diffusion dans les standards actuels (P.A.L. - S.E.C.A.M. - N.T.S.C.) sur les réseaux TV existants.

Le problème est identique à celui de la diffusion de films 35 mm mais le coût d'un lecteur magnétique de bandes vidéo HD associé à un convertisseur de standard (HD/625 ou HD/525) n'est pas du tout comparable à celui d'un télécinéma 625 lignes (ou 525 lignes). Comme pour les télécinémas le nombre nécessaire d'équipements de ce type pour un pays européen dans le cas de diffusions régulières de programmes produits en haute définition serait de l'ordre de 30 à 50.

Ce coût d'équipement serait à supporter par les radiodiffuseurs. Tous ne s'équiperont pas (pays en voie de développement en particulier) ce qui rend la commercialisation directe de produits HD plus difficile.

Mais **pour certains produits haut de gamme**, outre l'intérêt technique — voir l'intérêt économique — de les réaliser en HD, **les producteurs prendront à leur charge soit le transfert sur 35 mm, soit la conversion vers les standards 625 et 525** pour une utilisation sur les réseaux actuels, mais ils disposeront pour le futur des bandes HD nécessaires à un transfert sur vidéodisque HD ou à une diffusion HD.

C'est cependant pour le producteur un pari qui comporte des risques :

- aucun standard universel n'est retenu pour le moment ;
- le standard japonais, même s'il cherche à se faire reconnaître *de facto*, ne présente pas les meilleures conditions de qualité technique pour le futur, ni les meilleures possibilités de conversion vers les standards de diffusion haute définition compatibles. Seul le transfert sur 35 mm, qui existe aujourd'hui mais qui est très onéreux rend son utilisation possible ;
- le standard européen 1 250 à balayage progressif ne sera pas opérationnel avant 1992. C'est également à cette échéance que sera disponible le transfert sur film 35 mm ;
- les producteurs seront donc conduits, pour bénéficier des possibilités nouvelles de la HD, à utiliser dans un premier temps la version 1 250 entrelacée qui, opérationnelle dès 1990, pourra être

convertie dans d'excellentes conditions à la fois vers le 625 lignes mais aussi vers le 525 lignes. Mais il est certain qu'il faudra mettre en place une politique incitative sur le plan économique pour amener les producteurs à utiliser ces équipements de préférence au 35 mm (*cf.* conclusion).

2° La diffusion en haute définition.

Nous avons vu qu'en Europe, son introduction compatible (HD-Mac) sur les réseaux de diffusion par satellite ou par câble qui utiliseront la famille de normes Mac, sera possible à partir de 1992. Certains pays envisagent même de démarrer en 1992 directement des programmes spécifiques en haute définition (Italie).

En effet se pose ici le même problème que pour l'édition vidéographique haute définition : créer un parc de récepteurs haute définition et offrir un choix de programmes.

L'équipement de réception haute définition doit apporter une amélioration de qualité substantielle pour rendre son acquisition attractive pour le consommateur. Le prix d'un tel équipement sera vraisemblablement au départ du même ordre de grandeur que celui d'une petite automobile : mais c'était la même chose au démarrage de la couleur en 1968. Cependant la véritable mise sur le marché de récepteurs HD n'est prévue que pour 1994-1995. A cette époque il est probable que plusieurs millions de récepteurs (625 lignes) fonctionneront dans la norme Mac en Europe et pourront recevoir directement les programmes HD compatibles. La question de l'amortissement d'un programme produit en HD sera donc beaucoup moins dramatique que si ce programme était produit pour un réseau de diffusion HD isolé et incompatible.

L'introduction de la production HD dans le programme se fera progressivement, par tranches horaires, ou par nature de produits : cette production sera d'ailleurs une production de haute qualité même pour ceux qui ne la recevront que sur des récepteurs Mac 625 lignes.

CONCLUSION

Le département d'Etat a déclaré officiellement que les Etats-Unis ne soutiendraient pas la norme TVHD 1 125/60 et qu'ils demanderaient au C.C.I.R. en 1990 de retarder toute décision.

Cette position récente (5 mai 1989) représente un revirement important dans la perspective d'une nouvelle donne de la TVHD. Elle peut représenter un atout de taille dans la volonté politique et économique de l'Europe de contrer le Japon dans son offensive.

En effet, aujourd'hui le Japon contrôle quasi complètement les trois passages obligés de toute réalisation technologique en matière de haute définition :

- les magnétoscopes numériques à haut débit ;
- les capteurs C.C.D. et les écrans plats L.C.D. ;
- les composants à intégration poussée nécessaires à la réalisation, tant des systèmes de codage que de décodage, pour le marché grand public des récepteurs HD.

La maîtrise tant pour les Etats-Unis que pour l'Europe de ces trois points de passage obligés suppose la mobilisation d'importants crédits de recherche fondamentale et de développement.

Une autre nécessité, tout aussi importante que la maîtrise du développement technologique, est aujourd'hui de promouvoir les utilisations possibles de la HD.

- D'une part parce que le but de toute industrie est de rentabiliser les efforts de recherche et de développement par une commercialisation dans les meilleurs délais, ce que les Japonais savent très bien faire ;

- D'autre part parce que l'enjeu de la TVHD est aussi culturel et qu'il serait regrettable que la production HD européenne ne puisse acquérir la place qu'elle doit occuper pour de simples raisons économiques.

Différentes contraintes risquent de freiner la pénétration rapide de la TVHD.

Selon une étude menée par l'International Data Corporation en 1988, les opérateurs de télévision sont loin d'avoir l'enthousiasme des industriels pour la TVHD. Ceux-ci, indique cette étude, ne sont guère pressés d'investir dans les équipements qui leur permettraient de se préparer à cette nouvelle technologie.

La capacité d'investissements des producteurs et radiodiffuseurs est en effet limitée.

Le coût des matériels utilisés pour la production HD est environ trois fois plus cher que le matériel actuel. Il est de surcroît encore dans une phase dite expérimentale jusqu'en 1992.

L'importance de ces investissements implique une prise de risque non négligeable pour l'acquéreur, d'autant plus qu'aucun système de normes n'est encore défini.

Ce dernier devra aussi prendre en compte le coût des transferts ou des transcodages, aussi bien vers les standards actuels qu'entre les normes de TVHD.

La perspective de ne pas **diffuser en haute définition** avant deux ou trois ans, en Europe, risque également de freiner les utilisateurs potentiels.

Les producteurs ou opérateurs qui accepteraient de tenter des expériences en haute définition, même s'ils sont intéressés par l'acquisition d'un savoir-faire, mettent en avant que les seuls bénéficiaires seraient finalement les industriels de matériels grand public qui trouveraient dans ces productions des instruments de promotion pour la vente de nouveaux modèles de téléviseurs. Ils ne seraient d'ailleurs pas loin de penser que ces programmes expérimentaux devraient être financés par les industriels eux-mêmes.

La production en haute définition risque donc de ne pas démarrer naturellement pour de simples raisons économiques. Il y a grand risque de se trouver dans une situation bloquée.

Par une politique de mise à disposition gracieuse, semi-gracieuse ou « en location » d'équipements au coût de la vidéo classique, le Japon a, de son côté, mené depuis longtemps une politique incitatrice en production, qui lui permet aujourd'hui de présenter un nombre important de réalisations en HD 1 125.

Ces expériences ont non seulement permis de familiariser les producteurs et les diffuseurs avec des équipements fondés sur l'utilisation de nouvelles technologies, mais ont aussi servi la recherche industrielle pour l'élaboration d'une meilleure ergonomie, mieux adaptée aux techniques de production.

Par ailleurs, le Japon encourage la production en haute définition à travers notamment la diffusion par satellite, opérationnelle dès 1990 avec le lancement du satellite BS-3.

L'incompatibilité de la transmission par satellite avec les récepteurs actuels est contournée de deux façons :

— par la disposition du transfert sur film 35 mm, qui rend ainsi la production en haute définition visuelle dans tous les cas ;

— par la mise au point d'un convertisseur domestique MUSE-525 N.T.S.C. qui permet de recevoir les nouveaux programmes sans bénéficier de la qualité haute définition.

Selon les industriels nippons, ce n'est qu'à partir d'un taux d'équipement de 10 % de l'ensemble de la population que le marché peut amorcer véritablement sa croissance.

Il conviendrait, en Europe aussi, de favoriser des expériences, formatrices tant sur le plan des hommes que sur le plan technique. Il est nécessaire de mettre à la disposition des utilisateurs potentiels des équipements et de produire afin de créer un savoir-faire indispensable.

Ne disposant pas du transfert sur film avant 1992, les Européens doivent trouver d'autres incitations économiques à produire en haute définition. Il faut en particulier envisager l'utilisation de cette production sur des réseaux 625 lignes mais diffusant en Mac (et au format 16/9).

En mettant à la disposition des producteurs, à des tarifs préférentiels, le matériel haute définition que ces derniers ne peuvent acquérir dans l'immédiat, le groupement européen d'intérêt économique (G.E.I.E.) chargé de promouvoir la norme européenne 1 250/50/1, pourrait favoriser l'émergence de programme en haute définition.

Cette aide pourrait se caractériser comme étant le financement du surcoût engendré par la production en haute définition par comparaison avec une production conventionnelle film ou vidéo.

DEUXIÈME SOUS-PARTIE
INCIDENCE DE LA TÉLÉVISION
HAUTE DÉFINITION
SUR L'ÉVOLUTION DE L'ACTIVITÉ CINÉMATOGRAPHIQUE
(Par M. René Bezard.)

Résumé.

M. Bezard juge peu fourni le dossier de l'incidence de la T.V.H.D. sur l'évolution technique de l'activité cinématographique. Il rappelle que le secteur de l'activité cinématographique ne représente pour l'industrie électronique qu'un très petit marché de matériels spécifiques et complexes. Certes, le premier système de télévision qui atteindrait réellement à la qualité de l'image 35 mm pourrait tenter de supplanter la production cinématographique mais on en est encore loin, juge M. Bezard. En effet, alors que le film 35 mm peut apporter à l'œil environ trois millions d'informations par image, le nombre de pixels de l'image vidéo haute définition n'atteint qu'à peine 500 000. Il est vrai, cependant, que la télévision compense, dans une certaine mesure, par le nombre d'images (50 par seconde au lieu de 24 pour le cinéma) l'insuffisance d'informations de chacune d'elles. Mais le 35 mm a vraisemblablement encore de beaux jours devant lui.

La télévision, en tant non seulement que client mais aussi que coproducteur, a un impact important sur l'activité cinématographique et les transferts sur film 35 mm d'images produites en vidéo peuvent avoir une incidence non négligeable sur la crédibilité médiatique et politique des systèmes de T.V.H.D. Il faut noter, à ce propos, que les systèmes à 50 Hz, comme le système européen, ont l'avantage de ne pas poser de problèmes de compatibilité avec le cinéma. Les conversions d'un support à l'autre s'en trouvent grandement facilitées.

Sur le plan économique, il est prématuré aujourd'hui de vouloir comparer les coûts respectifs de tournage en vidéo haute définition et en cinéma 35 mm classique mais il est évident, pour la postproduction, que les procédés de la vidéo et de la numérisation des images sont les moins onéreux (ce qui ne date pas, d'ailleurs, de la haute définition). En ce qui concerne la distribution, des groupes intégrés multimédias pourraient tenter d'infléchir la production et la distribution en salles d'œuvres audiovisuelles vers la vidéo à haute définition mais cela paraît peu probable à M. Bezard, en tout cas, dans les dix ans qui viennent.

Les interventions de l'Etat et la politique des producteurs et des diffuseurs pourraient jouer un rôle important dans l'évolution de ce dossier, indépendamment de toute comparaison des performances techniques ni même des prix de revient de la T.V.H.D. et du cinéma.

SOMMAIRE

	Pages
INTRODUCTION.....	134
I. — Des systèmes en lice pour la T.V.H.D., quel est le plus susceptible d'applications cinématographiques ?	135
A. — <i>Rappels et terminologie</i>	135
B. — <i>Les transferts sur films d'images haute définition</i>	136
C. — <i>Les avantages d'un système à 50 Hertz</i>	138
II. — Considérations techniques et économiques	141
A. — <i>Éléments techniques</i> ..?	141
1. <i>Prise de vues</i>	141
2. <i>Transferts</i>	142
3. <i>Postproduction</i>	143
4. <i>Diffusion</i>	143
a) <i>La projection en salles</i>	143
b) <i>L'édition vidéographique</i>	144
c) <i>La télédiffusion</i>	144
B. — <i>Éléments économiques</i>	145
1. <i>Au niveau de la production cinématographique</i>	145
2. <i>Au niveau de la distribution</i>	148
3. <i>La visualisation à domicile</i>	150

INTRODUCTION

Le premier système de télévision qui atteindrait réellement à la qualité de l'image cinématographique 35 mm serait en mesure de tenter une mainmise totale sur la production cinématographique elle-même : en effet, en production et en postproduction, la technique vidéo est d'un emploi particulièrement souple, notamment en matière de trucage et d'effets spéciaux ; des machines de transfert à hautes performances permettraient de transcrire les images vidéo sur film 35 mm avec une qualité finale comparable à celle des films actuels ; concernant enfin la distribution cinématographique, celle-ci pourrait voir sa logistique simplifiée par utilisation de voies hertziennes ou filaires pour, sur l'écran d'une salle publique tout comme sur celui d'un téléviseur à haute définition, assurer au spectateur une qualité d'image équivalente à celle de la projection cinématographique d'aujourd'hui.

Un tel enjeu n'est pas certain. On hésite pourtant à le qualifier de simplement contingent lorsqu'on voit l'importance des efforts développés dans cette ligne depuis huit ans par la N.H.K. auprès de la puissante S.M.P.T.E. (*), lorsqu'on voit en 1986 le réalisateur d'*Apocalypse now*, Francis Ford Coppola, mobilisé par N.H.K./C.B.S. pour assurer la promotion cinématographique d'Hivision, lorsqu'on voit récemment en France le dernier film de Claude Lelouch faire l'objet d'une expérience de transmission/projection électronique entre les laboratoires Eclair à Épinay-sur-Seine et une salle de cinéma de Beaugency, lorsque, enfin, ces tout derniers jours, une mission soviétique s'est saisie de la faisabilité de la substitution de la voie satellitaire à la distribution classique des films dans des régions très éloignées de l'U.R.S.S. où les conditions climatiques particulièrement dures s'avèrent périlleuses pour la bonne conservation des copies au cours de leur transport.

(*) Society of Motion Picture and Television Engineers.

I. — DES SYSTÈMES EN LICE POUR LA TÉLÉVISION À HAUTE DÉFINITION, QUEL EST LE PLUS SUSCEPTIBLE D'APPLICATIONS CINÉMATOGRAPHIQUES ?

A. — Rappels et terminologie.

Qu'elles ressortissent au système S.E.C.A.M., P.A.L. ou N.T.S.C., même visionnées sur des appareils professionnels performants, les images de la télévision sont loin d'atteindre aujourd'hui à la qualité de l'image cinématographique standard 35 mm.

Cette différence de qualité n'incombe ni aux matériels d'émission ni aux récepteurs, mais aux systèmes de télévision eux-mêmes : en effet, alors que la projection cinématographique classique d'un film couleur 35 mm peut délivrer à l'œil du spectateur plus de 3 millions d'informations par image projetée, la restitution de cette même image diffusée en S.E.C.A.M., P.A.L. ou N.T.S.C. ne va guère fournir au téléspectateur que 300 000 informations visuelles.

Cette relative médiocrité de l'image télévisée actuelle s'assortit en outre d'une géométrie parcimonieuse puisque son « format » (rapport de sa longueur à sa hauteur) est de 1,33 contre 1,375 ou 1,85 ou 2,35 pour l'image cinématographique selon que celle-ci est respectivement « classique » (dite encore « Academy » ou « Movietone ») ou « écran large » (wide screen), ou cinémascope (avec emploi d'anamorphoseur).

Améliorer la qualité, la dimension et la géométrie de l'image télévisée est depuis longtemps l'objectif des techniciens de l'électronique audiovisuelle.

Accroître la dimension de l'image nécessite l'augmentation du nombre des lignes de balayage, puisque sur un téléviseur grand écran actuel les lignes sont déjà visibles pour peu qu'on le regarde de près.

Améliorer la qualité de l'image nécessite l'augmentation non seulement du nombre des lignes d'analyse mais également celle du nombre d'éléments d'image contenus. Dénommés « pixels », ces points élémentaires d'image correspondent sur chaque ligne aux points « échantillonnés » par la caméra et donc reproduits sur l'écran du téléviseur. On estime à près de 500 000 le nombre minimum de pixels nécessaires au confort de la vision sur un écran de télévision qui aurait environ 1 mètre de base et 60 cm de hauteur.

B. — Les transferts sur films d'images haute définition.

Quoiqu'ils prétendent, les applications cinématographiques de la haute définition ne sont pas le souci dominant des promoteurs de ces systèmes : japonaise, américaine ou européenne, l'industrie électronique a pour premier objectif — et on la comprend — l'énorme marché grand public mondial des futurs matériels haute définition : téléviseur, magnéto-scope et disque laser. A l'opposé, **pour l'industrie électronique, le secteur cinématographique est et ne sera jamais qu'un très petit marché (*)** de matériels très complexes et très spécifiques.

Objectivement l'actuel dossier de l'incidence de la T.V.H.D. sur l'activité cinématographique n'est pas très fourni et peu riche d'enseignement.

— Les transferts sur pellicule 35 mm d'images vidéo N.H.K. à haute définition actuellement visibles à Paris ne sont pas convaincants. Certes leur qualité est supérieure à celle des transferts sur film d'images P.A.L. ou S.E.C.A.M. ; il importe toutefois de souligner que, même en l'absence de mouvement (de la caméra ou du sujet), cette qualité est de l'ordre de celle d'une bonne copie 16 mm mais n'atteint certainement pas à celle du cinéma classique 35 mm ; enfin, si le sujet bouge un tant soit peu rapidement ou si la caméra panoramique, des défauts inacceptables apparaissent.

On objectera (peut-être) que les transferts actuellement visibles à Paris ont été réalisés avec des matériels et des techniques de la première génération de T.V.H.D. et que des améliorations ont été apportées depuis au procédé par la N.H.K. C'est possible et même probable, mais au prix de quelle complexité informatique ? Peut-on raisonnablement concevoir un système qui nécessiterait un programme informatique différent pour chaque mouvement de caméra ? Il est permis de s'interroger sur la capacité de l'ordinateur à différencier les mouvements intentionnels de ceux inopportuns.

— L'avènement de la télévision à haute définition ne semble susciter ni enthousiasme, ni panique chez les professionnels de l'activité cinématographique ; tout au plus décèle-t-on chez eux une vigilance ressortissant plutôt à l'urgence d'attendre et à l'assurance proprement viscérale que **le 35 mm a encore de beaux jours devant lui.**

(*) A titre d'illustration, le marché mondial actuel de dispositifs de report optique de son magnétique n'atteint pas vingt unités par an ; plus étroit encore s'avère le marché des machines de transfert de l'image vidéo sur film 35 mm. Quant au parc mondial des caméras optiques Panavision, il n'atteint pas quatre cents unités.

— Enfin, pour la raison précitée de l'étroitesse du marché des matériels professionnels de cinéma, le développement de machines de transfert vidéo — film 35 mm ne semble pas constituer une préoccupation primordiale pour les concepteurs de systèmes de télévision à haute définition.

Au Japon un convertisseur à faisceau électronique a été mis au point par Sony, à la demande de la N.H.K., pour le report sur film 35 mm d'images vidéo N.H.K. 1 125 lignes ; cette machine est exploitée commercialement par E.B.R. (Electronic Beam Recording), filiale de Sony, prestataire de services pour les producteurs de programmes audiovisuels, à l'instar d'Image Transform (*) en Californie. Parallèlement la N.H.K. a confié à la société N.A.C. le développement d'un convertisseur optique à laser.

Le développement d'une machine de transfert homologue 1 250 lignes figure implicitement au programme du « Projet n° 3 — Equipements de studios » du programme Euréka 95, mais n'est pas encore entrée dans sa phase de réalisation (**).

De tels convertisseurs d'images vidéo à haute définition sur film 35 mm se caractérisent simultanément :

— par une grande complexité et donc des dépenses importantes de recherche-développement ;

— et par un marché quasiment inexistant au niveau de l'équipement ;

— mais, en revanche, par une incidence considérable sur la crédibilité médiatique et politique des systèmes de télévision dont ils procèdent.

*L'importance des conséquences économiques pour la C.E.E. de la crédibilité mondiale d'un système européen de télévision à haute définition justifierait que la charge — scientifique, technique et financière — de recherche et développement de tels matériels de transfert incombât à de grands laboratoires publics des Etats membres, parfaitement capables de mener à bien de telles entreprises d'intérêt général évident (***)*.

(*) Cette société, dont le siège est à Burbank (Californie) s'est assurée la prédominance mondiale dans ce type d'activités, grâce à la virtuosité technique et informatique dont elle n'a cessé de faire preuve dans les opérations de transfert d'images d'un système à l'autre et d'un support à l'autre.

(**) Un convertisseur sera probablement développé conjointement par Bosch, Philips et Thomson pour présentation au C.C.I.R. en 1990.

(***) Tels le C.N.E.T. en France, le B.T.R.L. au Royaume-Uni (British Telecom Research Laboratory), le F.T.Z. en R.F.A. (Forschung Technisches Zentralamt), le C.S.M.T. en Italie (Centro Studio e Laboratori Telecomunicazioni — Organisme parapublic), le Dr Nehr Laboratorie aux Pays-Bas.

C. — Les avantages d'un système à 50 hz.

Cela étant, et pour théorique qu'il soit nécessairement compte tenu de la minceur et de l'évolutivité du dossier concernant l'incidence de l'événement de la télévision à haute définition sur l'activité cinématographique, un avis équitable ne peut raisonnablement donner la préférence à une norme de production à 60 ni à 59,94 Hz de fréquence de trame.

— D'abord, qu'on le veuille ou non, le monde audiovisuel est condamné à passer sous le joug de quatre fréquences prédominantes : 60 Hz et 59,94 Hz en Amérique et au Japon (*), 50 Hz dans la quasi totalité du reste du monde, et 24/25 images par seconde pour le cinéma 35 mm.

Depuis l'avènement du parlant, tous les films ont été tournés à 24 images par seconde (avec tolérance d'une image en plus) (**) et projetés à cette cadence dans les salles de cinéma et sur les télécinémas de toutes les télévisions. Cette télédiffusion du film ne soulève aucune difficulté dans les pays où, l'énergie électrique étant distribuée en courant alternatif à 50 Hz, la fréquence de trame de la télévision a été fixée à 50 Hz (fréquence choisie égale à celle du secteur électrique pour des raisons rappelées dans la fiche relative aux « contraintes en matière de télévision »). En revanche, en Amérique et au Japon, la télédiffusion du film classique a dès l'origine soulevé une difficulté arithmétique, due au fait que la fréquence de 24/25 images par seconde adoptée pour le film n'est pas un sous-multiple de 60 Hz, valeur initialement adoptée par ces pays comme fréquence de trame pour leur télévision compte tenu de la fréquence de leurs réseaux de distribution d'énergie électrique qui leur servait initialement de base de temps ; elle n'est pas d'avantage un sous-multiple de 59,94 Hz.

Les sociétés américaines de télévision, puis dans leur foulée les industriels de la vidéo ont maintes fois tenté de convaincre l'industrie cinématographique américaine d'adopter une cadence sous-multiple de 60, donc 30 ; mais pratiquement en vain jusqu'ici (***), les professionnels considérant que, les films s'amortissant sur le monde entier et

(*) 60 Hz pour la distribution électrique ; 59,94 Hz pour la fréquence de trame des émissions télévisées.

(**) Les professionnels du cinéma écrivent tantôt « 24/25 », tantôt « $24\frac{1}{25}$ » pour caractériser le nombre d'images par seconde du film 35 mm.

(***) Michael Todd, promoteur du « Todd-Ao », c'est-à-dire du 70 mm, a tourné trois films à 30 images par seconde en 1956, dont le *Tour du Monde en 80 jours*. Cette entreprise est restée sans lendemain à la mort de Michael Todd en 1958.

notamment sur les pays européens, il serait économiquement déraisonnable de produire dans un standard différent du standard mondial de 24 images par seconde.

Le futur avènement de la télévision haute définition devait inévitablement fournir une occasion nouvelle de remettre la question sur le tapis pour les rêveurs estimant que le succès d'une norme mondiale de production électronique basée sur une fréquence de 60 Hz (*) conduirait logiquement le cinéma à l'adoption d'une cadence cinématographique de 30 images par seconde.

Il y a loin du rêve à la réalité et, quel que soit le système adopté pour la télévision à haute définition, l'avènement de celle-ci se produira dans un monde installé dans une cinématographie à 24/25 images, c'est-à-dire dans un monde où le stock de films de ce standard encore exploitables durant de nombreuses années est considérable et où les infrastructures de production et de distribution sont très importantes. Quelle qu'elle soit, la télévision à haute définition devra s'en accommoder :

- pour télédiffuser du film 35 mm évidemment ;
- et surtout si elle tente de se substituer éventuellement aux techniques de production cinématographique.
- Compte tenu de ce préalable, prétendre produire en 24/25 images par seconde par une technique électronique à 59,94 ou 60 Hz tient de la gageure.

Pour transférer du 24 images par seconde dans un télécinéma N.T.S.C. il faut déjà faire appel à un artifice (**): les images impaires occupent trois trames et les paires deux seulement ; cette manipulation génère nécessairement des défauts qui n'apparaissent pas actuellement dans les pays N.T.S.C. par ce que la pauvreté de la définition de la télévision est telle qu'elle occupe le défaut ; il n'en est plus de même si l'on passe en haute définition, c'est-à-dire si l'on améliore la résolution, car les mouvements apparaissent alors saccadés, discontinus. Ce n'est donc pas par hasard si les démonstrations de transfert sur film d'images de télévision à haute définition 60 Hz ne concernaient que des sujets immobiles ou en déplacement lent.

En d'autres termes, un système à 50 Hz ne posera jamais de difficultés de comptabilité avec le film, ni à la production, ni au transfert, ni à la diffusion, 50 étant un multiple de 24/25 ; et même, lorsqu'il en est besoin, on peut sans difficultés tourner sur film en 25 images.

(*) Il est rappelé que le système de la N.H.K. comporte une fréquence de trame de 60 Hz (et non 59,94).

(**) Artifice désigné par l'expression professionnelle « tirage 3-2 ».

En revanche tout système de production de télévision à 60 Hz (ou 59,94) soulèvera inévitablement une multitude de difficultés à l'égard de sa compatibilité avec le cinéma classique (*).

Donc, en tout état de cause, le cinéma 35 mm s'accommodera toujours facilement d'une norme de production de télévision à 50 Hz mais ne sera jamais ni aisément ni simplement compatible avec la fréquence 60 Hz ou 59,94 Hz.

Le projet Eurêka 95 porte sur une norme de production « ultime » à 50 Hz, unique mais duale au niveau du studio et de la transmission pour les territoires à 59,94 Hz : le système N.H.K. en revanche, même accompagné du cortège de la famille Muse, est et restera basé sur 60 Hz.

Tout autre commentaire serait littérature.

Un autre argument milite à l'encontre de l'utilisation du système N.H.K. pour la production cinématographique : ce système est à balayage entrelacé.

Comme en télévision traditionnelle le balayage commence de haut en bas de l'image par les lignes de rang impair, puis revient en haut de l'image pour parcourir successivement les lignes de rang pair ; un laps de temps existe donc nécessairement entre les trames de rangs impair et pair et *apparaît lors du transfert sur films*. La solution de continuité qu'il y suscite est d'autant plus sensible que l'image est plus animée ou que la caméra panoramique plus rapidement : en d'autres termes, si une caméra N.H.K. fait un travelling latéral, par exemple depuis une voiture parcourant la voie Pompidou, plus la voiture ira vite, plus au transfert sur film le décalage sera sensible entre les deux trames ; à la projection les arêtes de la tour Eiffel et des tours du bord de Seine seront floues (**) et l'image donnera l'impression d'être étirée ; en revanche tout rentrera dans l'ordre dès que la voiture s'arrêtera.

En définitive le système N.H.K. transféré sur film est donc à mauvaise ou haute définition selon que l'image bouge ou non. C'est là un défaut rédhibitoire auquel échappe totalement le système européen développé dans le cadre du programme Eurêka 95, puisqu'il se base sur un balayage progressif, de la première à la mille deux cent cinquantième ligne, et qu'il ne soulève aucun problème de transfert sur film.

(*) Cf. par exemple note en bas de page 8 de la fiche relative aux « Contraintes en matière de télévision » sur la difficulté d'emploi d'un système à fréquence de trame de 60 Hz sur un plateau éclairé par des projecteurs alimentés en courant électrique à 50 périodes.

(**) En fait en dents de scie.

Les tenants envers et contre tout du système N.H.K prétendent placer leurs espoirs dans l'informatique pour venir à bout demain des difficultés actuelles de transfert sur film, mais la complexité des dispositifs à mettre en œuvre a déjà été soulignée au précédemment.

Pourquoi faire simple quand on peut faire compliqué ? dirait le Huron.

II. — CONSIDÉRATIONS TECHNIQUES ET ÉCONOMIQUES

Par son caractère évolutif, la situation précédemment exposée n'autorise pas encore la formulation de prévisions fiables quant à l'incidence de l'avènement de la télévision haute définition — quel que soit le système auquel elle ressortit — sur l'évolution technique de l'activité cinématographique.

En revanche, *au vu et sous réserve* des considérations exposées ci-dessus, il est déjà possible de développer quelques réflexions et d'esquisser quelques approches auxquelles les professionnels du cinéma (*) seront sans doute amenés lorsque les prévisionnistes remplaceront les prophètes, c'est-à-dire lorsque la prédiction aura cédé le pas à la prospective.

A. — Éléments techniques

Les éléments techniques à prendre en ligne de compte dans une telle réflexion sont schématiquement les suivants.

I. PRISE DE VUES

Une technique classique sur film négatif 35 mm couleur, éprouvée et fiable : caméras très performantes (éventuellement complétées par un petit circuit vidéo de contrôle instantané) ; mise au point précise et sûre ;

(*) Des réflexions ont été amorcées sur le sujet depuis 1985, suscitées évidemment par la préparation puis par les conclusions de la conférence plénière du C.C.I.R. de mai 1986. On signalera en particulier en France les études menées par l'I.D.A.T.E.- Montpellier, par la S.F.P. et par le C.C.E.T.T. ; aux Etats-Unis la C.B.S. a édité en 1985 un document (B) sur le sujet. Toutefois on soulignera que ces premiers travaux ont été en général le fait d'hommes de télévision, de techniciens de l'industrie électronique, voire d'économistes, mais rarement d'hommes de cinéma ; ce point confirme l'attentisme généralisé déjà relevé ci-dessus, qui semble caractériser l'attitude de ces derniers à l'égard de la télévision à haute définition.

émulsions photographiques sans cesse améliorées autorisant pratiquement le tournage en toutes conditions, notamment en décors naturels ; possibilité d'inscription directe sur la pellicule d'un « code temporel », enregistré sur le film au cours du tournage, transférable avec l'image sur tous supports et susceptible d'apporter énormément de souplesse au montage et dans les éventuels traitements et transferts ultérieurs.

Face à cette technique classique, une technique vidéo haute définition, mettant de plus en plus en œuvre des caméras « tout numérique » ; une définition de l'ordre d'un peu moins de 500 000 pixels par image (quatre fois plus que les procédés actuels P.A.L. et S.E.C.A.M.) ; parallèlement une technique numérique de production d'images de synthèse, rapide et performante.

2. TRANSFERTS

Les techniques précédentes font appel en permanence à des transferts d'images : transfert tout électronique, du numérique à l'analogique et inversement, transfert du film 35 mm à la vidéo et inversement.

Il convient de rappeler à ce sujet que **tout transfert, de quelque nature qu'il soit, implique toujours une perte de qualité** et que, si faibles soient-elles individuellement, la succession de pertes élémentaires de qualité retentit nécessairement sur la qualité finale de l'image. Il a été précédemment souligné que le film 35 mm peut apporter à l'œil environ 3 millions d'informations par image et que dans le même laps de temps le nombre de pixels de l'image vidéo haute définition n'atteint qu'à peine 500 000. Pour atteindre à la même qualité d'image finale, sur quelque support que ce soit, la prise de vues en vidéo doit donc combler un sérieux handicap par rapport à celle sur négatif 35 mm ; elle ne peut espérer y parvenir qu'à travers des transferts intermédiaires extrêmement performants ; cette remarque revêt d'autant plus d'importance que de leur côté les supports sensibles ne cessent d'améliorer leurs propres performances.

On notera toutefois que la vidéo à haute définition remonte un peu son handicap dans le cas où, de la caméra à l'œil du spectateur, on ne fait à aucun moment appel au film 35 mm (cas du téléspectateur visionnant une émission en direct, ou du spectateur dans une salle utilisant un téléprojecteur). En effet, pour éviter le scintillement (cf. introduction de ce tome II), le projecteur du film 35 mm occulte chaque image deux fois (par un volet mobile), si bien que l'œil est stimulé non pas vingt-quatre, mais quarante-huit fois par seconde ; seulement ces quarante-huit stimulations ne proposent que vingt-quatre images différentes par seconde ; la télévision à haute définition, elle, non seulement stimule l'œil cinquante fois par seconde, mais elle le fait avec cinquante images complètes et différentes ; **elle compense ainsi par le nombre d'images l'insuffisance d'information de chacune d'elles.**

3. POSTPRODUCTION

Ce terme doit être pris ici dans son acception la plus large, savoir, montage, trucage, effets spéciaux, postsynchronisation-doublage et mixage.

C'est un domaine où l'interpénétration des techniques cinéma classique et vidéo n'a pas attendu l'avènement de la télévision haute définition pour s'accomplir.

La numération des images permettant leur traitement ponctuel par les procédés informatiques et la possibilité offerte par les palettes graphiques de créer des images de synthèse ont permis à l'ordinateur de supplanter complètement les « trucas » classiques dans la réalisation des trucages et effets spéciaux, génériques et spots, notamment publicitaires. Le gain de temps est considérable, la qualité remarquable et les économies réalisées importantes.

La technique vidéo a déjà colonisé le montage du film ; depuis peu, le lecteur de vidéodisques a fait son apparition, son utilisation s'y avérant génératrice de souplesse, de rapidité et donc d'économies au niveau de la production des programmes.

4. DIFFUSION

Pour l'essentiel, les moyens de diffusion dans le public d'un programme vidéo haute définition sont au nombre de trois : les salles de cinéma, les cassettes ou vidéodisques et, bien évidemment, la télévision.

a) *La projection en salles*

A l'égard des théâtres cinématographiques classiques, trois solutions sont techniquement praticables.

— La première, de beaucoup la plus simple et n'entraînant aucun investissement pour l'exploitant de la salle, consiste à exécuter un transfert vidéo HD → film 35 m (*), à tirer les copies nécessaires et à les exploiter de manière habituelle.

(*) En français audiovisuel : « transfert d'un master haute définition en master 35 mm ».

- La seconde solution est beaucoup plus sophistiquée et nécessite un important investissement local actuellement estimé à plus de cinq fois le coût d'équipement d'une cabine de projection classique (*).

Le signal parvient, soit par voie satellitaire, soit par voie filaire large bande, à la salle munie des équipements haute définition nécessaires à sa réception, à son enregistrement et à sa lecture éventuels et à sa projection vidéo sur grand écran (**).

Un tel système nécessite en outre la prise de précautions particulières contre le risque évident de piratage du programme.

- La solution précédente peut être simplifiée par l'approvisionnement des salles de spectacles, non plus en copies de films 35 mm, mais en copies vidéo (ou en vidéodisques) haute définition. L'équipement local se réduit alors à un lecteur et à un vidéoprojecteur.

b) L'édition vidéographique.

Concernant l'édition vidéographique, deux solutions sont possibles :

- la première consiste à convertir le signal vidéo haute définition, soit en 625 lignes P.A.L. ou S.E.C.A.M. soit en 525 lignes N.T.S.C., et à dupliquer sur cassettes traditionnelles VHS qui seront exploitées dans les réseaux commerciaux habituels (vente et/ou location) ;

- la seconde solution est l'édition et la commercialisation (vente et/ou location) de vidéocassettes et de vidéodisques haute définition.

Elle implique bien entendu l'existence préalable d'un parc de matériels grand public haute définition : vidéolecteurs, téléviseurs haute définition à très grand écran et vidéoprojecteurs domestiques.

c) La télédiffusion.

Concernant enfin le média télévision, il faut évidemment distinguer émission et réception.

(*) Le coût actuel d'une cabine de projection 35 mm moderne (Dolby) se situe entre 300 000 et 400 000 F.

(**) C'est-à-dire d'au moins huit à dix mètres de base, ce qui nécessite des vidéo-projecteurs à très haute brillance et d'une fiabilité éprouvée.

— A l'émission, il n'est pas du tout certain que, dès l'avènement de la télévision à haute définition, tous les radiodiffuseurs (*) s'équiperont immédiatement pour émettre selon les nouvelles normes, ni même pour convertir les programmes haute définition en P.A.L., S.E.C.A.M., N.T.S.C. Les producteurs de programmes en haute définition seront donc amenés durant quelques années à en tenir deux versions à la disposition de leur clientèle : l'une en haute définition, l'autre dans les anciens standards (P.A.L., S.E.C.A.M., N.T.S.C. ou film 35 mm).

— A la réception, l'intérêt, la nécessité même d'un système de télévision à haute définition compatible a été déjà longuement évoquée.

B. Éléments économiques.

Ces éléments techniques ne sont évidemment pas les seuls facteurs d'évolution à entrer en ligne de compte, et de nombreux aspects économiques doivent être nécessairement pris en considération.

1. AU NIVEAU DE LA PRODUCTION CINÉMATOGRAPHIQUE

Au niveau de la production du film, il convient d'abord de souligner l'importance économique de la télévision pour l'activité cinématographique, non seulement comme client, mais également et surtout comme coproducteur : la part de financement « producteur » incombant à la télévision est variable d'un pays à l'autre, mais elle est relativement considérable en Europe et notamment en France où elle peut dépasser 50 %.

A ce niveau de part producteur, d'une part, et à titre de clients importants, d'autre part, les radiodiffuseurs joueront certainement un rôle dans l'éventuelle orientation de la production cinématographique vers la vidéo haute définition.

L'évolution des conditions de production pourra donc se trouver conditionnée par des facteurs économiques conjoncturels sans rapport nécessaire avec les performances techniques ni même avec le prix de revient.

Activités à risque, la production cinématographique bénéficie souvent, directement ou indirectement, du soutien des États (facilités fiscales, crédits bonifiés, fonds de développement, etc).

(*) Les pays en voie de développement, par exemple, attendront probablement quelques années.

A ce titre, les Etats pourront être à même d'infléchir leur politiques de soutien en faveur de tel ou tel mode de production, surtout si la télévision n'y est pas privatisée.

Dans le même ordre d'idées, si le projet annoncé d'un programme Eurêka audiovisuel se concrétise, les instances communautaires disposeront à travers lui d'une base privilégiée d'observation et d'action pour promouvoir et orienter l'évolution des techniques de production.

Tenter aujourd'hui de comparer les coûts respectifs de tournage en vidéo haute définition et en cinéma 35 mm classique est prématuré.

D'abord si l'on a une idée très précise du coût (achat ou location) du matériel de prise de vues 35 mm, aucune évaluation fiable n'existe en vidéo HD ; les rares valeurs avancées le sont sur la base de prix d'ordre, consentis pour les besoins de la cause, sans rapport avec les prix de vente futurs des matériels et en toute ignorance de leurs durées de vie, donc de leurs durées d'amortissement (*) et par conséquent des charges de leur utilisation.

Ensuite, en admettant l'impossibilité d'évaluer aujourd'hui la différence vidéo/film des parts de dépenses incombant à l'équipement de prise de vues (achat-amortissement-location), on peut être tenté d'évaluer les éventuelles autres économies que le tournage en vidéo HD permettrait de réaliser par rapport à celui sur pellicule 35 mm. Or on doit à la vérité avouer que les postes susceptibles d'entraîner de telles économies sont loin d'être légion : la prise de vue en vidéo HD demande plus de lumière que pour la pellicule 35 mm ; on ne réalise pas d'économie sur la pellicule puisque, tôt ou tard, il faudra effectuer un transfert sur copie 35 mm ; quant au personnel de prise de vues, il faut à la caméra vidéo un assistant pour suivre le point et le même personnel est nécessaire pour l'utilisation des dolly (**) en vidéo ou en cinéma classique. Il est possible qu'à l'avenir le tournage en vidéo HD se révèle plus économique que sur la pellicule 35 mm, mais l'affirmer aujourd'hui serait dénué de tout fondement.

En revanche on a déjà signalé que **les procédés de la vidéo et de la numérisation des images ont aujourd'hui droit de cité dans tous les domaines de la post-production où ils se révèlent nettement moins onéreux** — notamment du fait de leur rapidité d'emploi — que les procédés purement optiques. C'est là un avantage acquis que l'avènement de la production en télévision à haute définition ne pourra évidemment que consolider.

(*) Une caméra de prise de vues 35 mm dure entre six et huit ans et coûte à l'achat entre 600 000 et 1 million de francs.

(**) Petite grue travelling supportant la caméra et permettant les mouvements habituels : panoramique, plongée, contreplongée et travelling.

L'analyse de l'adéquation du procédé de production à la nature du programme peut constituer une voie d'approche d'une prospective de l'utilisation de la vidéo haute définition en audiovisuel.

Schématiquement on peut distinguer cinq grandes catégories de programmes :

- la fiction haut de gamme, prioritairement destinée à l'exploitation en salle de cinéma ;
- la fiction de gamme moyenne, à prétention multimédia ;
- la fiction bas de gamme, à prétention uniquement télévisuelle, type séries, soap opéras, etc.
- la production destinée en principe à la diffusion télévisuelle immédiate et, en général, une fois seulement : informations, reportages sportifs, jeux télévisés, émissions de variété, retransmissions d'événements d'actualité, etc.
- les dessins animés, les génériques, les bandes annonces et les spots publicitaires.

Parallèlement, on dispose de cinq grands types de moyen de production : le film 35 mm, le film 16 mm, la vidéo lourde (dite vidéo broadcast), la vidéo légère (dite vidéo news) et les images de synthèse (palette graphique).

Dans un passé très récent on ne tournait guère en 35 mm que les fictions haut de gamme et une partie des programmes de la cinquième catégorie, notamment les spots publicitaires. Le 16 mm avait la faveur des fictions de gamme moyenne et d'une part des reportages. La vidéo était affectée aux fictions bas de gamme, aux émissions en direct et aux variétés.

La tendance actuelle est :

- à la disparition du 16 mm (*) ;
- au tournage systématique en 35 mm des fictions de haut et moyenne gammes ;
- au tournage en vidéo broadcast des fictions bas de gamme et des émissions de variétés ;
- à l'utilisation de la palette graphique pour les dessins animés et les spots (domaines où l'exigence de qualité est très élevée) ;
- et au tournage en vidéonews des autres programmes.

(*) Avec, toutefois, un certain intérêt, nouveau mais non négligeable, pour le « Super 16 », procédé consistant à tourner sur toute la largeur du négatif 16 mm, pour en tirer ensuite des copies d'exploitation en 35 mm.

On notera que pour l'immédiat les moyens vidéo news deviennent de plus en plus performants et ne cessent de gagner du terrain sur la vidéo broadcast, plus encombrante et plus onéreuse d'emploi.

— Compte tenu de ce que l'apparition des moyens de production en vidéo haute définition ne se fera que progressivement, il paraît probable que, à l'avènement de la production vidéo à haute définition, le conflit 35 mm/vidéo se circonscrira d'abord aux domaines se caractérisant par une grande exigence de qualité : fictions de haute et moyenne gammes, dessins animés, spots publicitaires.

Le coût, la durée de vie, l'encombrement, la fiabilité et la facilité d'emploi des matériels seront autant de facteurs de l'expansion ultérieure du domaine de la production en vidéo haute définition. Une enquête de terrain est actuellement menée par le B.I.P.E. (Bureau d'informations et de prévisions économiques) sur les perspectives de marché des équipements professionnels de télévision haute définition (*).

Ses conclusions devront faciliter l'appréciation de ces facteurs.

2. AU NIVEAU DE LA DISTRIBUTION

Trois solutions sont envisageables pour l'introduction, dans le circuit cinématographique classique, d'une œuvre produite en vidéo haute définition :

- le transfert sur film 35 mm ;
- la téléprojection en salle d'un signal haute définition reçu par voie hertzienne ou filaire ;
- la téléprojection d'un enregistrement haute définition réalisé sur vidéodisque.

Précédemment décrites, ces solutions sont toutes techniquement possibles, mais les investissements respectifs qu'elles nécessitent ne sont pas du même ordre de grandeur et le contexte économique de l'exploitation cinématographique sera nécessairement un facteur déterminant de l'évolution technique de la présentation en salles publiques de programmes audiovisuels produits en vidéo haute définition.

(*) Le domaine de cette enquête concerne les matériels suivants : caméras (de studio ; portables ; d'applications spécifiques) ; magnétoscopes, moniteurs vidéo ; mélangeurs ; télécinémas ; matériels de traitement de l'image (analyseur d'image, effets spéciaux, palettes graphiques, logiciels et traitement de l'image, etc.) ; vidéoprojecteurs de projecteurs ; lecteurs de vidéodisques.

Son champ recouvre, aux Etats-Unis, en Europe et au Japon, les producteurs de programmes audiovisuels, les diffuseurs de programmes et les fabricants d'équipements audiovisuels professionnels.

Un périodique récent (*) a publié les éléments ci-dessous, relatifs à l'exercice 1986, et qui mettent bien en lumière les disparités entre les différentes zones mondiales à l'égard de l'activité audiovisuelle.

	Europe	Amérique du Nord	Amérique du Sud	Pays de l'Est	Asie	Monde entier
Films produits	538	559	110	411	1 869	3 529
Salles	22 127	21 250	2 670	160 255	22 012	229 037
Spectateurs (millions)	690	1 113	145	4 421	29 573	35 871
Téléviseurs en service (en millions)	100,1	181,2	33,50	105,5	27,8	452,45
Magnétoscopes en service (en millions)	25	31,7	1,28	0	16,2	75,74
Foyers câblés (en millions) .	10,22	46,7	0,03	0	0	56,95

Ce tableau a le mérite de calibrer les « forces » en présence :

— dans le monde entier, 230 000 salles de cinéma drainent près de 36 milliards de spectateurs par an ; le parc mondial des téléviseurs dépasse 450 millions d'appareils dont moins de 15% raccordés à des réseaux câblés audiovisuels ;

— si l'on se limite à l'Amérique du Nord et à l'Europe, le nombre des salles tombe en-dessous de 45 000 pour une fréquentation de 1 800 millions de spectateurs : 20% du nombre mondial de salles n'y drainent donc que 5% des spectateurs du monde entier, alors que l'Europe et l'Amérique du Nord produisent à elles deux 31% des films.

L'actualité récente a confirmé, s'il en était besoin, la réalité de la crise qui affecte en France l'exploitation des salles de cinéma. La situation est généralement mauvaise en Europe, nettement plus mauvaise qu'en Amérique du Nord. Imaginer dans un tel contexte que l'exploitant indépendant accepterait d'un cœur léger la charge d'investissements lourds (**) et de rentabilité incertaine ne serait pas réaliste.

En revanche, il n'est pas impensable que des groupes intégrés (production, distribution, exploitation) et multimédias — donc d'assise financière relativement large — infléchissent vers la vidéo à haute définition leur activité de production de fictions de haute et moyenne gammes et se risquent, dans la foulée, à équiper leurs salles de vidéoprojecteurs à haute définition.

(*) *Europa*, numéro de janvier 1989, page 40.

(**) Selon une estimation récente, le coût des matériels dépasserait 2 millions de francs par salle. Comme leur présence n'entraînerait pas le déséquipement des projecteurs classiques, des travaux de génie civil et d'aménagement, notamment électrique, des cabines seraient probablement nécessaires, majorant d'autant le montant de l'investissement.

Une telle politique de leur part pourrait alors inciter l'exploitant indépendant à l'adoption d'une attitude moins passéiste, d'autant plus que le développement induit du marché des matériels d'équipement haute définition ne pourrait que retentir favorablement sur leurs coûts.

A l'inverse, le risque n'est certainement pas nul qu'un équipement massif en vidéo haute définition des salles des groupes intégrés n'accélère la concentration de l'exploitation autour de leurs circuits.

Plus vraisemblable paraît toutefois l'hypothèse du maintien d'un parc de salles équipées en 35 mm durant au moins la prochaine décennie, hypothèse confirmée par les investissements considérables, en cours de réalisation à Londres, Munich, Berlin et prochainement en région parisienne, pour le tirage à grande vitesse de copies 35 mm classiques.

3. LA VISUALISATION À DOMICILE

Concernant enfin le « cinéma à domicile », c'est-à-dire le développement du marché des téléviseurs à haute définition *intégrale* (et non ceux à définition simplement étendue ou améliorée comme l'I.D.T.V., l'E.D.T.V. et le Mac non H.D.T.V.), BIS Macintosh a publié en octobre 1988 des prévisions de ventes qu'on trouvera dans la quatrième partie, relative aux enjeux économiques de la T.V.H.D., du présent tome II de ce rapport.

Selon ce document, le marché européen du téléviseur à haute définition ne devrait pas prendre réellement son essor avant la fin du siècle, (soit cinq ans seulement après celui du Japon).

CONCLUSION

Une norme mondiale de production de programmes de télévision à haute définition ne sera réellement susceptible d'applications cinématographiques que si :

- c'est une norme à 50 Hz (et non à 59,94 ou 60 Hz) ;
- et si le balayage est progressif (et non entrelacé).

Le film 35 mm a les chances les plus sérieuses de rester encore longtemps le support privilégié :

- de la production des programmes de fiction destinés à l'exploitation cinématographique en salle ;
- et de la distribution du film par messageries classiques de copies standard.

DEUXIÈME PARTIE

LA TRANSMISSION DE LA TÉLÉVISION HAUTE DÉFINITION

PREMIÈRE SOUS-PARTIE : LE POINT DE VUE D'UN UNIVERSITAIRE

I. — EXPERTISE DE M. KUNT

PRÉSENTATION DE L'EXPERT ET RÉSUMÉ

Choisi pour sa neutralité (il n'est pas directement impliqué dans la bataille de la T.V.H.D.), M. Murat Kunt, professeur à l'École polytechnique de Lausanne, s'est vu confier par l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques une étude sur la transmission des signaux de télévision à haute définition (1). M. Kunt estime que, faute d'une recherche fondamentale préalable suffisamment approfondie et du fait de nombreuses contraintes non scientifiques, les projets de T.V.H.D. en présence sont imparfaits. Il regrette, notamment, que l'élaboration des systèmes de traitement d'images en général ne soient pas davantage fondés sur l'étude des mécanismes de la vision.

Partisan convaincu des technologies numériques, dont il vante la fiabilité et la souplesse, il reproche aux systèmes compatibles de conserver un lien avec les technologies analogiques qu'il juge complètement périmées. Les signaux analogiques, rappelle-t-il, sont plus sensibles aux perturbations lors de la transmission. La contrainte de compatibilité limite les possibilités de compression des signaux, or l'économie de bande passante — souligne-t-il — est une nécessité absolue. Si le système européen est donc critiquable, aux yeux de M. Kunt, par son choix en faveur de la compatibilité, le système japonais encourt de sa part, des reproches bien plus sévères : il ne comporte aucune innovation, utilise, lui aussi, un mode de transmission analogique, subit des recouvrements de spectre qui peuvent réduire l'information transmise.

La reproduction des mouvements initialement très mauvaise, a été améliorée au prix d'une perte de résolution spatiale.

De toute façon, le système Muse semble difficile à faire évoluer.

Dans ces conditions, le système qui a les préférences de M. Kunt est celui proposé par le M.I.T. (Massachusetts Institute of Technology), le seul — souligne-t-il — qui ait été mis au point dans les laboratoires d'une université.

Selon M. Kunt, ce système utilise, en effet, une méthode de modulation très ingénieuse (modulation adaptative de fréquence qui optimise le rapport signal sur bruit). Il est, en outre, bien adapté à la projection de films 35 mm à la télévision. Mais il souffre, semble-t-il, d'un inconvénient majeur : le choix des configurations de spectre correspondant à la vitesse du mouvement à reproduire est, pour le moment, effectué manuellement en studio !

Une autre proposition du M.I.T. paraît séduire M. Kunt, celle du professeur Schreiber qui préconise un récepteur révolutionnaire à architecture ouverte, qui ressemble plus à un ordinateur qu'à un téléviseur (des signaux de sources diverses pourraient y être affichés et traités).

(1) M. Kunt est l'auteur ou le coauteur de nombreux ouvrages sur ce sujet :

— « Traitement numérique des signaux », Editions Georgi, 1980, Lausanne, Suisse et Editions Dunod, 1982 Paris.
— « Second generation image coding techniques » (invited paper) avec A. Ikonomopoulos et M. Kocher, Proc. I.E.E.E., vol. 73, n° 4, avril 1985, pp. 549-574.
— « Recent results in high-compression image coding » avec M. Benard et R. Leonardi, (invited paper) I.E.E.E. Trans. Circuits and Systems, vol. CAS-34, n° 11, november 1987, pp. 1306-1336.

SOMMAIRE

	Pages
CHAPITRE PREMIER. – NOTIONS FONDAMENTALES	156
1.1. Signaux et systèmes	156
1.1.1. Définitions	156
1.1.2. Dilemme analogique numérique	157
1.1.3. Système de traitement	158
1.1.4. Quel système choisir ?	159
1.1.5. Avantages du numérique	160
1.2. Systèmes de transmission	161
1.2.1. Introduction	161
1.2.2. Fréquence	162
1.2.3. Largeur de bande	163
1.2.4. Transmission d'un signal	163
1.2.5. Capacité d'un canal	164
1.2.6. Modulation	165
CHAPITRE 2. – PRINCIPES DE LA TÉLÉVISION	166
2.1. Introduction	166
2.2. Saisie des images	167
2.2.1. Principes	167
2.2.2. L'échantillonnage et ses pièges	170
2.2.3. Balayage entrelacé	172
2.2.4. Signal vidéo	173
2.2.5. Couleur	174
2.3. Système complet	176
2.3.1. Systèmes N.T.S.C., P.A.L. et S.E.C.A.M.	176
2.3.2. Transmission du signal vidéo	177
2.3.3. Récepteurs	179
2.4. Que reproche-t-on à notre bon vieux petit écran ?	180
2.4.1. Procès	180
2.4.2. Justification du procès	182
CHAPITRE 3. – MÉCANISME DE LA VISION	184
3.1. Introduction	184
3.2. Propriétés psychophysiques	184
3.2.1. Introduction	184
3.2.2. Sensibilité à la luminance	184
3.2.3. Sensibilité au mouvement	185
3.2.4. Sensibilité spatio-temporelle	185
3.2.5. Effet de masquage	186
3.2.6. Vision préattentive et vision attentive	186
3.3. Propriétés neurobiologiques	186

	Pages
CHAPITRE 4. – TÉLÉVISION À HAUTE DÉFINITION	188
4.1. Introduction	188
4.2. Normes	189
4.2.1. Généralités	189
4.2.2. Norme de production	190
4.2.3. Norme de transmission	192
4.3. Système européen	193
4.3.1. Amélioration du système actuel	193
4.3.2. Système Mac	194
4.3.3. Améliorations du système Mac	196
4.3.4. Système européen de T.V.H.D., HD-Mac	197
4.3.5. Remarques	204
4.4. Système japonais	208
4.4.1. Introduction	208
4.4.2. Système Muse	210
4.4.3. Muse amélioré	213
4.4.4. Remarques	217
4.5. Systèmes américains	218
4.5.1. Introduction	218
4.5.2. Le système M.I.T./C.C.	221
4.5.3. Le système M.I.T./R.C.	228
4.5.4. Récepteur du M.I.T.	228
4.5.5. Le système A.C.T.V.	230
CHAPITRE 5. – RÉPONSES AUX QUESTIONS POSÉES	235
CHAPITRE 6. – REMARQUES ET CONCLUSIONS	239

CHAPITRE PREMIER

NOTIONS FONDAMENTALES

1.1. SIGNAUX ET SYSTÈMES

1.1.1. Définitions.

Le but de cette section est de donner les définitions précises des notions techniques et scientifiques intervenant dans l'étude des systèmes de télévision. Nous éviterons dans la mesure du possible le jargon spécialisé des ingénieurs en donnant des équivalents imagés de la vie de tous les jours.

Nous définirons un **signal** comme le support physique de l'information. Par exemple, les signaux visuels sont des ondes de lumière apportant une information à nos yeux ; les signaux sonores sont des fluctuations de la pression de l'air transportant un message à nos oreilles. Mathématiquement, les signaux sont représentés par une fonction d'une ou plusieurs variables. On dira par exemple que la température varie en fonction de la pression et du volume. Les signaux dits **unidimensionnels** dépendent d'une seule variable. Le signal qui donne l'évolution de la température de l'air en fonction de l'heure de la journée est un signal unidimensionnel. Un tel signal est illustré à la figure 1. Très souvent la variable unique est le temps. L'information transportée par un tel signal se manifeste alors par une variation au cours du temps. Les signaux **multidimensionnels** dépendent de plusieurs variables. La luminance d'une image, par exemple, est représentée par un signal bidimensionnel dont les variables sont les coordonnées spatiales du plan de l'image. L'information transportée par un tel signal est liée à une variation en fonction du lieu sur un plan.

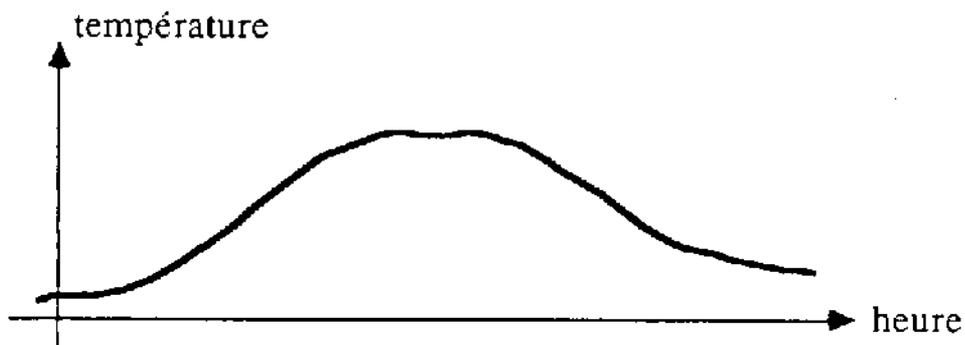


Fig. 1. Un signal unidimensionnel représentant la variation de la température.

La figure 2 illustre un signal bidimensionnel. Une séquence d'images, telle que celle de la télévision, nécessite trois variables : les deux variables spatiales comme dans le cas d'une seule image et le temps. L'information contenue dans une séquence d'images se manifeste par une variation en fonction du lieu et du temps. On parlera dans ce cas d'un signal tridimensionnel.

Les notions importantes sont donc, d'une part, celle d'un signal, élément technique pour le transport de l'information et, d'autre part, celle de la dimension, élément physique déterminant la richesse et l'étendue du signal correspondant.

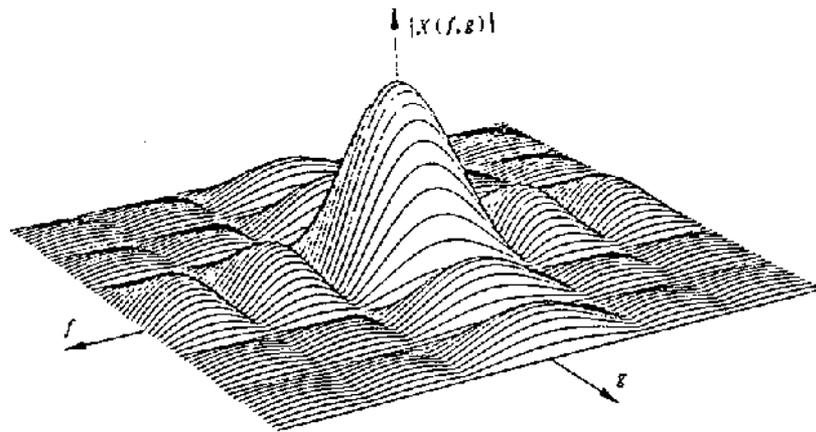


Fig. 2. — Un signal bidimensionnel représentant la variation de la luminance et fonction du lieu.

1.1.2. Dilemme analogique-numérique.

Les grandeurs physiques intervenant dans les signaux (variables indépendantes de la représentation mathématique) peuvent être de deux types : continues ou discrètes. Une grandeur **continue** peut prendre des valeurs aussi proches les unes des autres que l'on veut. En revanche, une grandeur **discrète** prend des valeurs espacées d'une certaine quantité, fixe la plupart du temps. Dans le cas d'une variable indépendante continue, le signal correspondant est appelé **signal analogique**, alors que, dans le cas d'une variable discrète, il est appelé **signal discret** (ou signal échantillonné). Par exemple, la tension électrique dite « 220 V » que l'on trouve dans les prises est un signal analogique. Le signal représentant la température d'un patient affichée à son lit et relevée toutes les six heures est en revanche un signal discret. Notez que cette distinction a été faite seulement en fonction de la variable indépendante.

En plus de ce qui précède, la grandeur porteuse de l'information, c'est-à-dire l'**amplitude** d'un signal, peut également être continue ou discrète. Un signal analogique, dont l'amplitude est discrète, est appelé **signal quantifié**. Un signal discret, dont l'amplitude est discrète aussi, est appelé **signal numérique**. Par exemple, si nous mesurons la tension

électrique dans une prise en tout temps en arrondissant les valeurs mesurées par les dizaines, on obtient un signal quantifié. La température d'un malade mesurée toutes les six heures et exprimée sans chiffres après la virgule est un signal numérique. La figure 3 résume schématiquement ces possibilités dans le cas d'un signal unidimensionnel.

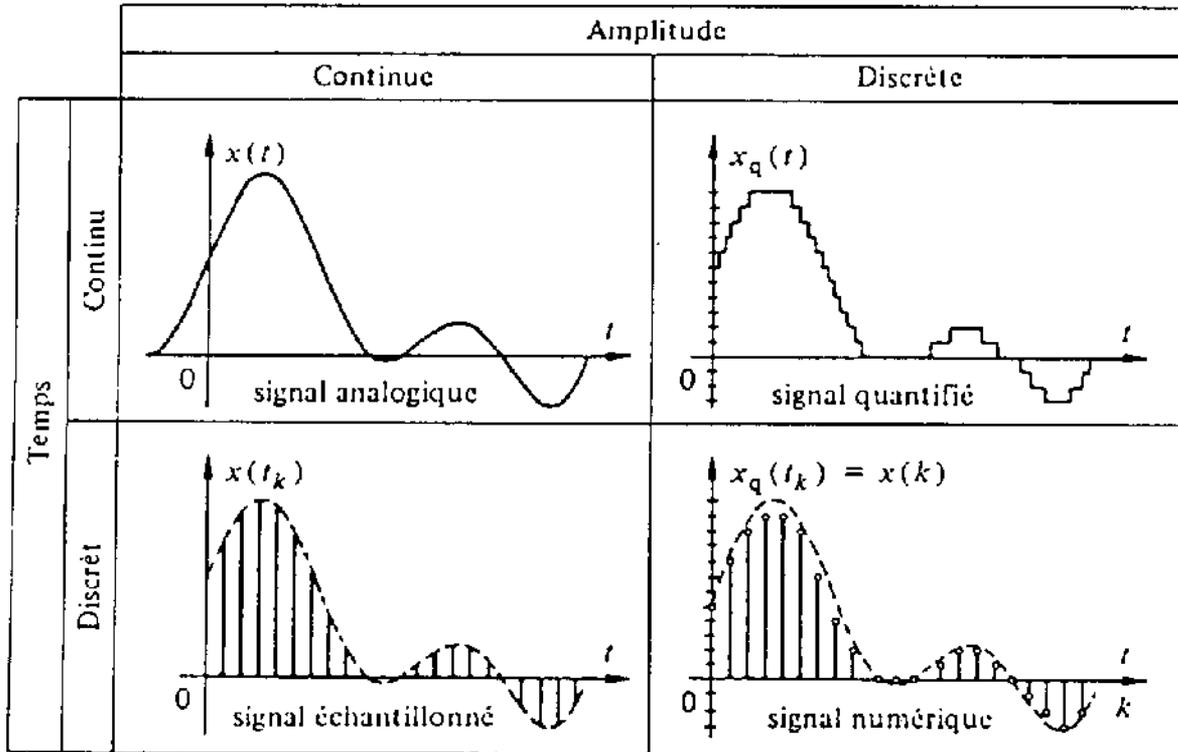


Fig. 3. — Signaux analogiques et signaux échantillonnés.

Il faut remarquer que pour un signal numérique, la description est basée sur un nombre fini de niveaux d'amplitudes en des instants périodiques. Un tel signal est tout simplement une suite de nombres. Chaque nombre exprime l'amplitude à un instant qui correspond à son rang dans la suite. Les nombres peuvent être représentés dans plusieurs systèmes de base. Le plus courant est la base décimale que nous utilisons tout les jours (les unités, les dizaines, les centaines, etc.). Une autre base, dite **binaire**, est plus appropriée pour les traitements numériques par ordinateurs. Elle a deux éléments, les fameux « 0 » et « 1 » qu'on appelle **bits**.

1.1.3. Système de traitement.

Généralement, les signaux doivent être traités soit pour en extraire de l'information, soit pour les rendre porteurs d'information. Ces traitements sont effectués à l'aide de systèmes que l'on appelle systèmes

de traitement de signaux. Un tel système agit sur un signal d'entrée et produit, à sa sortie, un signal qui est sous une forme plus appropriée pour l'application envisagée. Par exemple un récepteur de radio, appelé « transistor » dans le grand public, est un système de traitement qui permet de capter les signaux électromagnétiques émis et d'extraire une émission particulière. Les systèmes de traitement peuvent être classés de la même manière que les signaux. Les **systèmes analogiques** traitent des signaux analogiques et restituent des signaux analogiques. Les **systèmes échantillonnés** opèrent sur des signaux échantillonnés et produisent des signaux échantillonnés. Les **systèmes numériques** sont des systèmes qui agissent sur des signaux numériques et produisent des signaux numériques. Un **système hybride** est un système dans lequel les techniques analogiques et numériques sont utilisées en tandem.

1.1.4. Quel système choisir ?

En vertu de ce qui précède, il ressort qu'un ingénieur doit faire un choix du type de système qu'il doit utiliser. Historiquement parlant, les systèmes de traitement étaient tous analogiques. Bien que le progrès continue en traitement analogique, c'est surtout le domaine du traitement numérique qui a connu depuis près de trois décennies une évolution considérable. Il faut préciser tout de suite ici que l'auteur a un penchant pour le numérique [1].

Au début, cette évolution a été parallèle au développement de l'ordinateur. Celui-ci possède, en effet, une très grande capacité de traitement et une souplesse inatteignable par d'autres moyens. Les possibilités offertes par l'ordinateur ont permis d'utiliser des méthodes de traitement de plus en plus complexes, généralement irréalisables par voie analogique. Ceci a produit une réaction en chaîne : vu la puissance croissante de l'ordinateur, les méthodes de traitement peuvent devenir tellement complexes qu'elles exigent, à leur tour, des ordinateurs encore plus puissants.

L'utilisation de l'ordinateur comme système de traitement de signaux a tout de suite offert un avantage supplémentaire. Elle a permis une étude détaillée, par simulation, des systèmes de traitement analogiques avant leur réalisation pratique. Ainsi, on a pu vérifier rapidement les propriétés de ces systèmes et en optimiser les paramètres, tout en évitant des engagements économiques erronés. Si l'ordinateur a offert une souplesse très grande pour les divers traitements, il a cependant conservé un désavantage qui s'est fait sentir progressivement : certains traitements, surtout ceux qui sont très complexes, ne peuvent s'effectuer instantanément, c'est-à-dire en temps réel. C'est le compromis, inévitable, entre la souplesse et la vitesse de traitement. L'augmentation de l'une entraîne hélas obligatoirement la diminution de l'autre. Les chercheurs poussent avec acharnement les limites de ce compromis toujours plus loin en inventant des technologies électroniques plus rapides, des architectures à parallélisme de plus en plus poussé et des méthodes toujours plus efficaces.

1.1.5. Avantages du numérique.

Les systèmes numériques offrent des avantages très intéressants, qui seront examinés, sur les plans de la dérive et de la précision, du développement d'un produit et des applications en temps différé. On les donne dans un contexte général qui englobe celui de la télévision également.

Les systèmes analogiques possèdent des dérives plus ou moins importantes à court terme avec la température ou les fluctuations de la tension d'alimentation. Ceci veut dire que les caractéristiques d'un tel système varient légèrement avec la température ou les fluctuations de la tension du réseau de distribution d'énergie (les fameux 220 V). Ces systèmes ont également une dérive à long terme avec le vieillissement. Les dérives n'existent pas sur des systèmes numériques. Un tel système fonctionne toujours de la même façon jusqu'à ce qu'il tombe en panne. Les mêmes composants analogiques, supposés être identiques, sont différents les uns des autres. Ce n'est pas le cas des composants numériques. A complexité de fonction égale, un système numérique est moins onéreux à construire et ceci avec moins d'interconnexions. Enfin, les possibilités d'améliorer la précision, qui sont limitées dans le cas des systèmes analogiques, ne dépendent que du nombre de bits dans les systèmes numériques. En augmentant ce nombre, on peut, en principe, augmenter la précision autant qu'on veut.

Au niveau du développement d'un produit, les systèmes numériques sont également très intéressants. Ils ont des performances identiques en tant que produit fini, sans nécessiter un réglage individuel. Ils ont un comportement prévisible avec précision par simulation. Leur aspect programmable leur confère une souplesse importante. Les modifications d'un prototype (mise au point) sont souvent des modifications de logiciel, moins coûteux que des modifications matérielles. Les systèmes analogiques n'offrent pas de tels avantages.

Enfin, au niveau des applications en temps différé, il y a des avantages connus du grand public : la qualité d'un enregistrement numérique reste constante au cours du temps sur le même support. Le succès du disque compact en est la preuve. La qualité du signal est garantie par le nombre de bits utilisés. Il n'y a pas de dégradation par duplication (copies de copies). Ces avantages ne s'observent pas sur des systèmes analogiques.

Enfin, au niveau des applications en temps différé, il y a des avantages connus du grand public : la qualité d'un enregistrement numérique reste constante au cours du temps sur le même support. Le succès du disque compact en est la preuve. La qualité du signal est garantie par le nombre de bits utilisés. Il n'y a pas de dégradation par duplication (copies de copies). Ces avantages ne s'observent pas sur des systèmes analogiques.

1.2. SYSTÈMES DE TRANSMISSION

1.2.1. Introduction.

Un système de télévision est un système de transmission de signaux. Pour comprendre son fonctionnement et pour pouvoir comparer plusieurs systèmes compétitifs, il est nécessaire de définir les notions de base intervenant dans l'étude de tels systèmes. Cette section est consacrée à un survol du sujet.

Un système de transmission de signaux est composé de trois parties principales : l'émetteur, le canal et le récepteur (voir fig. 4).

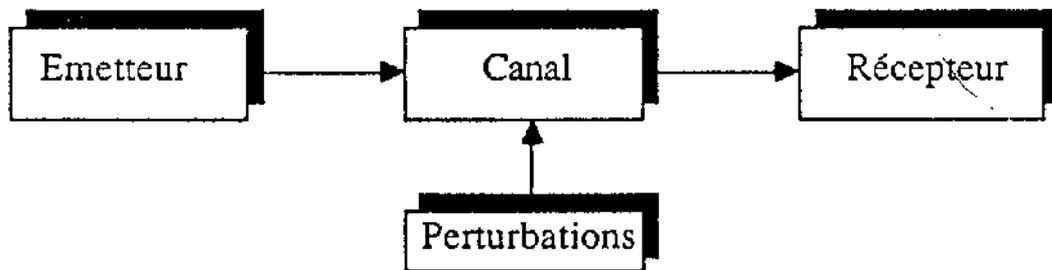


Fig. 4. — Schéma bloc d'un système de transmission de signaux.

Le principe de fonctionnement est simple. L'émetteur élabore l'information à transmettre. Dans le cas de la télévision, par exemple, ceci va de la prise de vue dans le studio jusqu'à l'émission par l'antenne des signaux électromagnétiques. Cette élaboration consiste principalement à capter l'information à transmettre sous forme d'un signal et à transformer sa forme pour qu'il soit acceptable par le canal. C'est comme si l'on voulait écrire une lettre à quelqu'un dans une autre ville ou pays pour lui raconter un événement : on doit élaborer l'information sur une feuille de papier et la mettre dans une enveloppe pour la confier aux P.T.T. qui jouent ici le rôle du canal. Le canal technique est toujours sujet à des perturbations. Le signal émis peut subir lors de sa transmission des modifications indésirables. C'est pourquoi on peut également chercher à protéger l'information initiale à l'émetteur contre de telles

perturbations. L'enveloppe d'une lettre sert à la protéger contre des saletés éventuelles, par exemple. Le canal ou la voie de transmission peut varier d'un cas à l'autre. Pour la télévision, on dispose des ondes électromagnétiques, des câbles coaxiaux, des satellites de diffusion directe ou des fibres optiques. En principe, le récepteur effectue les opérations inverses de l'émetteur pour transformer le signal reçu en l'information initiale. Le coût des systèmes de transmission, la qualité du signal reçu (fidélité par rapport au signal émis), la souplesse des traitements pour les conversions dépendent d'un certain nombre de paramètres dont les notions sont présentées ci-dessous.

1.2.2. Fréquence.

La fréquence est une caractéristique associée à un signal aussi bien qu'à un canal ou voie de transmission. Elle permet d'établir une représentation du signal.

Pour introduire cette notion sans formules, considérons un simple signal sinusoïdal comme celui qui est illustré à la figure 5. Un tel signal est dit **périodique** car il reprend, après une ou plusieurs périodes, la même valeur. Cette période T est une durée mesurée en unité de temps (seconde, minute, heure, etc.). L'inverse de la période, c'est-à-dire $F = 1/T$, est une mesure de cadence ou nombre de périodes par unité de temps. On l'appelle **fréquence**. On dit par exemple qu'un signal sinusoïdal de ce type possède cinq périodes (ou cycles) par seconde. La tension électrique « 220 V » est un signal sinusoïdal qui a une fréquence de 50 cycles par seconde en Europe et de 60 aux Etats-Unis.

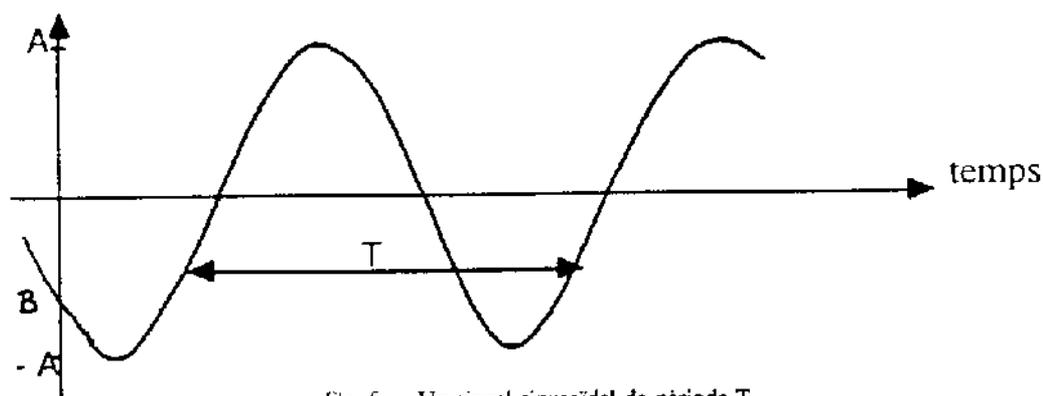


Fig. 5. – Un signal sinusoïdal de période T .

L'unité de fréquence est le Hertz qui correspond à un cycle ou période par seconde. Il faut remarquer que, vue la relation inverse entre la période et la fréquence, plus la période est faible plus la fréquence est élevée. Egalement à remarquer est le fait qu'un signal sinusoïdal (fig. 5) est caractérisé par trois paramètres : l'amplitude A , la valeur à l'origine des temps B et la période T .

1.2.3. Largeur de bande.

La largeur de bande est une propriété associée à un signal aussi bien qu'à un canal ou voie de transmission. Sur le plan technique et scientifique, cette notion est introduite avec une formulation mathématique basée sur la transformation célèbre de **Fourier**. On évitera ici les mathématiques et on cherchera à présenter cette notion d'une manière intuitive.

Un signal quelconque peut être exprimé comme une combinaison d'un très grand nombre de signaux sinusoïdaux, comme celui de la figure 5, d'amplitudes et de périodes différentes. C'est un peu le même système que nous utilisons tous les jours avec les pièces de monnaie et les billets de banque. Aucune banque centrale n'est assez folle pour imprimer un billet de banque de 1.260.57 F ou autre unité. Quand nous devons payer une telle somme, nous la formons avec des billets de base (équivalents des signaux sinusoïdaux) de 10 F, 50 F, 100 F, etc. Il y a assez d'unités de base pour former n'importe quelle somme comme il y a assez de signaux sinusoïdaux pour former n'importe quel signal.

Etant donné un signal, on peut l'analyser pour extraire les paramètres de tous les signaux sinusoïdaux qui le composent. Cette analyse s'appelle **analyse spectrale** et se fait à l'aide de la transformation de Fourier. Elle consiste à représenter tous les A et les B de toutes les sinusoïdes en fonction de leur fréquence F. On peut interpréter ces résultats comme de nouveaux signaux exprimant l'évolution des A et des B en fonction de la fréquence. Ces signaux sont appelés **spectres**. Pour tous les signaux physiquement réalisables, il existe une fréquence extrême au-delà de laquelle il n'y a plus de signal sinusoïdal contribuant à la formation du signal initial. L'intervalle de fréquence s'étalant depuis l'origine des fréquences jusqu'à cette valeur maximale est appelé **largeur de bande**. Par exemple le signal téléphonique qui transporte notre voix à notre interlocuteur dans les fils du téléphone a une largeur de bande d'environ 4 kHz. Ceci veut dire que dans ce signal, la fréquence la plus élevée est de 4 kHz, ou 4 000 Hz ou 4 000 cycles par seconde. Le signal vidéo possède une largeur de bande de 8 MHz, 8 millions de Hertz. La bande de fréquence occupée par un signal est appelée **bande de base**.

1.2.4 Transmission d'un signal.

La transmission d'un signal nécessite une opération de **transposition de fréquence**, c'est-à-dire le déplacement de la bande de base

ailleurs sur l'échelle des fréquences. La raison de ce déplacement, qu'on appelle **modulation**, est simple. L'échelle de temps, et partant l'échelle des fréquences, est universelle. Plusieurs signaux utiles que l'on souhaite transmettre peuvent se trouver (c'est presque toujours le cas) dans la même bande de fréquence. Si on les transmet tels qu'ils sont générés (transmission dite **en bande de base**), c'est-à-dire dans leur bande de fréquence originale, ils se mélangeront les uns aux autres et les récepteurs seront incapables de les reconstituer. C'est la raison pour laquelle les différentes stations d'émission de programmes radio utilisent des bandes de fréquences différentes. En tournant un bouton sur le récepteur, nous sélectionnons la bande de notre station préférée.

La transposition de fréquence permet d'utiliser une même voie de transmission pour plusieurs signaux différents en même temps. Pour ceci, il suffit de déplacer la bande de base de chaque signal de manière à les juxtaposer les uns aux autres sans recouvrement. La figure 6 illustre cette opération qui s'appelle **multiplexage** dans un cas hypothétique de quatre signaux différents.

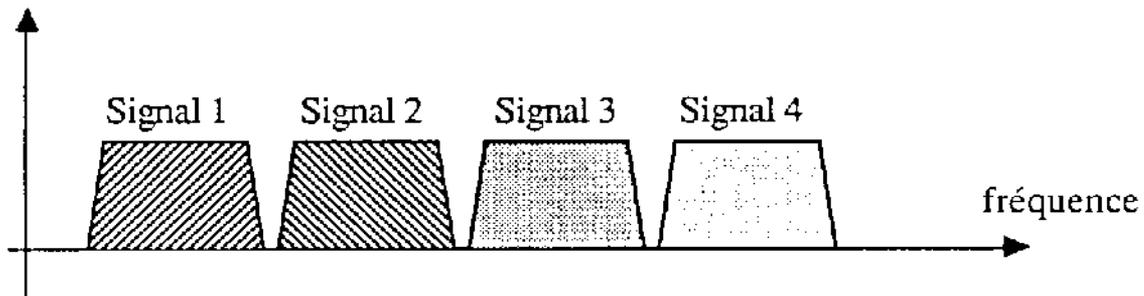


Fig. 6. — Multiplexage de quatre signaux hypothétiques.

1.2.5. Capacité d'un canal.

Un canal ou une voie de transmission ne peut pas permettre la transmission d'un nombre illimité de signaux en même temps, au même titre qu'une route ne peut pas permettre à plusieurs centaines de voitures de circuler dans la même direction les unes à côté des autres ou qu'une conduite murale ne peut pas contenir plus qu'un nombre limité de fils. Si l'autoroute du Soleil a trois voies dans les deux sens, ceci fixe sa « capacité ». En simplifiant à l'extrême toute une théorie des voies de communication, on peut dire qu'une voie ou un canal de transmission sont caractérisés par une largeur de bande et par des conditions de bruit (perturbations lors de la transmission) qui déterminent leur **capacité C**. La valeur de cette capacité est une caractéristique importante. Elle permet de déterminer si un signal d'une certaine largeur de bande **B** peut être transmis à travers ce canal. Il faut que **B** soit inférieur à **C** comme une voiture qui doit être plus étroite qu'une route pour pouvoir y circuler.

1.2.6. Modulation.

La modulation est un traitement que l'on fait subir à un signal représentant une information pour le transformer en un autre signal sans modifier sensiblement l'information qu'il porte. Elle a pour but de s'adapter aux conditions particulières d'un milieu de transmission et, comme il a été introduit plus haut, d'utiliser simultanément le même milieu de transmission pour plusieurs signaux différents.

Les conditions particulières d'un canal très perturbé peuvent être contournées par une modulation adéquate pour garantir malgré tout une bonne qualité de transmission. Le domaine de fréquence où le signal est transposé est choisi, pour les transmissions par ondes, en fonction des conditions de propagation (portée, qualité).

Les deux buts de la modulation ne peuvent pas toujours être atteints en un pas, ni avec la même modulation. On recourt souvent à des modulations multiples et à des procédés hybrides.

Lors de la modulation, un signal de départ (signal primaire ou modulant) est transposé en un signal secondaire ou modulé selon une convention. La convention inverse, lors de la démodulation, permet de reconstituer le signal primaire qui subit quelques déformations (qu'on cherche à rendre minimales) à cause des perturbations du canal et de la réciprocity imparfaite du modulateur et du démodulateur. Ces perturbations dépendent du type de modulation. La modulation la plus appropriée est choisie de manière à rendre ces effets indésirables les plus faibles possibles.

Les systèmes de modulation/démodulation sont des systèmes particuliers de traitement des signaux. Par conséquent, les distinctions faites aux paragraphes 1.1.2 et 1.1.3 s'appliquent ici aussi. Dans les techniques de **modulation analogique**, le principe de modulation consiste à faire varier un paramètre du signal modulé proportionnellement à la valeur instantanée du signal de départ, en utilisant un signal auxiliaire appelé **porteuse**. Ces techniques ne modifient pas la nature de l'information ou du signal (analogique ou numérique) de départ. En contraste, les techniques de **modulation numérique** mettent en œuvre une conversion analogique-numérique entre le signal de départ et le signal modulé. Ainsi, celui-ci est caractérisé par un débit (nombre de symboles par seconde, ou bits/sec dans le cas binaire) et la modulation par un **code** de représentation numérique de l'information analogique.

CHAPITRE 2

PRINCIPES DE LA TÉLÉVISION

2.1. INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous présentons les principes de la télévision sans entrer dans les détails de réalisation des systèmes particuliers. Le but est de mettre en évidence les techniques de traitement de signaux utilisées pour mieux saisir les besoins d'une nouvelle télévision à haute définition.

Les premiers efforts de transcription d'une image en signal électrique remontent au disque de Nipkow (1884). Ce disque tournant contient une série de petits trous alignés en spirale (Fig. 7). Il est placé entre l'image et le convertisseur lumière-signal électrique (phototube). Lors de son mouvement, les trous permettent de récolter la luminance d'un endroit très localisé de l'image. D'amélioration en perfectionnement, on est arrivé à l'icône de Zworykin (tube électronique de saisie et de reproduction) en 1923. Ce tube a permis la réalisation des premières transmissions d'images. Les systèmes de télévision en noir et blanc actuellement en usage ont été développés à partir de 1941 aux Etats-Unis et de 1950 en Europe.

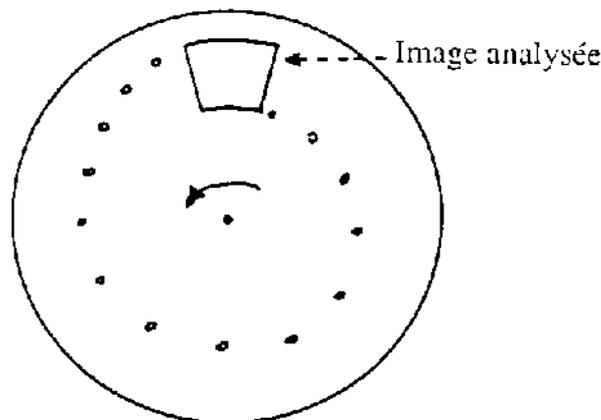


Fig. 7. - Disque de Nipkow.

2.2. SAISIE DES IMAGES

2.2.1. Principes.

Le but de la télévision est de permettre la transmission des informations décrivant un espace à quatre dimensions dans lequel nous évoluons. Celles-ci sont les trois dimensions spatiales (largeur, longueur, hauteur) et le temps. La figure 8 illustre cet espace. Le canal de transmission ne peut accepter qu'un signal unidimensionnel, évoluant en général au cours du temps seulement, comme celui de la figure 1. Le problème fondamental est donc une modulation dont la convention est la réduction de la dimensionalité, sans trop modifier l'information.

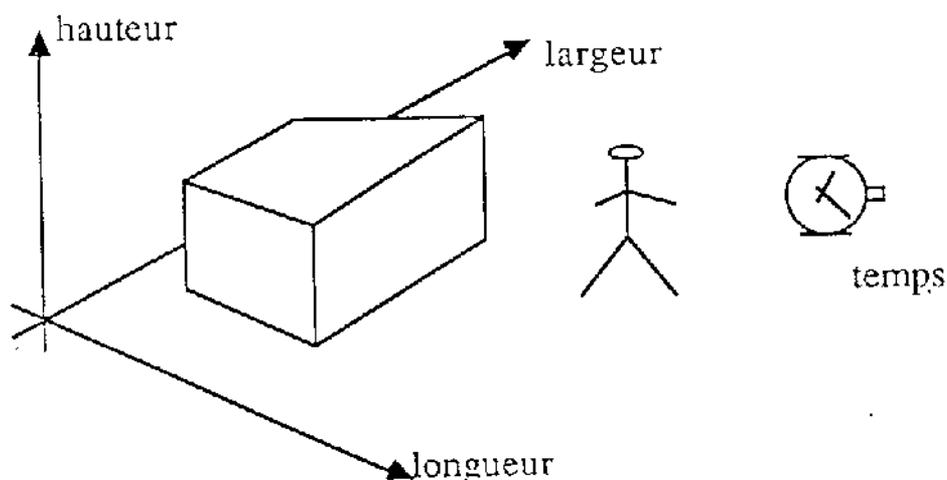


Fig 8. — L'espace à quatre dimensions dans lequel nous vivons.

Pour l'instant, figeons le temps et regardons seulement ce qui se passe dans l'espace. Une dimension spatiale disparaît automatiquement lors de la prise de vue qui projette l'espace tridimensionnel (largeur, longueur, hauteur) sur un plan P. La figure 9 montre cette projection qui est typique des caméras de prise de vue. On perd ainsi la profondeur. Dans une telle projection, on ne peut pas mesurer la distance entre les objets, s'ils sont plus ou moins alignés avec la caméra. Par rapport à ce qui se passe dans la réalité, il y a donc une perte d'information. Il est clair que l'on ne peut pas reconstituer l'information spatiale à partir d'une seule projection plane. En fonction des principes généraux, ceci

revient à dire que la démodulation n'est pas tout à fait l'inverse de la modulation.

Les dimensions du plan P de la projection doivent être converties en variations temporelles. Ceci se réalise à l'aide d'un balayage électronique, électromécanique ou mécanique. Les caméras de télévision actuelles effectuent cette tâche d'une manière purement électronique. Sans entrer dans les détails techniques, on peut résumer ce balayage de la manière suivante. La scène est projetée, à l'aide d'une optique appropriée, sur une cible qui se charge proportionnellement à la luminance de l'endroit correspondant de la scène. Les variations de luminance dans ce plan sont récoltées à l'aide d'un faisceau ponctuel d'électrons qui interroge des petits éléments de surface les uns après les autres.

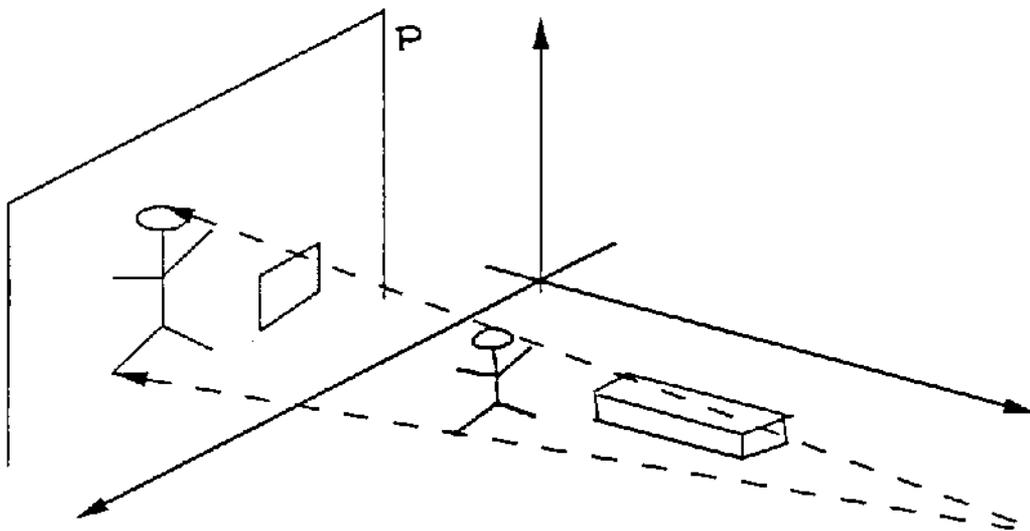


Fig. 9. — Projection d'un espace tridimensionnel sur un plan P.

La figure 10 montre ces surfaces élémentaires fictives juxtaposées. Pour des raisons de facilités techniques, l'interrogation suit une structure linéaire et revient à la ligne dès que le bord est atteint, un peu comme une machine à écrire ou une imprimante. Cette analyse ligne par ligne implique ainsi un **échantillonnage** vertical de l'information visuelle. La période de répétition de cet échantillonnage détermine la finesse ou la **résolution spatiale** du système correspondant. Le faisceau ne repasse plus par les petites surfaces déjà interrogées. En plus elle doit se faire très rapidement, idéalement instantanément. En concaténant ces lignes on obtient la traduction unidimensionnelle temporelle de l'information spatiale du plan P.

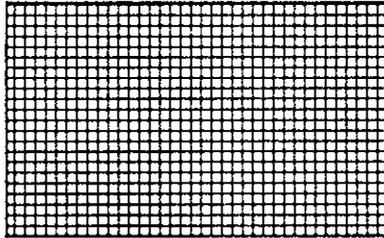


Fig. 10. — Surfaces élémentaires interrogées.

Pour tenir compte de la dernière dimension restante t , on répète l'opération dès la fin de l'analyse pour donner l'illusion d'une variation temporelle continue. Cette répétition implique un deuxième échantillonnage, cette fois au cours du temps. La période de cet échantillonnage détermine la finesse ou la **résolution temporelle** du système qui en découle. La figure 11 montre la structure du balayage et les signaux de déflexions horizontale et verticale pour guider le faisceau lors du balayage. Une telle structure est appelée trame.

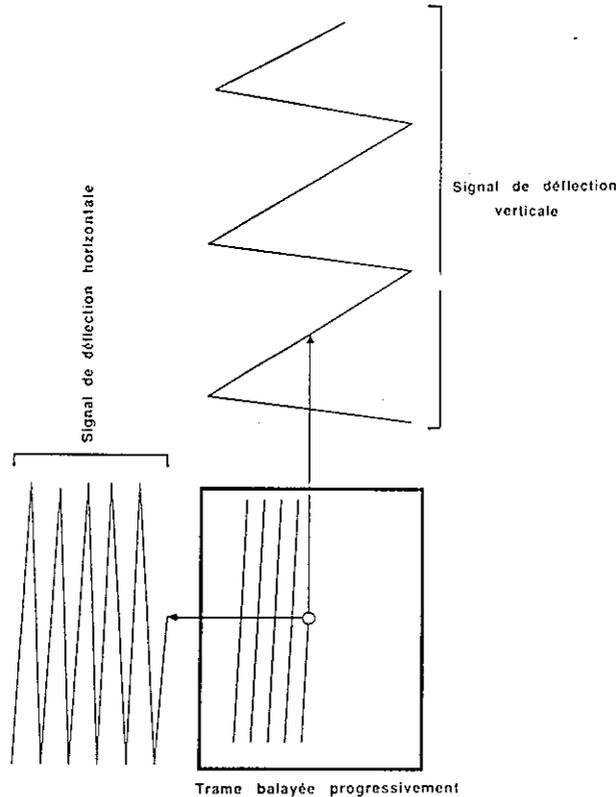


Fig 11. — Signaux de déflexions et trame de balayage.

2.2.2. L'échantillonnage et ses pièges.

L'échantillonnage est l'opération qui consiste à préserver des valeurs espacées d'une certaine quantité fixe ou variable sur une fonction variant d'une manière continue. Un sondage d'opinions fait appel à un tel processus car il est très difficile, voire très souvent impossible de sonder l'opinion de toutes les personnes. Sur les plans technique et scientifique le problème de l'échantillonnage est bien maîtrisé. Il n'y a pas besoin de se poser trop de questions si, après échantillonnage, l'on ne tient pas à reconstituer la fonction initiale à variation continue. Toutefois, comme nous l'avons vu au chapitre précédent, la modulation et la démodulation doivent être l'inverse la plus exacte possible l'une de l'autre. Nous devons donc nous soucier de retrouver la fonction initiale à variation continue. Nous tenons à voir sur l'écran de la télévision ce qui se passe sur la scène où l'on a filmé. Les conditions dans lesquelles ceci peut être réalisé sont établies avec précision sur le plan théorique. La pratique obéit en douceur. Nous les présenterons de nouveau sans les équations et d'une manière intuitive.

Prenons, pour simplifier, le cas d'un signal analogique physiquement réalisable qui varie au cours du temps. Un tel signal possède une largeur de bande (voir le paragraphe 1.2.3) donc une fréquence maximale. On peut démontrer que si un tel signal est échantillonné avec une cadence au moins deux fois supérieure à cette fréquence maximum, alors le signal initial analogique peut être reconstitué exactement à partir de ses échantillons. Le problème essentiel dans l'échantillonnage est donc de connaître cette fréquence maximum. On peut toujours s'arranger pour fixer celle de l'échantillonnage à son double ou plus. Quand la fréquence maximum du signal initial est connue, il n'y a pas de problème. Dans le cas contraire on peut avoir deux attitudes. On peut soit estimer cette fréquence plus ou moins grossièrement et prendre une marge de sécurité en prenant un facteur cinq ou plus au lieu de deux, soit décider que les composantes contenues à des fréquences au-delà d'un maximum que l'on se fixe ne nous intéressent pas et on peut les filtrer avant l'échantillonnage. Quoi qu'il en soit, il y a des cas, et la télévision n'y échappe pas, où les conditions de reconstitution exacte sont violées. Alors on peut se demander quels sont les effets possibles du non-respect de ces conditions.

En termes généraux, les composantes d'un signal perdent leur identité fréquentielle. L'échantillonnage crée un effet de multiplexage (voir le paragraphe 1.2.4 et la figure 12) de la bande de base du signal initial avec elle-même et avec des recouvrements. C'est à cause de ces

recouvrements que l'on ne peut pas, même avec des filtres idéaux et parfaits, isoler la bande de base et donc restituer le signal. La conséquence, dans le cas général, sera une différence entre le signal initial et le signal reconstitué dont l'importance dépend de la sévérité de la violation des conditions, donc des recouvrements dans le multiplexage.

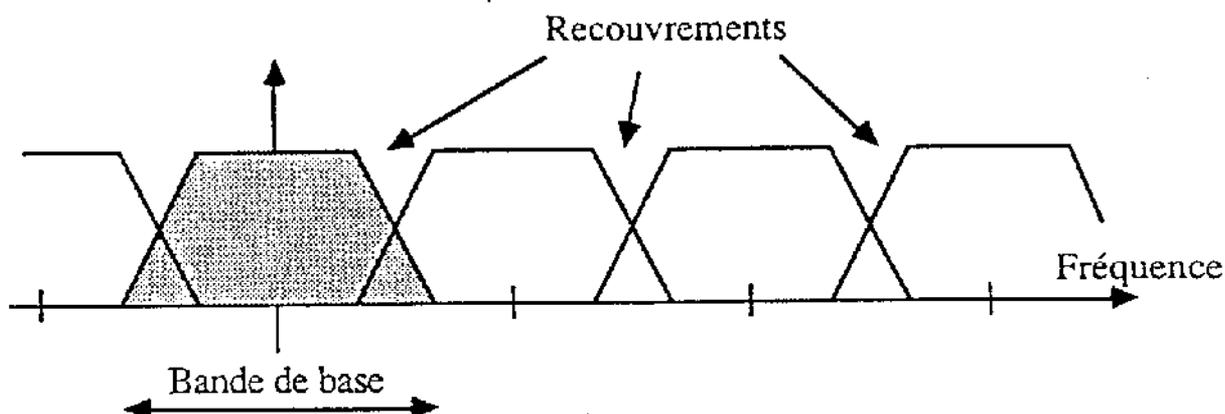


Fig. 12. - Recouvrement des bandes par échantillonnage.

Pour un signal visuel (image) les effets peuvent être gênants même avec de légers recouvrements. Par exemple dans le cas d'une image statique (sans mouvement, sans notion de temps, cas du premier échantillonnage cité ci-dessus), la présence d'un réseau de lignes convergentes peut créer des moirages qui n'existent pas dans l'image originale. Les réseaux de lignes parallèles périodiques peuvent, par échantillonnage, se transformer en un autre réseau de lignes dans une autre direction et avec une autre période. A la télévision c'est le cas d'un objet détaillé dont les détails changent de direction sans qu'il bouge.

Lorsqu'on tient compte du deuxième échantillonnage (temporel, ci-dessus) on peut avoir des effets encore plus pervers. Les conditions de non-recouvrement ne sont pas respectées pour cet échantillonnage. Comme conséquence, on voit des scènes aberrantes qui font dresser les cheveux sur la tête des professeurs de physique et de mécanique. La scène de la voiture qui avance dans une direction et ses roues qui tournent à l'envers comme si elle reculait est la plus connue. Dans ce cas il n'est pas possible de prédire la fréquence maximum des mouvements. Les fameuses vingt-cinq images par seconde fixent la fréquence maximale d'un mouvement correctement reproductible au cinéma. Tout mouvement plus rapide ne sera pas reproduit correctement.

2.2.3. Balayage entrelacé.

La trame d'analyse de l'image a été introduite au paragraphe 2.2.1. Une telle trame est caractérisée par le nombre de lignes qu'elle contient et la fréquence de répétition au cours du temps. Plusieurs pays utilisent vingt-cinq images par seconde à 625 lignes. Avec la résolution horizontale, ces caractéristiques déterminent la largeur de bande du signal formé qu'on appelle **signal vidéo**. La largeur de bande de ce signal sera calculé au paragraphe suivant. Le balayage correspondant au schéma précédant est appelé **progressif**, représenté par le symbolisme 1:1. Il se trouve que notre système visuel est très sensible à cette cadence de vingt-cinq images par seconde (voir le chapitre suivant). On observe une vibration de l'image que l'on qualifie de papillotement. Il s'agit du papillotement dit de larges zones. Pour atténuer cette sensibilité sans augmenter la largeur de bande, on utilise un balayage **entrelacé**. Dans ce cas, les lignes de rang impair sont balayées en premier et forment un premier champ, et les lignes de rang pair en second et constituent un deuxième champ. A durée totale de balayage égale (autrement dit, à largeur de bande égale du signal correspondant), une trame complète progressive est remplacée par deux champs entrelacés. On passe ainsi de vingt-cinq trames par seconde à cinquante champs par seconde, mais chacun avec 312,5 lignes. Un tel entrelaçage est représenté par le symbolisme 2:1. L'entrelaçage permet donc d'échanger la résolution spatiale avec la résolution temporelle pour atténuer le papillotement. On échantillonne d'une façon moins serrée sur la dimension spatiale verticale mais plus rapidement au cours du temps. La structure des champs entrelacés est montrée à la figure 13. Toutefois, il est important de remarquer que si ce genre d'astuce permet de réduire le papillotement de larges zones, il n'a aucun effet sur le papillotement de ligne. Celui-ci sera toujours visible si l'information spatiale des lignes paires est différente de celle des lignes impaires, et ceci quel que soit la fréquence spatiale résoluble par le système de la caméra. Il est techniquement utile de synchroniser les fréquences de balayage sur celle du secteur d'énergie. C'est pourquoi les systèmes ont pour fréquence de trame celle du secteur du pays (50 Hz en Europe et 60 Hz aux Etats-Unis).

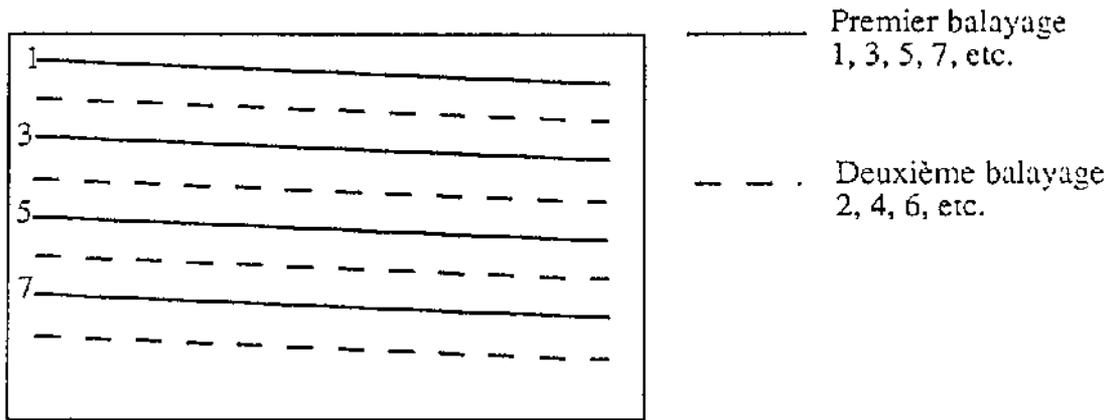


Fig. 13. — Illustration des lignes entrelacées.

2.2.4. Signal vidéo.

Le signal vidéo introduit brièvement ci-dessus résulte de la traduction en tension électrique de la luminance du point image analysé. Ce signal comporte également des temps de retour de balayage ou suppression pendant lesquels sont introduites la référence de tension et l'impulsion de synchronisation de ligne. La figure 14 montre une ligne d'un signal vidéo pour les systèmes à 625 lignes. La structure de balayage n'a jamais la totalité du nombre de lignes annoncé (comme les 625 lignes) car un certain nombre de lignes, environ 5 %, sont perdues pour permettre au faisceau de remonter du coin en bas à droite de l'écran au coin en haut à gauche pour le champ suivant. On parle dans certains cas du nombre de lignes actives.

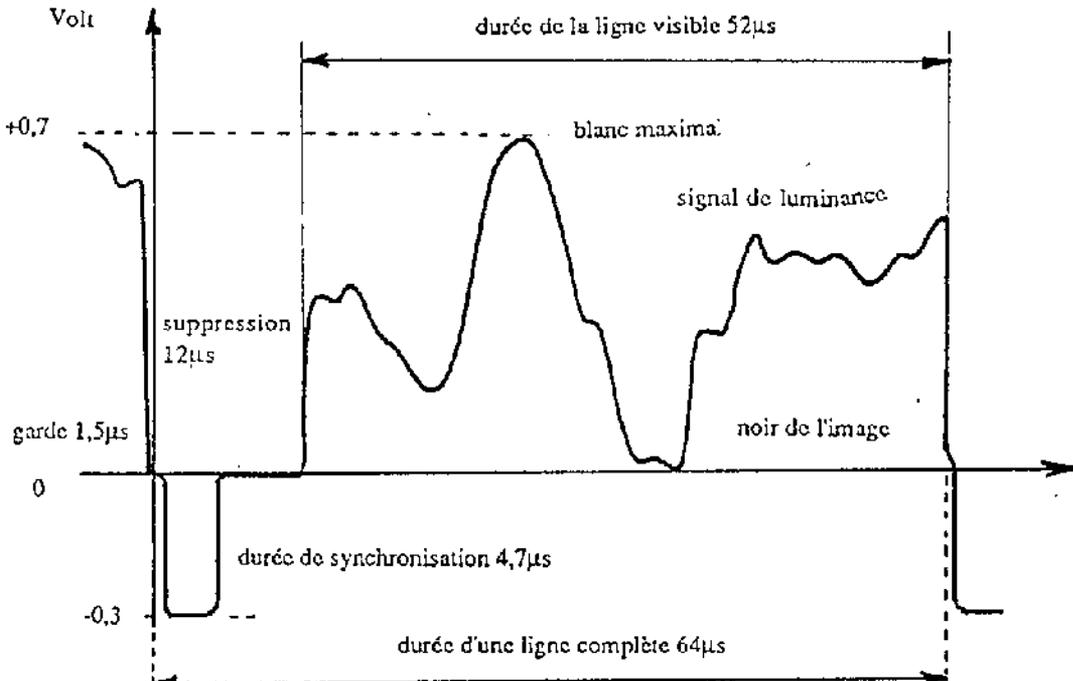


Fig. 14. — Le signal vidéo pour le système à 625 lignes.

Calculons approximativement la bande passante du signal vidéo. En négligeant la taille de l'élément d'exploration et/ou de reconstitution sur la cible de la caméra ou le tube de l'affichage, la résolution horizontale sur une ligne est déterminée par la fréquence la plus élevée que l'on peut utiliser dans le système. Cette fréquence correspond à une alternance de $N/2$ points noirs séparés en alternance de $N/2$ points blancs. Si l'on admet un écran carré, on aura également N lignes d'image depuis le haut jusqu'en bas. Donc la trame de fréquence la plus élevée est représentée par N fois $N/2$ points. Si une trame est répétée F fois par seconde, la bande passante est donnée par $B = N^2F/2$. Par exemple pour 25 images par seconde et un système à 625 lignes, la bande passante est de $B = 625 \times 312,50 \times 25 = 4.882.812,5$ ou environ 5 millions de Hertz ou 5 MHz. Dans ce calcul approché nous avons admis un écran carré, alors que le rapport de la hauteur de l'écran à sa largeur est un sujet de débats sur le plan international ! Pour les systèmes de télévision actuels ce rapport, appelé **rapport d'aspect**, est $4/3$. Il peut être introduit dans le calcul précédent pour affirmer l'approximation. Ce qu'il est important de retenir du calcul précédent, c'est que ce sont les résolutions spatiale et temporelle qui déterminent la bande passante du signal vidéo. Les autres paramètres, tels que le rapport d'aspect, ont une influence très faible sur le résultat.

Il est intéressant de comparer la bande passante que nous venons de calculer pour les systèmes actuels (environ 5 MHz) à celle d'une nouvelle télévision hypothétique avec 1 250 lignes et 50 trames par seconde. On obtient $B = 40$ MHz, donc huit fois plus !

Signalons enfin que le signal récolté n'est pas directement proportionnel à la luminance de la scène. Il s'agit ici d'une proportionnalité variant avec la valeur de la luminance que l'on appelle loi non linéaire. Les modifications subies sont en principe connues et peuvent être corrigées ou compensées. On parle dans ce cas de **correction de gamma**.

2.2.5. Couleur.

La sensation de couleur découle de la sensibilité de nos yeux à la radiation électromagnétique dans une certaine bande de fréquence spécifique. Cette bande de fréquence peut également être exprimée en longueur d'onde (*voir paragraphe 1.2.2.*). Une couleur donnée est donc la sensation créée dans notre cerveau quand nous regardons à une fréquence ou longueur d'onde dominante. Il est bien connu que la portion visible de spectre électromagnétique s'étale d'environ 400 à 750 nanomètres (milliardième de mètre, symbole : nm). Dans ce spectre, les couleurs ne sont pas isolées mais liées les unes aux autres par des transitions douces : il n'y a pas un seul rouge ou un seul vert ! La représentation d'une couleur par sa fréquence ou sa longueur d'onde

nécessite une précision que l'on ne peut toujours obtenir. Une autre représentation est basée sur une décomposition en couleurs fondamentales. Il est également bien connu que presque toutes les couleurs peuvent être synthétisées en combinant de manière additive ou soustractive trois couleurs de longueur d'onde particulières. Dans ce spectre, l'œil est plus sensible au milieu qu'aux extrémités.

Dans une combinaison additive, une couleur donnée est obtenue en additionnant des proportions données de rouge, de vert et de bleu. Dans un tel système, les proportions utilisées caractérisent complètement la couleur analysée. Similairement, avec le jaune, le magenta et cyan, on peut effectuer les mêmes opérations par soustraction.

Pour des raisons de standardisation, la Commission internationale de l'éclairage (C.I.E.) a assigné des longueurs d'onde aux trois couleurs de base du système additif : 700 nm pour le rouge, 546,1 pour le vert et 435,8 pour le bleu.

Les mathématiques et la colorimétrie montrent que même si l'on doit synthétiser une image avec les trois couleurs physiques rouge (R) vert (G) et bleu (B), l'analyse peut se faire avec trois couleurs physiques ou non physiques pour autant que la transformation utilisée soit réversible. Une couleur donnée est entièrement caractérisée par sa **luminance** (intensité), sa **teinte** (longueur d'onde ou fréquence) et sa **saturation**. Cette dernière est une mesure du degré de blanc dans une couleur. La teinte et la saturation définissent la **chrominance** d'une couleur. Par exemple, le système de télévision américain NTSC définit les couleurs de base Y, I et Q à l'aide d'une opération mathématique simple sur les couleurs R, G et B où Y est une luminance et I et Q déterminent la chrominance. La luminance est ce qui reste quand il n'y a plus de couleur. Elle décrit la variation des niveaux de gris d'une scène comme le fait une photo noir et blanc. Elle n'est pas affectée, en théorie, par les perturbations ou mauvais traitement, que l'on peut faire subir à la chrominance. Symétriquement, les signaux de chrominance I et Q ne sont, en principe, pas affectés par la luminance. Ceci découle de l'indépendance des trois stimuli de base dans les systèmes de représentation de la couleur. D'autres bases de couleur que le Y, I et Q peuvent également être définies par des relations réversibles similaires.

Pour acquérir et reproduire l'information couleur, il est nécessaire de former trois signaux vidéo du type de celui qui est présenté au paragraphe 2.2.4. précédent, chacun correspondant à l'une des couleurs de base. Ils peuvent être obtenus par un système de balayage similaire effectué avec trois filtres de couleur. Vu la largeur de bande qui a été calculée pour un seul signal vidéo, on peut penser que la télévision couleur nécessite trois fois plus de largeur de bande que la télévision noir et blanc. Il n'en est rien, comme on le verra au paragraphe suivant.

Pourquoi doit-on changer les couleurs de base ? La raison, dans le cas du N.T.S.C., était tout simplement la **compatibilité** entre les téléviseurs noir et blanc et les téléviseurs couleur. Le signal correspondant à la luminance Y est transmis dans tous les cas. Le changement de base peut apporter des avantages mais également des désavantages. Par exemple, le système YIQ ne permet pas de représenter toutes les couleurs.

2.3. SYSTÈME COMPLET

2.3.1. Systèmes N.T.S.C., P.A.L. et S.E.C.A.M.

Les systèmes N.T.S.C., P.A.L. et S.E.C.A.M. actuellement utilisés dans le monde entier sont définis déjà au niveau de la formation de l'information à transmettre. Ces initiales souvent rencontrées correspondent soit à celle d'une commission (N.T.S.C. : National Television Systems Committee) soit à celle d'une méthode (P.A.L. : phase alternate line et S.E.C.A.M. : séquentiel couleur à mémoire).

Reprenons le système de représentation de couleur Y, I et Q que nous avons brièvement introduit pour illustrer les changements de base de couleur. Le signal de luminance Y est obtenu de la manière suivante :

$$Y = 0,299 R + 0,587 G + 0,114 B$$

où les nombres sont les proportions du mélange. L'information Y est une bonne approximation de la scène filmée par une caméra noir et blanc. Elle est transmise par tous les émetteurs (noir et blanc aussi bien que couleur) et est interprétable par tous les récepteurs. Les signaux de chrominance sont obtenus par simple soustraction $I = R - Y$ et $Q = B - Y$. Ils sont transmis seulement par les émetteurs couleur et interprétés par les récepteurs couleur. La compatibilité des systèmes noir et blanc et couleur est ainsi réalisée. On peut démontrer très facilement que, disposant des signaux Y, I et Q, on peut retrouver les signaux R, G et B. Le problème posé est celui de la transmission des signaux Y, I et Q. A ce niveau il n'y a aucune différence entre les systèmes N.T.S.C., P.A.L. et S.E.C.A.M. Comme il n'est pas souhaitable de multiplier la largeur de bande nécessaire à cette transmission par un facteur trois, il faut trouver des astuces pour insérer les signaux de chrominance dans la même largeur de bande que celle du signal de luminance. C'est au niveau de ces astuces que les trois systèmes diffèrent. Il faut également signaler le fait que l'acuité visuelle pour les nuances colorées est plus faible que pour une image en noir et blanc. Il en résulte que les signaux de chrominance peuvent être transmis avec moins de détails, c'est-à-dire avec une largeur de bande plus faible.

Il est possible, en effet, d'insérer les signaux de chrominance dans la largeur de bande du signal de luminance car l'aspect périodique (de ligne de balayage à ligne de balayage) crée des trous dans cette largeur de bande. Autrement dit, l'information de ce signal se groupe dans des paquets placés aux multiples de la fréquence des lignes. Les signaux de chrominance ont des trous similaires dans leur largeur de bande. Ainsi en réglant la position de l'une par rapport à l'autre on peut faire chevaucher ces deux spectres dans la même largeur. Le principe de cette insertion est illustré à la figure 15. En pratique, on s'éloigne de cette situation idéale car les trous ne sont pas complètement vides et les signaux de luminance et de chrominance se mélangent et créent certains défauts connus.

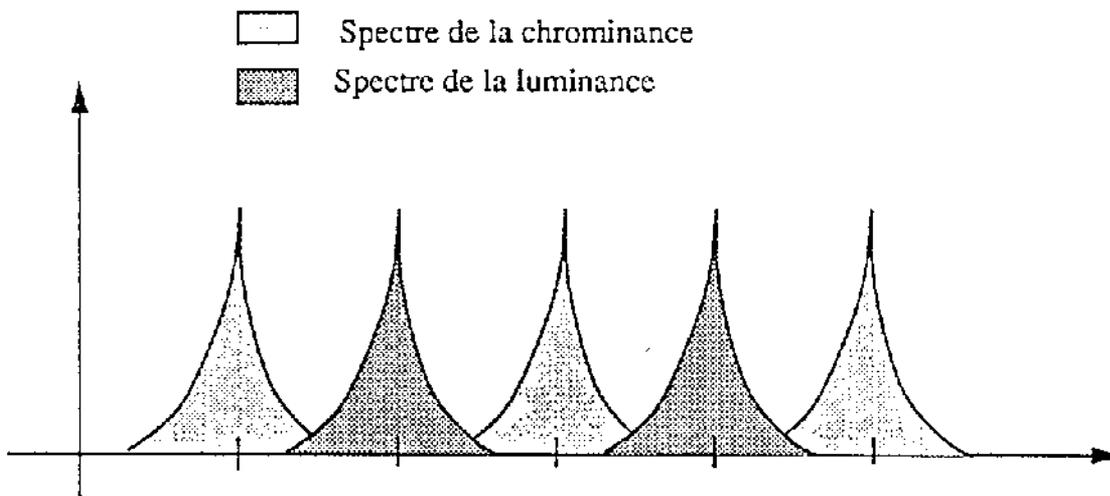


Fig. 15. — Principe d'insertion de la couleur dans la bande du signal vidéo de luminance.

Les systèmes N.T.S.C. et P.A.L. transmettent les trois signaux simultanément alors que le système S.E.C.A.M. fait commuter les deux signaux de chrominance à chaque ligne du signal de luminance. Pour mieux saisir ces différences, il faut examiner la transmission du signal vidéo.

2.3.2. Transmission du signal vidéo.

La transmission d'un signal nécessite sa modulation pour utiliser économiquement les canaux de transmission et pour ne pas mélanger le signal utile à d'autres signaux (voir les paragraphes 1.2.4 et 1.2.6). Les systèmes courant utilisent des modulations analogiques. Elles consistent à faire varier un paramètre du signal (amplitude, phase, fréquence, durée, position, etc.) modulé proportionnellement à la valeur instantanée du signal que l'on souhaite transmettre. Un signal modulé en amplitude a

une largeur de bande deux fois plus importante que celle du signal modulant, la bande du signal se transformant en deux bandes dites **latérales**.

Aussi la modulation d'amplitude ne devrait-elle pas normalement pouvoir être utilisée. Mais il est en principe possible de supprimer la moitié de cette bande double et utiliser ce que l'on appelle modulation à bande latérale unique ou B.L.U. Toutefois, le signal vidéo contient de très basses fréquences qui rendent difficile la modulation B.L.U. à cause de cette opération de filtrage. Le compromis consiste à ne pas filtrer complètement l'une des bandes latérales. On applique ainsi la modulation à **bande latérale résiduelle** en conservant les vestiges de l'une des bandes. La figure 16 montre le spectre du signal vidéo correspondant aux normes des systèmes à 625 lignes. Le son accompagnant l'image est modulé en fréquence (F.M.).

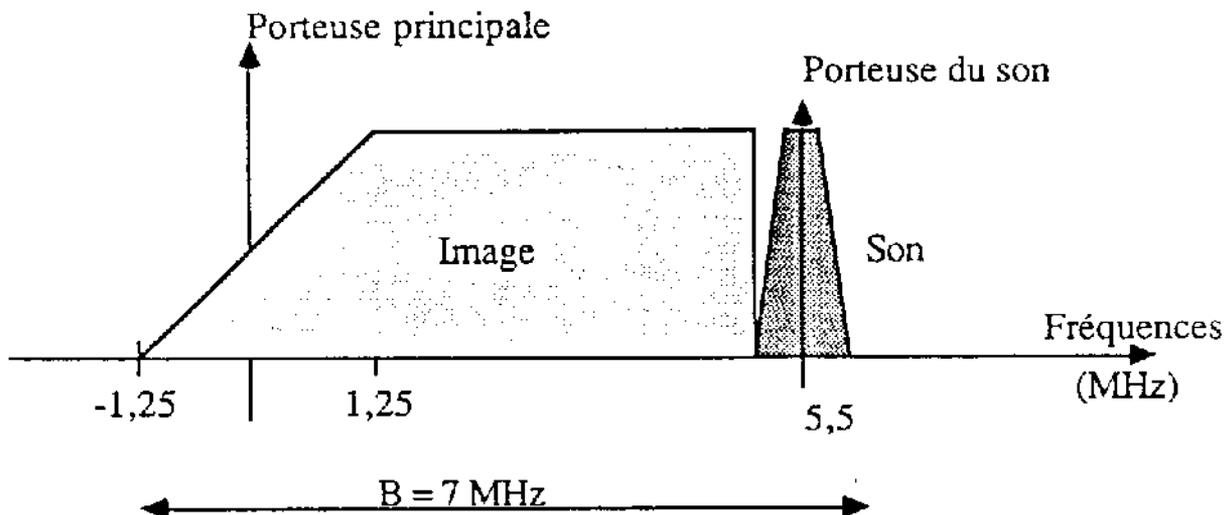


Fig. 16. – Spectre du signal vidéo noir et blanc en transmission.

Dans le système N.T.S.C. les deux signaux de chrominance I et Q modulent en amplitude et en phase une porteuse auxiliaire située dans la partie supérieure de la bande à une fréquence qui s'intercale entre les paquets (1) aux multiples de la fréquence de ligne de 15,75 kHz (système à 525 lignes et 30 trames par seconde). La position des porteuses dans ce système, ainsi que la largeur des différentes bandes sont données à la figure 17.

Le système P.A.L. cherche à remédier à l'inconvénient du N.T.S.C., qui est d'être très sensible aux distorsions de phase (2), en inversant la phase de l'un des signaux de chrominance une ligne sur

(1) Dans les « trous » ou les parties moins denses du spectre.

(2) Les changements, à la transmission, dans la configuration du signal, provoqués par les parasites, perturbent la réception.

deux. Dans les systèmes à 625 lignes, la fréquence de la porteuse de chrominance est plus élevée de 4,4 MHz que celle de la porteuse principale.

Le système S.E.C.A.M. part du principe que le signal vidéo de chrominance n'a pas besoin d'être analysé avec la même résolution spatiale que celle du signal vidéo de luminance. Ainsi, à chaque ligne du signal vidéo de luminance on ne transmet qu'un seul signal de chrominance en l'alternant avec l'autre signal de chrominance à la ligne suivante. A la réception, il faut retarder l'un des deux de la durée d'une ligne (64 micro seconde ou millionième de seconde dans les systèmes à 625 lignes, 25 trames) pour les recombinaer. Contrairement aux deux systèmes précédents, le système S.E.C.A.M. utilise une modulation de fréquence pour la chrominance avec deux porteuses différentes autour de 4,2 MHz.

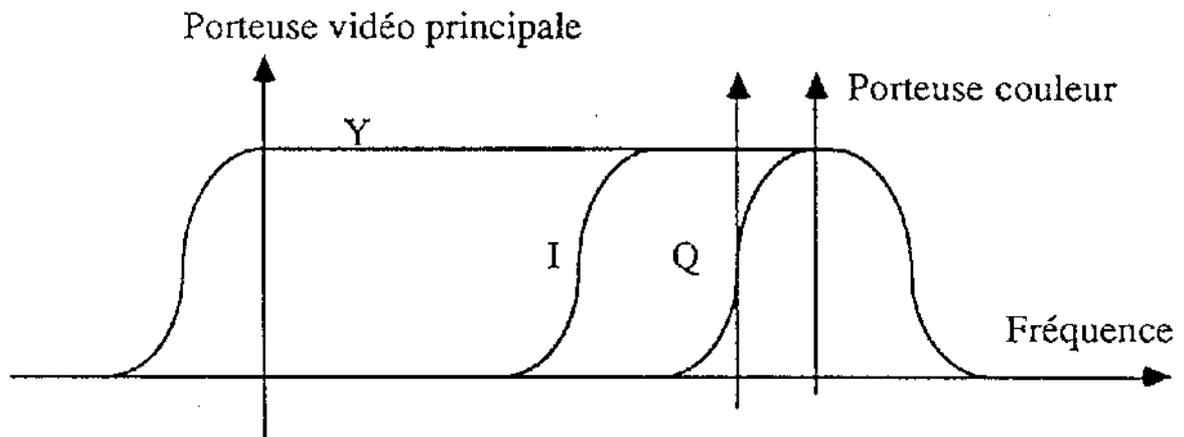


Fig. 17. - Position des porteuses couleurs.

2.3.3. Récepteurs.

Dans les récepteurs les signaux sont récupérés par démodulation. Une première opération consiste à transposer le signal dans une bande intermédiaire fixe. Le signal reçu est ensuite amplifié. Une compensation est faite pour retrouver les bons niveaux à cause de la modulation à bande résiduelle (voir la figure 16). Les démodulations fournissent alors les signaux vidéo en bande de base ainsi que le son.

Le signal électrique est transformé en image lumineuse en exploitant les propriétés des éléments luminophores. Ceux-ci bombardés par des électrons transforment leur énergie en lumière.

Dans le récepteur monochrome (noir et blanc), un faisceau d'électrons modulé par le signal d'image subit la déviation des deux balayages (horizontal et vertical), d'une manière tout à fait similaire à ce qui se

passé à la prise de vues (fig. 11). Le spot formé par ce faisceau excite le luminophore déposé sur l'écran. Le balayage est synchronisé avec le signal vidéo reçu.

Dans le récepteur couleur, le point image est composé de trois éléments luminophores primaires rouge, vert et bleu juxtaposés. Ces éléments sont suffisamment petits pour qu'ils ne soient pas perceptibles à la distance régulière d'observation de l'écran. La couleur est formée par synthèse additive. Chaque élément luminophore d'une couleur donnée est excité par un faisceau particulier.

2.4. QUE REPROCHE-T-ON A NOTRE BON VIEUX PETIT ÉCRAN ?

2.4.1. Procès.

Cette question renferme une grande partie de la réponse dans les mots *vieux* et *petit*. Examinons-les l'un après l'autre. Le système de télévision tel qu'il a été résumé ci-dessus, n'a pas changé depuis plus de trente ans. Cette stagnation l'a placé, lentement mais sûrement, dans l'antichambre de la mort. Il est même étonnant qu'il ait résisté aussi longtemps. Les progrès continus de la science et de la technologie sonnent maintenant le glas. Pour que l'on puisse décider de remplacer un produit grand public aussi répandu, il faut que la nouvelle version apporte des améliorations nettement supérieures. Actuellement cela pourrait être le cas, la télévision dite haute définition (TVHD ou, en anglais, HDTV) offrirait des avantages impressionnants. On peut même se dire, qu'après tout, on change assez régulièrement par exemple de voiture pour bénéficier des nouveautés techniques, pourquoi ne renouvellerait-t-on pas de temps en temps la télévision, appareil qui ne coûte que le dixième ou le vingtième d'une voiture ? Ce raisonnement n'est valable qu'au niveau individuel. En effet, le renouvellement d'une voiture n'implique pas forcément celui du réseau routier entier. Des voitures de différence d'âges dépassant quarante ans roulent sur les mêmes routes. Dans le cas de la télévision, les changements fondamentaux et justifiés n'impliquent pas seulement le remplacement des récepteurs dans les maisons mais aussi de tous les équipements de prise de vues et de transmission. C'est grâce aux énormes investissements que ces remplacements nécessitent que la télévision, conçue dans les années 40, a si longtemps survécu.

Le deuxième mot (*petit*) est lié à un problème de vision. La distance à laquelle nous regardons le petit écran nous donne un champ visuel nettement plus important que la surface de cet écran (voir le

chapitre suivant). Vu la petitesse de l'écran, tous les autres objets se trouvant dans notre champ visuel attirent notre attention. Ceci est encore plus vrai pour les objets en mouvement. L'impact visuel de la TV est atténué en fonction de ce qui se passe autour. C'est pour cette raison que l'on a plus de plaisir à voir un film sur un écran cinémascopique ou un écran imax que sur le petit écran.

Dans le cas statique, le pouvoir de notre système visuel pour percevoir des variations de luminance dans l'image est conditionné par la luminance moyenne du champ visuel total (voir le chapitre suivant). Pour s'en rendre indépendant, il est nécessaire de comprimer fortement la gamme dynamique de l'image affichée, opération qui l'éloigne du réalisme.

En plus de l'âge et de la taille de l'écran, il y a d'autres reproches, certes plus techniques, que l'on peut faire à la télévision.

Les trois composants d'un système de télévision (prise de vues, transmission, affichage des images sur les récepteurs) fonctionnent de façon synchronisée.

Réducteur de dimension, la caméra de télévision met en œuvre deux échantillonnages pour produire son signal. Le théorème d'échantillonnage qui donne les règles du jeu est aussi vieux que la télévision. Toutefois, il n'est respecté dans aucun de ces échantillonnages. Les cadences d'échantillonnage utilisées nécessitent l'introduction d'un filtre de garde antirepliement pour faire respecter le théorème. Or il n'est pas envisageable d'introduire de tels filtres dans les systèmes de télévision. On ne connaît pas *a priori* la fréquence maximum des scènes qui seront filmées. Il faut donc échantillonner à des fréquences plus élevées.

Toujours au niveau de la caméra, l'entrelaçage pose des problèmes tout en résolvant celui du papillotement. On croyait qu'avec des phosphores à courte rémanence on pouvait éviter le flou intertrame et reproduire les mouvements verticaux avec la moitié du nombre de lignes du balayage progressif. Pourtant le papillotement interligne apparaît toujours lorsque les lignes paires et impaires sont suffisamment différentes (détails verticaux dans l'image). On a pu établir que l'augmentation subjective de la résolution par entrelaçage, en opposition au balayage progressif, ne dépasse jamais 35-40 %, au lieu d'être de 100 % idéalement.

Tout en étant balayée par 312,5 lignes par champ, la cible de la caméra est presque entièrement déchargée entre deux passages du faisceau, donc dans chaque champ. La résolution effective d'une caméra à 625 lignes n'atteint jamais ce chiffre. Pour s'en rendre compte il suffit d'essayer de reproduire l'image d'un réseau de 312 lignes noires régulièrement espacées. La caméra ne donne aucune réponse à une telle image. Pour la moitié de ce nombre, sa réponse est déjà fortement atténuée. Par ce fait, la largeur de bande allouée n'est pas utilisée entièrement. Si on

pouvait améliorer la réponse verticale de la caméra en élargissant sa gamme de fréquence, le papillotement serait renforcé et deviendrait encore plus gênant.

Dans la voie de transmission, quel que soit son type (terrestre, satellite, câble), un bruit s'ajoute inévitablement au signal. C'est ce bruit qui est responsable des principales dégradations de l'image reçue aux foyers. Dans pareils cas, il faut un minimum de traitement à la réception pour atténuer l'effet du bruit, opération qui peut s'accompagner d'une diminution de la largeur de bande.

Les tubes d'affichage dans les récepteurs peuvent être considérés comme des systèmes linéaires. La lumière intégrée résulte d'un produit de convolution entre un réseau de ligne idéal et une fonction gaussienne qui représente le faisceau. Ceci peut éventuellement servir à atténuer la structure des lignes par défocalisation mais l'image sera défocalisée aussi.

La couleur a été introduite avec la contrainte de compatibilité dans un système qui n'était pas optimisé, ni modernisé, à l'époque, c'est-à-dire en 1953 aux Etats-Unis et un peu plus tard en Europe. A ce titre, entre autres, on peut citer le mélange non réversible de la luminance et de la chrominance qui est visible surtout le long des contours bien contrastés. La luminance est interprétée comme la chrominance et vice versa. Ceci découle de la superposition non négligeable des spectres de deux signaux, comme nous l'avons montré à la figure 15.

Malgré tout ce qui précède, les systèmes de télévision actuels fonctionnent depuis plus de trente ans montrant ainsi la validité de certains principes généraux, produisant une image de qualité acceptable avec un matériel bon marché et relativement fiable et donnant vie à une industrie importante. Mieux vaut ne pas se reposer sur de tels lauriers !

2.4.2. Justification du procès.

On peut donner beaucoup de raisons scientifiques et techniques pour justifier ces reproches. Voici quelques exemples. Les progrès réalisés et les possibilités offertes par la technologie des semi-conducteurs qui rendent possibles des traitements très complexes basés sur des **méthodes numériques**. Par exemple, il est possible de réduire la largeur de bande du signal vidéo en utilisant des techniques numériques. Ces méthodes ont été développées après celles de la télévision actuelle. Il faudrait les utiliser à l'avenir, quel que soit le nouveau système adopté. Une autre raison est la possibilité d'introduire très prochainement des **mémoires numériques** d'images dans les récepteurs. Elles permettront une pléthore de traitements pour améliorer la qualité de l'image qui ne

peuvent pas être faits autrement. L'amélioration des connaissances pour mieux maîtriser le signal vidéo et ses propriétés est encore une autre raison. La mise en place des **systèmes de communications numériques** fiables en est encore une autre avec l'utilisation des nouvelles techniques de codage. On peut en trouver encore beaucoup d'autres.

Mais il nous semble que ces reproches ont été surtout provoqués par le résultat des travaux effectués par les fournis japonaises pendant que les cigales européennes et américaines chantaient. En 1982 la firme japonaise NHK a fait la démonstration de son système MUSE de télévision à haute définition en montrant des images de télévision de qualité presque comparable à celle des films 35 mm. Il n'est certes pas étonnant d'obtenir une télévision de meilleure qualité en multipliant toutes les spécifications par quatre, y compris la largeur de bande. Si sur le plan scientifique et méthodologique il n'y a aucune amélioration dans ce système, nous devons quand même apprécier la virtuosité technologique utilisée dans le développement de ses différentes composantes. Un autre point tout aussi appréciable, sinon davantage, est le coup de fouet que ce système a donné dans les travaux européens et américains en la matière. En voulant imposer ce système comme la nouvelle norme de télévision, les Japonais ont fait déclencher d'importants projets ailleurs.

Il nous est difficile de prédire l'issue de tous ces travaux dans lesquels la politique, les intérêts financiers et la technique se mélangent. Les uns travaillent pour un nouveau système compatible avec le système actuel, d'autres cherchent à se débarrasser de cette contrainte. Les nouvelles propositions de normes sont acceptables par certains, ridicules pour d'autres. Une nouvelle norme sera bientôt adoptée. Sera-t-elle japonaise, européenne ou américaine ? Une chose est certaine : cette norme entrera en vigueur prochainement et nous disposerons d'un nouveau système de télévision, espérons-le, amélioré. **A cause de nombreuses contraintes non scientifiques, il ne nous semble pas que le nouveau système sera le meilleur que l'on puisse concevoir et réaliser dans l'état actuel des connaissances et de la technologie.**

CHAPITRE 3

MÉCANISME DE LA VISION

3.1. INTRODUCTION

L'auteur est convaincu qu'il faut tenir compte le plus possible des connaissances sur le système visuel humain dans l'élaboration des systèmes de traitement d'images en général et de télévision en particulier.

3.2. PROPRIÉTÉS PSYCHOPHYSIQUES

3.2.1. Introduction.

L'étude de la vision chez l'homme doit tenir compte de considérations subjectives. Aussi les expériences effectuées sont-elles souvent soumises à l'appréciation d'un échantillon d'observateurs dont il est établi une moyenne des réponses.

3.2.2. Sensibilité à la luminance.

Il faut ainsi distinguer la luminance effective (grandeur objective mesurable) de la luminance apparente (grandeur subjective qui dépend notamment de l'éclairage ambiant) pour juger de la qualité de la reproduction d'une image.

L'expérience de Weber-Fechner met en évidence cette distinction en mesurant le seuil de perception d'une variation de luminance L' pour différents degrés de luminance effective L *.

* L'expérience utilise un écran coupé en deux avec une luminance effective L dans une partie et une luminance un peu plus forte $L + L'$ dans la deuxième partie (fig. 19 (a)). L'observateur peut faire varier la valeur de L' .

L'expérience peut être répétée avec l'écran de la figure 19 (b) en fonction d'une luminance de fond L_b , différente de L .

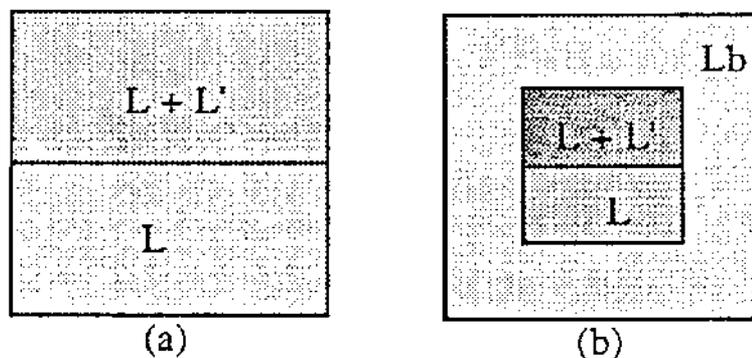


Fig. 19. — Expérience de Weber-Fechner.

L'expérience révèle une constance du rapport L'/L dans un grand intervalle de luminance sauf en milieu éclairé, lorsqu'intervient une luminance de fond L_b .

Les ingénieurs peuvent en retirer des indications utiles, par exemple, en ce qui concerne la nécessité de comprimer la gamme de luminance de l'image d'un écran de télévision en fonction de la luminance de fond. Le rapport L'/L peut être incorporé dans les corrections de gamma ou dans les lois de conversion analogique-numérique des systèmes numériques.

La distance à laquelle doit être regardé un écran de télévision pour ne pas apercevoir les lignes de trame peut en être déduite, etc.

Pourtant, certains résultats de l'expérience de Weber-Fechner ne sont incorporés dans aucun système de télévision, comme, par exemple, la propriété qu'a l'œil de pouvoir détecter de petits défauts plus facilement sur des surfaces uniformes que sur des surfaces à grande variation de luminance.

En conclusion, la sensibilité de l'œil à la luminance est une propriété importante. Elle détermine la qualité des caméras et des systèmes d'affichage (moniteur TV). Mais il n'est pas possible de tenir compte de tous les facteurs qui peuvent l'influencer.

3.2.3. Sensibilité au mouvement.

La sensibilité de l'œil au mouvement se mesure par des expériences similaires à celles qui viennent d'être décrites. Il en résulte que l'œil détecte plus facilement les oscillations temporelles (papillotements) lorsqu'elles sont lentes.

Très visibles à 25 Hertz (25 images par seconde), le papillotement persiste, dans les images lumineuses, à 50 images par seconde. Il ne disparaît complètement qu'à partir d'une fréquence d'échantillonnage temporelle élevée (70 Hertz ou plus).

On en déduit la vitesse maximum des mouvements qui peuvent être rendus sans ce type de défauts.

3.2.4. Sensibilité spatio-temporelle.

L'étude de la sensibilité spatio-temporelle de l'œil est l'un des secteurs où la collaboration ingénieur-chercheur en vision serait la plus fructueuse.

La propriété qu'a le système visuel d'être moins sensible au mauvais rendu du mouvement d'un motif lorsque celui-ci est spatialement très chargé, est à la base du balayage entrelacé. Cette propriété découle de l'absence de hautes fréquences temporelles en cas de hautes fréquences spatiales. Elle est également utilisée pour la mise au point de techniques de compression d'information sur les séquences d'images numériques.

3.2.5. Effet de masquage.

L'effet de masquage fait que notre sensibilité à une forme est réduite par la présence d'une forme similaire dans un voisinage spatio-temporel immédiat.

On en déduit que le système visuel n'est pas très sensible aux premières trames d'une nouvelle scène, étant masqué par la précédente.

3.2.6. Vision préattentive et vision attentive.

Les chercheurs en vision ont émis l'hypothèse de l'existence de deux types de vision. La vision préattentive (premier type), peu précise mais rapide et couvrant notre champ de vision tout entier, permettrait de détecter des changements (spatiaux aussi bien que temporels) sur lesquels se concentreraient ensuite la vision attentive (deuxième type).

La distinction entre ces deux types de vision correspond à la différence de fonctionnement, au niveau neuronal, entre les cônes et les bâtonnets de la rétine.

3.3. PROPRIÉTÉS NEUROBIOLOGIQUES

Plusieurs chercheurs espèrent tirer de l'étude des propriétés neurobiologiques du système visuel humain, des conclusions utiles pour la mise au point d'une architecture universelle de traitement d'images.

Déjà sont expérimentés des ordinateurs neuroniques qui s'inspirent de la physiologie et de l'anatomie du système nerveux et pourraient être capables de résoudre des problèmes aléatoires.

Votre expert est persuadé qu'une collaboration entre ingénieurs et biologistes ne peut être que fructueuse dans le domaine de la télévision haute définition.

L'étude du système nerveux a d'ailleurs déjà trouvé des applications en ce qui concerne les techniques de codage des images.

Elle pourrait être utilisée pour le codage de l'information recueillie par la caméra.

CHAPITRE 4

TÉLÉVISION A HAUTE DÉFINITION

4.1. INTRODUCTION

Les deux dernières décennies ont été très riches en applications spectaculaires et variées de la microélectronique. Un ordinateur qui remplissait une grande pièce a été ramené à la taille d'une machine à écrire. L'introduction d'une carte de circuits imprimés contenant ces fameuses puces dans des lave-vaisselle ou lave-linges, dans les récepteurs de radio ou de télévision, dans les voitures, les téléphones a apporté de nouvelles fonctions augmentant notre confort et enrichissant nos choix. Presque tous les domaines de la science et de la technique ont été envahis par ces puces. De plus en plus on leur confie des tâches qu'on avait l'habitude de traiter par d'autres moyens. C'est ainsi que, petit à petit, l'électronique moderne a tenté de s'imposer comme support de l'information visuelle. Les fonctions figées de la télévision telles qu'elles ont été décrites au chapitre 3 ont pu être libérées en vue d'autres applications. Par exemple la bureautique moderne remplace le papier par des « fichiers électroniques », invisible à l'homme de la rue. Le réseau mondial des ordinateurs remplace le courrier conventionnel par le courrier électronique.

Encore plus révélateur et plus répandu est le cas des caméras amateurs de cinéma. Il y a vingt ans, on avait des caméras à remontage mécanique utilisant un film de 16 mm de largeur qu'on exposait dans les deux sens sur 8 mm. Après de nombreuses manipulations, il fallait projeter le film sur un écran. Ce système a été remplacé par celui des caméras à moteur électrique, avec un film 8 mm, ensuite un film dit *super 8 mm* utilisant une surface d'image plus grande. Une bande magnétique a été ajoutée pour le son. L'introduction des films en cassette a baissé la qualité des images car le film ne pouvant se plaquer correctement dans son couloir, un flou impossible à corriger a fait son apparition. C'est le prix qu'il a fallu payer pour la simplicité des opérations. De nos jours, ces caméras sont remplacées par des caméras vidéo, augmentant énormément la simplicité : plus de développement de film, plus d'écran et de projecteur, on visualise sur-le-champ ce qu'on vient de filmer en connectant la caméra au téléviseur. Mais on n'a pas la qualité d'image

qu'on avait avec les films. Encore une fois, *la qualité a été sacrifiée* pour la simplicité. Il faut croire que, de nos jours, quand le travail n'est plus un devoir et quand l'argent est devenu un droit, sacrifier la qualité est considéré comme une attitude normale !

Le support physique des œuvres cinématographiques est le film de largeur 35 mm. C'est un standard universel depuis plusieurs décennies. Il donne une qualité d'image impeccable et pour l'instant inatteignable par d'autres moyens. Evidemment, ce n'est pas très commode de faire des effets spéciaux, des montages sophistiqués. On ne peut pas visualiser rapidement ce que l'on a filmé pour voir s'il faut répéter la scène. On peut faire une longue liste des inconvénients du film 35 mm, surtout lorsqu'on est pressé de produire n'importe quoi pour abrutir chaque jour davantage ses semblables.

La tentation de proposer aux producteurs de cinéma l'électronique comme support de l'information était très forte. La qualité de la télévision actuelle étant très nettement insuffisante pour cette opération, il a fallu l'améliorer. C'est cette version améliorée qui est appelée **télévision à haute définition**. Ce qui est proposé aujourd'hui, dans les meilleurs des cas, ne remplacera certainement pas le film 35 mm. Toutefois, il est utile de reconnaître que cette tentation passionnera plusieurs personnes à l'avenir. Il ne serait pas surprenant qu'un jour la commodité reprenne le dessus et que la qualité du support 35 mm soit sacrifiée.

Signalons ici qu'une tentative similaire a échoué en 1975-1976 aux Etats-Unis, quand on a voulu faire des fichiers électroniques pour remplacer les films des radiographies de rayons X. Technologiquement c'était trop tôt. L'idée a été reprise en Europe en 1980 par Philips mais l'aboutissement n'est pas connu de l'auteur. En plus, c'est une application dans laquelle, on l'espère, la qualité ne sera jamais sacrifiée.

4.2 NORMES

4.2.1. Généralités.

Il est très fréquent de disposer de plusieurs solutions techniques, plus ou moins équivalentes et compétitives, pour un problème donné. Alors, il est nécessaire de faire un choix. Pour le faire de la manière la plus objective possible, il y a des commissions spéciales qui s'occupent de divers domaines. Dans le cas de la télévision, c'est le Comité consultatif international pour la radio-communication, plus connue par ses initiales, C.C.I.R., qui propose des normes. Ce comité émet des recommandations pour le choix des différents paramètres concernant les systèmes de télévision.

Les normes régissent les signaux et les systèmes intervenant depuis la scène de prise de vues au studio jusqu'aux récepteurs dans les foyers. Chaque fois qu'un signal change de forme ou qu'il doit être traité par un système, il faut introduire une norme si le nombre de possibilités de modifications et de traitements dépasse l'unité. Ainsi, plusieurs fabricants, dans plusieurs pays, peuvent produire des systèmes équivalents permettant une concurrence saine et des échanges faciles.

On distingue ci-dessous seulement les normes de production et les normes de diffusion, même si l'on peut citer encore les normes d'enregistrement, de copie, etc., car ce sont ces deux normes qui ont l'impact le plus important.

4.2.2. Norme de production.

La norme de production est l'ensemble des spécifications du signal obtenu à la sortie de la caméra qui effectue la prise de vue. Dans la télévision actuelle, par exemple, il y a deux fameuses normes repérées par les chiffres 525 et 625 qui ne sont rien d'autre que le nombre de lignes de balayage (voir le paragraphe 2.2.1). Rappelons que ces deux systèmes correspondent à ceux des pays dont l'énergie électrique est à 60 et 50 Hz respectivement. Bien entendu ces normes contiennent plus de détail que le nombre de lignes, mais ceux-ci ne seront pas repris ici car ils ne sont pas nécessaires à la compréhension du reste.

On peut améliorer un système aussi complexe que celui de la télévision de plusieurs manières, en s'attaquant aux divers maillons de la chaîne dans un certain ordre. L'ordre idéal semble être très difficile à établir car les implications, non seulement techniques, mais économiques et sociales, sont multiples et difficiles à maîtriser. On peut commencer par le studio, par le canal de transmission ou par le récepteur. **Les travaux actuels sur la télévision à haute définition, que nous abrègerons par la suite par T.V.H.D., montrent que l'enjeu est au niveau des normes de production au studio.** Ceci peut être une approche valable, mais sa validité dépend de l'étendue du changement que l'on veut faire. Autrement dit, il faut bien poser le problème : que veut-on changer ? Combien veut-on investir ? Qu'est-ce que l'on conserve dans l'acquis ?...

Le reproche que l'on peut faire à une amélioration débutant au studio est simple. **Il y a une grande différence de qualité dans l'image vue au studio par rapport à l'image vue dans les foyers, celle du studio étant déjà très bonne.** Il est légitime de penser qu'il faut d'abord améliorer la transmission et rendre le signal transmis moins vulnérable aux perturbations. Ceci est surtout valable pour les transmissions terrestres, moins pour les autres types (câble, satellite). Pour un signal transmis donné, on peut encore améliorer le récepteur pour exploiter les temps morts du signal, pour supprimer le papillotement, etc.

En fonction de ce que nous avons développé au chapitre 3 et ne disposant pas d'une révolution technologique fondamentale au niveau de la saisie des images, le principe du balayage ligne par ligne et celui de l'échantillonnage temporel doivent être maintenus. Les paramètres sur lesquels nous pouvons jouer pour améliorer la qualité de l'image au studio sont le nombre de lignes par image, le nombre d'images par seconde, le rapport d'aspect et le maintien ou la suppression de l'entrelaçage. Pour que les modifications soient justifiables, une amélioration basée sur un facteur deux a été envisagée. En première approximation ceci revient à doubler le nombre de lignes par images, donc à doubler la résolution (la précision) verticale, et doubler également la résolution horizontale. Ainsi, à finesse spatiale (résolution égale), la nouvelle image est quatre fois plus grande que l'ancienne (*fig. 24*). Ceci est la réponse au premier reproche qui a été formulé au paragraphe 2.4.1 sur la taille de l'écran. Ensuite, en fonction des résultats obtenus par le cinéma, le rapport d'aspect ($4/3$ pour la télévision actuelle) sera modifié pour avoir une image plus rectangulaire et moins carrée. Un rapport qui ressort des discussions est $16/9$. A surface d'image égale, la comparaison de ces deux rapports d'aspect est montré à la figure 25. Il va de soi que ces nouveaux paramètres ne peuvent pas être choisis indépendamment des possibilités technologiques : il faut que l'on puisse réaliser les systèmes correspondants. C'est pourquoi on ne peut pas prendre arbitrairement un facteur 10 au lieu d'un facteur 2. Grâce justement aux progrès de la technologie, on a pu vérifier expérimentalement les avantages d'un balayage progressif. Ainsi, il est envisagé d'avoir une norme à balayage non entrelacé. A résolution verticale égale et pour un même nombre d'images (trame) par seconde, le balayage progressif double la largeur de bande.

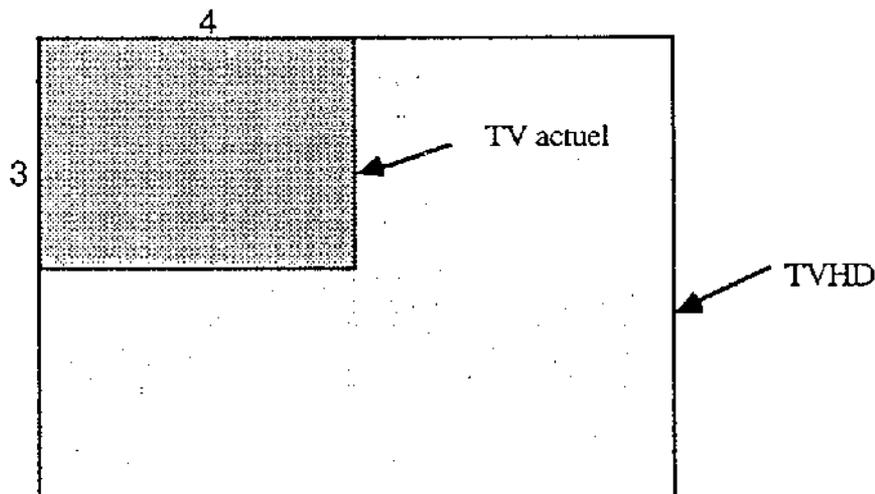


Fig. 24. — Comparaison des tailles d'image, à résolution égale.

Ces paramètres de balayage sont condensés dans une représentation du style A/B/C où A représente le nombre de lignes par trame, B le nombre de trame par seconde et C le nombre de champs par seconde. Par exemple, la proposition européenne est 1 250/50/50. A ceci s'ajoute le rapport d'aspect et les caractéristiques des signaux de luminance et de chrominance (largeur de bande, durée active d'une ligne, etc.). D'autres propositions sont du type 1 125/30/60 ou 1 050/30/60 ou 1 050/60/60. L'ordre de grandeur est de 1 000 lignes par trame et 50 champs par seconde. La détermination précise de ces chiffres n'a rien de scientifique. C'est un problème un peu technique qui suscite des réactions passionnelles et chauvines. La technologie actuelle peut s'accommoder des chiffres cités ci-dessus. Toutefois, il serait illusoire de penser que ces normes peuvent donner une qualité équivalente à celle du film 35 mm.

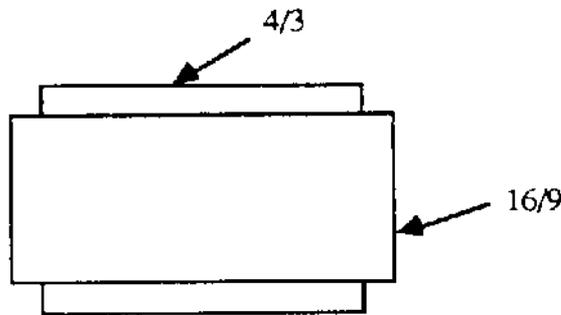


Fig. 25. — Comparaison, à surface égale, des rapports d'aspect.

4.2.3. Norme de transmission.

Il est intéressant de noter que la largeur de bande des signaux correspondant aux balayages décrits ci-dessus n'est plus celle qui a été calculée et discutée au paragraphe 2.2.4. Un simple calcul montre que pour la norme 1 250/50/50, la largeur de bande du signal de luminance est de l'ordre de 40 MHz, soit environ huit fois plus que la norme 625/25/25. Donc, s'il fallait émettre des programmes de télévision avec ce nouveau signal, on occuperait une largeur de bande équivalant à environ huit canaux de télévision existants. Comme la disponibilité en largeur de bande n'est pas illimitée (c'est en fait la denrée la plus rare en communication), il faut supprimer huit émetteurs conventionnels pour introduire un émetteur TVHD ! C'est un luxe que personne ne peut se payer et *ne doit* se payer. C'est en effet la conviction profonde de l'auteur que ceux qui utilisent mal la largeur de bande du spectre électromagnétique sont des pollueurs tout aussi dangereux que ceux qui lavent les soutes des tankers à la mer ou qui déversent des produits chimiques toxiques et non dégradables dans les rivières.

C'est ici qu'intervient la modulation (voir le paragraphe 1.2.6). En effet, il faut d'abord adapter les signaux de base aux caractéristiques des milieux de transmission et ensuite faire preuve d'ingéniosité pour utiliser la largeur de bande la plus faible possible. Ce dernier point peut, et dans certains cas doit, s'accompagner d'une légère perte de qualité, même si l'on admet (hypothèse d'école) une voie de transmission parfaite sans perturbations. **Les normes de transmission fixent la nature de la modulation et le niveau de la perte de qualité.**

C'est également ici qu'intervient l'animosité internationale entre les Japonais, les Européens et les Américains. Vu l'importance des systèmes envisagés, ils sont présentés ci-dessous séparément.

4.3. SYSTÈME EUROPÉEN

4.3.1. Amélioration du système actuel.

Un des défauts des systèmes PAL/SECAM décrits au paragraphe 2.3.1 est de mélanger le signal de luminance aux signaux de chrominance à cause de l'astuce que constitue l'enchevêtrement des spectres (*fig. 15*). Ce défaut peut être corrigé en séparant complètement ces signaux, au prix d'un élargissement de la largeur de bande. C'est ce qui a été à l'origine des systèmes dit Mac (Multiplexed Analog Components).

Le principe du Mac est le suivant. Pendant la durée d'une ligne de balayage, on doit disposer du signal de luminance correspondant à cette ligne, d'un au moins des deux signaux de chrominance, du son et des informations de service (synchronisation, référence, etc.). Ces signaux sont parallèles par nature : ils évoluent en même temps. Une manière de les coincer dans la largeur de bande initiale consiste à les mettre bout à bout. Comme une telle opération conduira à un signal plus long que celui d'une ligne, les signaux subissent un effet d'accordéon à la compression avant de se mettre en file indienne. Les termes techniques correspondant sont le multiplexage dans le temps après compression. Le signal ainsi obtenu est transmis au récepteur qui démultiplexe et décompresse avant de l'afficher sur l'écran. Une autre façon de voir cette opération est celle-ci : au lieu d'attribuer des intervalles de fréquences spécifiques à chacun de ces signaux (luminance et chrominance), on leur laisse à chacun toute la bande de fréquence disponible, mais pas tout le temps. Il est utile d'examiner le système Mac en détail car il est à la base du système européen de T.V.H.D.

4.3.2. Système Mac.

D'après les normes en vigueur pour le signal vidéo P.A.L./S.E.C.A.M., la durée d'une ligne de balayage est de 64 microsecondes (μs) (voir la figure 14). Les largeurs de bande des signaux de luminance et de chrominance sont respectivement 5,6 MHz et 1,6 MHz. Les fréquences d'échantillonnage, qui doivent être au moins le double, sont normées à 13,5 et 6,75 MHz respectivement. Par ailleurs, la recommandation n° 601 du C.C.I.R. qui donne les paramètres de codage de télévision numérique pour studios, définit la famille dite 4:2:2: qui donne le rapport des fréquences d'échantillonnage du signal de luminance et des signaux de chrominance. Elles doivent être dans le même rapport que les chiffres 4:2:2.

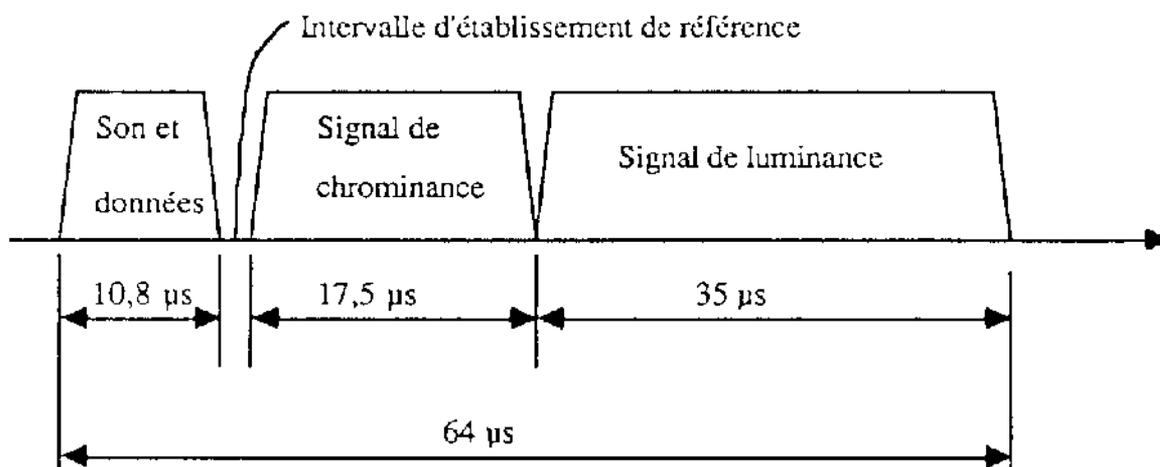


Fig. 26. - Division temporelle d'une ligne de balayage dans le système Mac.

La partie dite active d'une ligne qui dure 52 μs est utilisée pour transmettre un signal de chrominance pendant un moment et le signal de luminance dans la durée restante. Comme l'importance de la luminance est le double de celle de la chrominance, cet intervalle de 52 μs est divisé en trois. Un premier tronçon est utilisé pour le signal de chrominance et les deux autres pour celui de la luminance. La figure 26 montre la division temporelle d'une ligne de 64 μs . Comment peut-on insérer un signal analogique de durée 52 μs dans un intervalle plus petit ? (par un facteur 3 pour la chrominance et 2/3 pour la luminance). Malheureusement, il n'est pas possible de réaliser cette opération par des techniques analogiques. On convertit tout d'abord le signal en numérique par échantillonnage et quantification (voir paragraphe 1.1.2). On réalise l'effet accordéon de compression en diminuant la période

d'échantillonnage et on reconvertit le signal ainsi obtenu en un signal analogique. La figure 27 montre les différents signaux intervenant dans la réalisation de la compression. Une autre manière de présenter cette opération et de dire que l'on enregistre le signal à une certaine vitesse et on le relit à une autre vitesse. Si la lecture se fait plus rapidement que l'écriture le signal est comprimé. Il est décomprimé dans le cas contraire. Le rapport de compression est le même que celui des vitesses d'écriture et de lecture. Le support utilisé ici pour enregistrer le signal est une mémoire vive numérique.

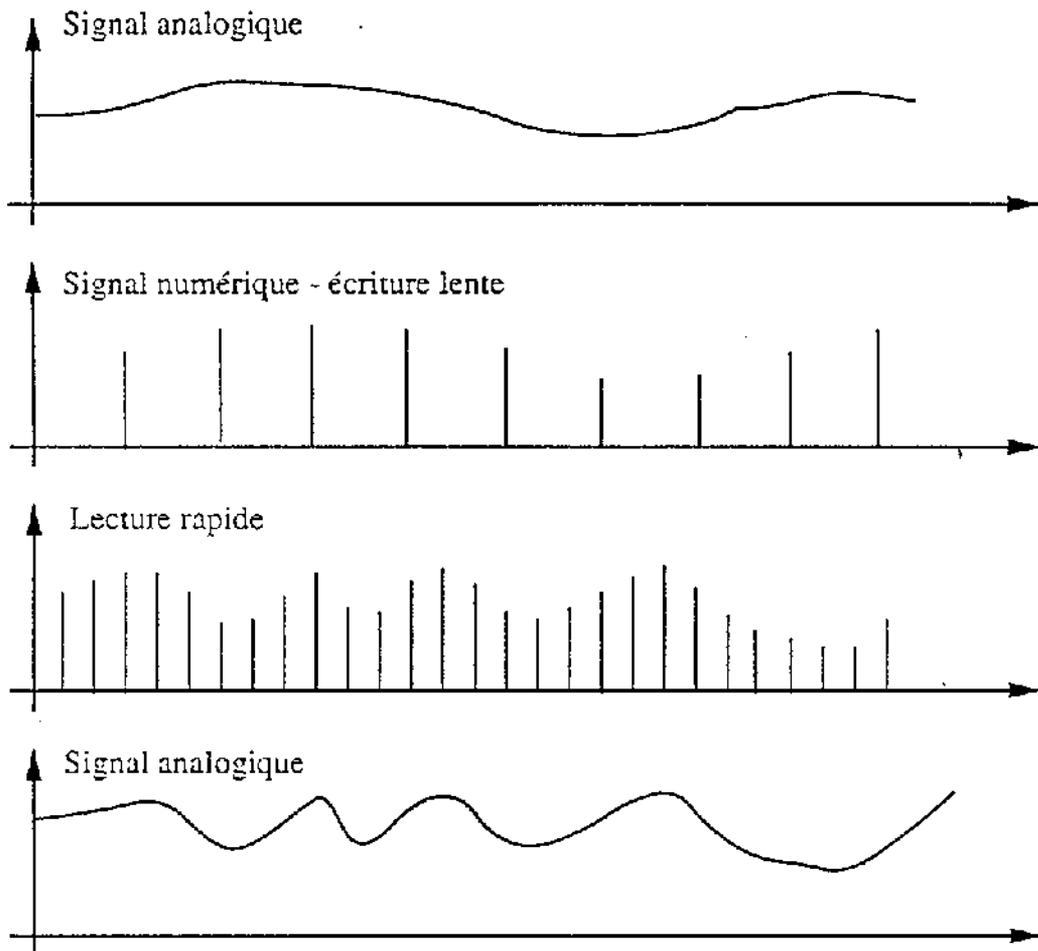


Fig. 27. — Compression d'un signal analogique par voie numérique.

Malheureusement, ces opérations de changement d'échelle temporelle s'accompagnent de modifications « inverses » dans le domaine fréquentiel, domaine dual du domaine temporel. Une propriété physique fondamentale des signaux et que la compression dans un domaine correspond à une décompression dans le domaine dual. Ainsi, le prix de la compression qui a pu être réalisée par cette astuce numérique est payé par l'élargissement de la largeur de bande des signaux correspon-

dants. Les largeurs de bande 5,6 MHz et 1,6 MHz indiquées plus haut deviennent après compression 8,4 et 4,8 MHz pour la luminance et la chrominance respectivement. La fréquence d'échantillonnage augmente en conséquence à 20,25 MHz.

Tout ceci a une conséquence beaucoup plus grave. Le système décrit plus haut permet effectivement de séparer nettement la chrominance et la luminance qui ne peuvent plus se mélanger. Toutefois, pour profiter de cette amélioration, il faut modifier l'émetteur et les récepteurs. Nos récepteurs P.A.L./S.E.C.A.M. actuels ne **sont pas compatibles** avec le système Mac. Ce système est prévu pour la transmission (radiodiffusion) par satellite (D.B.S.), avec une modulation de fréquence dans un canal de largeur 27 MHz. Il n'est pas encore opérationnel. Quand tout ceci donnera satisfaction, les usagers seront obligés d'acheter le décodeur Mac pour le rajouter à leur récepteur dans les foyers.

4.3.3. Amélioration du système Mac.

Dans la description précédente, nous n'avons pas parlé du son et des données. En faits, surtout à cause de ces informations, une famille de système Mac a été développée : A-Mac, B-Mac, C-Mac... Cela fait peur quand on sait qu'il y a 26 lettres dans l'alphabet ! (*)

Dans le système A-Mac, le son et l'image subissent un multiplexage fréquentiel. Le son est transmis à l'aide d'une sous-porteuse « numérique ». En effectuant le multiplexage son-image dans le domaine temporel, on obtient le système B-Mac. La mise en paquets du son et des données conduit au système C-Mac. Le terme paquet est utilisé ici pour grouper un certain nombre d'unités binaires (les bits). Un signal numérique se résume à une suite de tels bits. Selon les besoins, ces bits peuvent être groupés par tranche, selon leur contenu informationnel ou leur destination commune. Un tel groupe muni d'une étiquette devient ainsi un paquet de bits ou un paquet tout court. A l'utilisation, un aiguillage basé sur les étiquettes remet les choses en place.

La partie image du système D-Mac est celle qui a fait l'objet du paragraphe 4.3.2. Le son et les données de service dans ce système subissent un codage dit duobinaire dans lequel les bits des informations numériques sont additionnés à trois niveaux. Le débit numérique (équivalent de la largeur de bande analogique) pour le son et les données est de 20,25 millions de bits par seconde (Mbit/s). Cette bande est équivalente à huit voies de son de bonne qualité. Une trame d'image D-Mac est formée par des lignes comme celle qui est montrée à la figure 26, sauf pour certaines lignes réservées à d'autres informations. Par

(*) Voir plus loin la réponse des participants au projet Euréka 95.

exemple les lignes de numéro 2 à 22 et 314 à 334 sont des lignes dites de retour de trame utilisées pour le télétexte et autres informations. Quelques lignes sont réservées pour des signaux de test, le signal de référence (blanc-noir) et la synchronisation de trame.

Initialement conçu pour la radiodiffusion par satellite, on a voulu utiliser le système D-Mac également pour le réseau câblé. Pour ceci il faut changer la convention de la modulation (voir paragraphe 1.2.6) en passant de la modulation de fréquence à la modulation en amplitude à bande latérale résiduelle (fig. 16). Les canaux sur le câble sont d'une largeur d'environ 7,5 MHz. Comme le signal vidéo du système Mac est à 8,4 MHz, il faut le tronquer avec une légère perte de résolution. Le son et les données à 20,25 Mbit/s ne peuvent pas être transmis dans un tel canal. Ce débit est alors divisé par deux pour arriver à 10,125 Mbit/s. Ainsi est né le D2-Mac qui est un D-Mac à débit binaire moitié. Ceci réduit à quatre le nombre des voies de son. Toutefois, à cause des arrangements de bits spéciaux, il n'est pas facile de passer du D-Mac au D2-Mac et vice et versa.

La série des Mac donne un sentiment désagréable de rafistolage (*). Ceci fait penser à un tableau peint par plusieurs peintres amateurs, chacun donnant quelques coups de pinceau, défigurant et fragilisant le dessin. Il est bien connu que les systèmes techniques supportent un certain niveau de rafistolage, car rares sont les systèmes pour lesquels le (ou les) concepteur(s) ne sont pas sous pression et peuvent penser aux tenants et aboutissants de ce qu'ils créent. Toutefois, le rafistolage fragilise l'édifice. Le système européen de T.V.H.D. est branché sur la série Mac, plus particulièrement sur le D2-Mac.

4.3.4. Système européen de T.V.H.D., HD-Mac.

Le système européen de T.V.H.D. vise à transmettre une série d'images haute définition à l'aide du standard de transmission D2-Mac prévu pour la télévision 625/25/50. En ce sens, il y a bien recherche d'une certaine comptabilité, mais il faut noter qu'*il s'agit d'une comptabilité avec quelque chose qui n'existe pas !* L'introduction d'une nouvelle télévision « compatible » est justifiée pour protéger le parc de récepteurs existants, déjà opérationnels chez les téléspectateurs. Ce n'est malheureusement pas le cas du système européen (*).

Le problème ici est de réduire la largeur de bande du signal T.V.H.D. par un facteur environ 4 pour qu'il puisse être transmis dans le canal conventionnel et qu'il soit décodable par les récepteurs à venir D2-Mac. Jusqu'à présent, on n'a pas rencontré dans ce rapport un tel

(*) Voir plus loin la réponse des participants au projet Euréka 95.

problème de compression. Les systèmes N.T.S.C., P.A.L. et S.E.C.A.M. qui ont été discutés au paragraphe 2.3.1 « bouchent les trous » pour introduire la couleur sans augmenter la largeur de bande mais ne font pas de compression proprement dite. Par ailleurs, l'effet accordéon qui a été présenté ci-dessus pour le système Mac (fig. 27 et paragraphe précédent) ne peut être réalisé qu'à l'aide d'un traitement numérique. Le problème de compression de largeur de bande posé ici est de même nature. Il ne peut être résolu que par un traitement numérique. Il faut donc numériser les signaux de luminance et de chrominance.

Le signal vidéo dont la production a été présentée au paragraphe 2.2.4 est, on s'en souvient, un signal unidimensionnel représentant un espace à quatre dimensions dans lequel nous évoluons. Ce signal analogique a été obtenu suite à deux échantillonnages : vertical pour les lignes de balayage et temporel pour la répétition des trames et des champs. Pour obtenir la numérisation complète de ce signal, il ne reste que l'échantillonnage horizontal le long des lignes, ce qui est équivalent à l'échantillonnage temporel du signal analogique. Les surfaces élémentaires fictives de la figure 10 deviennent alors une réalité : à chacune d'elle on associe un nombre représentant la luminance moyenne sur cette surface et deux nombres représentant les signaux de chrominance. Ces surfaces élémentaires sont tellement petites qu'il est d'usage de les appeler **point-image** ou **point** tout court. Ainsi la représentation numérique d'une trame de N lignes devient un tableau de valeurs numériques de dimensions N fois M. Le nombre M dépend de la fréquence maximale du signal le long d'une ligne. Par exemple, la recommandation 601 de la C.C.I.R. prévoit M = 720 pour la luminance et 360 pour la chrominance sur la partie active d'une ligne. Ce passage schématisé des lignes de balayage à la représentation numérique par points est illustré à la figure 28. Il faut effectuer ce changement sur le signal vidéo à haute définition. Par exemple, pour le système 1250/50/50, on obtient des tableaux énormes (1 250 par environ 2 000 pour la luminance et deux tableaux 625 par environ 1 000 pour la chrominance). Les valeurs de M dépendent aussi de la façon de caler les échantillons d'une ligne par rapport à ceux de la suivante. Par exemple, le système illustré à la figure 28 correspond à un échantillonnage dit **orthogonal** : les lignes et les colonnes sont perpendiculaires. Dans un autre système on peut envisager de décaler les échantillons des lignes de numéros pairs d'un demi-pas pour obtenir le système dit **quinconce**. Les avantages et les inconvénients de ces systèmes d'échantillonnages sont discutés plus loin.

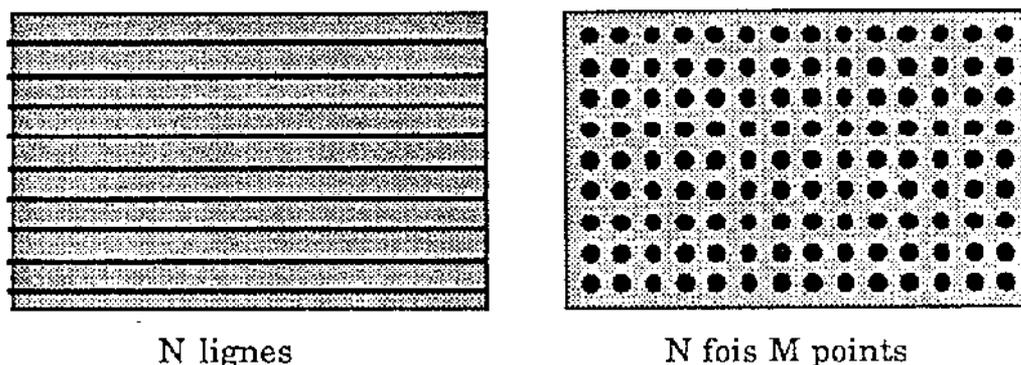


Fig. 28. — Représentation schématique du passage des lignes aux points : numérisation du signal vidéo.

La forme numérique du signal vidéo convient parfaitement aux traitements numériques que l'on doit effectuer pour réduire la largeur de bande du signal initial et reproduire un signal conforme au système D2-Mac. Ce passage est appelé HD-Mac. Il existe plusieurs versions obtenues par évolution au cours du temps. Il n'est pas nécessaire de les donner toutes. Nous en donnerons deux, dont l'une est relativement primitive et l'autre parmi les plus récentes. Il faut remarquer que cette variété HD-Mac similaire à celle du Mac discutée précédemment montre que les idées ne sont pas mûres et qu'il y a encore de la place pour le rafistolage (*).

Dans une première version du HD-Mac, on commence par ignorer un point sur deux sur chacune des 1 250 lignes à M points de la représentation numérique de la figure 28. En plus, d'une ligne à la suivante on saute un pas pour disposer les points restants en quinconce. Ceci est représenté à la figure 29 a. Ensuite on fait éclater ce tableau en quatre tableaux de 625 lignes à M/2 points (fig. 29 b). Cet éclatement est fait de manière à ce que la reconversion analogique des points corresponde à deux paires de champs entrelacés de 625 lignes chacun. En déplaçant les échantillons d'une ligne de l'un de ces champs à la position vide verticale de la ligne précédente, on libère une ligne sur deux dans chaque champ (fig. 29 c). On effectue ensuite l'entrelacement deux à deux de ces champs, pour obtenir une trame 625 lignes à deux champs entrelacés, compatible avec la nature du D2-Mac (fig. 29 d). Ce signal numérique est reconverti en analogique pour être modulé et diffusé par le système D2-Mac. A la réception, un téléviseur, muni de son décodeur D2-Mac, affichera d'une manière compatible une image qui était T.V.H.D. à l'origine. Un récepteur T.V.H.D., toujours muni d'un décodeur D2-Mac, doit intercepter deux trames successives (donc quatre champs !), démêler les champs entrelacés et calculer les points intermédiaires non transmis par une méthode dite d'interpolation. L'interpolation la plus simple consiste à calculer la valeur moyenne

(*) Voir plus loin la réponse des participants au projet Eurêka 95.

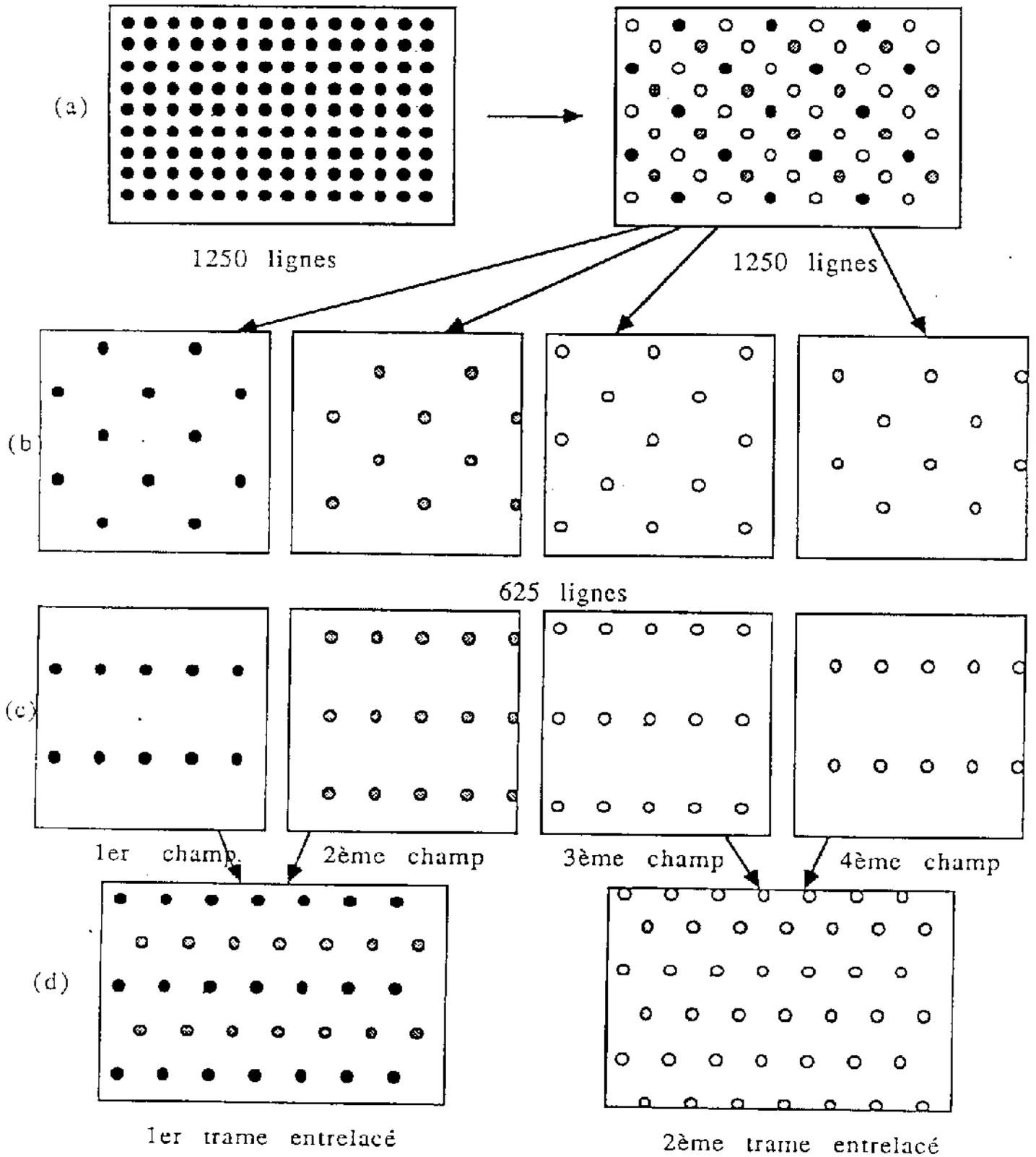


Fig. 29. - Illustration du système HD-Mac.

des points voisins. Il faut donc au récepteur T.V.H.D. le temps de quatre champs ou de deux trames pour reconstituer une image complète. Pour un balayage progressif à 50 Hz, ceci correspond à un échantillonnage temporel de 12,5 images par seconde. Cette valeur est trop faible pour des images contenant des objets en mouvement. *Pendant la durée de quatre champs, un objet qui se déplace sera très mal reconstitué (*)*.

La correction de ce défaut fait l'objet de plusieurs variantes de HD-Mac. La qualité de l'amélioration est « proportionnelle » à la complexité du système qui la réalise.

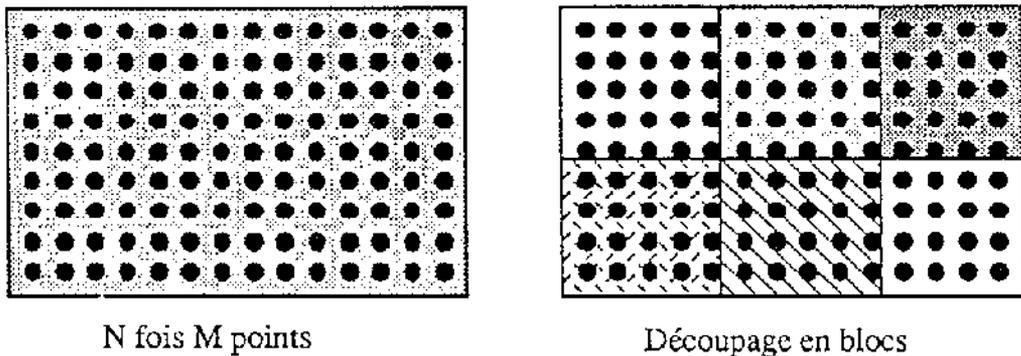


Fig. 30. — Découpage de la représentation numérique en blocs.

Le principe de ces systèmes est le suivant. On divise d'abord le tableau numérique de l'image (fig. 28), en des sous-tableaux ou blocs de petite taille, par exemple 16 par 16. Ceci est illustré à la figure 30. A chacun de ces blocs, on cherche à coller l'une des étiquettes suivantes : bloc fixe, bloc faiblement mobile et bloc mobile. Il s'agit de déterminer si l'image représentée à l'intérieur de chaque bloc est celle d'un objet fixe, en faible mouvement ou en mouvement. Pour ceci, il faut examiner en tout cas deux trames successives pour déterminer si le motif numérique d'un bloc a varié d'une trame à la suivante. Une manière d'effectuer cette détermination consiste à comparer la représentation numérique d'un bloc donné (son motif) aux motifs des blocs de même taille et dans le même voisinage de la trame suivante. Quand le premier motif se superpose d'une façon relativement précise avec un motif équivalent à une autre position, on décide que l'objet correspondant s'est déplacé de la première position à la seconde. Ceci est illustré à la figure 31 où un objet mobile se déplace dans le plan de l'image d'une trame à l'autre. Cette détermination est simplifiée si, au lieu d'un objet, on cherche le mouvement éventuel du motif d'un bloc carré. En plus, cette détermination faite à l'aide des deux premières trames permet de prédire la position du bloc dans la troisième trame par pure extrapolation linéaire. Le bloc analysé pouvant se déplacer librement, il ne sera pas à la

(*) Voir plus loin la réponse des participants au projet Eurêka 95.

position prédite mais ne sera pas très loin de celle-ci. Ainsi, le nouveau déplacement peut être signalé à l'aide d'une courte distance par rapport à la position prédite au lieu d'une longue distance recalculée par rapport à la position d'origine. L'économie réalisée sur la longueur de cette distance se reflète également dans le nombre de bits qu'il faut pour le signaler au récepteur. La figure 32 montre cette opération à laquelle on se réfère sous le nom de **compensation de mouvement**. Il aurait été préférable d'appeler ceci codage de l'erreur de prédiction de mouvement.

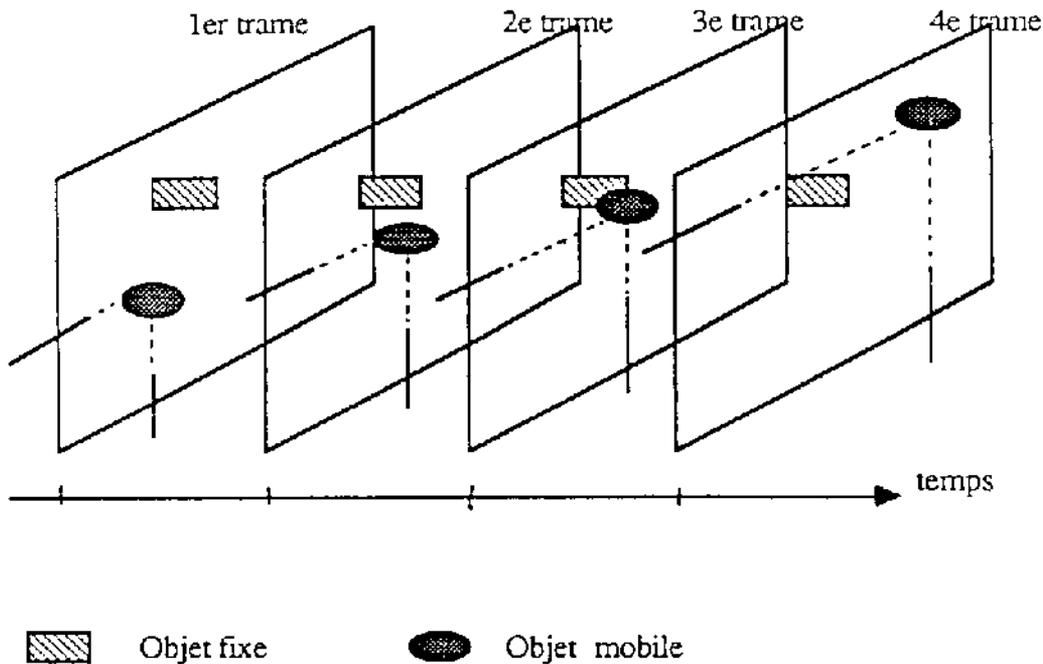


Fig. 31. — Illustration de la détection du mouvement d'un objet dont la position dans le plan de l'image (indiquée par les petits traits) change d'une trame à la suivante.

Ce qui précède permet de donner les règles d'étiquetage des blocs ainsi que les traitements particuliers qu'ils doivent subir pour la transmission. Les étiquettes sont obtenues en cherchant à vérifier simultanément les trois hypothèses. Si le détecteur de mouvement pour un bloc donné indique qu'il s'agit d'un bloc immobile (correspondant à une zone fixe de l'image), alors ce bloc est transmis selon le principe illustré à la figure 29 pendant la durée de quatre trames. A la réception, sachant qu'il s'agit d'un bloc fixe, on remplace tous les points reçus dans la même trame d'affichage qu'on visualisera quatre fois. Si, en revanche, il s'agit d'un bloc en mouvement, étant donné la faible sensibilité de l'œil aux détails spatiaux en mouvement (voir paragraphe 3.2.4), le signal numérique du motif est filtré avec un filtre passe-bas qui diminue la fréquence maximum. Ainsi, on peut sous-échantillonner le motif. Les paramètres de ce filtrage et du sous-échantillonnage sont fixés de manière à avoir un facteur 4 dans la réduction du nombre d'échantillons.

A la réception, l'interpolation permet de remonter à la résolution spatiale initiale. Enfin, si le bloc est seulement faiblement mobile, on cherche à conserver la résolution spatiale en faisant appel à la compensation de mouvement. On transmet seulement le contenu du bloc dans une trame sur deux. L'information du mouvement est déterminée à l'aide de la trame non transmise. A la réception les trames manquantes sont recrées par interpolation compensée en mouvement.

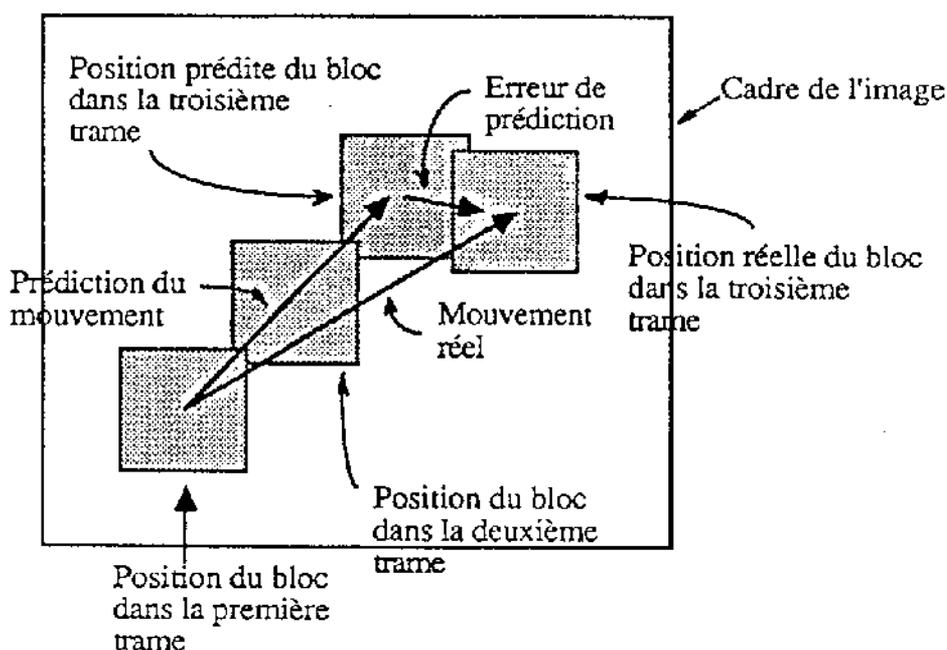


Fig. 32. – Illustration de la compensation de mouvement.

Les trois traitements que nous venons de décrire sont effectués en parallèles à l'émetteur. On compare le résultat de chacun à l'original et on choisit l'étiquette du résultat le plus proche de celui-ci.

Le système que nous venons de décrire ne peut fonctionner que si le récepteur connaît l'étiquette de chaque bloc. Ces étiquettes transcrites en code binaire sont transmises avec les sons et les données dans la partie numérique du système Mac (voir la figure 26). Le système qui s'appuie sur le principe des blocs étiquetés est appelé **télévision assistée numériquement**, traduit de l'anglais « digitally assisted T.V. ou D.A.T.V. Les figures 33 et 34 montrent les schémas-bloc de l'émetteur et du récepteur de ce système. Seules les fonctions principales sont illustrées.

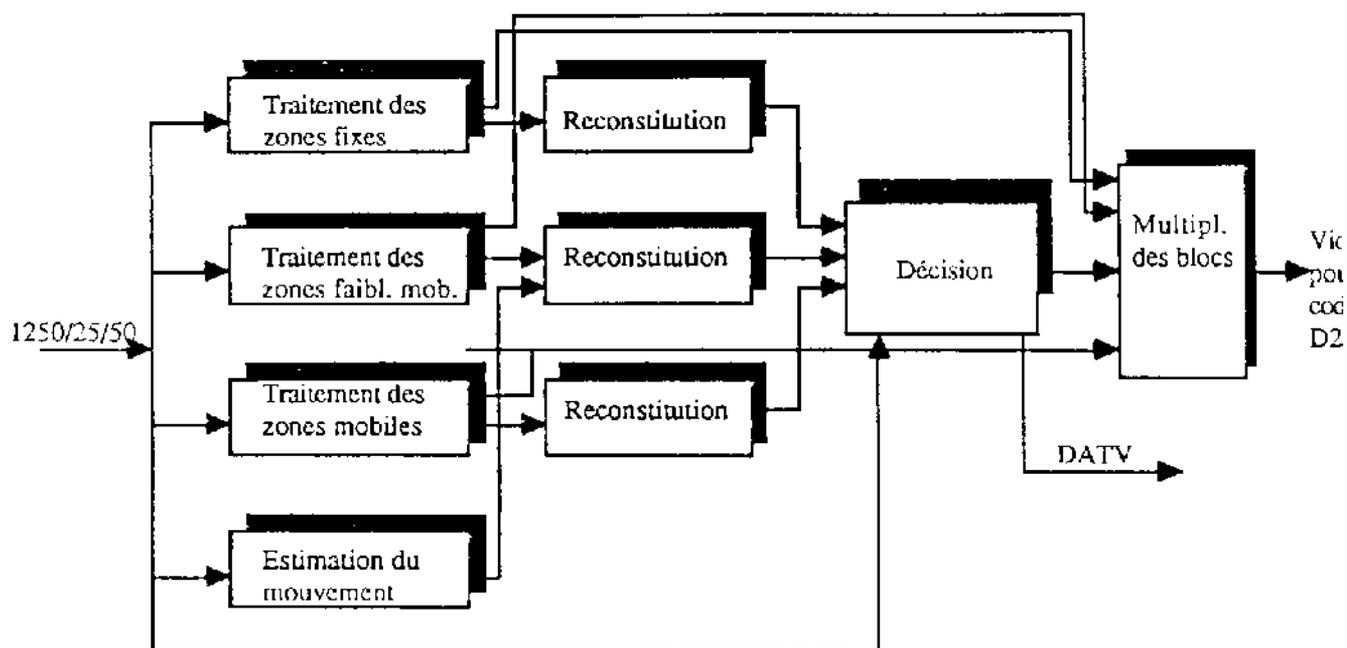


Fig. 33. - Schéma-bloc de l'émetteur HD-Mac.

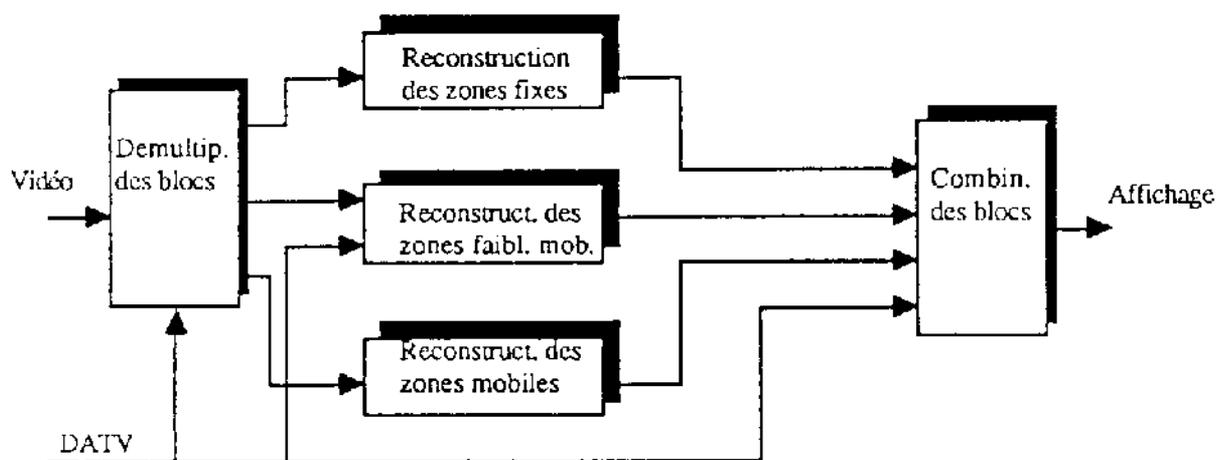


Fig. 34. - Schéma-bloc du récepteur HD-Mac.

4.3.5. Remarques.

Les systèmes décrits ci-dessus sont connus dans les milieux académiques et les laboratoires de recherche depuis plusieurs années. Ce ne sont pas les plus performants du point de vue de la compression de largeur de bande ou d'information. Toutefois, ils ont l'avantage d'être relativement simples, se prêtant bien à des réalisations pratiques.

Dans une deuxième version, trois étiquettes différentes ont été envisagées. Rien n'empêche d'en définir seulement deux si on veut simplifier le système (bloc fixe ou bloc en mouvement) ou quatre si l'on souhaite incorporer une finesse supplémentaire sur le mouvement.

L'occupation spectacle et, partant, la résolution spatiale et temporelle peuvent être établies selon différentes méthodes. Par exemple, la figure 35a montre la résolution spatiale (en fréquence) du système HD-Mac à trois étiquettes en unité de points par hauteur ou points par largeur d'image. La figure 35b montre la résolution temporelle et la résolution spatiale. La limite de la zone compensée en mouvement dépend de la gamme de vitesse.

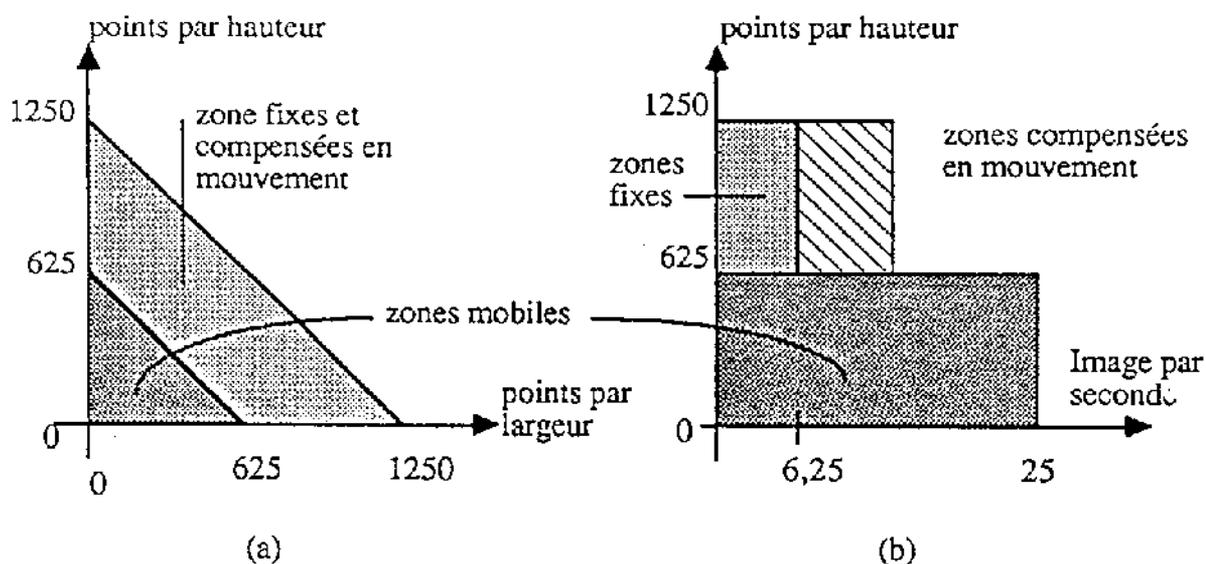


Fig. 35. - Résolution spatiale et fréquentielle du système HD-Mac.

Le signal HD-Mac a une bande de base nettement plus faible que celle du signal de départ, mais reste supérieure à celle du D2-Mac (8,4 MHz). Les échantillons du signal vidéo sont obtenus à une cadence de 20, 25 MHz. Ceci implique, par les règles du jeu de l'échantillonnage une bande passante d'au moins de 10,125 MHz. Avec une petite marge de sécurité, la bande de base du signal HD-Mac est donc de l'ordre de 11 à 12 MHz.

Ainsi qu'il a été signalé plus haut, ce signal peut être décodé par un système D2-Mac. C'est la fameuse compatibilité. Toutefois, vu la différence de largeur de bande (8,4 MHz pour le D2-Mac et environ 12 MHz pour le HD-Mac), il faut tronquer le signal HD-Mac. Ceci fera apparaître certainement des défauts provoqués par le non-respect du théorème de l'échantillonnage (*). Ensuite, les points qui ont été

(*) Voir plus loin la réponse des participants au projet Euréka 95.

artificiellement déplacés pour former le signal (passage de la figure 29b à la figure 29c) peuvent être à l'origine des distorsions géométriques et structurelles dans l'image.

Deux types d'échantillonnage (orthogonal et en quinconce) permettent — comme cela a été évoqué au paragraphe 4.3.4 — de numériser N lignes en N fois M points (fig. 28). Les différences entre les deux systèmes concernent ce qui se passe dans une trame (ou un champ) repérée par les coordonnées x et y . Ce couple de variables permet de se positionner n'importe où dans le plan de l'image. Un échantillonnage orthogonal consiste à prélever des valeurs périodiquement dans les deux dimensions perpendiculaires. Ceci est représenté à la figure 36. Sans entrer dans les détails, nous avons signalé que l'échantillonnage d'une fonction entraîne automatiquement la répétition périodique de son spectre en bande de base (zone hachurée sombre de la fig. 36). Ces répétitions sont montrées par les hachures claires à la figure 36. Elles sont d'autant plus espacées que l'échantillonnage est serré. C'est pourquoi il faut choisir les périodes d'échantillonnage en x et en y de manière à éviter le chevauchement de ces répétitions. Cette situation peut être vue d'une autre manière aussi. En admettant que les conditions de non-recouvrement sont satisfaites, l'échantillonnage orthogonal de la figure 36 permet de représenter exactement tous les spectres qui rentrent dans le carré central. Autrement dit, cet échantillonnage convient à tous les signaux dont la bande de base couvre (dans le cas le plus défavorable) le carré central complètement. Il se trouve que dans le signal de télévision, les coins du carré ne sont pas occupés, en tout cas pas très souvent. Pour que ces régions soient occupées, il faut que l'image correspondante possède des détails fins horizontal et vertical. Plus souvent on a l'un ou l'autre mais pas les deux ensemble. Pour tenir compte de cette propriété, on peut utiliser l'échantillonnage en quinconce représenté à la figure 37. Cette figure montre qu'il suffit de prendre un échantillon sur deux dans l'échantillonnage orthogonal en décalant d'un pas d'une ligne à la suivante pour obtenir l'échantillonnage en quinconce. Dans ce cas, la forme de la région centrale qui contiendra tous les spectres représentables n'est plus un carré mais un losange (diamant). Les répétitions périodiques sont telles que les coins non utilisés du carré de l'échantillonnage orthogonal sont maintenant exploités (carré en traits coupés de la fig. 37). Les figures 36 et 37 étant dessinées à la même échelle, on remarque l'économie en nombre d'échantillons réalisée par l'échantillonnage en quinconce pour représenter une image d'une surface donnée. Ceci est également une économie en bande passante. C'est pourquoi, l'échantillonnage en quinconce peut être interprété comme une technique (simple certes, mais efficace) de réduction de redondance ou de compression.

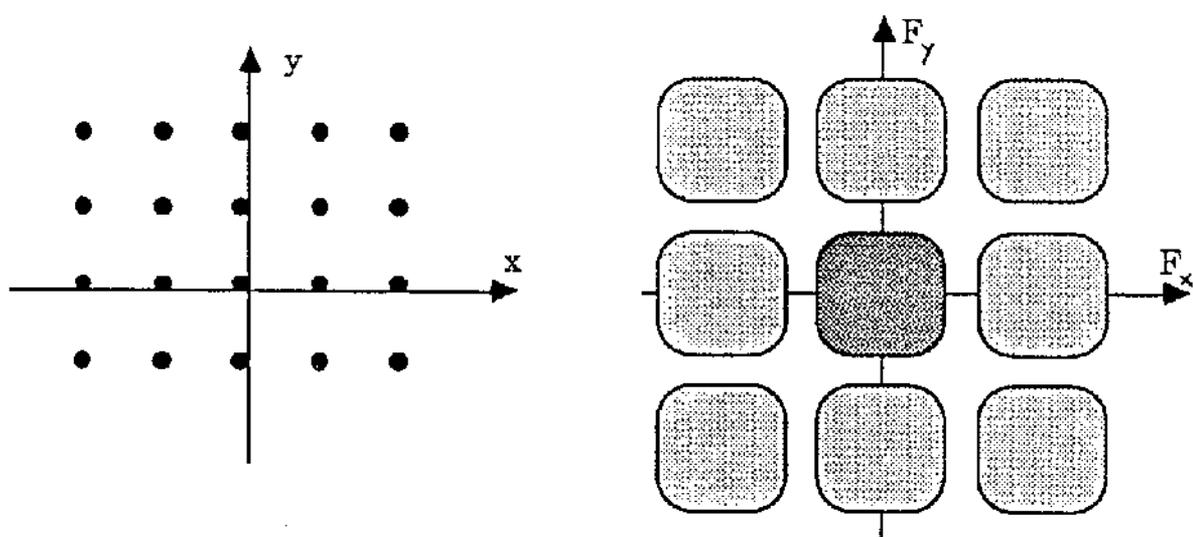


Fig. 36. — Echantillonnage rectangulaire et la répétition de la bande de base.

Une dernière remarque et non la moindre concerne l'interpolation effectuée au récepteur pour synthétiser les points omis lors du passage du balayage orthogonal ou balayage en quinconce. Il ne faut pas penser que, par miracle, on retrouvera par cette technique l'information qui n'a pas été transmise. Cette information non transmise se trouve en fait dans les coins du carré central de la figure 36. Connaissant le contenu du losange équivalent de la figure 37, on ne peut pas remonter au contenu du carré. L'interpolation donnera des valeurs proches de la réalité tant que l'image ne possède pas de détails fins dans les deux directions.

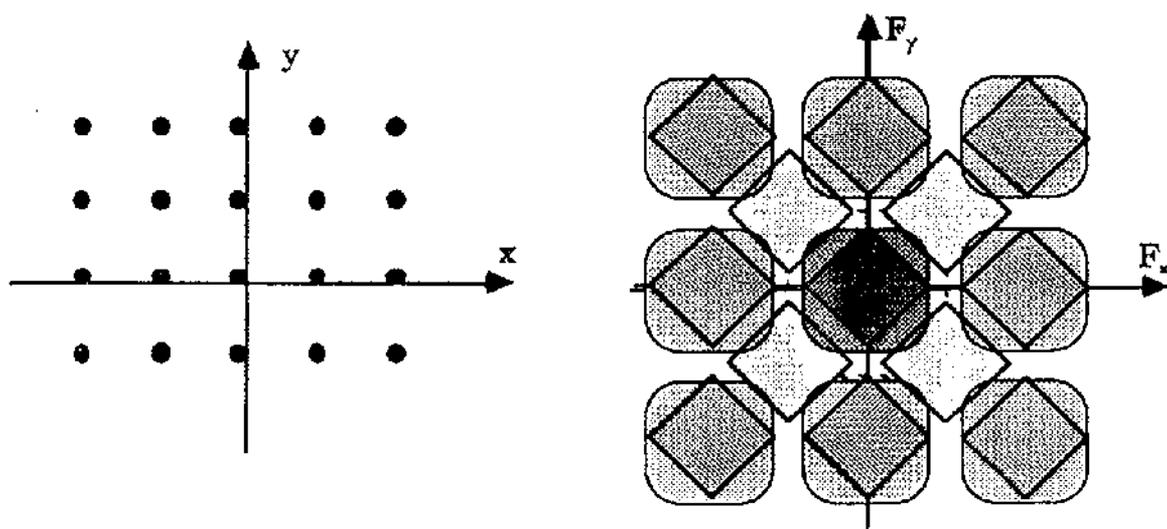


Fig. 37. — Echantillonnage en quinconce et la répétition de la bande de base.

4.4. SYSTÈME JAPONAIS

4.4.1. Introduction.

Vers la fin des années 70, les Japonais se sont penchés sur un système de télévision à haute définition qu'ils ont appelé *High vision*. C'est surtout la firme N.H.K. (Nippon Hoso Kyokai) qui est une firme de diffusion qui a été à l'origine de ces travaux. Ayant convaincu la firme américaine C.B.S., elle a proposé à la réunion de Dubrovnik de la C.C.I.R. son système comme norme mondiale de la télévision haute définition. C'est comme si l'on avait mis le feu aux poudres. Du coup une « guerre » tripartite s'est déclenchée entre les Japonais, les Américains et les Européens. Malheureusement, l'aspect passionnel a nui beaucoup à l'objectivité des informations. Par exemple, on a dit que le système japonais était un système de production alors qu'il a été conçu comme un système de diffusion. Nous laisserons de côté les aspects non techniques.

Le système japonais, comme le système européen, a beaucoup évolué. Il n'a pas été numéroté A, B, ou C ou 1, 2 ou 3 et possède plusieurs versions. Etant donnés les enjeux économiques, il est difficile d'obtenir des informations récentes sur le système japonais. Une certaine désinformation n'est pas exclue.

Le système japonais a été conçu depuis la production du signal vers le récepteur. Une telle approche a des avantages et des inconvénients comme nous l'avons déjà signalé. Ceci fera l'objet de l'un des points de discussion finale du rapport. Les jalons sur ce chemin sont liés à des choix sur :

- type de transmission (terrestre, satellite, câble, fibre optique...)
- bande de fréquence qu'il faut utiliser ;
- nombre de canaux ;
- système analogique ou numérique ;
- type de modulation ;
- type de communication ;
- type des signaux de contrôle ;
- type de codage pour le son.

Les ingénieurs de la firme N.H.K. ont parcouru ce chemin et ont pris des décisions à chaque étape qui sont résumées ci-dessous.

Pour atteindre tout le Japon, l'émission par satellite a été choisie car la bande VHF/UHF des transmissions terrestres est saturée et les autres moyens sont plus coûteux. La bande de 12 GHz (gigahertz, mille millions de Hertz) s'est imposée, compte tenu des allocations de bande au Japon. Après beaucoup d'hésitations et d'essais, un système mono-canal a été adopté. Cette décision permet d'éviter les complexités et les instabilités des récepteurs pour décoder deux canaux simultanément et en parfait synchronisme. Le prix payé pour ce choix, selon les Japonais, est l'étroitesse de la bande passante disponible sur un canal. Selon l'avis de l'auteur, il ne faut jamais considérer cette condition comme un prix payé. Il est, en effet, très facile d'occuper (lire polluer !) tout le spectre électromagnétique disponible. C'est un peu plus difficile de concevoir des systèmes ingénieux qui ne soient pas trop gourmands en bande passante.

En raison des débits élevés nécessités par un système de transmission numérique brute qu'ils n'ont pas voulu ou pas pu affiner, et la « difficulté » de comprimer le système T.V.H.D., N.H.K. a choisi un système de transmission analogique, avec une modulation de fréquence. Ce dernier choix est judicieux car il est bien connu que la modulation de fréquence est celle qui convient le mieux à des transmissions par satellite. Etant donné un canal de transmission en modulation de fréquence actuel de 27 MHz (valeur valable dans la région 3 incluant le Japon), la bande de base du signal non modulé ne doit pas dépasser environ 8 MHz. Le choix d'un système analogique a imposé aussi un système de communication à vitesse constante. Dans de tels systèmes, l'information à transmettre doit être produite et fournie à l'émetteur à cadence régulière. Il ne peut y avoir des trous ou des embouteillages au prix de la perte pure et simple de l'information. Enfin, comme dans les systèmes Mac, le son est multiplexé avec l'image avant la modulation.

Une critique que l'on peut formuler à l'encontre du système japonais, en tout cas à ses débuts, est qu'il reprend le vieux système de télévision tel quel et multiplie ses spécifications par un facteur 2. Il n'était pas difficile de prévoir que ceci allait multiplier par 4 la largeur de bande ! Dans une première version, le signal T.V.H.D. japonais a été expérimenté en 1978 par une transmission satellite de largeur de bande 100 MHz ! C'est après avoir mesuré le coût prohibitif d'une telle solution que les ingénieurs nippons ont lancé le développement du système Muse (de son nom anglais Multiple Sub-nyquist Sampling Encoding) qui est décrit ci-dessous.

4.4.2. Système Muse.

Le système T.V.H.D. japonais du type 1125/30/60. Rappelons qu'il s'agit de 1 125 lignes de balayage par trame, 30 trames et 60 champs par seconde. C'est un balayage entrelacé qui ne conviendrait pas pour la production. Le rapport d'aspect est de 5/3. Il est souhaité de le transmettre dans un seul canal de 27 MHz de large, impliquant une largeur de bande de base d'environ 8 MHz.

Le signal vidéo fourni par la caméra est d'abord codé par un système comparable au système Mac qui effectue une compression temporelle intégrée (T.C.I. de son nom anglais *Time compressed integration*). Le signal de luminance n'est pas comprimé, les signaux couleurs en alternance d'une ligne sont comprimés par un facteur de 4 pour rentrer dans la durée de retour de ligne. Le son numérique est inséré dans l'intervalle de retour de champ. Le signal qui sort de ce premier bloc (voir la figure 38) est échantillonné à la fréquence de 64,8 MHz.

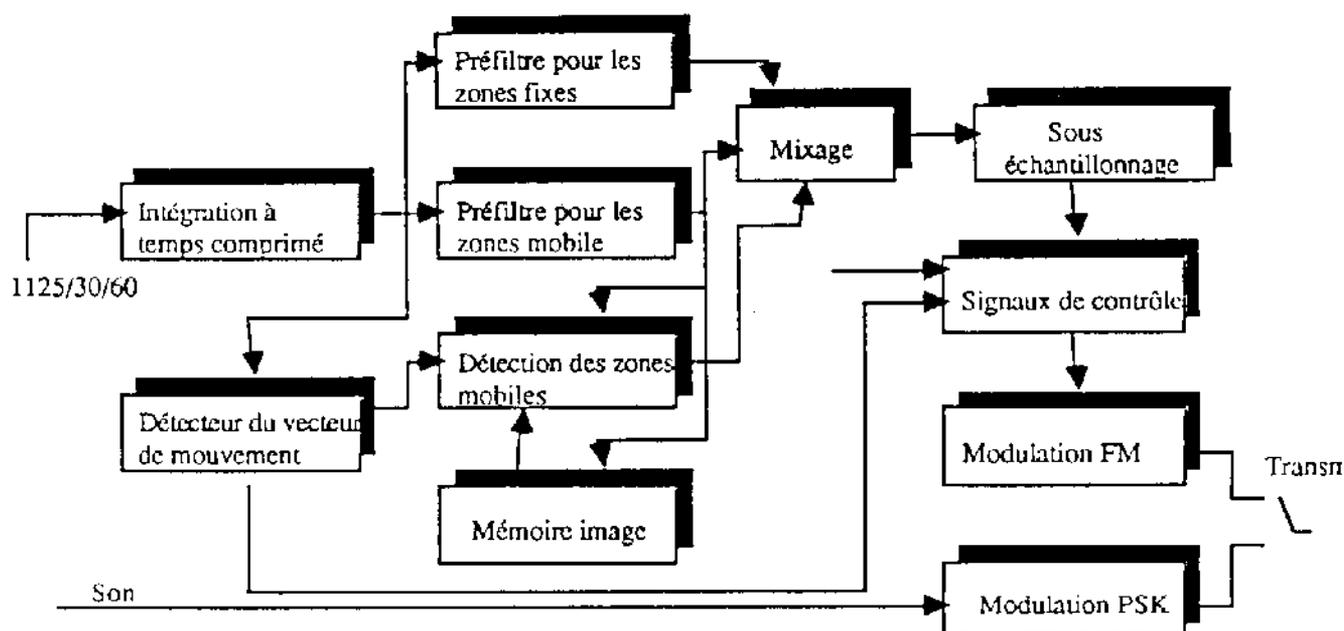


Fig. 38. - Emetteur du système Muse.

Cette valeur peut être baissée à 16,2 MHz par un sous-échantillonnage par un facteur 4. Ainsi, le signal rentrera dans la largeur de bande fixée (8,1 MHz). Avant le sous-échantillonnage, des filtres spéciaux permettent de déterminer les zones fixes et les zones mobiles. Ces zones subissent des traitements différents.

Pour les zones fixes, le sous-échantillonnage est très similaire à celui que nous avons présenté pour le système HD-Mac (fig. 29). L'image originale 1 125 lignes est analysée en ignorant un point sur deux en alternance d'un pas de décalage d'une ligne à la suivante. L'illustration est la même que celle de la figure 29 a. Le résultat est éclaté en 4 champs entrelacés, comme à la figure 29 b, chacun contenant 4 fois moins de points. Cette opération est équivalente à un sous-échantillonnage par un facteur 4 et il faut donc 4 champs pour reconstituer le signal initial. En plus, les points initialement omis sont synthétisés en calculant la valeur moyenne des points voisins.

Pour les zones mobiles, on ne peut pas attendre la durée de 4 champs pour reproduire correctement un objet en mouvement. C'est pourquoi, dans ce cas, tous les champs sont transmis mais chacun avec moins de détail spatial. C'est de nouveau la même propriété du système visuel que l'on cherche à exploiter. Ainsi, une zone mobile est reconstituée par interpolation spatiale. Ce principe conduit à un effet de flou si le fond immobile n'est pas déjà traité. L'effet de flou devient encore plus prononcé avec le mouvement de caméra ou la rotation de l'image. C'est pourquoi une détection de mouvement est introduite (fig. 38). Un vecteur représentant le mouvement d'une scène est calculé dans chaque champ à l'émetteur. Un signal représentant ce vecteur est multiplexé avec les autres signaux de contrôle et le son pendant le retour de champ. Au récepteur, l'interpolation spatiale tient compte de cette information en décalant les points correspondants du champ précédent. Le schéma-bloc du récepteur est montré à la figure 39. Il faut remarquer que le mixage des sorties des filtres d'interpolation spatiale et temporelle du récepteur devrait être fait pour chaque point de l'image reconstituée. Ceci augmente toutefois d'une manière démesurée le débit des signaux de contrôle qui ne peuvent plus être transmis. Comme remède, le mouvement est détecté au récepteur en utilisant les champs sous-échantillonnés.

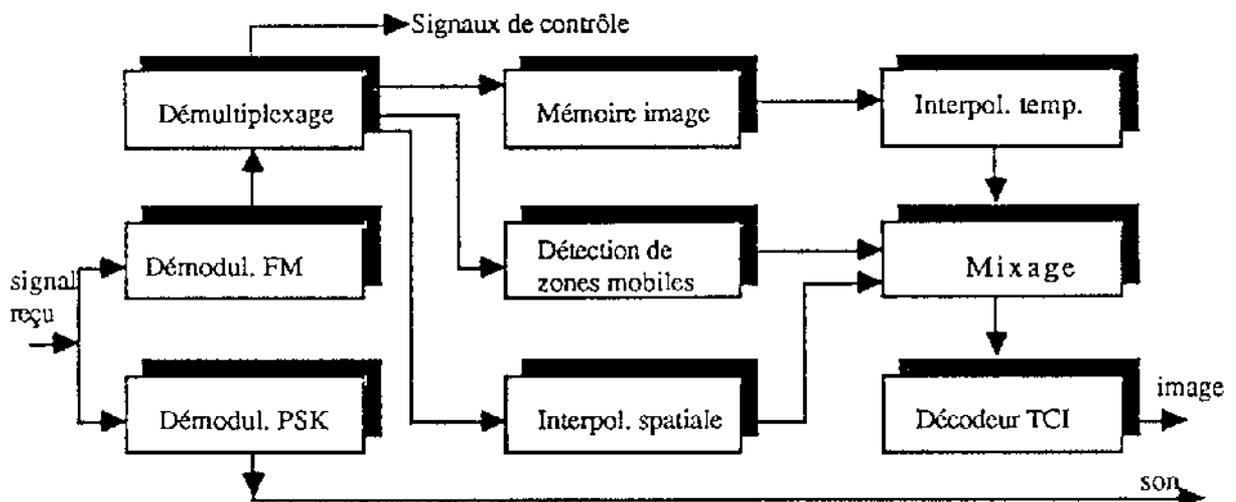


Fig. 39. - Récepteur du système Muse.

Dans le système Muse, le son est codé par modulation de phase discrète à 4 phases, notée P.S.K. de son nom anglais Phase shift keying.

En fonction de ce qui précède, on peut établir l'occupation spectrale du système Muse au sens des figures 35, 36 et 37. On en déduit ensuite la résolution spatiale (finesse) du système. La figure 40 montre ce résultat. La partie hachurée correspond au quart du losange central de la figure 37. Il est intéressant de comparer cette figure à la figure 35 montrant le résultat équivalent du système HD-Mac. Rappelons que tout objet dont la représentation fréquentielle (spatiale et temporelle) ne tombe pas dans ces régions hachurées ne peut pas être transmis par le système Muse, donc ne sera pas visible sur l'écran.

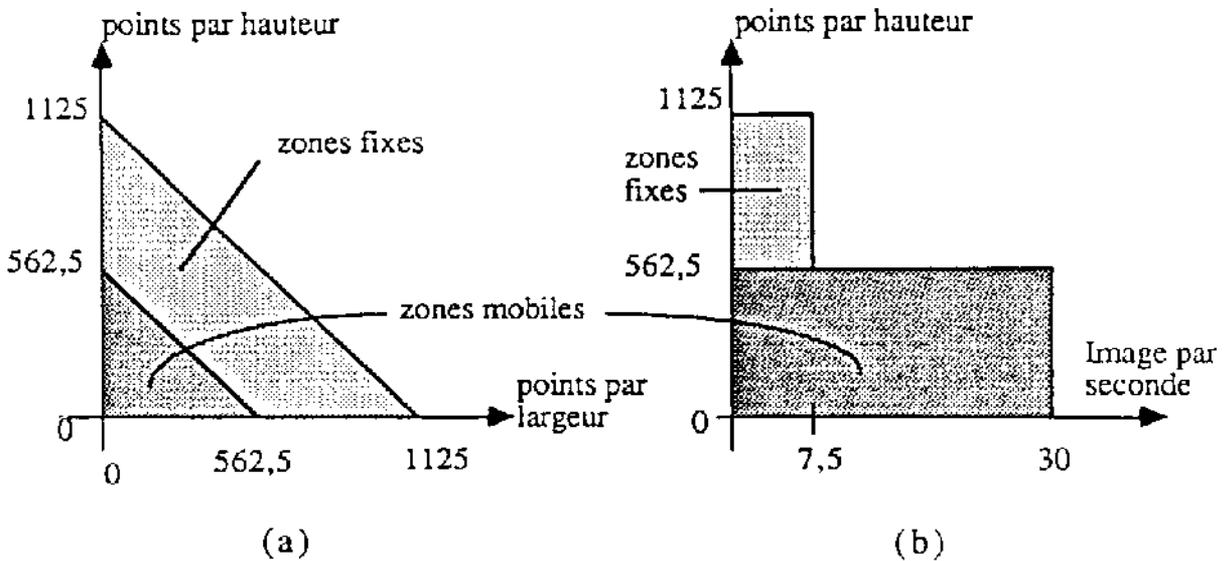


Fig. 40. - Résolution spatiale et fréquentielle du système Muse.

Une autre remarque concerne la détection des zones mobiles effectuée dans le récepteur. Le sous-échantillonnage par un facteur 4 provoque la répétition périodique du spectre de la figure 40 a. Or, lors de cette opération, les conditions du théorème de l'échantillonnage ne sont pas satisfaites. Il en résulte un recouvrement qui couvre toute la bande de fréquence ainsi qu'il est montré à la figure 41. Le spectre des zones mobiles est recouvert pas d'autres spectres. Ce qui fait que la détection de mouvement effectuée au récepteur peut, à cause des erreurs ou du bruit dans le système, être différente de celle de l'émetteur puisque cette information n'est pas transmise pour chaque point dans l'image.

4.4.3. Muse amélioré.

Le système Muse, qui a été décrit précédemment, est très critiquable en ce qui concerne le rendu des mouvements. La méthode de détection de mouvement du récepteur n'est pas très performante. Pour améliorer cette méthode, certaines modifications ont été introduites que nous présentons ci-dessous. Le prix de l'amélioration est payé par une limitation de la résolution spatiale. Le signal sortant du premier bloc de l'intégration à temps comprimé n'est plus à 64,8 MHz mais 48,6 MHz qui nécessite un sous-échantillonnage par un facteur 3, et non pas 4, pour arriver à la fréquence initiale de 16,2 MHz. Le schéma-bloc de l'émetteur amélioré est montré à la figure 42. Pour discuter son fonctionnement, il faut considérer le signal de luminance et les signaux de chrominance séparément.

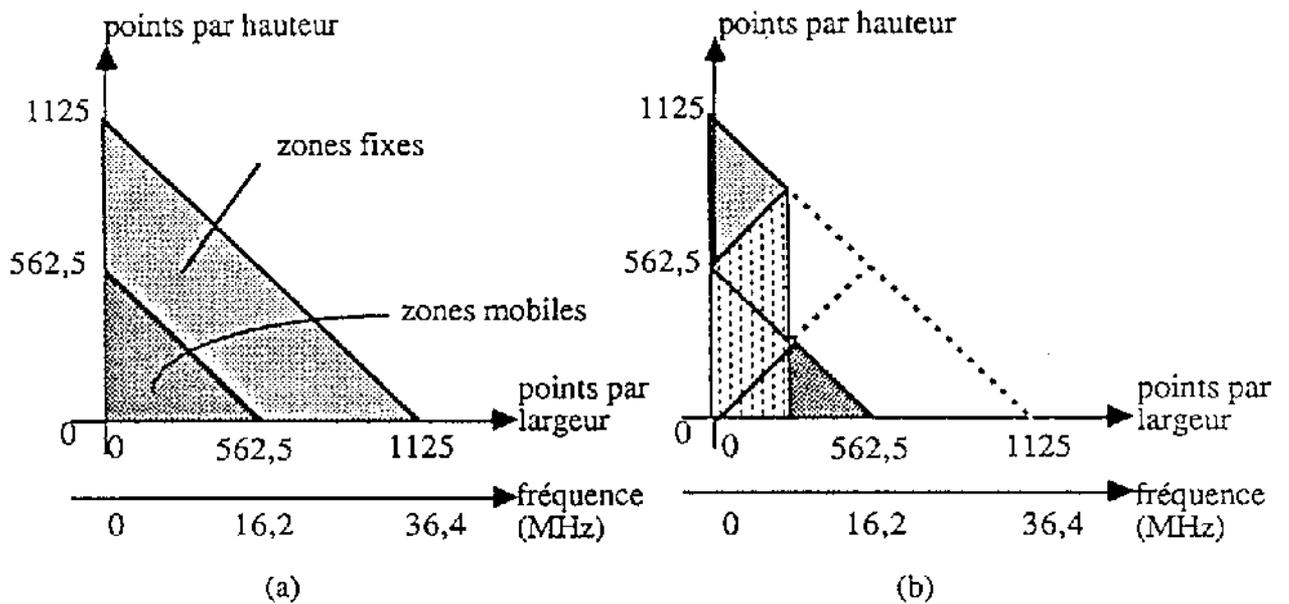


Fig. 41. — Spectre du signal de luminance transmissible (a) et les recouvrements qu'il subit après le sous-échantillonnage par un facteur 4 (b).

La luminance est échantillonnée à 48,6 MHz selon le système orthogonal (fig. 43). Ce signal est filtré par deux filtres simultanément pour déterminer les parties fixes et les parties mobiles. Ces parties subissent, comme précédemment, des traitements différents. Les parties fixes sont sous-échantillonnées par un facteur 2, donc à 24,3 MHz, avec décalage d'un point d'un champ au suivant (fig. 43). Le résultat est ramené à un échantillonnage orthogonal par un filtre passe-bas à

12 MHz qui n'est pas montré dans le schéma-bloc. Ensuite, un sur-échantillonnage 2:3 permet de passer la fréquence d'échantillonnage à 32,4 MHz. Finalement, le signal ainsi obtenu est sous-échantillonné par un facteur 2, donc à 16,2 MHz, avec un point de décalage d'une trame à la suivante (fig. 43). Le spectre de l'information transmissible (fig. 40 a) ne satisfait pas les conditions du théorème d'échantillonnage vis-à-vis des sous-échantillonnages indiqués ci-dessus. En conséquence, les répétitions périodiques provoquées par ces échantillonnages peuvent conduire à des recouvrements de spectres (repliements de spectres). Dans le pire des cas, c'est le spectre de l'information transmissible (fig. 40 a) qui subira ces recouvrements qui sont montrés à la figure 44. On y remarque une région libre de tout recouvrement entre l'origine des fréquences et environ 4 MHz.

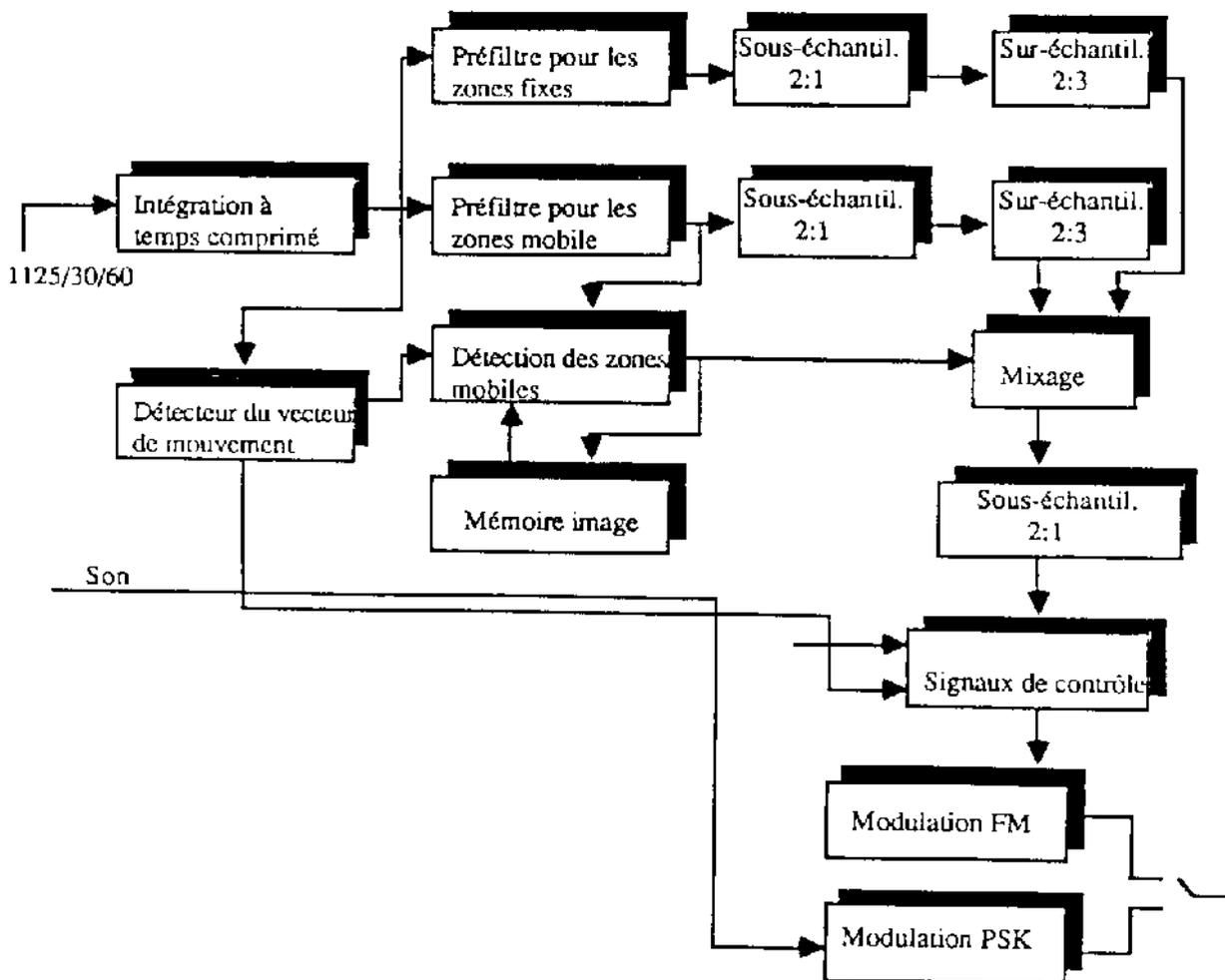


Fig. 42. - Schéma-bloc de l'émetteur amélioré.

En revenant à la figure 43 et aux parties mobiles, on remarque l'absence de sous-échantillonnage décalé par champs. Le signal des zones mobiles est limité en fréquence à 16 MHz par un filtre passe-bas.

Il subit ensuite le sous et le sur-échantillonnage pour arriver à 32,4 MHz. Finalement, il subit le même sous-échantillonnage par un facteur 2 avec décalage d'un point par ligne et par trame. A la fin des traitements, le type d'échantillonnage est le même pour les signaux des zones mobiles et des zones fixes. Ceci est important car la détection de mouvement, nécessaire à la commutation des traitements (zones fixes-zones mobiles) doit être réalisée à l'émetteur et au récepteur indépendamment.

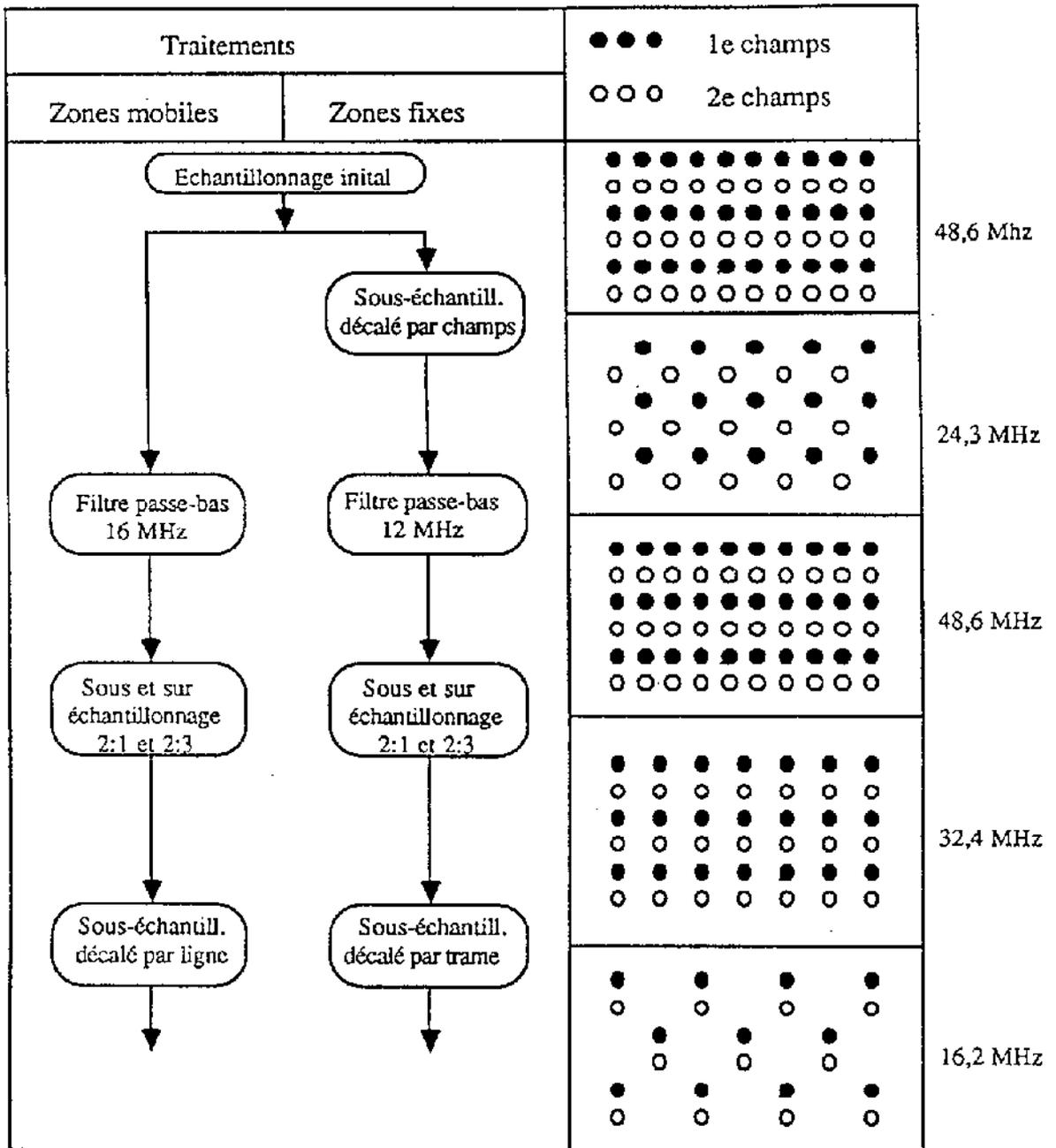


Fig. 43. - Traitement des signaux dans le système MUSE amélioré.

Le traitement des signaux de chrominance est très simple. Le type d'échantillonnage initial est orthogonal à 16,2 MHz. Deux sous-échantillonnages sont effectués. Le premier, par un facteur 2, est avec un décalage d'un point par champ et le second, également par un facteur 2, est avec un décalage d'un point par trame. Comme ce signal est multiplexé temporellement et séquentiellement, le deuxième sous-échantillonnage est en quinconce par trame et par groupe de deux lignes.

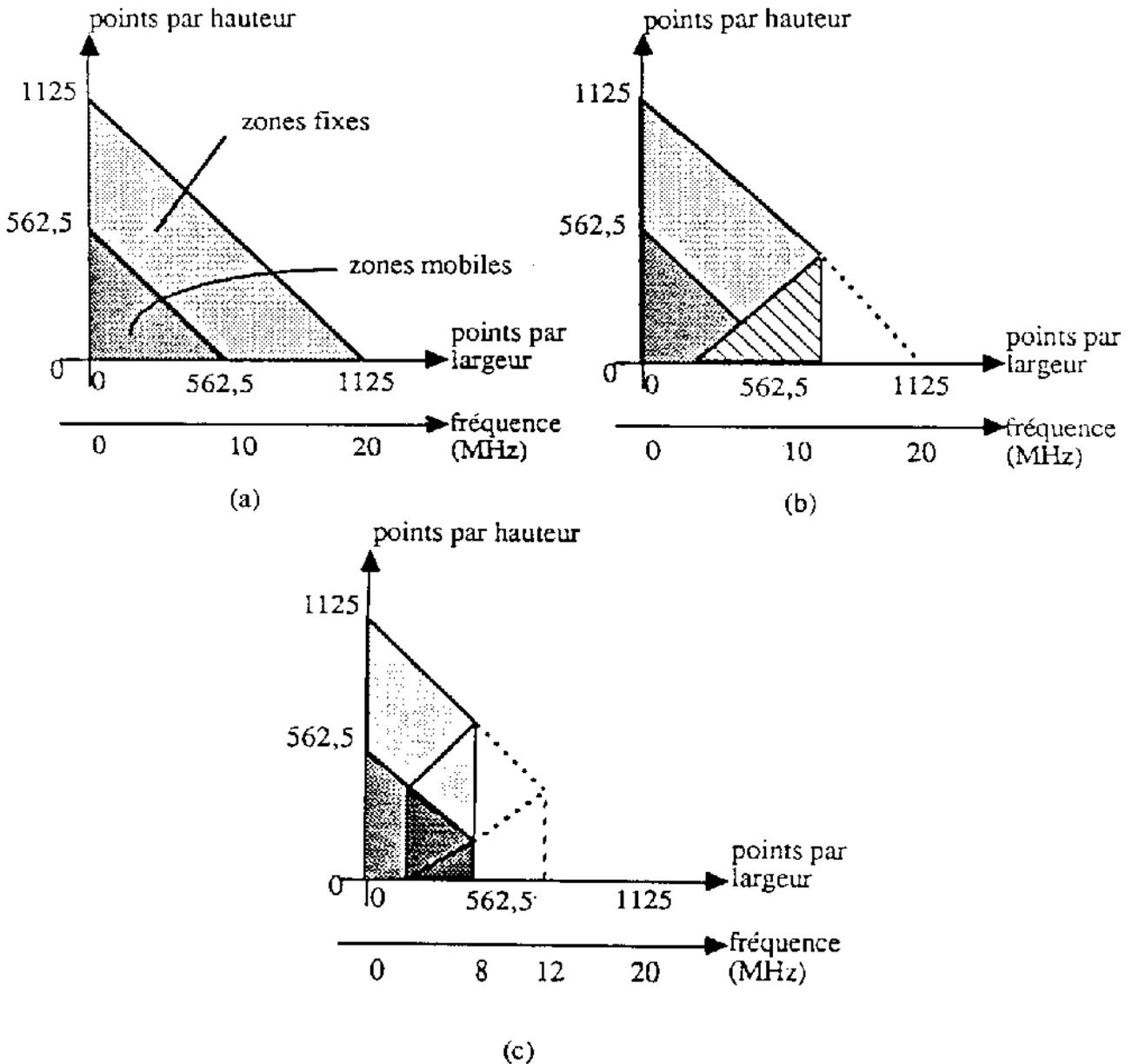


Fig. 44. — Spectre du signal de luminance transmissible (a) et les recouvrements qu'il subit après le premier (b) et le deuxième (c) sous-échantillonnage.

La caractéristique principale du système MUSE amélioré est le sous-échantillonnage par un facteur 3 au lieu d'un facteur 4 comme c'était le cas dans le système initial. Le sous-échantillonnage par un facteur 3 offre trois avantages principaux. Le premier est de libérer la partie basse-fréquence du spectre de tout recouvrement (voir figure 43 c), donc de défauts inhérents au système. Le signal vidéo contient des composantes importantes dans cette région. Le système visuel est très sensible aux défauts dans cette région par son comportement différentiel (voir la figure 20 et le paragraphe 3.2.2). Le second est de pouvoir faire une estimation de mouvement au récepteur beaucoup plus précisément que dans le cas précédent, car la bande de fréquence entre-trames de 0 à environ 4 MHz est sans recouvrement au récepteur. Le troisième avantage est que les composantes de fréquence inférieure à 4 MHz n'ont pas besoin d'être décodées et peuvent être remplacées par les signaux d'entrée dans la même région. Le prix payé pour ces avantages est la perte de résolution horizontale de 25 %. En effet, la fréquence d'échantillonnage passe de 64,8 MHz à 48,6 MHz, réduisant la résolution horizontale dans les mêmes proportions.

Une autre amélioration dans le système MUSE, semble-t-il, concerne le traitement du son. La modulation discrète de phase P.S.K. a apparemment été abandonnée à cause de son coût de production. Un système multiplexé, comprimé dans le temps (un peu comme le M.A.C.), et ternaire (trois niveaux) est utilisé. Au récepteur le décodeur du son utilise un simple filtre analogique suivi d'un convertisseur analogique-numérique. L'utilisation de ces deux composants est partagée entre le son et le vidéo. Le prix payé pour ceci est un débit important à l'émetteur, impossible à transmettre sans compression. Un système simple basé sur la modulation par impulsions codées différentielle (M.I.C.D.) est utilisé, se prêtant bien à la technologie des circuits intégrés à très large échelle (V.L.S.I.). Le son et les données de service sont combinés dans un flux de bits dont le débit est de 1.350 Kbits/sec. Le système son est étudié selon deux versions. Il peut traiter 4 ou 8 canaux selon les versions.

4.4.4. Remarques.

D'après l'auteur, le plus grand mérite du système japonais est sans doute son existence. **Dans les concepts utilisés, il n'y a strictement aucune innovation de base.** Il est conçu et développé par des ingénieurs et non par des scientifiques. Par là, il a été testé expérimentalement dans des conditions assez variées. Un ingénieur répondra toujours à un scientifique que ce qui compte n'est pas seulement l'idée, mais l'idée accompagnée de moyens pratiques et des résultats d'évaluations. En effet, en se basant sur des idées vieilles, les ingénieurs japonais ont

apporté les moyens pratiques et les résultats d'évaluations. Ce n'est qu'en cela qu'ils doivent être reconnus. Evidemment, **en 1990 on ne doit pas construire sur des idées de 1950 sans faire l'effort d'en chercher de nouvelles. Une fois de plus, on voit l'ingénieur et l'industriel pressés de produire en masse un système, en brûlant l'étape cruciale en amont de la recherche scientifique.** Pour un système développé sans contrainte de compatibilité ceci n'est pas un atout.

Néanmoins, certaines innovations technologiques japonaises méritent d'être citées telles que les expériences de transmission des signaux échantillonnés (vidéo échantillonné), le renforcement non linéaire avant la modulation de fréquence, incorporé au codeur, la séparation des signaux de luminance et de chrominance et l'utilisation d'une impulsion de synchronisation positive au lieu d'une impulsion négative classique.

Le système MUSE semble être difficile à faire évoluer. Par exemple, avec de meilleures caméras T.V.H.D. on peut faire saturer rapidement la résolution horizontale du système. L'amélioration de la résolution verticale des caméras creusera l'écart entre les résolutions des zones fixes et des zones mobiles.

Comparé au système européen H.D.-M.A.C. 1250/25/50, le système MUSE nécessite une largeur de bande plus étroite à la transmission (8,1 MHz contre 10,125 MHz pour le H.D.-M.A.C.). Sa résolution verticale est un peu plus faible (1 125 lignes contre 1 250), mais sa résolution horizontale pour la luminance est supérieure (1016 points contre 946 pour les zones fixes et 646 contre 602 pour les zones mobiles. La résolution horizontale de la couleur est un peu plus faible pour le système MUSE. Les différences, peu significatives entre les deux systèmes, ne justifient pas, du point de vue de l'auteur, tant d'animosité et tant de polémiques.

4.5. SYSTÈMES AMÉRICAINS

4.5.1. Introduction.

Malgré l'existence de plusieurs versions, pour les cas précédents européen et japonais nous avons parlé d'un système. La contribution américaine à la T.V.H.D. ne se fait pas avec un seul système et ses versions améliorées (rafastolées dans certains cas) mais avec plusieurs systèmes. Le problème de la télévision aux Etats-Unis est sensiblement différent de celui des Européens et des Japonais. Il y a une grande différence de qualité entre les images produites et affichées au studio et

les mêmes images transmises et reçues dans les foyers même si le récepteur n'est pas très loin de l'émetteur. Reconnaissons-le, le N.T.S.C. est un mauvais système de transmission d'image de télévision. En tout cas, les Américains eux-mêmes le reconnaissent. C'est un peu normal, car il a été conçu il y a quarante ans ! En plus, les émissions sont transmises non pas par satellite en modulation de fréquence mais par les ondes terrestres en modulation d'amplitude. C'est le système de transmission le plus vulnérable aux perturbations omniprésentes des voies de communications (en comparaison aux satellites, câbles, cassettes et fibres optiques).

C'est la *Federal Communications Commission* (ou F.C.C.) qui gère le spectre électromagnétique des émissions terrestres dans les bandes UHF et VHF. Apparemment, ces mêmes bandes au Japon sont saturées, alors qu'il y a encore un peu de place aux Etats-Unis. L'annonce par certains fabricants japonais de l'introduction sur le marché américain des magnétoscopes T.V.H.D. et des récepteurs T.V.H.D. vers 1990 a fait peur aux diffuseurs américains. Craignant une perte de leur audience au détriment des cassettes T.V.H.D. et pensant qu'ils ont besoin de plus que 6 MHz pour entrer en compétition, ils ont soumis une pétition au F.C.C. Celle-ci a exigé un **système T.V.H.D. compatible** avec le parc *existant* des récepteurs N.T.S.C. et ne nécessitant pas une largeur de bande supérieure à 12 MHz. Cette dernière contrainte était destinée, semble-t-il, à rejeter l'une des premières versions du système Muse. En outre, les émissions terrestres de T.V.H.D. doivent se faire dans les bandes UHF et VHF seulement. Elles doivent soit être compatibles avec le système N.T.S.C., soit être accompagnée d'une transmission N.T.S.C. parallèle dans un autre canal. Il y a, semble-t-il, de fortes chances que les diffuseurs américains puissent disposer des canaux additionnels de 3 ou de 6 MHz nécessaires à l'amélioration du N.T.S.C. ou à la T.V.H.D.

Une synthèse des souhaits américains peut se résumer de la manière suivante. La compatibilité avec les *récepteurs existants* du N.T.S.C. doit être assurée. Le Congrès américain est contre l'introduction d'une télévision pour les riches, incompatible avec le N.T.S.C. existant qui sera la télévision des pauvres. Il est également souhaité d'avoir une compatibilité avec les canaux de diffusion terrestre et les canaux du système câblé. Une majorité des programmes diffusés par câble sont élaborés d'abord pour les émissions par ondes. Ces deux compatibilités simultanées permettent aux diffuseurs de conserver leurs audiences avec un minimum d'investissement. En plus, dans le canal, il est souhaitable de disposer des caractéristiques de limitation de bandes performantes pour que les signaux d'un canal ne se mélangent pas avec ceux des canaux voisins (voir la figure 6). On parle, dans ces cas, de l'interférence entre canaux. Il faut également que le signal transmis soit robuste (peu vulnérable) vis-à-vis des perturbations du canal qui produisent des échos et images « fantômes » (ombre) à cause du bruit et des transmissions multi-chemins.

Ces souhaits sont plus faciles à réaliser si l'on supprime la contrainte de compatibilité avec le récepteur. Les mauvaises langues disent qu'il n'est pas facile de trouver un signal pire que celui du N.T.S.C. pour provoquer des interférences et en souffrir. C'est à cause de cette propriété que le nombre de stations émettrices de TV est limité. Pour chaque ville américaine, il ne peut pas y avoir plus de sept stations VHF alors qu'il y a douze canaux. La bande VHF est divisée en deux groupes numérotés (2-4) et (5-13) pour permettre le meilleur usage. Les canaux non utilisés sont appelés « *canaux taboo* ». Même un récepteur très performant ne pourra pas tirer parti de tous les canaux car le signal utile peut être noyé sous un signal indésirable plus fort.

Les Américains sont sur le point de choisir, parmi en tout cas six systèmes différents, celui qu'ils proposeront comme leur contribution à la course de la T.V.H.D. On peut mettre ces systèmes dans trois groupes. Dans un premier groupe, on trouve les systèmes compatibles avec les récepteurs existants et qui peuvent évoluer vers la T.V.H.D. Dans un autre groupe, on trouve les appareils parallèles, transmettant du N.T.S.C. dans un canal et de la T.V.H.D. dans un autre (simulcasting). Enfin, le troisième groupe concerne les systèmes qui transmettent du N.T.S.C. dans un canal et le signal additionnel d'amélioration (de rehaussement) pour faire de la T.V.H.D. dans un autre canal.

Parmi les propositions en compétition, on peut citer les systèmes suivants :

– Advanced Compatible Television ou A.C.T.V. (David Sarnoff et Thomson Consumer El.), compatible avec les récepteurs N.T.S.C. Existe avec deux versions ACTV 1 et ACTV 2 ;

– North American Philips, basé sur le N.T.S.C. avec l'adjonction d'un signal d'amélioration dans un autre canal ;

– le système de Glenn, basé sur le N.T.S.C. avec l'adjonction d'un signal d'amélioration dans un autre canal ;

– le système Zenith, compatible avec le canal mais pas avec les autres récepteurs ;

– le système MIT/RC, compatible avec les récepteurs N.T.S.C. ;

– le système MIT/CC, compatible avec le canal mais pas avec les récepteurs ;

– le système Iredale, basé sur le système européen déjà présenté, mais sans compensation de mouvement ;

– le système Muse de N.H.K., incompatible ;

– la famille de système N.H.K., compatible avec les récepteurs N.T.S.C.

Selon les informations toutes récentes reçues des Etats-Unis, il semblerait que la F.C.C. n'est pas en faveur de prendre une décision de norme rapidement et ne souhaite pas intervenir dans les autres médias tels que diffusion par câble, satellite, cassettes ou fibres optiques.

Ne disposant pas des informations complètes, nous ne décrivons dans la suite que quelques-uns de ces systèmes.

4.5.2. Le système M.I.T./C.C.

Pour discuter le système M.I.T./C.C. du fameux Massachusetts Institute of Technology, conçu par une équipe dirigée par le professeur William F. Schreiber, nous devons introduire quelques notions, généralisant celles qui ont été introduites précédemment (§ 4.3.5. et figures 36 et 37). En effet, ces figures montrent le cas d'une seule image dans le plan. Si l'on considère une suite d'images numériques, comme celles de la télévision, ces figures doivent être dessinées dans l'espace à trois dimensions (les deux dimensions spatiales et la dimension temporelle). La figure 45 a montré une suite d'images et le spectre volumique correspondant.

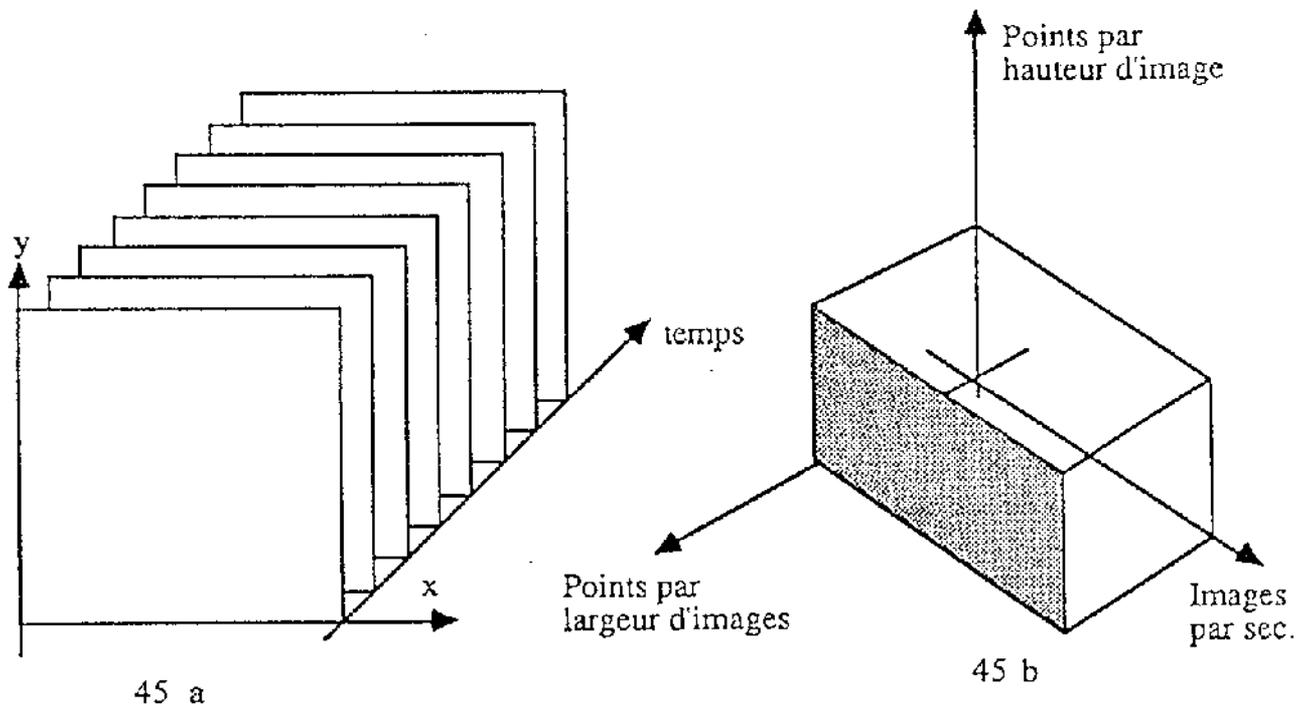


Fig. 45. - Une suite d'images évoluant au cours du temps et le volume spectral qu'elles remplissent.

Comme dans l'interprétation faite au paragraphe 4.3.5., le contenu du cube dans la figure 45 b correspond à tout ce qui est transmissible

comme images numériques si celles de la figure 45 a sont échantillonnées selon le système orthogonal. Différentes régions de ce cube correspondent à différents types d'images. Cette correspondance étant établie, il est possible de faire un « remaniement parcellaire » dans ce cube. Le but est de découper des sous-cubes, chacun caractérisé par des fréquences spatiales et temporelles bien définies. Le contenu de chaque cube, que l'on appelle **sous-bande**, correspond à un type de signal bien particulier.

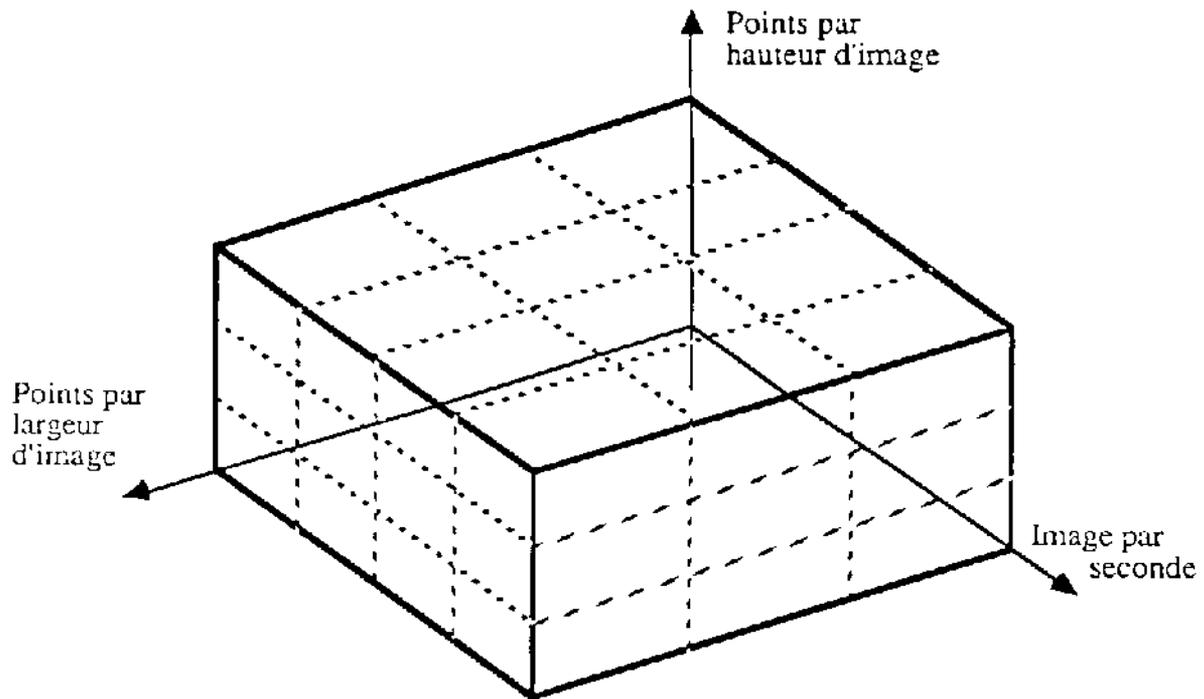


Fig. 47. — Parcellisation du spectre tridimensionnel en sous-bandes.

A l'inverse, étant donné un signal quelconque, il est possible de le décomposer en signaux correspondant à chacune de ces sous-bandes. Cette opération peut se réaliser à l'aide d'un banc de filtres. Chaque filtre retient seulement les signaux correspondant aux caractéristiques associées à sa sous-bande. Il faut voir cette opération comme une opération d'analyse similaire à celle qui a été introduite au paragraphe 1.2.3. pour la largeur de bande. L'opération inverse permet de synthétiser le signal initial en additionnant la sortie des filtres.

Dans un tel système, il est possible de choisir les filtres d'analyse et de synthèse de manière à reconstituer le signal initial parfaitement, sans aucun défaut. Ces filtres sont appelés **filtres miroirs en quadrature**. On peut aussi s'arranger pour que le nombre d'échantillons entre le signal initial et celui de sa représentation intermédiaire après sous-échantillonnage reste le même.

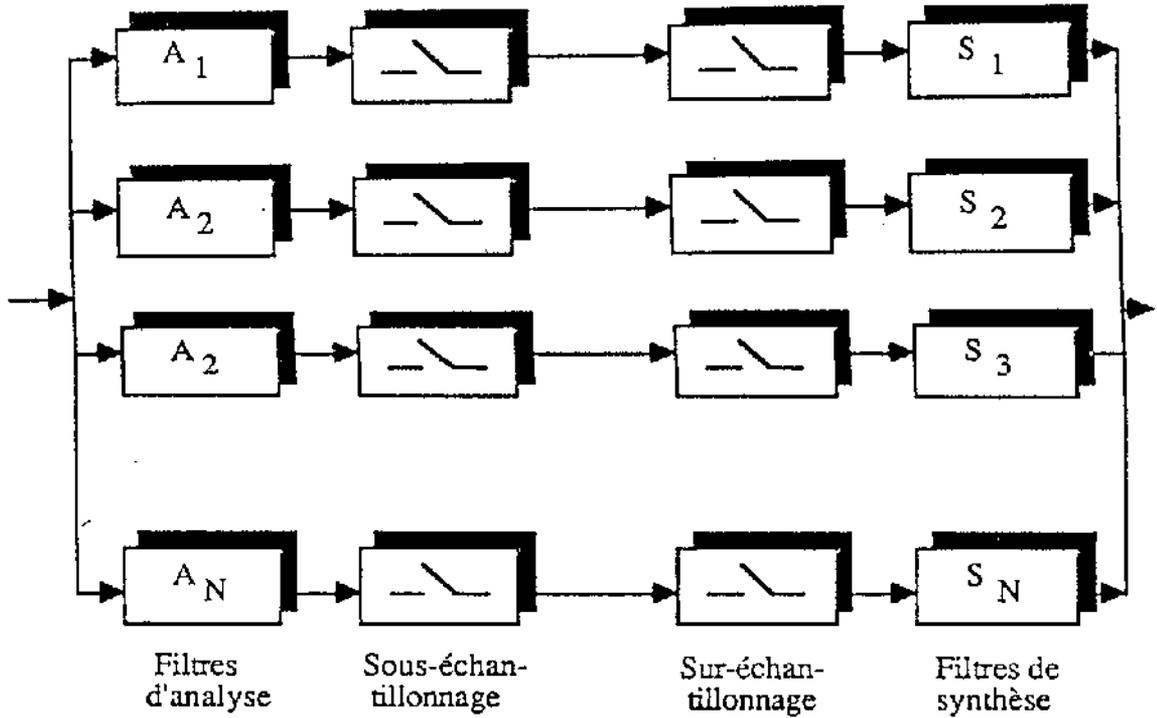


Fig. 48. — Système d'analyse et de synthèse par sous-bandes.

Ainsi qu'il a été dit à plusieurs reprises, une analyse relativement complète des images de télévision montre que dans le cube global de la figure 47, il y a une région importante qui est pratiquement inoccupée. C'est celle qui correspond aux hautes fréquences spatiale et temporelle.

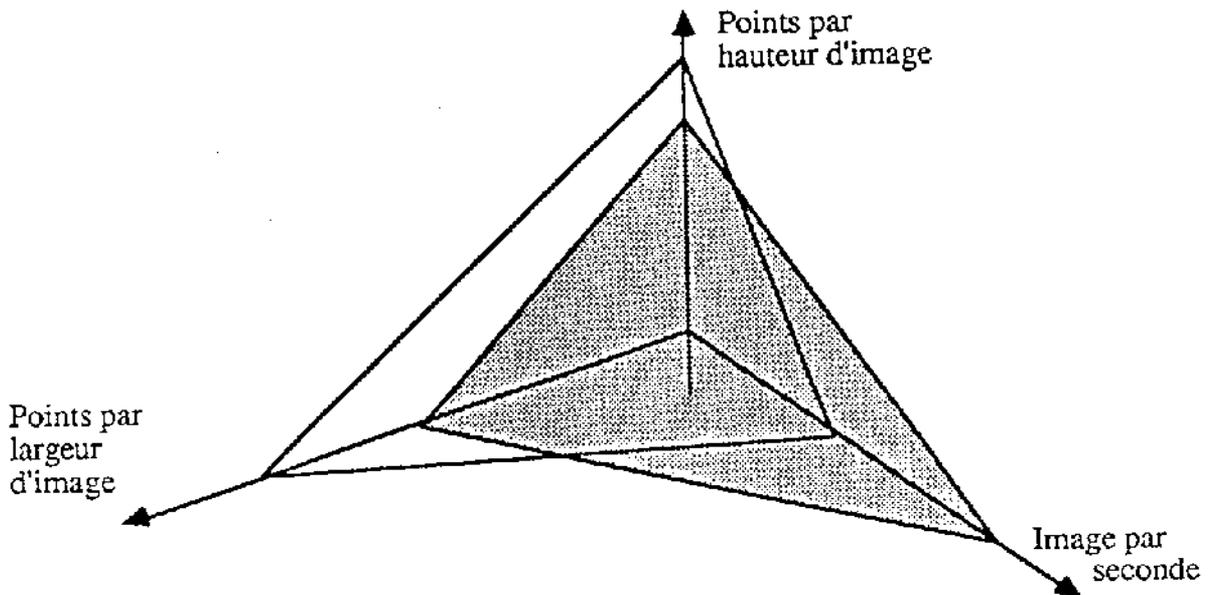


Fig. 49. — Limitation du spectre.

C'est cette même propriété qui a justifié l'échantillonnage en quinconce pour les systèmes européen et japonais. On peut donc l'appliquer ici aussi. Cette opération peut être visualisée sur une section du cube par un plan limitant les fréquences et atténuant la résolution diagonale de 50 % (fig. 49). Le problème est, évidemment, de trouver les paramètres de ce plan. Deux possibilités sont indiquées sur la figure 49. Une norme de transmission déterminera avec précision la position de ce plan. Le volume sous le plan correspond à la capacité du canal. En respectant cette capacité on peut faire des compromis entre les trois variables :

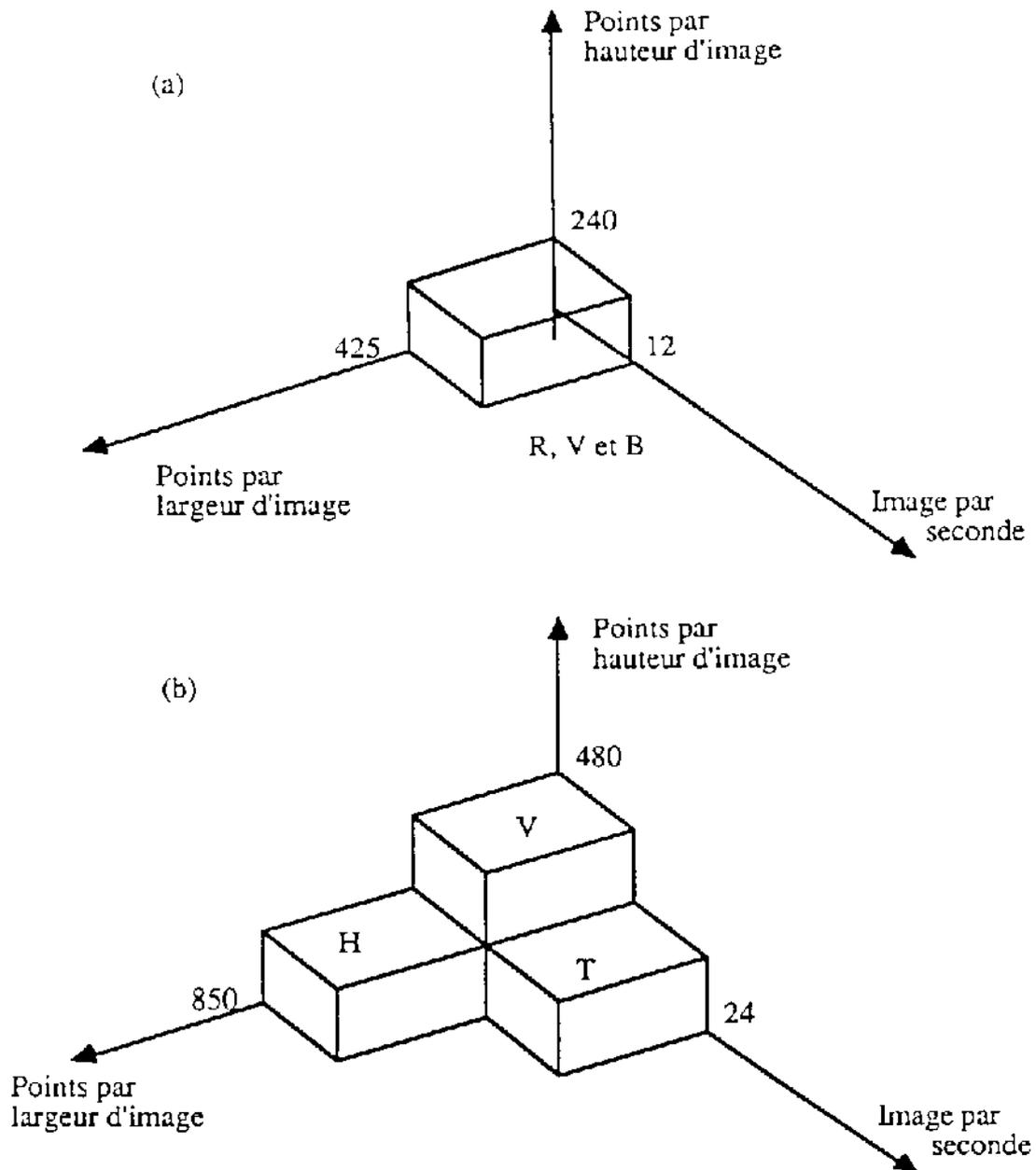


Fig. 50. — Sous-bandes transmises dans tous les cas pour la couleur (a) et pour la luminance (b).

finesses verticale et horizontale et rendu de mouvement. En plus, les expériences psychovisuelles (chap. 4) confirment l'existence d'une telle limitation dans le système visuel humain.

Dans le système MIT/CC, les cubes représentant les sous-bandes sont définis par certaines limites : nombre d'échantillons par seconde et de points par hauteur et par largeur d'image. On conserve le rapport d'aspect 16/9. Par ailleurs, on se donne la bande de base de 6 MHz qui est imposée aux Etats-Unis.

Dans un tel canal on peut transmettre seulement neuf bandes. Or, le nombre total de bandes couvrant le spectre initial est quarante-cinq. Il faut donc trouver un système pour choisir neuf bandes à transmettre parmi quarante-cinq pour rentrer dans le canal de transmission. Ce choix est fait selon la nature lente, moyenne ou rapide du mouvement. Dans les trois cas, le but est de donner une approximation au spectre de la figure 49. Ces différentes combinaisons sont illustrées à la figure 50. Dans tous les cas, on transmet la bande de base des trois couleurs R.V.B. (fig. 50 a), ainsi que les bandes voisines de la luminance H_1 , V_1 et T_1 où H, V et T représentent les directions horizontale et verticale et le temps (fig. 50 b). Ensuite, selon la vitesse du mouvement, les sous-bandes nécessaires à son rendu sont transmises. La figure 51 montre les trois configurations correspondant aux mouvements lent, moyen et rapide respectivement. On remarque sur cette figure que la vitesse du mouvement déplace le plan de limitation de spectre de la figure 49 de manière à obtenir le meilleur rendu, non pas d'une façon continue mais approximative à l'aide de blocs rectangulaires. On peut les interpréter aussi comme des briques qui permettent, selon la configuration, d'équilibrer l'édifice. **Le problème important est de décider la configuration correspondante à la vitesse du mouvement. Pour l'instant, ceci semble être le seul point faible du système.** Il est résolu manuellement au studio. Ce choix est ensuite indiqué par un code qui est repris avec le son dans la transmission.

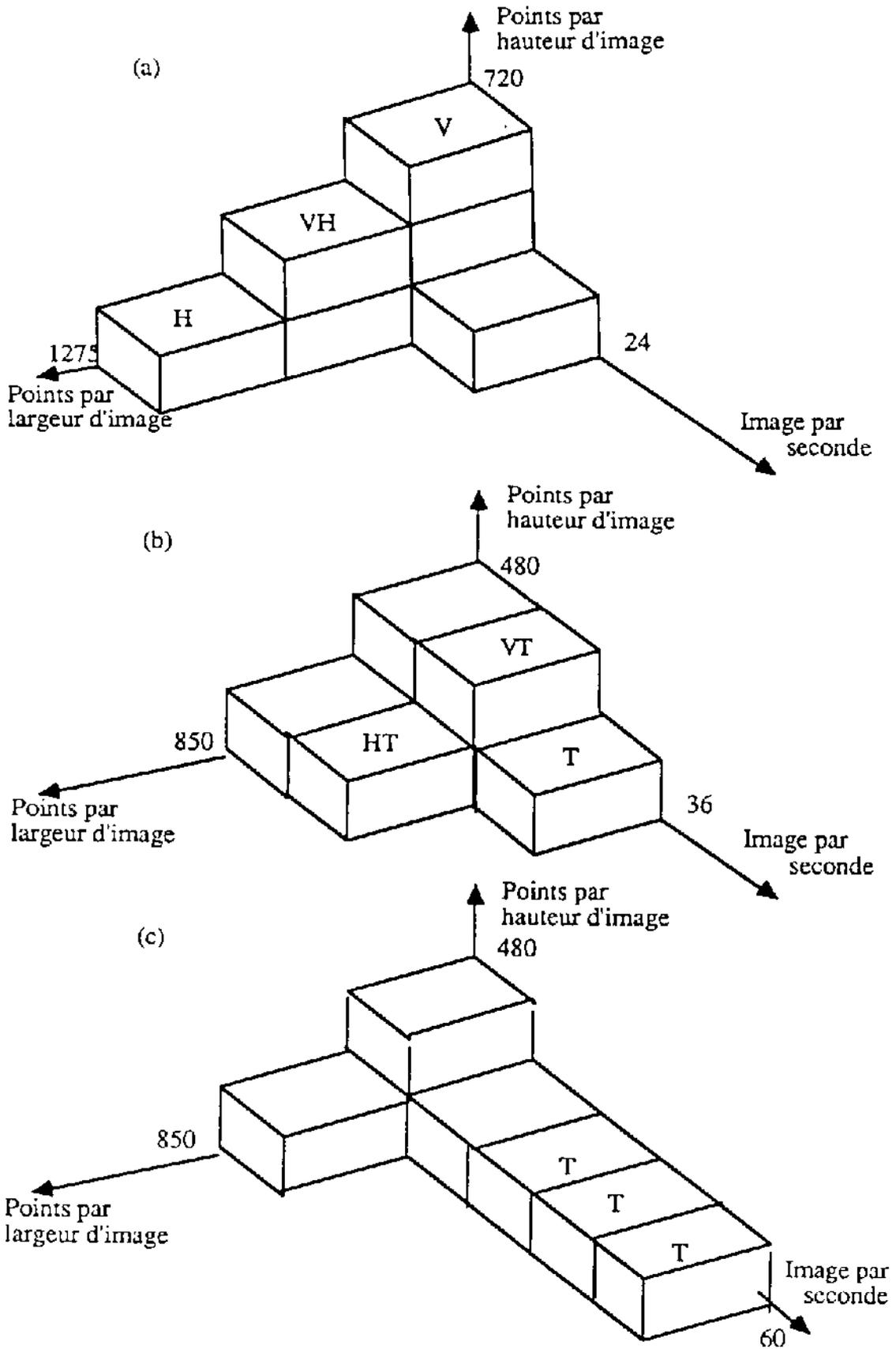


Fig. 51. — Configuration de sous-bandes transmises pour des mouvements lent (a), moyen (b) et rapide (c).

Une finesse de ce système réside dans sa faculté de s'adapter très bien au cas des films produits à 24/25 images par seconde. Dans un tel cas on ne distingue que deux types de mouvements : lent ou rapide. La configuration de la figure 51 a reste valable pour le cas des mouvements lents. Pour les mouvements rapides, la configuration utilisée est montrée à la figure 52.

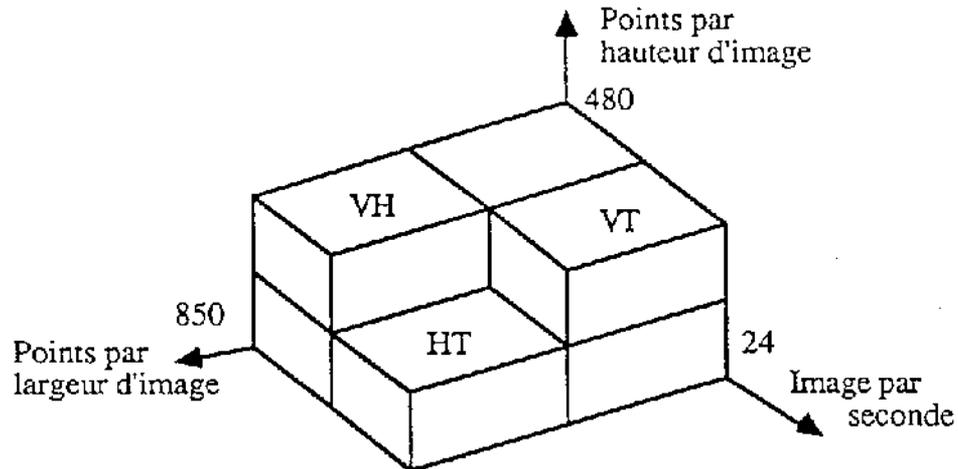


Fig. 52. — Configuration de sous-bandes pour les mouvements rapides de films à 24 images/sec.

Cette méthode a été discutée jusqu'ici à l'aide de blocs rectangulaires assignés à des sous-bandes de spectre. En fait, à chaque sous-bande correspond un signal qui est obtenu à la sortie du filtre correspondant. C'est ce signal qui doit être modulé et transmis, comme représentant du bloc ou de la sous-bande correspondant. **La modulation préconisée dans cette méthode est très ingénieuse.** Elle permet d'améliorer la qualité du signal vis-à-vis des perturbations. Elle est **appelée modulation adaptative de fréquence.** En termes simples, elle consiste à augmenter le niveau du signal quand celui-ci est faible. C'est surtout le cas dans les régions sombres de l'image où il est le plus visible. A la réception on le réduit à son niveau initial, en *réduisant simultanément* le niveau des perturbations. L'information d'adaptation est transmise comme partie intégrante de la description du signal. Cette méthode permet des améliorations très importantes d'une mesure appelée **rapport signal sur bruit**, exprimant le rapport des puissances du signal et du bruit.

Il doit être clair que le système qui est décrit ci-dessus n'est pas compatible du tout avec un récepteur existant de la norme N.T.S.C. La seule compatibilité est dans l'utilisation du canal. Il faut souligner que ce système peut transmettre les signaux de T.V.H.D. dans le même canal que celui utilisé aujourd'hui pour le N.T.S.C. dont la largeur de bande est de 6 MHz. Ceci montre le gaspillage de spectre électromagnétique fait par le N.T.S.C.

Le récepteur effectue les opérations inverses dans l'ordre inverse. Il n'y a pas lieu de le décrire en détail. Toutefois, après avoir discuté le deuxième système du M.I.T., le M.I.T./R.C., nous reviendrons sur le récepteur du M.I.T. qui possède des caractéristiques révolutionnaires.

4.5.3. Le système M.I.T./R.C.

En opposition avec le système précédent, le système M.I.T./R.C. est compatible avec les récepteurs N.T.S.C. existants, d'où le suffixe R.C. (Receiver compatible).

Dans le système M.I.T./R.C., on condamne 25 % de la hauteur de l'image conventionnelle du N.T.S.C. Cette opération fait apparaître deux bandes horizontales au bas et en haut de l'image sur les récepteurs actuels. Comme conséquence, le rapport d'aspect passe de 4/3 à 16/9 prévu pour la T.V.H.D. Toutefois, comme une certaine information est cachée dans ces parties, leur affichage sur un récepteur conventionnel sera comme une image noire parasitée.

L'information additionnelle est transmise selon les mêmes principes que celles de la méthode M.I.T./C.C. En somme, le système M.I.T./R.C. est un système N.T.S.C. pendant 75 % du temps et un système M.I.T./C.C. pendant 25 % du temps. Donc un récepteur existant recevra les émissions N.T.S.C. et les affichera d'une manière tronquée comme la diffusion actuelle des films cinémascope sur nos écrans. Un nouveau récepteur T.V.H.D. recevra tout le temps des signaux T.V.H.D.

4.5.4. Récepteur du M.I.T.

Il n'est pas difficile de prédire une convergence entre la technologie des ordinateurs et celle des téléviseurs pour les années à venir. Le pourcentage de circuits numériques d'ordinateur dans les récepteurs de télévision ne fait que croître. On y utilise de plus en plus des microprocesseurs performants, des mémoires numériques et des circuits de traitement numérique des signaux. Par ailleurs, il paraît très probable qu'il y aura plusieurs normes de transmission. On peut déduire de ce qui précède que les nouveaux récepteurs de télévision devraient effectuer beaucoup de traitement de signaux. Avec les connaissances et la technologie actuelles, il est normal de s'orienter vers une architecture de récepteur à base de « bus ». ce terme technique représente la version électronique d'une autoroute que tout le monde peut rejoindre ou quitter par des routes secondaires. Autrement dit, un bus est un moyen rapide et efficace de transfert d'informations numériques à l'intérieur d'un même système, entre les différents organes de traitement.

Les systèmes à base de bus, systématiquement utilisés dans les ordinateurs, peuvent être fermés ou ouverts. Les systèmes fermés sont construits une fois pour toute et l'utilisateur ne peut pas les modifier. En revanche, les systèmes ouverts permettent aux utilisateurs d'ajouter leur propre sous-système de traitement sous forme de matériel ou de logiciel ou les deux, pour augmenter les fonctions. En somme, c'est comme si l'on achetait des armoires vides ou semi aménagées et que l'on arrangeait le reste selon nos besoins, pour faire plus de place aux costumes ou aux chemises. C'est aussi le principe des constructions modulaires. Un système électronique à base de bus a un autre avantage très important. Il est beaucoup plus facile de l'interconnecter avec d'autres équipements et/ou des lignes de transmissions. **Le professeur W.F. Schreiber, du M.I.T., scientifique toujours en avance sur son temps, n'a pas hésité à proposer un récepteur de télévision qui ressemble beaucoup plus à un ordinateur qu'à un téléviseur.**

On y distingue les parties de l'entrée, des traitements et de la sortie ; composantes de base de tout ordinateur. Les parties d'entrée et de sortie sont réglables mais ne sont pas programmables. A l'entrée, la mémoire d'image retient la version numérique de la trame reçue selon une grande variété de formats. **D'autres sources de signaux peuvent être connectées à la partie de l'entrée. A la sortie, la mémoire de rafraîchissement d'affichage retient la trame à afficher selon une norme donnée.** Cette norme peut ne pas correspondre ni à celle de l'affichage ni à celle de l'entrée. Les circuits d'interpolation, de conversion numérique analogique et de reconstitution des couleurs R, V, B permettent d'obtenir un signal à haute résolution et large cadence qui est affiché sur l'écran. Il est intéressant de noter que tous les récepteurs n'ont pas besoin de fonctionner selon la même norme d'affichage, mais que tous les types de signaux seront affichés selon la même norme dans le même récepteur. La partie centrale entre l'entrée et la sortie effectue les traitements numériques pour les conversions de formats, les filtrages, les interpolations, etc.

Cette partie centrale permet également l'introduction d'autres modules de traitement pour rehausser l'image, pour des effets spéciaux ou pour interfacer le récepteur avec d'autres équipements ou d'autres sources de signaux telles que les fibres optiques. L'un des grands avantages de ce récepteur est que sa philosophie n'est basée sur aucune technologie démodable. Il peut évoluer dans le temps, comme c'est le cas actuellement pour les ordinateurs à bus ouvert.

4.5.5. Le système A.C.T.V.

Le système A.C.T.V. (Advanced Compatible Television) est développé conjointement par le National Broadcasting Corporation (N.B.C.), le centre de recherche de David Sarnoff et la société R.C.A./Thomson Consumer Electronics. Comme le système du M.I.T., il est prévu pour la diffusion par ondes terrestres et par câble. Il est composé de deux phases : A.C.T.V. 1 et A.C.T.V. 2 qui se mettront en place l'une après l'autre. La première version est un système monocanal de 6 MHz, alors que la seconde utilise deux canaux de 6 MHz et occupe donc une bande de 12 MHz.

Les émissions en A.C.T.V. 1 ne seront pas regardées sur les récepteurs N.T.S.C. par compatibilité. Ceux-ci recevront la partie N.T.S.C. du nouveau signal. En revanche, un nouveau récepteur A.C.T.V. 1 bénéficiera des améliorations. Cette phase sera très similaire à celle qui a été utilisée pour introduire la couleur. L'introduction d'un deuxième canal mettra en place le système A.C.T.V. 2 qui utilisera ce deuxième canal pour le signal d'amélioration et le son numérique.

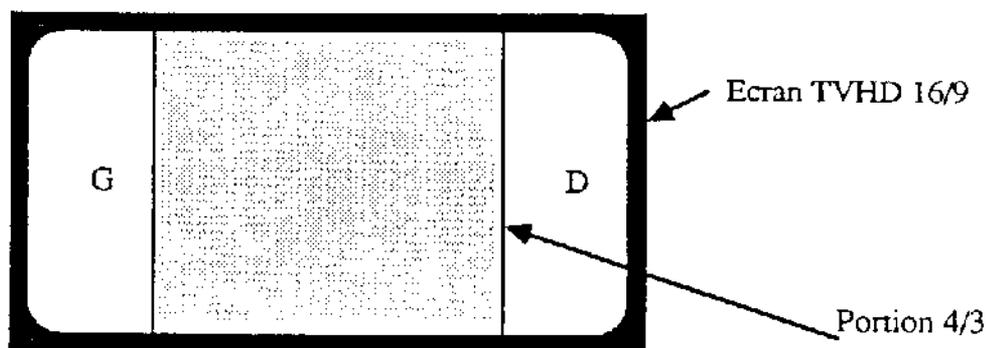


Fig. 55. - Découpage de l'écran de la T.V.H.D. pour le système A.C.T.V. 1.

Le système A.C.T.V. 1 comporte 1 050 lignes (le double des 525 lignes actuelles) avec un rapport d'aspect de 16/9. Le signal transmis est obtenu de la manière suivante. Le signal fourni par la caméra T.V.H.D. à 1 050 lignes et avec le rapport d'aspect de 16/9 est décomposé en **quatre** composantes. La première composante s'obtient en partageant le signal initial en trois parties pour extraire une partie centrale dont le rapport d'aspect est 4/3 (fig. 55). Le signal de la première composante est obtenu en étirant temporellement (extension temporelle) l'information de la partie centrale presque jusqu'à la durée d'une ligne active et en comprimant les signaux des zones marquées G

(gauche) et D (droite) de la figure 55 dans le reste de la durée totale d'une ligne. C'est de nouveau un « effet accordéon ». En plus le signal ainsi obtenu a 525 lignes et est entrelacé. Il est ensuite filtré de manière à lui garantir une largeur de bande de luminance ne dépassant pas 4,2 MHz. Le signal de chrominance est ajouté d'une manière tout à fait conventionnelle selon la norme N.T.S.C.

La deuxième composante est un signal auxiliaire, entrelacé également, obtenu en étirant les parties G et D jusqu'au milieu de l'image. Cette expansion temporelle réduit la largeur de bande de ce signal à environ 1,1 MHz. Elle doit être invisible sur les récepteurs conventionnels de N.T.S.C.

La troisième composante est le signal d'amélioration des détails horizontaux entre 5 et 6,2 MHz, entrelacé à 525 lignes. Cette bande de fréquence est d'abord décalée à l'origine de 0 à 1,2 MHz et le signal correspondant est mis ensuite au format 4/3. Cette opération met ce signal en correspondance avec la première composante et permet de le « cacher » sur les récepteurs conventionnels.

La quatrième composante, enfin, est le signal auxiliaire entrelacé à 525 lignes contenant les détails verticaux et temporels qui auraient été perdus dans la conversion de 1 050 à 525 lignes entrelacées. Ce signal est également converti au format 4/3 pour le cacher sur le récepteur N.T.S.C. En plus sa bande passante est limitée à 750 kHz. Sur les nouveaux récepteurs, ce signal permet de reconstruire les lignes manquantes et de réduire le papillotement.

La modulation en quadrature, déjà utilisée dans le système M.I.T./C.C. est une méthode fondamentale pour le système A.C.T.V. 1. L'idée de cette modulation, sans formules mathématiques, est celle-ci. La modulation d'amplitude directe ou simple qui consiste essentiellement à multiplier le signal à transmettre par un signal sinusoïdal (la porteuse) nécessite, en principe, une largeur de bande de transmission qui est le double de la bande de base du signal à transmettre. En plus cette bande est symétrique par rapport à son milieu ; elle est donc redondante. Cette faiblesse peut être corrigée de deux manières différentes. Dans le premier cas, en supposant que l'on n'a qu'un seul signal à transmettre, on coupe la bande de transmission en deux pour ne transmettre que le contenu d'une moitié. C'est ce que font la modulation à bande latérale unique (B.L.U.) ou la modulation à bande latérale résiduelle (voir § 2.3.2.). Ainsi, le doublement de la bande de base est compensé. Dans le deuxième cas, on peut transmettre ensemble deux signaux dans une bande passante doublée sans qu'ils se mélangent. Pour ceci il faut multiplier l'un des signaux par une porteuse sinusoïdale et l'autre par une porteuse cosinusoidale. La propriété d'orthogonalité des sinus et des cosinus permet d'éviter le mélange. C'est ce que fait le système M.I.T./C.C. En somme, en modulation d'amplitude qui double la largeur des bandes de bases, soit on transmet un signal dans une bande

de largeur moitié (donc identique à la largeur de la bande de base), soit on transmet deux signaux simultanément dans la bande doublée, sans qu'ils se mélangent.

La combinaison de ces quatre composantes constitue l'essentiel de l'émetteur A.C.T.V.1 montré à la figure 56. Les composantes n^{os} 2 et 3 subissent un traitement spécial appelé moyennage intratrame. On peut interpréter ceci comme un conditionnement. Ensuite, elles modulent en quadrature une sous-porteuse (ou porteuse auxiliaire) à 3,1 MHz. Cette modulation permet de les transmettre simultanément sans qu'elles se mélangent. En plus, le signal ainsi modulé doit s'insérer avec les autres composantes dans la même bande de 6 MHz. La valeur particulière de la fréquence de la sous-porteuse et les conditionnements subis permettent d'insérer ce signal dans les trous du spectre des autres signaux. Cette manière de moduler est appelée parfois le **trou de Fukinuki**, du nom de celui qui l'a trouvé. Il s'agit en fait d'utiliser une portion du spectre de la luminance normalement prévue pour des détails fins en diagonales et en mouvement pour transmettre des détails verticaux ou horizontaux se déplaçant à faible vitesse. Pour que ce « trou » existe, il ne faut pas que la résolution verticale de la chrominance dépasse environ 260 points par hauteur d'image. Comme ces trous ne sont pas complètement vides, le nouveau signal qu'on y met risque d'être visible sur les écrans N.T.S.C. sous forme de défaut systématique (ombre, fantôme, etc.). Pour atténuer ces effets, la modulation en quadrature est effectuée avec alternance de phase par champs. Ainsi ces cassures brusques introduites permettent de rendre ces signaux invisibles sur les récepteurs N.T.S.C. Rappelons qu'une autre sous-porteuse du même type est déjà utilisée dans le système N.T.S.C. classique pour le signal de chrominance (voir § 2.3.2).

La combinaison des composantes n^{os} 2 et 3 ainsi introduite est ensuite additionnée à la première composante qui est aussi traitée par le moyennage intratrame pour former un signal compatible N.T.S.C. dont la largeur de bande de base est de 4,2 MHz. Finalement, la dernière composante (n^o 4) est introduite dans ce signal par modulation en quadrature avec la luminance et conduit au signal final de 6 MHz de largeur de bande.

Sur le plan spectral, la position des différents signaux intervenant dans l'émetteur de la figure 56 sont montrés à la figure 57. On remarque la présence des composantes d'amélioration (panneaux G et D étirés, détails horizontaux, et détails verticaux et temporels), numérotées selon l'ordre de leur description. Les modulations en quadrature utilisées permettent de les rendre invisibles sur un récepteur normal N.T.S.C.

Les signaux du système A.C.T.V.2 sont obtenus par soustraction des signaux A.C.T.V.1 des signaux T.V.H.D. de source. La figure 57 montre l'émetteur de ce système à deux canaux. Les signaux de différence sont combinés pour former un signal à 1 050 lignes entrelacé.

Celui-ci contient toute l'information de détail de haute résolution. Il subit un filtrage passe-bas à 18 MHz. Ensuite une compression de bande par un facteur 3, basée sur l'adaptation aux mouvements, réduit la bande de base à 6 MHz.

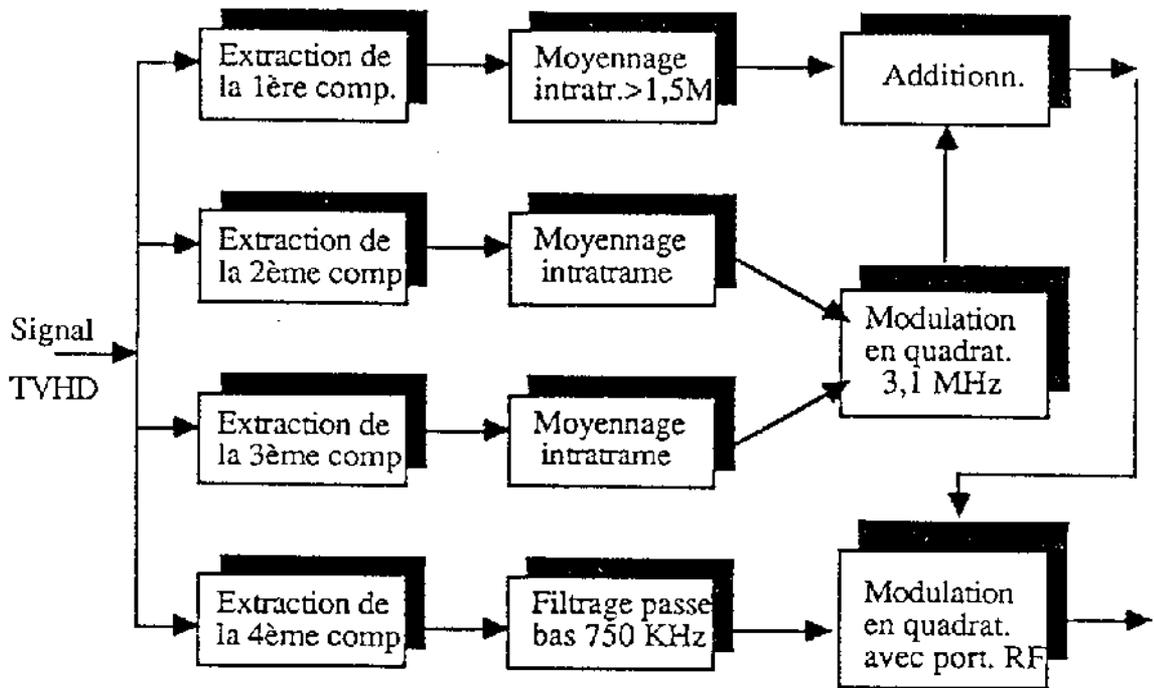


Fig. 56. - Schéma-bloc de l'émetteur du système A.C.T.V.1.

Les systèmes A.C.T.V.1 et A.C.T.V.2 illustrent très bien les méfaits de la compatibilité, contrainte paravent qui doit en cacher d'autres. En effet, déjà le système A.C.T.V.1 accumule astuce sur astuce pour rafistoler le vieux N.T.S.C. dans ses 6 MHz. Dans les laboratoires d'électronique ceci est appelé « touiller » ! Les diverses modulations additionnelles

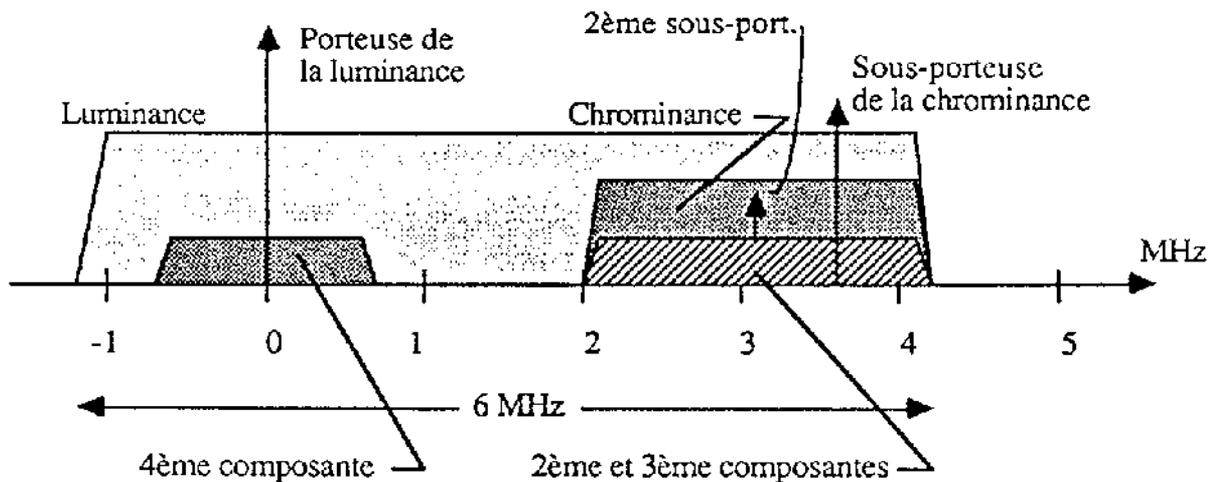


Fig. 57. - Spectres des signaux utilisés dans le système A.C.T.V.1.

n'améliorent certainement pas la qualité du vieux signal N.T.S.C. déjà assez médiocre. Vient ensuite le successeur A.C.T.V.2 qui perpétue ces faiblesses, car il est basé sur le A.C.T.V.1. Avec un tel système, les Américains ne pourront jamais se débarrasser de la mauvaise qualité du N.T.S.C. dans les années à venir. C'est ce genre de prix qu'il faut payer pour la compatibilité.

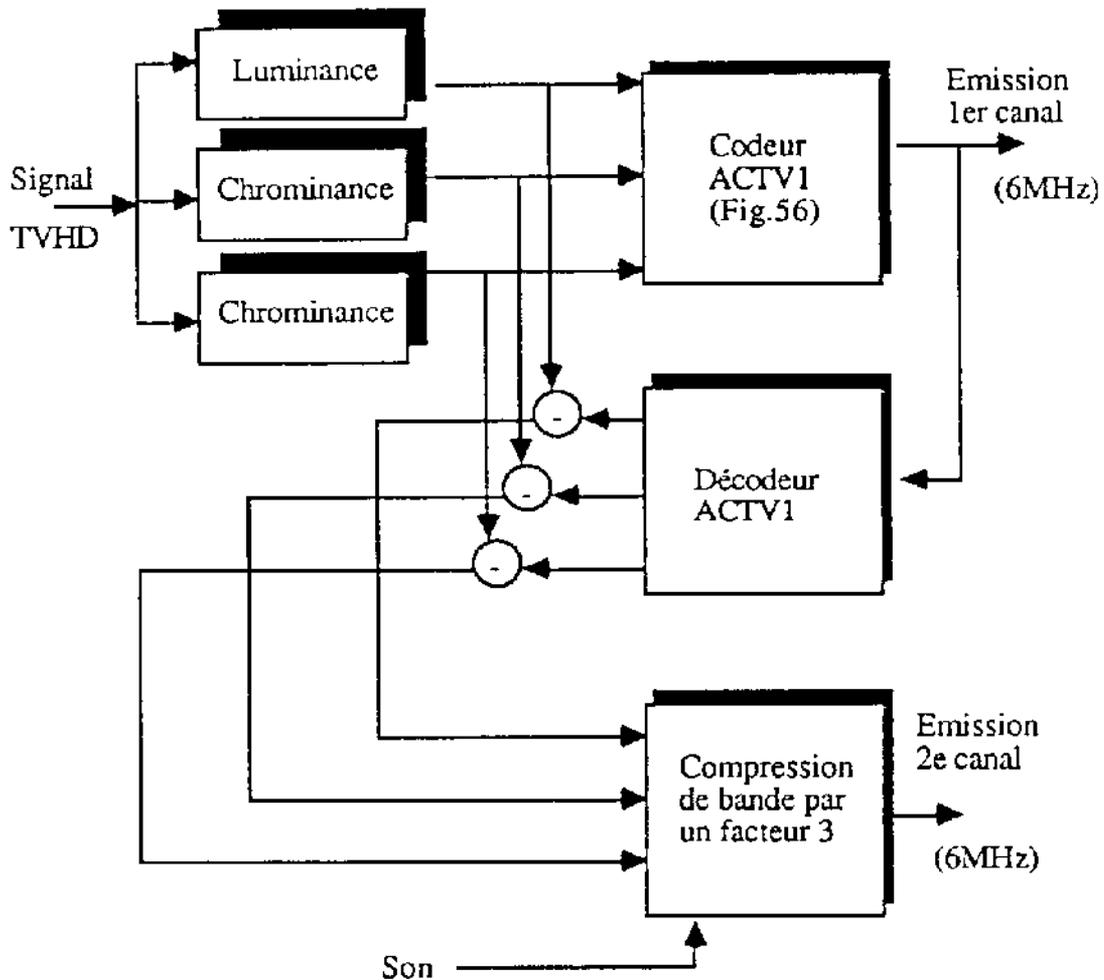


Fig. 58. - Schéma-bloc de l'émetteur du système A.C.T.V.2.

Les contraintes de temps ne nous permettent pas de parler des autres systèmes américains, et il y en a beaucoup. Toutefois, ils sont entrés dans la course avec du retard et la plupart de ces systèmes ne sont pas mûrs. Certains n'ont jamais été réalisés, d'autres n'ont même pas été simulés complètement. Il faut relever au passage l'élégance du système du M.I.T., le seul qui a été conçu dans un laboratoire universitaire.

CHAPITRE 5

RÉPONSES AUX QUESTIONS POSÉES

1° *Quels sont les inconvénients éventuels de la contrainte de compatibilité inhérente à la norme HD-Mac (complexité, coût, qualité de l'image) ?*

Rappelons d'abord qu'il s'agit de la compatibilité avec D2-Mac Paquet, système avec lequel on n'a pas d'expérience pratique car il n'existe pas encore. La complexité induite par cette contrainte est principalement au niveau des reconversions numériques-analogiques après que l'effet accordéon soit réalisé (voir le § 4.3.3.). Ce n'est pas une complexité importante. **L'inconvénient ici est de reconvertir un bon signal numérique en un signal analogique pour le rendre plus vulnérable aux perturbations de la transmission. Ceci affectera la qualité de l'image inévitablement (*)**. On risque de voir des défauts, peut être pas systématiquement, mais en cas de mauvaise transmission parasitée. Le facteur coût ne semble pas être un facteur important car **dans un système de télévision moderne du type T.V.H.D., le coût de traitement de l'information (mise en forme, codage, compression, protection, modulation, etc.) sera négligeable vis-à-vis des coûts des tubes d'affichage et ceux des caméras.**

Un autre inconvénient est que, comme nous l'avons signalé pour le système A.C.T.V., cette contrainte perpétuera l'utilisation des signaux et des systèmes analogiques périmés dans les systèmes de télévision du futur. Par là, elle constitue un frein au progrès.

L'inconvénient le plus important, selon l'auteur, est le suivant. Ainsi qu'il a été discuté au paragraphe 4.3.4., le signal fourni par la caméra de T.V.H.D. doit être codé de manière à réduire sa bande de base de 40 MHz à 8 MHz environ. Le système HD-Mac effectue cette opération en trois phases : conversion analogique-numérique, compres-

(*) Voir plus loin la réponse des participants au projet Euréka 95.

sion, reconversion numérique-analogique. **La contrainte de compatibilité limite ce que l'on peut faire dans la compression (*)**. En effet, il n'y a aucun besoin que le résultat d'une méthode de compression quelconque soit compatible avec le format imposé au signal analogique final. Autrement dit, sans contrainte de compatibilité, on peut soit, à qualité d'image finale égale, compresser davantage, c'est-à-dire réduire la bande de base à une valeur inférieure à 8 MHz, soit, pour une valeur de la bande de base donnée (8 MHz), on peut transmettre plus d'information et obtenir une image plus précise.

2° Les Japonais ne sont-ils pas partis trop tôt dans la course à la T.V.H.D. et, du fait qu'ils ne disposent pas, par exemple, des ordinateurs ou des semi-conducteurs utilisables actuellement, ont-ils fait des choix technologiques actuellement périmés ?

La réponse est non, par principe. Il n'est jamais trop tôt pour le progrès. Le premier système japonais de T.V.H.D. était en fait un système entièrement analogique, sans mémoire, sans unité de traitement numérique et sans ordinateur. C'était la reprise de l'ancien système de TV conventionnel mise à l'échelle de la T.V.H.D., c'est-à-dire avec deux fois plus de lignes. C'est quand les Japonais ont réalisé qu'il fallait une bande passante de l'ordre de 100 MHz pour transmettre ce signal par satellite en modulation de fréquence qu'ils ont lancé le projet Muse pour compresser la bande de signal. Dans le projet Muse, il y a quelques circuits intégrés mais l'auteur ne pense pas que l'on puisse dire qu'ils ont fait des choix technologiquement périmés.

L'impression que les Japonais donnent est qu'ils ne s'intéressent ni à la pertinence, ni à l'élégance du système qu'ils proposent, ni à la qualité de l'image qu'il reproduit après transmission. Pourvu que leur proposition soit prise comme une norme et qu'ils envahissent le marché. C'est comme si l'on se plaint du froid et que l'on se précipite sur le bouton du thermostat pour augmenter la température sans penser à mieux isoler la maison, avec le seul souci de vendre davantage de fuel.

Ce qui est périmé dans leur choix n'est pas la technologie mais la méthodologie (la science de la télévision). Elle date des années 50, au début de l'époque du N.T.S.C. et elle a été très mal copiée et mal rafistolée.

(*) Voir plus loin la réponse des participants au projet Euréka 95.

3° *A quelles conditions, concernant notamment la qualité de l'image et la répartition des fréquences, les exigences de la Federal Communication Commission (F.C.C.) des Etats-Unis peuvent-elles être satisfaites ?*

Le spectre électromagnétique américain, dans les bandes terrestres UHF et VHF, est découpé en modules de 6 MHz, espacées par des canaux tabous. Ceux-ci sont introduits pour éviter les interférences intercanaux. Les filtres de séparation des récepteurs N.T.S.C. ne sont pas très sélectifs. Si les canaux tabous sont utilisés, un vieux récepteur peut mélanger deux canaux et le canal visualisé peut être sévèrement perturbé par son voisin. Si on ne tient pas compte de la vétusté de ces récepteurs, il y a de la place dans le spectre américain. Il suffit de construire des récepteurs de meilleure qualité, plus sélectifs.

La compatibilité avec les récepteurs N.T.S.C. existant exige que le nouveau signal haute définition comporte une composante correspondant au vieux signal N.T.S.C., qui soit récupérable par démodulation d'amplitude et que les nouvelles composantes ajoutées soient imperceptibles par ces mêmes traitements classiques. Parmi les propositions américaines, celles qui sont dites « receiver compatible » satisfont ces conditions en n'utilisant qu'un seul canal de 6 MHz. Toutefois, il est peut être prétentieux d'appeler ce résultat T.V.H.D. Certaines personnes modérées l'appellent E.D.T.V. (télévision à définition *étendue*). Il serait plus juste de l'appeler TVD, c'est-à-dire télévision différente. La raison est que même si la totalité de la bande des 6 MHz n'est pas correctement exploitée dans le vieux système N.T.S.C., il n'y a pas assez de place pour ajouter toute l'information d'amélioration pour le transformer en T.V.H.D. C'est pourquoi certaines propositions prévoient l'utilisation d'un deuxième canal de 6 MHz pour transmettre ce qui manque. Ceci n'est pas une bonne solution car d'après l'attribution des canaux, ce deuxième canal ne sera pas nécessairement juxtaposé au premier canal. En plus, l'éloignement de ces deux canaux variera d'une ville à l'autre. Donc, un récepteur prévu pour New York doit être reréglé à Los Angeles. Synchroniser deux signaux transmis et reçus dans deux bandes différentes est une tâche difficile pour un récepteur que l'on veut bon marché.

Enfin, précisons que ni le D2-Mac Paquet, ni le HD-Mac peuvent satisfaire ces conditions.

4° *Quelle appréciation et quelle évaluation peut-on faire du programme Euréka EU 95 de T.V.H.D. ?*

Sans tenir compte des inconvénients de la compatibilité, le projet Euréka 95 est un très bon projet. En un temps record, la coordination

européenne a pu relever le défi et a montré qu'il fallait compter avec elle, donc avec le HD-Mac. Ce projet a certainement atteint son but en stoppant l'invasion japonaise. Les équipements (caméras, moniteurs) construits et démontrés relèvent de la haute technologie et sont des réussites. Dans le temps imparti, vu les contraintes non scientifiques, il serait difficile de faire mieux. Mais il faut aussi dire que ce n'est pas le meilleur système de T.V.H.D. que l'on puisse imaginer.

CHAPITRE 6

REMARQUES ET CONCLUSIONS

En essayant d'observer tous les travaux qui sont faits dans ce domaine avec un peu de recul, on peut faire les remarques suivantes.

Il faut sensibiliser les gens à l'importance de l'utilisation du spectre électromagnétique et de la largeur de bande, non pas comme notion technique et ennuyeuse, mais comme une denrée rare et précieuse. Il s'agit d'un produit vital pour notre esprit. Les écologistes se souciant des problèmes de largeur de bande n'existent peut être pas encore, mais il faudrait y penser. Même si l'on dit qu'il n'y aura plus de problème avec de nouvelles ressources comme les fibres optiques, **le spectre électromagnétique doit être respecté au même titre que la forêt ou la mer.** Avant de mettre sur le marché des produits utilisant ce spectre, un organisme devrait vérifier si tout a été fait pour faire le meilleur usage de la bande passante réclamée. Dans le cas particulier de la télévision à haute définition, il ne faut pas se demander quelle est la largeur de bande nécessaire à transmettre le signal fourni par le système x ou y mais chercher le meilleur système possible pour une largeur de bande donnée afin de l'exploiter comme il faut. Il paraît souhaitable de ne pas accorder de larges bandes passantes à des systèmes « gadget ».

La deuxième remarque concerne la compatibilité. Ses partisans aiment rappeler que l'on ne sentira pas l'introduction de la télévision à haute définition comme ce fut le cas de la couleur il y a vingt ans. On peut se demander par quel miracle on ne sent pas ce genre d'opération quand, malgré tout, il faut dépenser quelques milliers de francs pour accéder à la couleur quand on n'a que le noir et blanc ; et pour s'extasier devant un écran 16/9 quand on ne dispose que d'un vulgaire P.A.L. ou S.E.C.A.M. Ceux qui ont conçu, produit et qui vendent les fameux disques compacts sont les mêmes que ceux qui prêchent pour la compatibilité de la télévision à haute définition. Pourquoi n'ont-ils jamais essayé d'insérer un disque compact dans leur lecteur 33 tours ? La qualité du disque compact est tellement supérieure que ceux qui l'apprécient sautent le pas. Il ne semble pas qu'ils aient le droit de priver les citoyens du progrès, qui, sous l'hypocrisie de la compatibilité, coûtera

toujours plus cher au client final. La compatibilité, comme la F.F.C. l'impose est un frein sérieux au progrès. Il peut être contourné par le *simulcasting*. La compatibilité, comme celle utilisée dans le projet Eurêka 95, dépasse le niveau de compréhension de l'auteur.

L'excitation produite par les enjeux économiques n'aide pas du tout à faire les travaux comme il faut. De même qu'aucun bâtiment ne tiendra debout si sa construction débute au premier étage, un système technique ne survivra pas longtemps si ses bases ne sont pas solides. Il est regrettable qu'en matière de télévision à haute définition, l'étape des fondations de la construction (la recherche fondamentale) ait été encore une fois sacrifiée. C'est pour ces mêmes raisons que les projets Esprit recherche et développement n'ont pas fourni la rentabilité qu'on espérait. On essaye de corriger le tir, timidement, avec l'introduction des projets Esprit B.R.A., Basic Research Action, ou action de recherche fondamentale. Toutes les innovations industrielles qui se font sans respecter l'ordre des étapes et qui ne débutent pas par une recherche fondamentale solide rencontrent ensuite des difficultés. Le manque de maturité du projet de télévision à haute définition est une perche tendue à la recherche fondamentale. Il faut la saisir.

Il ne faut plus prolonger l'agonie des systèmes analogiques, la technologie actuelle possède tous les moyens pour enterrer ces « êtres » moyenâgeux. Ce sont eux qui imposent la transmission à vitesse constante et qui ne peuvent pas s'accommoder des mémoires numériques pour acquérir et afficher les images à haute cadence tout en les transmettant à faible débit.

Le système japonais a été conçu en partant de la production vers le récepteur. Même si ce n'est pas tout à fait vrai à cause des flottements du début, c'est ainsi qu'ils aiment présenter leur projet. Ce n'est pas la seule ni la meilleure façon de faire. Une conception souple, pouvant intégrer l'évolution par de simples adjonctions (matériel ou logiciel), semble être essentielle.

II. — RÉPONSE DES PARTICIPANTS AU PROJET EURÊKA 95

Résumé

Dans leurs réponses aux critiques de M. Kunt, les participants au projet Eurêka 95 font valoir :

— qu'il n'y aura que deux versions du Mac diffusées en Europe (le D et le D2), comportant suffisamment de points communs pour être rendues facilement convertibles entre elles ;

— que seule la compatibilité avec le Mac permettra à un diffuseur de rentabiliser le coût d'un programme T.V.H.D. ;

— que le système européen de restitution d'une image en mouvement rapide est le meilleur existant à ce jour du fait qu'il a été tenu compte des derniers résultats de la recherche fondamentale (qui n'a donc pas été négligée) ;

— qu'un « filtre de compatibilité » doit permettre aux récepteurs D2-Mac de recevoir, sans distorsion de l'image, un signal HD-Mac, bien que le brassage des échantillons conduise effectivement, au cours de la transmission, à ne pas respecter le théorème de l'échantillonnage ;

— que le tout numérique, enfin, n'est encore qu'un rêve, (du fait, notamment, que les signaux numériques sont plus sensibles aux perturbations de la transmission que les signaux analogiques) ;

— que, néanmoins, les possibilités des technologies numériques sont exploitées, dans toute la mesure du possible, par les Européens.

1° *Le système de transmission Mac :*

Si tous les systèmes Mac ont la même information image (qui est, quand même, la plus complexe), les sons et les données associés à cette image ont conduit au développement d'un relativement grand nombre de standards « X » Mac. (X = B, C, D...) Il faut remarquer que ces standards ne sont pas tous destinés à être reçus par les téléspectateurs : le codage Mac peut être utilisé par exemple pour les liaisons entre les caméras et la régie centrale quand les distances les séparant sont importantes (exemple : jeux Olympiques).

En pratique, l'Europe a retenu deux standards Mac destinés à être reçus par les téléspectateurs : le D-Mac (Royaume-Uni) et le D2-Mac (France et Allemagne) ; il paraît évident que les pays européens qui n'ont pas encore fait un choix se rallieront à l'un ou l'autre de ces standards en fonction des résultats techniques, économiques, commerciaux obtenus par le D-Mac et le D2-Mac dans leurs pays de lancement.

La situation n'est pas aussi anarchique qu'il y paraît à la lecture du rapport de M. Kunt.

Ceci est renforcé par le fait que les parties sons et données du D et du D2 ne sont pas indépendantes ; le D transporte deux fois plus d'informations par seconde que le D2. Mais la première moitié des informations transmises par le D a la même structure que les informations transmises par le D2. C'est d'ailleurs, aujourd'hui, les seules informations destinées au public puisque la seconde moitié des informations du D sera utilisée à des applications professionnelles, de type télématique. Cette particularité permet à I.T.T., de développer des circuits bistandards D/D2. Toutes les sociétés qui étudient des circuits intégrés de réception Mac (Philips, Thomson...) ont choisi la même stratégie, c'est-à-dire de traiter le D2-Mac pour satisfaire l'ensemble des besoins européens.

On ne peut donc pas écrire que le nombre des variantes Mac « donne un sentiment désagréable de rafistolage » puisqu'il n'y aura en Europe que deux versions diffusées vers le téléspectateur, le D et le D2 qui ont suffisamment de points communs pour qu'un jeu de circuits intégrés unique puisse dans le téléviseur décoder l'un ou l'autre.

2° *La compatibilité entre les récepteurs Mac et HD-Mac :*

La compatibilité de la transmission de la T.V.H.D. avec le parc existant à la date prévisible de son entrée en service était une idée force de la stratégie européenne dès 1985 ; elle est aujourd'hui partagée par la plupart des intervenants de la T.V.H.D., que ce soit la F.C.C. aux Etats-Unis ou le B.T.A. au Japon.

Quelle compatibilité ?

L'Europe a pris l'option d'assurer la compatibilité avec les standards D-Mac et D2-Mac qui commenceront à être diffusés et commercialisés dans le public en 1989 plutôt qu'avec le P.A.L. ou le S.E.C.A.M. En effet :

– le P.A.L. et le S.E.C.A.M. sont des systèmes profondément différents et il n'est pas possible de développer un système de transmission de T.V.H.D. unique simultanément compatible avec le P.A.L. et le S.E.C.A.M. ;

– le D et le D2-Mac sont eux suffisamment proche pour pouvoir servir de base à un système *unique* de T.V.H.D., appelé HD-Mac ;

– le HD-Mac est un système de transmission de T.V.H.D. qui a été conçu pour permettre à un possesseur de récepteur HD-Mac de recevoir un programme D/D2/HD-Mac avec une excellente qualité et au Possesseur d'un récepteur D ou D2-Mac (constitué soit de récepteurs avec décodeur Mac intégré soit de récepteurs P.A.L. ou S.E.C.A.M. munis d'un décodeur D/D2/HD-Mac avec la qualité d'un programme « conventionnel » 625 lignes ;

– lors de l'introduction du HD-Mac, le parc de récepteurs D ou D2-Mac sera suffisamment important pour fournir une audience potentielle suffisante aux chaînes de télévision qui souhaiteront diffuser en HD-Mac des programmes tournés en T.V.H.D. **L'existence de ce parc de récepteurs Mac est la condition essentielle pour qu'un programmeur puisse rentabiliser le coût d'un programme T.V.H.D.**

3° *Caractéristiques du HD-Mac :*

Le système de transmission HD-Mac doit assurer deux fonctions différentes et, en fait, indépendantes.

a) La première fonction est la réduction de la largeur de bande du signal T.V.H.D. par un facteur 4 environ pour qu'il puisse être transmis dans un canal de télévision. Dans le HD-Mac cette réduction est opérée de différentes façons suivant que le contenu de l'image est fixe, ou faiblement mobile ou enfin rapidement mobile.

Dans une image fixe, le téléspectateur est très sensible à la définition de l'image car l'œil a le temps d'observer tous les détails.

Le HD-Mac transmet dans ce cas, à chaque trame la totalité de l'image, mais avec une définition réduite à 1/4 de la définition de celle de l'image fixe (c'est-à-dire celle du Mac).

Evidemment ce mode de reconstitution de l'image est long (0,25), donc mal adapté à la transmission d'un objet en mouvement, mais c'est ici sans importance puisqu'il n'est utilisé que pour les images fixes.

Au contraire, dans une image rapidement mobile, l'œil du téléspectateur est beaucoup plus sensible à l'impression de « continuité » du mouvement (absence de saccades, telles qu'on peut en observer sur les premiers films muets) qu'à la définition de l'objet. **La définition de l'image par rapidité du mouvement** (produit qui définit la largeur de bande passante nécessaire à la transmission du signal) est, à notre connaissance, le meilleur existant à ce jour.

b) La seconde fonction est de permettre la transmission de l'image T.V.H.D. d'une façon telle, qu'elle puisse être restituée sur un récepteur conventionnel D ou D2-Mac avec la meilleure qualité possible.

Comme mentionné dans le rapport de M. Kunt, il faut déplacer artificiellement des « points » de la ligne d'une trame sur une ligne précédente (ou suivante) de la trame suivante. Ceci peut effectivement être à l'origine de distorsions géométriques locales pour certaines images T.V.H.D. critiques restituées sur un récepteur D ou D2-Mac. Pour minimiser cet inconvénient, voire l'annuler, le projet Eurêka 95 a développé un « filtre de compatibilité » qui sera utilisé – et son effet démontré – en août 1989, lors d'une présentation à l'I.F.A. (Berlin).

Cette difficulté résolue, la qualité de l'image T.V.H.D. reçue sur un téléviseur D ou D2-Mac devrait être similaire à celle d'une image directement transmise en D ou D2-Mac. Il est en effet faux d'écrire, comme le fait M. Kunt, que « tronquer le signal HD-Mac... fera apparaître certainement des défauts... » sur l'image D ou D2-Mac. Contrairement aux standards composites N.T.S.C., P.A.L. ou S.E.C.A.M., le **standard Mac s'accommode d'une largeur de bande passante variable** : si elle diminue, la définition de l'image diminue, mais sans créer de défauts dans la restitution.

c) Remarques :

— Les fonctions compression du signal et compatibilité sont largement indépendantes. Le taux de compression du signal est imposé par le rapport entre la largeur de bande passante à la prise de vues (35 à 70 MHz selon les cas) et celle des canaux de transmission définis internationalement (10 MHz environ pour les satellites de télévision directe). Il est intéressant de noter que le système de transmission compatible européen HD-Mac a le même taux de compression que le système japonais incompatible Muse. Il est donc inexact d'écrire, comme le fait M. Kunt, que « la contrainte de compatibilité limite ce qu'on peut faire dans la compression ».

— Le projet Eurêka 95 ne développe qu'un seul système de transmission HD-Mac, dont les schémas sont donnés par les figures 33 et 34 du rapport de M. Kunt. Les codeurs et décodeurs de ce système seront complètement réalisés mi-89 (et présentés à l'I.F.A., à Berlin, fin août 1989). Ceci ne signifie pas que le système HD-Mac n'évoluera pas d'ici sa mise en service en intégrant certains « raffinements » destinés à l'améliorer, mais ne restant pas dans le cadre d'un système unique de transmission de T.V.H.D. pour les pays ayant une fréquence de trame TV de 50 Hz.

Par contre, une version expérimentale simplifiée du HD-Mac a été présentée en septembre 1988 à l'I.B.C. (Brighton). Cette version — qui ne comportait que deux états (image fixe ou image rapidement mobile) au lieu de trois — a été réalisée pour plusieurs raisons :

- montrer à l'extérieur (Etats-Unis, Japon) la validité des thèses « compatibles » défendues par les Européens ;
- mener des tests réels de transmission du signal qui ne pouvaient pas être facilement réalisés par des simulations sur ordinateur ;
- effectuer ces deux opérations aussi rapidement que possible (soit, moins de deux ans après le démarrage du projet Eurêka 95).

— M. Kunt signale « l'inconvénient ... de reconverter un bon signal numérique en un signal analogique... plus vulnérable aux perturbations de la transmission », et regrette, à plusieurs reprises, qu'une transmission numérique de T.V.H.D. n'ait pas été retenue.

Tous les techniciens pensent — ou rêvent — à une transmission numérique du signal de T.V.H.D. C'est certainement une solution de l'avenir et la plupart des sociétés participant au projet Eurêka 95 collaborent à un programme européen Race dont l'objet est l'étude d'une transmission tout numérique de la T.V.H.D.

Mais cette méthode de transmission n'est pas mûre, ce que reconnaît d'ailleurs M. Kunt puisqu'elle constitue « une perche tendue à la recherche fondamentale ».

En effet :

- les algorithmes de compression du signal sont encore insuffisants pour permettre les transmissions d'un signal de T.V.H.D. dans les canaux dédiés à la télévision ;

- la définition de nouveaux canaux satellites permettant la transmission de ces signaux (par exemple : bande des 22 GHz) progresse lentement et difficilement (arbitrages entre une utilisation pour la télévision et pour les télécommunications par exemple) ;

- contrairement à ce qu'affirme M. Kunt, la vulnérabilité des signaux numériques aux perturbations de la transmission est plus grande que pour les signaux analogiques (sensibilité aux échos). Il faut donc les protéger et, à notre connaissance, aucune méthode satisfaisante pour les forts débits numériques n'a encore été proposée ;

- les réseaux par fibre optique constituent actuellement les meilleurs supports pour une transmission numérique. Mais ils sont encore coûteux et ils ne se développent, pour des applications grand public, que très lentement.

Pour ces raisons, la transmission numérique, qui est sûrement la technologie d'avenir, ne peut pas être une alternative valable au système Muse proposé par la N.H.K. Il faut s'y préparer — avec l'appui des laboratoires de recherche fondamentale et appliquée — mais la proposer actuellement serait une fuite en avant laissant le champ libre à un système analogique, Muse, inférieur sur de très nombreux points au HD-Mac.

4° La recherche fondamentale préalable à la T.V.H.D. n'a pas été assez poussée :

Cette affirmation n'est pas sans surprendre de la part d'un scientifique qui est à même de comprendre les étapes de recherche fondamentale qui balisent le développement de toute technique.

La télévision est une technique jeune, qui date des années 1930, et dont l'évolution est essentiellement fonction des progrès de la technologie ; les principes de base liés à l'échantillonnage spatiotemporel sont connus dès l'origine.

Les caractéristiques essentielles du système T.V.H.D. ont été déterminées au Japon entre les années 70 et 80 à partir d'expérimentations psychovisuelles.

L'analyse spatiotemporelle de l'image a fait un grand pas au début des années 70 avec le développement de la théorie de l'échantillonnage, suscitée par l'apparition de la technologie numérique.

L'analyse du mouvement, dans l'image, date des années 80 et ses applications dans le système T.V.H.D. (production, transmission, réception) sont fondamentales. **Une différence entre les systèmes T.V.H.D. européen et japonais qui n'aurait pas dû échapper à l'expert repose en particulier sur l'utilisation massive des derniers développements de ces techniques dans le système européen.** Ces techniques d'analyse du mouvement seront améliorées certainement dans l'avenir avec la modélisation des scènes que permettra la télévision en relief.

Il est clair que la recherche fondamentale est à la base du développement des concepts de base du système T.V.H.D. au Japon bien sûr, mais surtout en Europe.

Le système européen met en avant les techniques numériques à tous les niveaux, avec :

— le balayage progressif à la production qui apporte la qualité d'image ultime à l'analyse, et offre les meilleures performances de traitement envisageables à l'intérieur du studio (production d'image) ;

— la mise en œuvre des plus récentes techniques d'analyse du mouvement dans le codage HD-Mac pour la recherche du compromis résolution spatiale/temporelle qui permet des performances nettement supérieures à celle du système Muse japonais.

La transmission à l'aide d'une modulation analogique du signal HD-Mac généré par traitement numérique est la seule technique aujourd'hui qui permette d'assurer un *service opérationnel* de diffusion à l'ensemble des consommateurs, avec seulement une dégradation progressive de la qualité en limite de zone de couverture.

La transmission à l'aide d'une modulation numérique conduit à une disparition du service instantané en limite de couverture (dispositif de seuil). Beaucoup de chemin reste à faire pour asseoir un service opérationnel tout numérique (abstraction faite des conditions économiques d'implantation du service).

DEUXIÈME SOUS-PARTIE

LE POINT DE VUE D'UN INGÉNIEUR

(M. Ranquet.)

Présentation de l'expert et résumé.

Polytechnicien, ingénieur des Télécommunications, M. Ranquet, avant d'être directeur de la SOFRATEV (1) a travaillé au C.C.E.T.T. (2), puis a collaboré aux projets de satellites T.V.SAT et T.D.F.1.

Le point de vue de M. Kunt sur la transmission de la télévision haute définition était celui d'un universitaire, intéressé par la conception d'un système idéal, à partir d'une étude théorique fondamentale des méthodes de codage des signaux et d'élaboration des algorithmes.

L'office a demandé à M. Ranquet, en sa qualité d'ingénieur, une approche plus opérationnelle qui permette, par exemple, d'examiner les possibilités de diffusion de la télévision haute définition par les différents supports existants (le câble, le satellite, le réseau hertzien).

Après avoir souligné la nécessité de réduire la bande passante, très large, des signaux de télévision haute définition, M. Ranquet note que Muse et le H.D.-Mac, comme la plupart des systèmes de compression, ont recours à une combinaison de sous-échantillonnage, de filtrage adaptatif et de compensation du mouvement.

Grâce à sa conception plus récente que celle de Muse, le H.D.-Mac, offre, selon M. Ranquet, un meilleur traitement du mouvement (distinction de trois types de zones de l'image au lieu de deux : fixes, mobiles et intermédiaires ; compensation du mouvement plus fine et plus précise). Les données d'assistance numériques transmises en même temps que le signal H.D.-Mac (système D.A.T.V.) simplifient et rendent plus fiable le décodage.

La norme Muse souffre, pour M. Ranquet, de son incompatibilité (qui nécessite des transcodages coûteux et susceptibles de dégrader la qualité de l'image). N'envisageant pas de recourir au balayage progressif, « Muse, semble présenter – affirme notre expert – les défauts d'un système dont on a figé un peu trop tôt la configuration ».

Tous les supports sont, a priori, envisageables pour la diffusion de la télévision haute définition, mais le satellite, grâce à la modulation de fréquence, est moins limité en bande passante que le câble ou le réseau hertzien terrestre, et ses émissions peuvent utiliser des fréquences disponibles dans le domaine des ondes centimétriques (bande des 12 GHz). Les normes Muse et H.D.-Mac ont d'ailleurs été conçues pour ce type de diffusion.

L'utilisation des réseaux câblés pour transmettre la télévision haute définition nécessiterait une modification de leur plan de fréquences ou un accroissement de leurs capacités, étant donné la largeur du spectre du H.D.-Mac.

S'agissant du réseau hertzien terrestre, seule peut être envisagée la mise en place d'émetteurs de proximité à 1,5 ou 2 GHz, sauf dans le cas des Etats-Unis où la saturation des bandes de fréquences U.H.F. est moindre.

(1) SOFRATEV : Société française d'études et de réalisation d'équipement de radio et de télévision, filiale commune à T.D.F. (Télédiffusion de France), à la S.F.P. (Société française de production) et à l'I.N.A. (Institut national de l'audiovisuel).

(2) C.C.E.T.T. : Centre commun d'études de télédiffusion et de télécommunications.

Dans ce contexte, l'introduction en Europe de la télévision haute définition doit s'appuyer d'abord sur le satellite dont la puissance dépend à la fois de la taille acceptable des antennes de réception et de la limite de la charge utile pouvant être mise en orbite (il est possible de jouer aussi sur les paramètres de modulation et sur la largeur des canaux). Un satellite plus puissant permet d'obtenir une image de bonne qualité avec un meilleur rapport signal bruit et une antenne nettement plus petite.

Concernant, enfin, les amplificateurs de puissance embarqués, M. Ranquet estime que la plupart des ennuis de Thomson sont venus de ce que le groupe français ne fabriquait pas lui-même les boîtiers d'alimentation de ses tubes à onde progressive.

SOMMAIRE

	Pages
1. TERMES GÉNÉRAUX DU PROBLÈME	251
1.1. Qu'est-ce que la télévision à haute définition?	251
1.2. Capacités nécessaires	252
1.3. Contraintes dues à l'environnement	252
2. LA COMPRESSION DE BANDE PASSANTE	254
2.1. Sa nécessité	254
2.2. Les méthodes de compression de bande	254
2.3. Les systèmes actuellement proposés	256
3. LA NORME MUSE	258
3.1. Présentation générale	258
3.2. Caractéristiques importantes de Muse	258
3.3. Réalisation pratique du « codec » Muse	260
3.4. La famille Muse	261
3.5. Tentative d'évaluation de Muse	262
4. LE H.D.-MAC	263
4.1. Présentation générale	263
4.2. Le Mac	264
4.3. Caractéristiques du système H.D.-Mac	264
4.4. La réduction de bande passante en H.D.-Mac	265
4.5. Tentative d'évaluation du H.D.-Mac	267
5. LA TÉLÉVISION HAUTE DÉFINITION NUMÉRIQUE	267
6. LA TRANSMISSION ET LA DIFFUSION DE LA TÉLÉVISION HAUTE DÉFINITION NUMÉRIQUE	268
6.1. Les différents supports possibles	268
6.2. Y a-t-il un support et un type de modulation privilégiés	275
7. LA DIFFUSION DE LA TÉLÉVISION HAUTE DÉFINITION PAR SATELLITE ...	277
7.1. Le trio qualité de service-taille d'antenne-puissance du satellite	277
7.2. Les limitations de la puissance des satellites de diffusion	280
ANNEXES	288
1. Caractéristiques de Muse/H.D.-Mac	288
2. Bases techniques de la diffusion par satellite	289
3. Modulation de fréquence et modulation d'amplitude	292

1. TERMES GÉNÉRAUX DU PROBLÈME

1.1 *Qu'est-ce que la télévision à haute définition ?*

Il est important de définir le plus précisément possible la télévision à haute définition avant de discuter des mérites et faiblesses des solutions proposées.

En effet, les études sur l'amélioration de la qualité de l'image de télévision délivrée par les systèmes en norme P.A.L., S.E.C.A.M. ou N.T.S.C. ont commencé fort tôt, avant même dans certains cas leur introduction réelle, et ont donné un nombre important de propositions de télévision « haute qualité » ou « améliorée ».

Et c'est vrai que notre télévision actuelle (P.A.L., S.E.C.A.M. ou N.T.S.C.) est susceptible d'être sensiblement améliorée par des traitements rendus aujourd'hui possibles par les progrès technologiques : les récepteurs ne tirent pas entièrement parti des possibilités de ces systèmes. Cependant il est unanimement reconnu que ces améliorations seront de toute façon limitées, et ne permettront pas d'atteindre la qualité requise pour la télévision haute définition

Qu'est-ce que donc que la télévision haute définition ? C'est une télévision dont l'image est comparable à celle du film 35 mm. Cette déclaration d'intention doit être traduite en termes de caractéristiques propres des signaux et des systèmes de télévision haute définition C'est ce qu'ont fait les experts concernés au sein, par exemple, du C.C.I.R. (Comité consultatif international de radiocommunications), qui a déterminé plusieurs critères :

- l'image a une finesse (résolution spatiale) deux fois meilleure que celle de la télévision actuelle ;
- elle est visualisée sur un écran de grande surface (au-dessus de 0,80 m²) ;
- son format se rapproche de celui du cinéma (16/9 ou approchant) ;
- la luminosité et le contraste sont accrus (150 à 200 cd/m² et 50/1) ;
- elle bénéficie d'un meilleur rendu colorimétrique.

L'ensemble de ces conditions doit permettre l'observation de l'image à une relativement faible distance de l'écran (trois fois sa hauteur). Cependant cette observation rapprochée, sur grande surface et

à forte luminosité, va rendre beaucoup plus visibles les défauts (surtout de couleur) des systèmes de télévision actuels, ce qui est d'autant moins acceptable que l'on recherche une image de très haute qualité. La télévision haute définition devra donc être exempte de défauts tels que :

- les interactions entre luminance et couleur ;
- le papillotement sur les grandes plages lumineuses ;
- le scintillement de lignes ;
- l'instabilité de rendu des structures proches de l'horizontal.

Dans ces conditions, on obtiendra une image remarquable et qui, projetée sur grand écran, sera tout à fait comparable à celle d'un film 35 mm.

Enfin, de façon à maintenir une certaine cohérence, la télévision haute définition devra offrir au moins un son stéréophonique de haute qualité (du type disque compact).

1.2. Capacités nécessaires.

La transmission, la diffusion et la réception de signaux de télévision haute définition posent de nombreux problèmes, dont le premier provient de la capacité de transmission requise.

Imaginons en effet que l'on transmette la télévision haute définition en utilisant les systèmes de codage actuels de la télévision couleur, ne modifiant que les largeurs de bande des signaux composants. Il faudra alors augmenter la capacité des supports dans un rapport supérieur à 5 (plus précisément $2 \times 2 \times 16/9 \times 3/4 = 5,3$). Or les systèmes actuels sont déjà le résultat de compromis où la qualité a été sacrifiée aux contraintes de capacité requise...

Plus précisément un signal de télévision haute définition répondant aux conditions du paragraphe 1.1 aura des composantes dont le spectre d'origine s'étendra jusqu'aux environs de 30 MHz pour la luminance, et de 15 MHz pour la couleur.

1.3. Contraintes dues à l'environnement.

L'environnement dans lequel doit s'insérer la télévision haute définition impose plusieurs types de contraintes :

– physiques : il s'agit des limites imposées par les supports de transmission ou de diffusion, ou par les récepteurs réalisables. Il est clair que les supports et récepteurs actuels n'ont pas été conçus pour traiter des signaux de spectres si étendus ;

— réglementaires : l'organisation des ressources de transmission et de diffusion n'a pour l'instant pas pris en compte la télévision haute définition. Celle-ci devra soit s'adapter au cadre existant, ce qui lui imposera d'importantes contraintes, soit se créer un espace réglementaire approprié, qui ramènera inévitablement aux contraintes physiques ci-dessus ;

— économiques et industrielles : elles sont essentiellement liées à l'éventuelle nécessité de renouveler les différents maillons de la chaîne. C'est une situation classique chaque fois qu'une mutation importante apparaît, comme ce fut le cas lors de l'introduction de la télévision en couleur. Les solutions alors mises en œuvre furent très fortement déterminées par le souci de **compatibilité** avec le parc de récepteurs noir et blanc existant. La télévision haute définition se trouve aujourd'hui dans une situation à bien des égards équivalente.

De toutes ces contraintes, le dernier groupe — et en particulier la compatibilité — a pris dans le passé récent une importance grandissante. La première manifestation officielle de cette tendance est apparue à la réunion plénière du C.C.I.R. de 1986, où une tentative du Japon — secondé par les Etats-Unis d'Amérique — de faire recommander le système Muse comme norme unique de télévision haute définition a échoué à cause de (ou grâce à ?) son incompatibilité avec les récepteurs existants. Depuis lors des Etats-Unis, qui semblent avoir découvert l'ampleur du problème à cette occasion, ont radicalement modifié leur position : la F.C.C. (Federal Communications Commission) a imposé une double compatibilité à la télévision haute définition sur son territoire :

— compatibilité de fréquence : la télévision haute définition devra s'insérer dans les bandes de fréquence déjà allouées à la télévision ;

— compatibilité avec les récepteurs : les récepteurs N.T.S.C. actuels devront pouvoir recevoir les signaux de télévision haute définition (et les visualiser avec une qualité comparable à celle du N.T.S.C.), et inversement, les récepteurs télévision haute définition devront pouvoir recevoir le N.T.S.C.

Cette décision de simple bon sens — à notre avis — sera lourde de conséquences pour la télévision haute définition, et va très fortement orienter son évolution, même si elle laisse encore aux concepteurs une assez grande marge de manœuvre, comme semble en témoigner la multitude de propositions dernièrement déposées sur le bureau de la F.C.C...

2. LA COMPRESSION DE BANDE PASSANTE

2.1. *Sa nécessité.*

On se sera vite aperçu au cours de la présentation sommaire du paragraphe précédent que les conditions réglementaires, techniques et économiques ne laissent aucune chance à la transmission — et encore moins à la diffusion — de la télévision haute définition sous sa forme brute de signaux de 30 MHz de spectre ou plus : il faut, au minimum, réduire la bande passante de ces signaux (1). Les moyens pour ce faire pourront être très variés, et quelquefois à première vue assez éloignés du traitement spectral, mais le résultat sera bien que des informations associées à des fréquences élevées auront été véhiculées sur des systèmes incapables de transmettre ces fréquences.

2.2. *Les méthodes de compression de bande.*

Plusieurs types de méthodes de compression de bande passante existent. Nous allons en passer quelques-unes en revue, pour nous attarder sur celle du sous-échantillonnage, qui présente le plus d'intérêt.

- L'extension temporelle.

Pour un signal, la durée (ou la période) et l'occupation spectrale varient en sens inverse. Un moyen — très souvent utilisé — de réduire cette dernière est donc d'allonger la première. Cela pourrait se faire, mais avec un gain très limité. De toute façon, comme pour d'autres raisons il sera souvent utile de compresser au contraire les signaux de télévision haute définition, cette méthode ne sera pas utilisée dans le cas présent.

- La « redistribution » spectrale.

Par un traitement approprié, l'information présente dans la partie haute du spectre se trouve être véhiculée par des fréquences plus basses. Ce cas, relativement rare dans les télécommunications analogiques, est très fréquent en numérique, où il est très facile d'échanger l'occupation spectrale contre, par exemple, la puissance du signal ; mais il n'est pas réservé à ce domaine, et on a vu des propositions de systèmes analogiques fonctionnant sur ce principe.

1. A proprement parler, des signaux occupent une bande spectrale et un système de transmission présente une bande passante ; on suivra cependant l'usage courant en parlant aussi de la bande passante d'un signal.

● Le sous-échantillonnage.

Dans son rôle strict de moyen de réduction de bande spectrale occupée, le sous-échantillonnage peut être considéré comme faisant partie du groupe précédent. Il sera cependant traité séparément, eu égard d'abord à sa quasi-omniprésence dans les systèmes de traitement du signal modernes et ensuite à ses particularités propres qui le rendent particulièrement intéressant dans l'application que nous considérons.

On démontre facilement que si l'on échantillonne un signal occupant une bande de fréquence de 0 à F Hz à une fréquence supérieure à $2 \times F$ Hz, et que l'on filtre convenablement le signal ainsi obtenu, le résultat est strictement identique au signal initial, et en particulier occupe la même bande de fréquence : on n'a rien perdu, ni rien gagné ! C'est le cas de l'échantillonnage dit sur-Nyquist. Par contre, si le signal est échantillonné à une fréquence $2F_0$ inférieure à $2 \times F$ Hz, le résultat final n'est en général pas identique au signal d'origine : mais la partie 0- F_0 Hz du nouveau spectre contient toute l'information du spectre d'origine, qui donc, dans un certain sens, a été réduit. On a perdu sur la représentation du signal, ou, autrement dit, on fait une erreur de restitution. On est dans le cas de sous-échantillonnage, ou d'échantillonnage dit *sub-Nyquist*, qui, à première vue, devrait être proscrit, puisqu'il conduit à un signal déformé. Cela est vrai, sauf si cette déformation est tolérable ou si les propriétés du signal sont telles qu'elle peut être éliminée par un traitement approprié à la réception. Or c'est généralement vrai pour le signal de télévision, qui se trouve donc être un candidat privilégié au sous-échantillonnage. Cette présentation est parfaitement exacte dans le cas d'images fixes, et le « traitement approprié » est alors un filtrage temporel ; elle est plus approximative pour les images animées : c'est ce qui explique que le sous-échantillonnage associé au filtrage temporel ne donne pas de bons résultats sur les scènes en mouvement. On a alors recours à des filtres spatio-temporels, mais même dans ce cas, le résultat n'est pas parfait.

On retiendra de cette présentation un peu longue et didactique du sous-échantillonnage que :

- son application aux signaux de télévision est toute naturelle. Elle date d'ailleurs de fort longtemps ;
- il est associé à des filtres spatiaux, temporels, ou mixtes, plus ou moins complexes ;
- il est bien adapté aux images sans mouvement ; il l'est beaucoup moins aux images animées.

Ces quelques remarques expliquent pourquoi la presque totalité des méthodes de réduction de bande en télévision font appel au sous-échantillonnage, et laissent entrevoir où se trouveront alors les difficultés à résoudre. Bien souvent les codages ne diffèrent que par des

filtres ou des méthodes de traitement du mouvement plus ou moins astucieux.

2.3. Les systèmes actuellement proposés.

Les réalisations pratiques ou les propositions de systèmes font appel à l'une ou l'autre de ces méthodes, associée souvent à des astuces de modulation, qui tendent à limiter la bande spectrale occupée.

Il existe actuellement un certain nombre de systèmes de codage de télévision haute définition qui ont fait l'objet de démonstrations plus ou moins poussées, à côté d'une multitude de propositions sur papier de systèmes dont il est bien difficile de dire s'ils ont une chance de déboucher un jour sur des réalisations pratiques. Le tableau suivant donne une liste de quelques-uns de ces systèmes, avec un certain nombre de remarques sur les méthodes de codage, le degré d'avancement (ou parfois de sérieux...) du système, et aussi s'il s'agit de véritable télévision haute définition ou de télévision améliorée (T.V.A.). Beaucoup de systèmes ont surgi récemment, à la suite de l'appel de la F.C.C. ; ils semblent souvent n'être qu'une manière pour leurs auteurs de prendre date et d'« avoir un pied » dans le cercle de la télévision haute définition ; certains même annoncent très clairement que leur premier but est de recevoir des subsides...

Annexe 2
Tableau de systèmes TVHD (ou ATV) proposés
 (Source: documents Assemblée extraordinaire CCIR-11 - mai 89)

Organisation	Système	ATV	HDTV	Résolution		Transmission (MHz)		Remarques
				H	V	Terrestre	Satellite	
AVELEX	- -		X	660	660	6	- -	Proposition de système très compliqué. Nous semble peu sérieuse
B.T.A.	- -	X (?)		cf. NTSC		6	- -	D'origine japonaise; NTSC amélioré
DAVID SARNOFF R.C.	ACTV1	X		400	480	6	- -	Utilisation de nombreuses sous-porteuses: système sûrement fragile en transmission
	ACTV2		X	600	800	12	- -	Utilisation de 2 canaux à 6MHz; solution paraissant délicate
DEL REY	HD-NTSC		X	660	660	6	- -	Sous-échantillonnage de lignes. Résultat?
EU 95	HD-MAC		X	800	900	env. 12	10, 1	Projet européen de TVHD: v. §4 du rapport; non compatible NTSC
FAROUDJA LAB	Super NTSC	X		cf. NTSC		6	cf. NTSC	Déjà développé. NTSC amélioré de très bonne qualité
HIGH RESOLUTION SCIENCES	HRS-CCF	X		cf. NTSC		6	cf. NTSC	Simple amélioration de NTSC
NHK	MUSE		X	555	720	- -	8, 1	Voir §3 du rapport; non compatible NTSC
	MUSE 6	X		422	690	6	- -	Voir §3 du rapport; non compatible NTSC
	MUSE 9			422	690	9 = 6+3	- -	Utilise un canal supplémentaire de 3MHz; non compatible NTSC
	Narrow MUSE	?		568	650	6	- -	Non compatible NTSC
MIT	RC	X		300	600	6		Les 2 systèmes RC et CC sont pour l'instant spéculatifs (récepteur "agile"). Non compatible avec NTSC
	CC		X	762	675	6	6	
NY.IT	VISTA		X	750	900	6 + 3	2 canaux?	
N.A. PHILIPS	HD-NTSC	X		495	480	3 (ou 6+4)	- -	Compatible avec HDMAC-60, dont il est le complément terrestre Problème de résistance aux défauts de transmission
	HDMAC-60		X	495	480	- -	9, 5	
OSBORNE ASS.	OCS		?	?	6+3 ou 45Mb/s		OPSK	Canal complémentaire. Pas assez de détails connus
PRODUCTION SERVICES	GENESYS		X	?	?	6	- -	Proposition sérieuse? ressemble plutôt à un canular, mais ne demandons qu'à être convaincus
QUANTICON	QUANTV	X		NTSC		6	- -	Simple technique d'amélioration de NTSC
SCIENTIFIC ATLANTA	HD-BMAC		X	534	480	- -	10, 7	À partir du B-MAC
ZENITH	SPECTRUM COMP HDTV		X	612	720	6		Non compatible NTSC. Semble pour l'instant spéculatif

3. LA NORME MUSE

3.1. *Présentation générale.*

La N.H.K. au Japon poursuit des études sur la télévision à qualité améliorée, puis la télévision haute définition depuis le tout début des années 1980. Un certain nombre de publications, de conférences ou de déclarations a permis d'apprécier l'étendue de ces recherches, sans toutefois qu'il soit possible — faute d'informations détaillées — d'établir plus précisément les liens qui existent entre elles, et surtout avec le système finalement proposé sous l'appellation Muse. En fait, il faudrait dire « les systèmes », puisqu'un certain nombre de précurseurs a vu le jour ; que le système Muse lui-même a évolué dans ses quelque cinq ans de vie publique, et qu'enfin des systèmes dérivés viennent d'être publiés, pour répondre à des impératifs de différents ordres.

Arrêtons-nous sur la description que la N.H.K. a récemment donnée de son système, lors des derniers travaux du groupe spécialisé (G.T.I. 11/6) du C.C.I.R. Les caractéristiques principales sont rappelées dans le tableau de l'annexe 1.

3.2. *Caractéristiques importantes de Muse.*

Les principes de base de Muse sont les suivants :

- multiplexage temporel de la luminance et de la couleur ;
- compression de bande par sous-échantillonnage multiple (d'où le nom de Muse pour Multiple SubNyquist Sampling Encoding) ;
- filtrage adaptatif ;
- compensation du mouvement.

Ils s'accompagnent de particularités techniques telles que :

- transmission d'échantillons analogiques avec égalisation automatique ;
- synchronisation précise de l'instant d'échantillonnage ;
- préaccentuation non linéaire ;
- mise en œuvre du principe de luminance constante.

Enfin, parmi les caractéristiques techniques indiquées dans le tableau en annexe 1, nous soulignerons les quatre suivantes, pour leur importance pratique :

- nombre de lignes par image : 1 125 ;
- nombre d'images par seconde : 30 Hz ;
- image composée de deux trames entrelacées à 60 Hz ;
- bande de base transmise : 8,1 MHz.

Revenons un instant sur chacun des points énoncés ci-dessus :

3.2.1. *Multiplexage temporel luminance/couleur.*

Cette option — dans laquelle on reconnaîtra le principe de base des systèmes « Mac » — assure une complète indépendance de la luminance et de la couleur, et évite donc bon nombre des défauts classiques des normes « composites » P.A.L., S.E.C.A.M. et N.T.S.C. Elle est très certainement la plus sûre solution pour atteindre une image de très bonne qualité (mais elle n'est pas la seule). Elle oblige cependant à opérer une compression temporelle de certains de ces signaux (ici comme pour les systèmes Mac...), ce qui tend à augmenter la bande passante requise, et d'autre part rend plus visibles certains types de bruit.

3.2.2. *Sous-échantillonnage.*

Le sous-échantillonnage appliqué au signal de luminance réduit le nombre d'échantillons à transmettre dans un rapport 4. En fait, la donnée de l'ordre de sous-échantillonnage n'est pas suffisant. Il faut aussi connaître sa *structure*, ainsi que les filtrages qui lui sont associés.

Le système Muse utilise deux types différents de sous-échantillonnage pour les images en mouvement et pour celles qui sont fixes. Nous avons vu que cette distinction (image fixe/image en mouvement) était fondamentale pour le système à sous-échantillonnage : on en trouve ici une première illustration.

Intuitivement, on peut dire que l'on « a tout son temps » pour transmettre les détails d'une image fixe. Ainsi Muse, qui globalement ne transmet qu'un échantillon sur quatre, ne constitue-t-elle l'image d'origine qu'au bout de quatre trames (soit deux images) ; les échantillons non transmis restants (la moitié) étant remplacés par des estimations par interpolation.

3.2.3. *Filtrage adaptatif et compensation de mouvement.*

Le traitement exposé ci-dessus (il s'agit d'un filtrage particulier) donne évidemment de piètres résultats sur les parties animées des

images, car il leur fait perdre une grande partie de leur définition, et en plus rend mal leur mouvement.

La réponse à cette objection est double :

- L'étude des caractéristiques psychophysiologiques de la vision humaine montre que celle-ci est beaucoup moins sensible aux détails fins dans les parties en mouvement que dans celles qui sont fixes. Une perte de définition spatiale n'est donc pas en soi critique, et c'est à partir de cette constatation que la majorité des systèmes de codage a été élaborée ;

- Par contre, il importe de bien rendre le mouvement. Il faut donc, pour ces parties mobiles, un autre type de filtrage qui privilégie ce rendu, aux dépens de la finesse spatiale bien sûr. Et comme, sur une image, les zones en mouvement et les zones fixes peuvent se trouver n'importe où, à n'importe quel moment, on est tout naturellement conduit à la **solution du filtrage adaptatif, qui consiste à utiliser des filtres différents suivant le contenu de l'image ou des parties d'image.**

Malheureusement, un phénomène vient contrarier cette stratégie simple : sur certaines images, l'œil « s'accroche » sur les parties en mouvement, qui lui paraissent alors fixes, alors que le fond devient mobile. Prenons par exemple le passage d'un véhicule (course automobile...). Le sujet de l'image est ce véhicule, que l'œil va suivre, en oubliant de s'intéresser au « paysage » fixe. L'application brutale du filtrage adaptatif conduirait à rendre la finesse du paysage et le mouvement du véhicule, c'est-à-dire tout l'opposé de ce que le spectateur attend.

C'est pour atténuer les effets de ce phénomène que Muse comporte une **compensation de mouvement**. Celle-ci est relativement simple, et ne traite que les zooms, les panoramiques et les plongées/contreplongées, qui sont les cas les plus flagrants où l'œil s'accroche sur les parties mobiles de l'image. Le codeur Muse détecte et mesure tout mouvement d'ensemble de l'image, le traduit par un « vecteur mouvement » qui, transmis au décodeur, permet à ce dernier « d'anticiper » sur le contenu d'une zone à partir de ce qu'il connaît déjà.

3.3 Réalisation pratique du « codec » Muse.

Dans les diagrammes de principe du codeur et du décodeur Muse, on retrouve les blocs qui réalisent les différentes fonctions que nous avons passées en revue au paragraphe précédent associés à des organes classiques de traitement du signal, aux rôles plus obscurs, mais pas moins primordiaux.

C'est-à-dire sur le codeur :

– le bloc de prétraitement (filtrages, conversion analogique/ numérique à 48,6 MHz, correction inverse de gamma, matricage) ;

– le codeur T.C.I. responsable de la mise en forme des signaux luminance et couleur, et de leur multiplexage temporel.

Puis viennent *deux chemins de traitement distincts*, l'un pour les images fixes, l'autre pour les images mobiles : les modes de sous-échantillonnage et de filtrage y sont différents :

– un organe de détection du mouvement, qui est responsable du choix du chemin de codage effectivement utilisé, et de la détermination du vecteur mouvement ;

– suit le sous-échantillonnage final (à 16,2 MHz), et des « post-traitements » (correction de gamma, accentuation non linéaire, égalisation, conversion numérique/analogique et filtrage final) : nous reviendrons sur certains d'entre eux.

Enfin n'oublions pas les signaux sonores, qui sont codés en numérique, compressés dans le temps et transmis par multiplexage temporel. Quatre sons de haute qualité sont ainsi acheminés, dans un débit de 1,35 Mb/s.

Le décodeur est l'image réciproque du codeur, et ne sera donc pas détaillé.

Il n'est pas possible aujourd'hui de donner beaucoup plus de détails sur les différents blocs et les traitements qu'ils réalisent ; c'est ainsi que l'on sait peu de choses sur les filtrages effectivement utilisés, et sur les méthodes de compensation de mouvement (après une première version qui traitait l'image en bloc, il semble bien que Muse distingue actuellement plusieurs zones : combien ? comment ? les Japonais ne l'ont pas divulgué...).

Le signal Muse prêt à être transmis occupe une bande spectrale de 8,1 MHz.

3.4. *La famille Muse.*

Ainsi que nous l'avons déjà signalé, il existe aujourd'hui une famille de systèmes de codage dérivés de ou reliés à la norme Muse. Parmi ceux-ci on retiendra :

● Muse-T : destiné aux échanges entre studios et aux supports d'enregistrement, il présente une occupation spectrale plus importante

que celle de Muse. Sa fréquence d'échantillonnage est de 64,8 MHz (au lieu de 48,6 MHz) :

- la sous-famille des « A.D.T.V. » :

- « Narrow Muse » : très semblable à Muse, comporte une étape de réduction du nombre de lignes (750 au lieu de 1125 par image), pour être transmissible sur un canal R.F. à 6 MHz ;

- Muse-6 et 9 (ou N.T.S.C. Muse 6 et 9) : développés au moment où les Japonais ont compris que la compatibilité avec les récepteurs – et les plans hertziens – serait la pierre d'achoppement de la télévision haute définition, ces systèmes dérivés de Muse (?) ont des bandes spectrales de 6 et 9 MHz respectivement, et sont réputés compatibles avec les récepteurs N.T.S.C. existants (?) ou en tout cas avec la diffusion dans un ou deux canaux R.F. de 6 MHz.

3.5. Tentative d'évaluation de Muse.

Le trait fondamental de Muse est d'avoir été conçu en faisant abstraction de tout environnement. La N.H.K. est partie du principe que la télévision haute définition serait introduite « exnihilo », suivant un schéma ou *tout*, de la production à la visualisation chez le téléspectateur, devait être repensé. **Il en résulte un système qui n'est compatible avec rien.**

Le choix de 1125 lignes par image, qui conduit à un peu plus de 1000 lignes actives, est en soi logique, car cela correspond à une valeur légèrement supérieure au minimum nécessaire. Par contre, il ne permet pas de s'interfacer simplement avec les systèmes actuels à 525 ou 625 lignes. Bien sûr, cela est faisable, et la N.H.K. est en train de faire développer les équipements (en particulier les circuits intégrés) nécessaires ; mais outre que cela introduit des matériels (donc un coût) supplémentaires, **cet interfaçage par transcodage de normes ne peut que dégrader la qualité de l'image.**

De même, les 60 Hz fréquence trame, s'ils s'accordent bien avec le secteur japonais et américain, posent un problème à l'ensemble du reste du monde (à 50 Hz). Ils ne sont pas compatibles avec tout l'environnement N.T.S.C., qui demande 59,94 Hz, ce qui fait qu'un signal N.T.S.C. issu du transcodage d'un signal Muse ne peut pas être diffusé sur un réseau N.T.S.C. quelconque. On peut se demander les raisons de ce choix si proche, mais malgré tout différent, de la fréquence N.T.S.C. ...

Peut-être était-ce pour maintenir la compatibilité avec le cinéma. C'est peu probable, puisque celle-ci n'est pas directe ($24 = 30 \times 2/5$), et demande donc elle aussi un transcodeur, et que de toute manière, le même degré de compatibilité aurait été obtenu avec 59,94 Hz. ...

Au passage, on notera que l'image cinéma obtenue par ce moyen n'aura pas un rendu du mouvement idéal.

D'autre part, l'étude des caractéristiques de Muse donne le sentiment que ce système n'a pas tiré le meilleur parti possible des idées et méthodes de codage qu'il utilise. Par exemple, **la compensation de mouvement semble relativement peu évoluée, et les filtrages adaptatifs ne comportent que deux voies (une fixe, une mobile), ce que les experts de EU 95 ont jugé insuffisant pour leur système.**

Enfin, on peut se demander pourquoi Muse a choisi l'entrelacement d'ordre 2 ; c'est vrai qu'il présente des avantages (bande plus faible ; mais était-il nécessaire d'atteindre 8 MHz ? ; moins de papillotement). Par contre, il induit des défauts qui le rendent peu prisé par les concepteurs de télévision haute définition : il diminue la définition verticale, il augmente le scintillement de ligne, et la visibilité du lignage. On peut bien sûr y remédier à la réception en désentrelaçant, mais pourquoi ne pas le faire dès le départ ? Sans compter que la production tirerait certainement des avantages d'une analyse séquentielle de l'image... En fin de compte, **Muse semble présenter les défauts d'un système dont on a figé un peu trop tôt la configuration.**

4. LE HD-MAC

4.1. Présentation générale.

On peut dire en simplifiant que le système HD-Mac est né en mai 1986, à la réunion de l'assemblée plénière du C.C.I.R. Bien sûr, les pays européens avaient travaillé sur la télévision haute définition séparément, et souvent depuis longtemps. Bien sûr, l'idée de transformer le D ou D2-Mac en système de télévision à haute définition avait déjà été formulée. Il n'en reste pas moins que la prise de conscience à cette réunion du danger que pouvait présenter l'adoption comme norme unique du système Muse a bien été l'événement déterminant dans la décision de lancer un projet de télévision haute définition dans le cadre d'Eurêka.

Ce projet (EU 95) a pour but de définir une internationale pour la télévision haute définition, en l'appuyant sur des démonstrations de matériels en vraie grandeur, pour la prochaine assemblée plénière du C.C.I.R. (1990). Le HD-Mac est le résultat actuel de cette initiative ; il a été présenté en démonstration en septembre 88 à l'IBC de Brighton, et ce dans sa première version. Les membres du projet EU 95 travaillent en ce moment à la réalisation des équipements de codage et de décodage

de deuxième version, dans le but de les présenter à l'I.F.A. de Berlin, en août 1989, avec comme objectif final la réunion du C.C.I.R. de 1990 (1).

L'idée maîtresse du HD-Mac a été de définir une norme compatible avec les systèmes Mac qui doivent se développer dans les prochaines années, essentiellement grâce à la diffusion directe par satellite. Comme le HD-Mac a été conçu à partir du Mac, il sera utile de présenter succinctement ce dernier.

4.2. *Le Mac.*

Le Mac – sigle que l'on explicite en français par Multiplexage Analogique des Composantes – est le cœur commun, correspondant au traitement de la vidéo, aux différents systèmes B, C, D2, T.. (etc.) Mac.

Il permet de transmettre une image de qualité très nettement améliorée par rapport à celle des systèmes composites actuels.

Les points fondamentaux à retenir sont les suivants :

– transmission séparée dans le temps de la luminance et de la couleur :

– transmission séquentielle des deux composantes de couleur, une ligne sur deux :

– compression temporelle des signaux d'images afin de les « faire tenir » dans une ligne, et d'autre part d'occuper au mieux la bande de fréquence allouée ;

– maintien des caractéristiques classiques de l'image de télévision : 625 lignes (dont 576 actives) en deux trames entrelacées à 50 Hz, mais

– possibilité de visualisation en format 4/3 ou en format 16/9 :

– échantillonnage à 13,5 MHz (compatibilité avec la recommandation 656 du C.C.I.R. sur l'interface « 4:2:2 ») ; transformé par compression en 20,25 MHz.

4.3 *Caractéristiques du système HD-Mac.*

Les caractéristiques principales du HD-Mac sont indiquées dans le tableau de l'annexe. Les plus fondamentales sont les suivantes :

(1) La réunion extraordinaire de la commission II du C.C.I.R. qui vient de s'achever a reporté la date limite pour la recommandation d'une norme H.D.T.V. en 1994...

- multiplexage temporel de la luminance et de la couleur ;
- compression de bande par sous-échantillonnage ;
- filtre adaptatif ;
- compensation de mouvement ;
- transmission de « données d'assistance » au décodeur.

Autre particularités techniques :

- transmission d'échantillons analogiques avec égalisation automatique (filtre de Nyquist programmable) ;
- préaccentuation non linéaire ;
- principe de luminance constante.

Caractéristiques techniques non fondamentales mais de première importance :

- nombre de lignes par image : 1250 (= 2 × 625) ;
- nombre d'images par seconde : 25 ;
- image composée d'une seule trame (non entrelacement) ;
- bande de base transmise : 10,125 MHz.

On aura remarqué le **parallélisme frappant entre Muse et HD-Mac en ce qui concerne les principes fondamentaux de codage**. Ce parallélisme s'étend même aux particularités techniques « de deuxième rang ».

Les différences apparaissent avec les caractéristiques techniques notées (●), qui ne sont pas fondamentales mais qui ont des conséquences pratiques très importantes. Une autre gamme de différences se situe bien sûr dans des échantillonnages et filtrages utilisés, les méthodes de détection et compensation du mouvement, et celles de réduction de bande passante.

4.4. La réduction de bande passante en H.D.-Mac.

La réduction de bande en HD-Mac s'effectue essentiellement par sous-échantillonnage, comme pour Muse. Et comme pour Muse aussi, ce dernier est associé à du filtrage adaptatif et à de la compensation du mouvement.

Plus précisément, dans la version actuelle du HD-Mac, l'image est sous-échantillonnée afin de réduire la bande passante nécessaire dans un rapport 4. Pour ce faire, on distingue trois types de zones d'image :

- les zones fixes (dites à 80 ms) ;
- les zones intermédiaires (dites à 40 ms) ;
- les zones mobiles (dites à 20 ms).

Le sous-échantillonnage et le filtrage associé sont adaptés au type de zone à traiter.

Dans une première version, le HD-Mac ne distinguait que deux zones, mais il est apparu qu'il était utile d'ajouter une zone intermédiaire, le passage d'un extrême à l'autre étant visible sur l'image, et provoquant une certaine gêne.

La définition obtenue sur la voie fixe est celle de la télévision haute définition d'origine, tandis que celle de la voie mobile est celle du MAC standard (celle de la voie intermédiaire est... intermédiaire).

La dernière opération du système de codage à réduction de bande est le brassage des lignes HD (« shuffling » en anglais). Cette opération permet de transformer le signal HD 1250 lignes sous-échantillonné en un signal compatible avec la réception Mac (625 lignes). Elle consiste à affecter les échantillons d'une ligne sur deux aux deux lignes adjacentes et, d'autre part, à entrelacer les lignes à transmettre. On obtient ainsi un signal (après conversion numérique/analogique) qu'un simple filtrage passe-bas transformera en signal Mac à part entière. Autrement dit, il sera entièrement compatible avec les récepteurs Mac standard.

Voyons enfin comment HD-Mac utilise la compensation du mouvement. Ici aussi, le principe général employé ressemble à celui de Muse, mais la mise en œuvre en est différente. **Chez HD-Mac, le traitement du mouvement (choix échantillonnage/filtrage ; compensation du mouvement) s'effectue sur plusieurs milliers de petites zones par image, ce qui lui permet d'atteindre une grande précision et une grande finesse.**

D'autre part, **des « données d'assistance »** sont générées par le **codeur et envoyées au décodeur**. Elles indiquent à ce dernier les traitements effectués sur les différentes zones, et lui permettent donc de décoder correctement l'image. Ces données (nommées D.A.T.V.) occupent un débit de 1 Mb/s environ, et sont multiplexées avec les autres données et les sons.

L'avantage de cette solution est que le décodeur est, d'une part, beaucoup plus simple et, d'autre part, moins sensible aux perturbations de la transmission.

4.5. Tentative d'évaluation du HD-Mac.

Le plan de notre exposé nous incline à présenter cette évaluation du HD-Mac par comparaison avec celle de Muse (§ 3.5).

Nous avons déjà noté les nombreuses similitudes qui existent entre les deux systèmes, tout en indiquant qu'elles cachent souvent d'assez profondes divergences.

Le premier point concerne la compatibilité qui, pour le HD-Mac, est au moins à trois niveaux :

- compatibilité avec le D 2-Mac (par choix délibéré à la conception) ;
- compatibilité avec le cinéma (comme le S.E.C.A.M. ou P.A.L. actuellement) ;
- compatibilité avec la production (référence à l'interface R 656).

On aura noté, d'autre part, que la mise en œuvre des méthodes de codage communes à Muse et HD-Mac est plus évoluée chez ce dernier :

- adaptativité à trois chemins ;
- compensation du mouvement par petites zones d'image ;
- utilisation des données d'assistance pour alléger le décodeur et le rendre plus robuste.

En résumé, la comparaison de Muse et HD-Mac fait ressortir, d'une part, la différence d'approche des concepteurs face à l'introduction de la télévision haute définition dans le contexte télévisuel actuel et, d'autre part, **l'avantage dont a peut-être bénéficié EU 95 en définissant son système à une époque plus récente.**

Une comparaison directe des performances des deux systèmes serait tout à fait intéressante et instructive. Malheureusement, à notre connaissance, une telle expérience n'a jamais pu être faite.

5. LA TÉLÉVISION HAUTE DÉFINITION NUMÉRIQUE

On peut concevoir l'intervention des techniques numériques dans le codage de la télévision haute définition à deux niveaux :

- pour les traitements de signal, qui souvent sont plus faciles, plus efficaces, ou tout simplement uniquement possibles, sur des images

numérisées. C'est la situation rencontrée dans les systèmes Mac, HD-Mac et Muse. La transmission, elle, reste fondamentalement analogique :

- pour la transmission elle-même, sous forme numérique. On se trouve alors en présence d'un système de télévision haute définition numérique à part entière.

Les systèmes de télévision numériques (« classiques » !) sont déjà utilisés en production, en enregistrement, et souvent en transmission. Il n'est donc pas déplacé de se poser la question de la télévision haute définition numérique. Conceptuellement, il n'y a pas d'obstacle à penser la télévision haute définition numérique par simple transposition à des fréquences et des débits plus élevés de la TV numérique classique. Or ces derniers sont actuellement de l'ordre de 30 Mb/s, ou plus faibles. On peut donc espérer une télévision haute définition numérique aux environs de 150 Mb/s, ce qui est proche du troisième niveau hiérarchique de 140 Mb/s.

On remarquera que la transmission en numérique directe d'un signal HD-Mac — par exemple — demanderait de l'ordre de 330 Mb/s ; et celle d'un signal télévision haute définition non compressé, 1 Gb/s environ !

Il est donc possible que la télévision haute définition numérique voit le jour sous la forme de système à réduction de débit à 140 Mb/s ; c'est le niveau auquel se rattachent les transmissions de programme de télévision numérique inter-studios, et il est donc probable que des échanges en télévision haute définition par les mêmes moyens soient techniquement et économiquement intéressants. Par contre, il est hors de question de distribuer ou diffuser un tel signal, ni même un signal de débit moitié. Il n'y a donc pas de pression impérieuse pour diminuer à tout prix ce débit.

On peut donc en conclure que la télévision haute définition numérique a de grandes chances de voir le jour sous la forme d'un codage à réduction de débit classique, pour un débit en transmission de 140 Mb/s. A moins qu'une innovation révolutionnaire ne réduise à néant le précédent raisonnement...

6. LA TRANSMISSION ET LA DIFFUSION DE LA TÉLÉVISION HAUTE DÉFINITION

6.1 *Les différents supports.*

Pour la bonne pénétration de la télévision haute définition, il est souhaitable de pouvoir utiliser le plus de supports de transmission et de diffusion possible, avec le minimum d'adaptation possible. **L'ensemble**

des supports disponibles est *a priori* à envisager : hertzien, satellite, câble coaxial ou en fibre optique.

6.1.1. Voie hertziennne.

On peut imaginer d'utiliser la voie hertziennne classique, comme pour la télévision en VHF ou UHF. Il s'agit dans ce cas (presque) exclusivement de diffusion.

Il n'existe alors qu'une seule alternative :

- utiliser des bandes de fréquence déjà occupées (par la radio-télévision très probablement), et donc mettre en place un système compatible avec l'existant ;
- utiliser des bandes vierges, qui ne se trouvent qu'au-dessus de 20 GHz.

Cette dernière solution a été étudiée par plusieurs centres ; les résultats actuels ne sont pas très encourageants dans une optique à court ou moyen terme. Le matériel de réception grand public serait à développer à partir de zéro, ce qui demanderait encore un important travail en amont, de très lourds investissements, et de toute façon beaucoup de temps.

La première solution est celle qui a actuellement les faveurs des administrations qui s'intéressent à la diffusion hertziennne de télévision haute définition . Son corollaire immédiat et inévitable est la Compatibilité de la télévision haute définition hertziennne avec les autres services occupant les mêmes bandes.

Comme nous l'avons vu, la F.C.C. a demandé aux Etats-Unis que les projets de télévision haute définition qui lui seraient soumis soient compatibles avec le plan de fréquence existant VHF/UHF pour la télévision (et avec les équipements N.T.S.C. actuels). Ce plan est basé aux Etats-Unis sur des canaux de 6 MHz de large.

Les réponses obtenues font apparaître plusieurs modes de compatibilité :

i — la compatibilité « intégrale » : le signal télévision haute définition occupe un canal à 6 MHz ; il remplace le signal N.T.S.C. et peut être reçu par le récepteur actuel. Nous devons avouer que nous ne croyons pas en la possibilité de mettre au point un tel système ;

ii — la compatibilité « par addition » (« augmentation » en américain). Le signal occupe un premier canal à 6 MHz, plus tout ou partie (3, 4 ou 6 MHz) d'un deuxième canal. Ce dernier véhicule l'information spécifique de la télévision haute définition, le premier permettant la réception compatible par les équipements actuels ;

iii — la compatibilité « par duplication » (« simulcast »). Le signal télévision haute définition occupe une bande *a priori* indéterminée — mais dont il est préférable qu'elle soit de 6 MHz ! Il est émis en tirant profit des « trous » restants dans le plan fréquence VHF/UHF. L'ensemble des canaux actuellement utilisés n'est pas modifié.

Les deux derniers types de compatibilité demandent l'utilisation de canaux supplémentaires. Ces canaux existent-ils ? La F.C.C. a fait une étude afin de répondre à cette question. Elle a abouti à des résultats plutôt positifs :

- si on n'impose pas que le spectre total du signal soit continu ;
- Si on prend une distance minimale de réutilisation d'un canal de 160 km ;
- si on abandonne, ou au moins atténue, les « contraintes tabou » liées au N.T.S.C. (en particulier celles liées aux canaux adjacents), alors la *totalité* des assignations N.T.S.C. actuelles peut recevoir une assignation supplémentaire de 3 MHz, et 99,7 % une de 6 MHz.

Dans le cas où le spectre doit être continu, ces pourcentages tombent respectivement à 79,4 % et 73,4 %.

Le seul point délicat est l'abandon des contraintes de planification N.T.S.C. Cela n'est possible que si les signaux de la télévision haute définition sont à la fois beaucoup moins sensibles et beaucoup moins perturbateurs que le N.T.S.C. ; c'est une exigence importante, qui a effectivement été en général prise en compte pour les propositions de systèmes aux Etats-Unis.

Ce type de solution peut-il se transposer en Europe ? Les canaux hertziens y ont une largeur de 8 MHz, et on devrait se trouver, de ce point de vue, dans une situation plus favorable qu'aux Etats-Unis. En fait, il n'en est rien. Nous ne connaissons pas d'étude européenne similaire et aussi complète que celle de la F.C.C., et il n'y a pas de chiffres aussi précis disponibles. Cependant, la position de tous les experts en la matière consultés est identique : **la bande U.H.F. en Europe (de l'ouest) est déjà sursaturée.** Il n'est même pas utile de songer à lancer une étude sur le sujet... Un examen sommaire permet de se rendre compte de la situation. En effet, il existe actuellement sur l'ensemble des Etats-Unis, c'est-à-dire une superficie de 9 400 000 km², environ 1 400 émetteurs de télévision, auxquels il faut ajouter 5 000 stations de faible puissance. Or, on trouve sur les seuls 550 000 km² du territoire français un peu moins de 1 000 émetteurs et plus de 6 000 réémetteurs... On se convaincra facilement que les données du problème sont radicalement différentes de part et d'autre de l'Atlantique...

C'est ainsi qu'il y a longtemps que les pays de l'Europe de l'ouest ont utilisé les marges qui existaient dans leur plan de fréquence. Une

solution du type de celle envisageable aux Etats-Unis n'est donc pas possible. La diffusion hertzienne de la télévision haute définition aura beaucoup plus de chance de s'y introduire par l'utilisation de nouvelles bandes (mais là, on bute sur la remarque faite plus haut sur cette utilisation...), ou de bandes qui ne sont pas attribuées actuellement à la télévision. C'est ainsi que l'on pourrait songer à **mettre en place des émetteurs à 1,5 ou 2 GHz**, à l'instar des systèmes M.M.D.S. (1) des Etats-Unis ou du Canada, qui permettent de diffuser sur une zone restreinte plus d'une dizaine de programmes de télévision. L'Europe n'a pas encore adopté de semblables solutions, mais certains pays, comme la Grande-Bretagne, y songent : ce pourrait bien être une possibilité d'introduction de la télévision haute définition.

Cela étant, il est clair que les pays européens intéressés par la télévision haute définition comptent plutôt sur les satellites, en particulier de diffusion directe, pour la mise en place de ce nouveau service. C'est aussi le cas du Japon.

6.1.2. *Les satellites.*

Nous reviendrons plus loin sur la diffusion de la télévision haute définition par satellite, et en particulier sur les problèmes touchant aux antennes de réception et à la puissance émise. Pour l'instant, nous nous proposons de voir comment se posent en termes généraux le problème de la transmission et de la diffusion de la télévision haute définition par satellite.

Ce sera tout d'abord pour noter qu'il n'y a pas de problème de *transmission* de la télévision haute définition : **on pourra toujours utiliser les satellites de télécommunication**, dont les canaux sont d'une grande largeur de bande (32 ou 36 voire 72 MHz), en modulation de fréquence ; cette dernière est l'exemple type de méthode de modulation (de codage en fait) qui permet d'échanger facilement la puissance contre la bande passante ; il suffira d'utiliser au maximum la largeur de canal disponible, pour gagner sur le bilan d'énergie...

D'autre part, la dimension des antennes de réception n'est pas un problème crucial : les administrations, sociétés ou même têtes de réseaux auxquelles le signal est destiné pourront s'équiper des matériels nécessaires à une réception de bonne qualité, à des coûts acceptables pour elles.

Seul cas délicat actuellement : les transmissions dites de « contribution », ou, plus schématiquement, les échanges entre studios ou régies de télévision. Quelle sera la qualité requise ? l'encombrement spectral (ou le débit) correspondant ? Ces questions sont à l'étude. Elles n'interfèrent que très peu avec les choix à faire pour la diffusion, et donc pour la majorité des transmissions de la télévision haute définition.

(1) Multi points Microwave Distribution System.

La situation est assez différente pour la *diffusion* de la télévision haute définition. Dans ce cas, la taille et le coût des installations de réception sont bien plus critiques, et le choix du type de satellite plus lourd de conséquences. On distingue donc les satellites de diffusion (directe) de ceux de télécommunication. Ils sont en général plus lourds, plus puissants, et de moindre capacité que ces derniers. Mais, dans les faits, cette distinction tend à être minimisée : il n'y a aucun problème à utiliser un satellite de diffusion comme satellite de télécommunication ; ces derniers ont d'autre part une forte tendance à proposer des services de diffusion de télévision. En fin de compte, les points dont on est sûr sont d'ordre réglementaire.

— satellite de diffusion directe : il suit le plan de la C.A.M.R. 77, avec en général 5 canaux de 27 MHz, entre 11,7 et 12,5 GHz (1). Sa position orbitale et ses diagrammes d'antenne sont imposés ;

— satellite de télécommunication : caractéristiques définies au cas par cas, dans des bandes de fréquence autres que celle de la diffusion directe.

Les positions des différents pays face à la diffusion par satellite reflètent leurs situations face à la diffusion hertzienne terrestre : les Etats-Unis ne s'y intéressent que modérément, alors que l'Europe et le Japon en font le fer de lance de leur stratégie en T.V.H.D.

En fait Muse et HD-Mac ont été pensés pour être utilisés en premier lieu sur les satellites de diffusion directe. En particulier, leurs occupations spectrales en bande de base ont été déterminées dans ce but. (Pour Muse, la seule façon d'« entrer » dans 24 MHz — canal de BS II — était de descendre à 8,1 MHz ; pour HD-Mac, 10,1 MHz permettent de passer dans 27 MHz).

Cependant le Japon et l'Europe ne suivent pas le même chemin. Le Japon voit dans le satellite le moyen de lancer un service T.V.H.D. libéré de toute contrainte (ce qui est vrai). Le raisonnement européen est différent :

— la diffusion directe par satellite est en soi une révolution dans les mentalités, les équipements et la technologie. C'est l'occasion de lancer un nouveau type de service, si besoin est.

— la diffusion hertzienne terrestre de T.V.H.D. sera très problématique en Europe ;

— la stratégie évolutive D2-Mac puis HD-Mac permet d'introduire ce dernier à tout moment, sans que le téléspectateur ne s'en aperçoive.

(1) Caractéristiques valables pour les régions I et III du monde (au sens du C.C.I.R.), et donc pas pour les Etats-Unis ni le Japon.

La conclusion évidente de ces remarques est que **le satellite de diffusion est l'outil rêvé pour lancer la T.V.H.D. en Europe.**

6.1.3. *Les câbles.*

Troisième grand type de moyen de transmission et diffusion, le câble vient en complément des deux autres : aux Etats-Unis, la majorité des foyers est câblée ; en Europe, dans certains pays la presque totalité, dans d'autres des proportions variables, mais jamais négligeables. **Un service qui ne pourrait pas s'adapter au câble serait d'emblée voué à la disparition.**

Les situation rencontrées sont très variables ; elles vont de l'antenne collective distribuant les signaux captés sur un toit d'immeuble aux très grands réseaux câblés urbains, touchant des dizaines de milliers d'abonnés ; elles dépendent aussi des technologies de câble utilisées, et enfin des réglementations propres aux différents pays. Rien que pour les réseaux de câbles coaxiaux, il existe déjà de fortes disparités de caractéristiques. On comprendra qu'il sera difficile de donner une réponse simple et définitive à la question de l'introduction de la T.V.H.D. par câble...

6.1.3.1. *Le câble coaxial et la fibre optique.*

Le problème se complique quand on s'intéresse aux technologies utilisées. Les réseaux câblés peuvent comporter des câbles coaxiaux et des câbles optiques. D'autre part, un réseau global se divise en réseau de transport (de la source des signaux à des centres de distribution) et réseau de distribution (chargé d'aller jusque chez l'utilisateur). Or il existe — au moins en France — toutes les combinaisons possibles :

- réseau tout en fibre optique ;
- réseau tout en coaxial ;
- transport en fibre optique, distribution en coaxial ;
- transport en coaxial, distribution en fibre optique.

Les techniques utilisées pour les fibres optiques sont assez simples. On n'emploie actuellement que des fibres multimodes, qui ne permettent de véhiculer que un ou deux canaux. Dans les réseaux de transport, on installe donc autant de fibres qu'il y a de canaux à transmettre. Dans les réseaux de distribution, on trouve en général deux canaux sur une seule fibre arrivant chez l'utilisateur (plus rarement deux fibres à un seul canal). En transmission, on utilise concurremment les modulations d'amplitude et de fréquence, ainsi que la toute simple transmission en bande de base.

L'introduction dans ce contexte de la T.V.H.D. ne devrait pas poser de très graves problèmes : il faudra que des fibres soient libres, comme pour l'adjonction de tout nouveau canal ; peut-être sera-t-il nécessaire d'améliorer la qualité de certains amplificateurs sur la fibre véhiculant la T.V.H.D. : cela ne remet pas en cause l'ensemble du réseau.

Les organes de distribution ont de grandes chances d'être compatibles avec la T.V.H.D., et si cela n'est pas le cas, on pourra changer au coup par coup les équipements d'abonnés correspondant aux usagers désirant la recevoir.

Le transport et la distribution en câble coaxial utilisent massivement la modulation d'amplitude (MA-BLR) associée au multiplexage en fréquence. Un câble transporte plusieurs dizaines de canaux, arrangés suivant un plan de fréquence bien défini. Les bandes utilisées en transport sont le VHF et l'« interbande », c'est-à-dire les fréquences allant de 120 MHz à 450 MHz. En distribution, on utilise en plus l'U.H.F. (de 480 à 860 MHz). Actuellement d'ailleurs seul cette bande de fréquence est effectivement utilisée *en distribution* sur les réseaux dits « plan câble » français. En effet, la bande VHF est réservée aux programmes à accès conditionnel, qui n'ont pas encore été développés sur ces réseaux. C'est aussi tout naturellement à cette bande que l'on songe pour introduire le D2-Mac, et dans son sillage le HD-Mac. Les réflexions à ce sujet sont en cours, et la définition du plan VHF pour les réseaux câblés tiendra compte de ces possibilités. Il comportera très certainement, à côté de canaux de 8 MHz traditionnels sur les câbles coaxiaux français, des canaux de 12 MHz (1) en nombre encore à déterminer. Cela étant, l'arrivée de la télévision haute définition n'impliquera pas de modification du réseau de distribution : elle sera au même niveau que les autres canaux conventionnels nouveaux.

Les deux choses sont moins claires pour le *transport*. Dans ce cas, la totalité des bandes VHF et interbande est nécessaire pour obtenir les 30 canaux par câble annoncés. L'arrivée de la télévision haute définition aura moins deux conséquences :

— diminution de la capacité : un canal télévision haute définition tient plus de place qu'un canal actuel (pas uniquement à cause du spectre plus large) ;

— la profonde modification du plan de fréquence, sauf à décider qu'un canal télévision haute définition remplace deux canaux actuels (et même dans cette hypothèse les choses ne sont pas très simples).

Les implications de ces modifications ne sont pas encore bien évaluées. Au pire, on peut supposer qu'il sera possible de loger

(1) La compatibilité du HD-Mac avec les canaux à 12 MHz n'est pas encore annoncée par les spécialistes ; notre sentiment *personnel* est qu'elle doit pouvoir être atteinte.

quelques canaux télévision haute définition dans le plan actuel modifié, puisqu'on n'est pas encore arrivé à la capacité maximum des réseaux de transport. Au-delà, on pourra doubler le câble, soit par un câble, soit par un câble identique, soit par une fibre optique : toutes les hypothèses sont ouvertes.

6.1.3.2. *La BIS.*

Le HD-Mac étant présenté comme prolongement du D2-Mac, il est naturel de s'interroger sur la possibilité de l'introduire sur les réseaux câblés directement sous la forme utilisée pour la diffusion par satellite. Une solution consiste à transmettre la Bande Intermédiaire Satellite (BIS), située entre 950 et 1750 MHz, dans laquelle sont transposés les signaux dès leur réception. La discussion précédente montre que la question n'a pas de sens dans le cas des réseaux à transport en fibre optique, où il faut de toute façon démultiplexer et revenir en bande de base.

Pour les réseaux en transport coaxial, on remarquera que les fréquences maximum actuellement transmises sont de l'ordre de 450 MHz, voire 860 MHz. Leur adaptation à la bande 950-1750 GHz amènerait à des interventions d'une importance exceptionnelle. Il faudrait en effet étendre la bande passante des amplificateurs, ce qui serait laborieux mais pas impensable ; mais il faudrait surtout modifier une multitude d'éléments passifs sur tout le réseau, ce qui entraînerait des coûts absolument inacceptables.

On peut conclure qu'à l'heure actuelle, la distribution de la BIS n'est envisageable que sur de très petits réseaux, du types antennes communautaires (rayon de quelques centaines de mètres).

6.2. *Y a-t-il un support et un type de modulation privilégiés ?*

● *Les supports.*

Les chapitres précédents ont montré qu'il est tout à fait possible d'utiliser tous les supports envisageables pour transmettre et diffuser la télévision haute définition, d'ailleurs les différents projets passés en revue s'adressent à l'ensemble de ces supports. Par contre, il est vrai que le choix du support n'est pas du tout indifférent. L'environnement général dans lequel s'insère la télévision haute définition et les conditions économiques associées font que certaines possibilités sont plus favorables que d'autres ; d'autre part, cet environnement et ces conditions peuvent fortement varier d'un pays à l'autre, et choix optimum n'est sûrement pas uniforme. **La seule règle universelle pour l'instant est que, quoi qu'il arrive, la télévision haute définition une fois apparue devra être distribuée sur les réseaux câblés ; la question revient donc à se demander si elle utilisera aussi la voie hertzienne ou le satellite, ou les deux.**

D'après ce que nous avons déjà vu, on peut estimer qu'aux Etats-Unis la télévision haute définition a au moins autant de chances de s'imposer en diffusion hertzienne que par satellite. Par contre, en Europe de l'ouest et au Japon, le satellite de diffusion est en meilleure position. Cela tient, pour ces derniers pays, à la saturation de leurs espaces hertziens et au concours de circonstances (pas entièrement fortuit) qui fait que la question de la télévision haute définition est posée juste au moment où on se préoccupe d'organiser le service de diffusion par satellite.

Dans ce contexte, le cheminement proposé par l'Europe au sein du projet EU 95 nous semble procéder d'une logique irréfutable, et sans que ce soit en théorie obligatoire, **l'introduction en Europe de la télévision haute définition peut difficilement, en pratique, ne pas profiter de l'occasion offerte par les satellites de diffusion.**

- Les modulations.

Le choix de la modulation dépend de celui des supports. Un premier cas est simple, et appelle une réponse immédiate :

la diffusion par satellite s'effectuera en modulation de fréquence.

Cela tient tout simplement au gain de puissance que procure cette modulation par rapport à la modulation d'amplitude (voir annexe 3).

Par contre, dans les cas du câble et de la diffusion hertzienne, la réponse n'est pas évidente.

– *En hertzien :*

Si on cherche la compatibilité avec les services existants, la modulation d'amplitude s'impose, car elle est moins gourmande en bande passante. Maintenant, nombre de propositions utilisent des modulations hybrides (double modulation d'amplitude en quadrature, modulation de phase...) qui s'écartent des schémas simples utilisés actuellement pour la télévision.

Si on veut mettre en place un service télévision haute définition dans des bandes vierges, le choix de la modulation est ouvert, et sera guidé plus par des considérations de compatibilité ou de disponibilité d'équipements que par des raisons de simple technique.

– *En câble :*

Le câble ressemble beaucoup à l'hertzien... **C'est aussi un support très limité en bande passante.** On peut en conclure que le premier réflexe du concepteur sera d'essayer la modulation d'amplitude. Il ne se tournera vers la modulation de fréquence que si la première ne conduit

pas à une qualité (rapport signal à bruit) suffisante sur les réseaux existants. La modulation de fréquence lui permettra alors de gagner les décibels qui manquent, mais ce sera au détriment du nombre maximum de canaux transmissibles.

7. LA DIFFUSION DE TÉLÉVISION HAUTE DÉFINITION PAR SATELLITE

Il était tentant pour les promoteurs de la télévision haute définition de choisir les satellites de diffusion directe comme premier véhicule de ce nouveau service, et, en effet, plusieurs systèmes proposés sont de toute évidence taillés dans cette optique. Il en est ainsi en particulier de Muse et du HD-Mac, mais aussi de quelques autres, comme le HD-Mac-60 de Philips, le HD-B.Mac de Scientific Atlanta, etc.

Comme nous l'avons déjà vu, cette diffusion se fera presque à coup sûr en modulation de fréquence, les seuls paramètres de modulation restant à définir étant l'excursion de fréquence et la préaccentuation à appliquer pour tirer le meilleur parti du canal satellite offert. Cela fait, **la qualité de la liaison dépendra directement de la puissance émise par le satellite dans la direction des stations de réception et des facteurs de mérite de celles-ci.**

Qualité, normes de modulation, puissance émise et facteur de mérite des équipements de réception forment l'ensemble de paramètres sur lesquels on peut jouer pour « optimiser » le système de diffusion par satellite.

7.1. *Le trio qualité de service/taille d'antenne/puissance du satellite.*

- *La qualité de service recherchée.*

Une chose dont on est sûr, c'est que le passage à la télévision haute définition et donc à une meilleure définition ne saurait s'accomoder d'une baisse de la qualité de l'image sur d'autres paramètres, bien au contraire.

L'ensemble des radiodiffuseurs est d'accord pour appliquer à la télévision haute définition la même procédure que celle qui a été adoptée par le C.C.I.R. jusqu'à présent : le service est acceptable si « pendant la presque totalité » du temps l'image n'est dégradée que de façon peut-être sensible, mais non gênante : ce niveau se traduit par la note 4 sur l'échelle à 5 notes du C.C.I.R.

La notion « presque totalité » est généralement prise, en communication par satellite, comme égale à 99 % du temps (plus précisément pendant le mois le plus défavorable).

Là s'arrête ce que l'on peut dire de sûr et d'universel. En effet, la correspondance entre la note de dégradation et le rapport signal à bruit dépend fortement du système de codage utilisé (et accessoirement de la méthode d'évaluation des expérimentateurs...). D'autre part, la perte de niveau subie pendant 1 % du temps est fonction de la position géographique et surtout de la fréquence utilisée.

Il faut donc abandonner les généralités et fixer des hypothèses pour aller plus avant.

● *Cas du HD-Mac sur TDF 1 et Eutelsat II.*

Dans le cas de TDF 1 et Eutelsat II, la fréquence utilisée est à peu près la même (environ de 12 GHz) ; sur la zone de couverture commune, les accidents de propagation dues à l'atmosphère sont donc identiques.

Par contre, ces deux satellites diffèrent par au moins deux caractéristiques :

— TDF 1, satellite de diffusion, émet une forte Pire (61 dBW en limite de zone de couverture), et présente des canaux de 27 MHz de large ;

— les Eutelsat II, satellites de télécommunication, émettront une Pire plus faible (52 dBW sur la même zone), et présenteront des canaux plus larges en fréquence (36 MHz).

Du fait des disparités de largeurs de bande des canaux, les paramètres de modulation pour transmettre le même HD-Mac seront différents (excursion de fréquence, sûrement ; préaccentuation peut-être). Il en résulte que **la même qualité d'image sera obtenue pour des rapports signal à bruit différents**. On peut avancer aujourd'hui les valeurs suivantes, pour la note 4 :

- TDF 1 18 dB (valeur à confirmer)
- Eutelsat 15 dB (valeur estimée)

Concernant les diamètres d'antenne nécessaires à la réception de ces satellites avec cette qualité, on obtient les résultats suivants :

- pour TDF 1 65 cm.
- pour Eutelsat 150 cm.

Il peut être utile de faire le même exercice, en oubliant volontairement de tenir compte des marges nécessaires pour couvrir le vieillissement, le dépointage, etc... On obtient alors pour TDF 1 56 cm et pour Eutelsat II 129 cm.

● *Quelle puissance choisir pour un satellite ?*

La puissance du satellite devant diffuser la télévision haute définition va dépendre très fortement de la taille des antennes que l'on acceptera d'installer.

L'exemple de TDF 1 et Eutelsat II, traité ci-dessus, a montré l'importance de l'influence des hypothèses de base sur cette taille. Finalement, le problème peut se résumer en trois questions :

- i — obtient-on la qualité de service voulue ?
- ii — prend-on des marges de sécurité ? et de combien ?
- iii — quelle taille d'antenne vise-t-on ?

Une fois le système de codage télévision haute définition choisi, la puissance du satellite est fixé par les réponses à ces questions :

i — Qualité : il nous semble que l'on peut répondre sans hésitation : *nous n'avons pas le droit de mettre en place une télévision haute définition de deuxième choix*. Une décision contraire viderait la télévision haute définition et de tout son sens et de son intérêt.

ii — Les marges : **il est impensable de lancer un système économiquement aussi lourd que la diffusion de T.V.H.D., auprès du grand public, sans tenir compte d'un minimum de marges**. Le téléspectateur ne doit pas avoir à reprendre sans cesse des réglages, ni à entretenir son installation outre mesure : celle-ci doit se faire oublier, comme c'est le cas pour tout équipement complexe déjà introduit auprès du grand public.

iii — Taille des antennes : nous ne connaissons malheureusement pas de réponse définitive à cette question ! Seuls éléments, évidents d'ailleurs : elles devront être les plus petites et les moins chères possible. Cela dit, il n'existe pas de frontière bien définie qui soit « la dimension idéale ».

La puissance du satellite destinée à la T.V.H.D. ne sera donc pas déterminée par les seules considérations techniques sur les antennes de réception, mais plutôt par l'économie globale du système (poids satellite/antenne) et la réaction du téléspectateur-client (sensibilité à l'encombrement, à la simplicité, au coût, d'où taux de pénétration). Notre propos n'étant pas l'étude économique de la T.V.H.D. par satellite, nous nous limiterons à présenter les données du problème. Nous avons déjà analysé le côté réception de la chaîne ; intéressons-nous maintenant au satellite lui-même.

7.2. Les limitations de la puissance des satellites de diffusion.

Toute la discussion précédente sur les diamètres d'antenne n'aurait aucun intérêt si on pouvait choisir à sa guise la puissance émise par les satellites. Or, il est bien connu que ce n'est pas le cas.

En effet, la conception d'un satellite, quel qu'il soit (1), et des équipements qui le composent est dominée par cinq grandes exigences :

- i — faible poids,
- ii — faible volume,
- iii — faible consommation en énergie,
- iv — grande robustesse,
- v — grande fiabilité et durée de vie.

Les trois premières conditions sont étroitement liées, et imposent ensemble une limite à la puissance émise par le satellite.

7.2.1. Les problèmes techniques généraux liés à une forte puissance.

Emettre une forte puissance à partir d'un satellite se heurte à trois types de problèmes :

- la disponibilité de cette puissance : la seule source d'énergie actuellement utilisable est le générateur solaire. La puissance qu'il fournit est à peu près proportionnelle à sa surface. Pour augmenter la première, il « suffit » donc d'agrandir cette dernière. Malheureusement, ce raisonnement a une limite, imposée par le poids, l'encombrement et la robustesse de l'ensemble des panneaux solaires (exigences (i), (ii), (iv)). Il est actuellement difficile de dépasser quelques kilowatts. Par exemple, sur T.D.F. 1, satellite puissant s'il en est..., les générateurs solaires produisent entre 3 000 et 4 000 W ;

- la disponibilité d'amplificateurs délivrant une forte puissance. Il existe bien sûr une multitude d'équipements fournissant de très fortes puissances *au sol*. Par contre, l'ensemble des exigences spatiales (i) à (v) fait que les amplificateurs de puissance *pour satellite* sont d'une conception et d'une réalisation très délicates, et par suite sont très rares. Nous reviendrons plus en détail sur cet élément critique du satellite ;

- le contrôle thermique du satellite. Les amplificateurs de puissance consomment plus qu'ils n'émettent : leur rendement est inférieur à un (comme pour tout système en ce bas monde). Les constructeurs essaient bien sûr d'obtenir le plus fort rendement de façon à émettre le maximum de l'énergie dont dispose le satellite. Mais il y a une deuxième

(1) On considère ici les satellites, lancés de la terre par une fusée ou une navette spatiale. Le problème sera différent pour les satellites assemblés directement dans l'espace.

raison à vouloir à tout prix un haut rendement ; c'est qu'il faut évacuer du satellite toute l'énergie « gaspillée » par l'amplificateur, faute de quoi les températures limites autorisées des équipements seraient largement dépassées. Ce problème est loin d'être secondaire ; sa solution est d'abord délicate, et ensuite détermine pour une bonne part la taille et le poids du satellite. (C'est ainsi que les dimensions de T.D.F. 1 ont été imposées par la taille des panneaux solaires et des radiateurs thermiques : deux des éléments directement liés à la puissance du satellite...)

Une application numérique simple permettra de fixer les idées : soit un satellite dont les générateurs solaires produisent 4 kW. Comment peut-on utiliser cette puissance ?

D'abord, le satellite en consomme une partie pour ses besoins propres, que l'on estimera à 1 kW. Reste : 3 kW.

Ensuite, les meilleurs amplificateurs de puissance ont un rendement approchant 50 %. Le satellite pourra donc émettre 1,5 kW environ au total.

Cette puissance pourra être répartie, au choix, entre :

6 canaux de 250 W ;

ou 7 canaux de 200 W ;

ou 15 canaux de 100 W ;

ou 30 (!!) canaux de 50 W.

Un dernier problème, de type différent de ceux que l'on vient de considérer, se pose au satellite géostationnaire de forte puissance : celui des éclipses. En effet un satellite géostationnaire, c'est-à-dire placé dans le plan de l'équateur à 36 000 km d'altitude, est soumis à des éclipses du soleil par la terre au cours de deux périodes annuelles, autour des équinoxes. Ces éclipses se produisent évidemment la nuit, et peuvent durer plus d'une heure. Dans l'état actuel de la technique, il est exclu de continuer à émettre de fortes puissances pendant une telle éclipse ; en effet, les générateurs solaires ne sont pas éclairés, et ne produisent donc pas d'énergie ; d'autre part il n'est pas pensable de stocker l'énergie nécessaire au maintien des émissions (les batteries correspondantes seraient beaucoup trop lourdes et encombrantes). Il faut donc se résoudre à accepter une coupure du service au cours de ces éclipses. La mise en position du satellite 15 à 20° plus à l'ouest que le pays qu'il dessert permet de placer ces interruptions à des heures creuses (2 à 3 heures du matin), et il ne semble pas que ce problème doive apporter une gêne sérieuse.

7.2.2. *L'exemple de T.D.F. 1.*

7.2.2.1. *Présentation du satellite.*

T.D.F. 1 (comme T.V.S.A.T.) est un satellite de diffusion directe conçu et réalisé par l'Allemagne et la France dans le cadre de la réglementation de l'Union Internationale des Télécommunications (U.I.T., règlements de la C.A.M.R. 1977). Cela veut dire qu'il fonctionne dans la bande de fréquence 11,7-12,5 GHz, qu'il ne pouvait embarquer qu'un nombre de canaux inférieur ou égal à 5 (nombre maximum attribué à la majorité des pays lors de la C.A.M.R.), et qu'il délivre sur chaque canal une P.I.R.E. maximum de 64 dBW. Il pesait lors de son lancement 2 tonnes environ, dont une moitié représentait le carburant et l'autre le poids du satellite proprement dit (poids « sec »).

Les générateurs solaires (« les ailes ») déployés ont une envergure d'une vingtaine de mètres. Ils délivrent en fin de vie une puissance d'environ 3 kW. (Le satellite avait été prévu pour une durée de vie de sept ans. Celle-ci a été portée à dix ans vers la fin du projet.)

7.2.2.2. *La charge utile.*

La charge utile est la partie du satellite directement concernée par sa mission de diffusion directe. Elle comprend :

- les antennes d'émission et de réception des signaux T.V. ;
- le répéteur, ensemble d'équipements dont la fonction est essentiellement de changer de fréquence les signaux reçus et de les amplifier jusqu'au niveau nécessaire pour obtenir la P.I.R.E. désirée.

Les antennes étaient de la responsabilité d'Alcatel Thomson Espace (A.T.E.). Leur réalisation a été délicate car T.D.F. 1 couvre un territoire plutôt étendu, avec une P.I.R.E. élevée. Or ces deux caractéristiques sont contradictoires. Plus le gain d'une antenne est grand, plus son diamètre est grand, mais plus étroite est la zone qu'elle couvre).

Le répéteur était lui aussi de la responsabilité d'A.T.E., certains équipements étant conçus et réalisés par eux, d'autres par A.T.N. (ex-A.E.G. en Allemagne) ou E.T.C.A. (Belgique).

Les éléments essentiels du répéteur de T.D.F.1 :

- le « BSU » : unité de réception et de changement de fréquence ;
- les amplificateurs. Dans chaque canal on trouve un amplificateur pilote et un amplificateur de puissance ;

— les filtres d'entrée et de sortie.

T.D.F.1 comporte cinq canaux (les n^{os} 1,5,9,13,17 du plan de la C.A.M.R. 77) de 230 W environ ; le canal 9 est équipé de deux amplificateurs de puissance, en redondance passive.

De tous les équipements du répéteur, l'amplificateur de puissance est le plus critique ; c'est lui qui a demandé le plus d'efforts de la part des concepteurs et constructeurs, et c'est d'ailleurs le seul qui se soit fait remarquer en dehors du milieu très fermé des responsables du projet et des industriels impliqués.

Il a été dit à plusieurs reprises que T.D.F. 1 était d'« une technologie dépassée ». Nous devons avouer que nous n'avons jamais très bien compris ce que cela voulait dire, ni à quoi exactement il était fait allusion. S'agissait-il vraiment de la « technologie » du satellite ? Si oui, on ne pouvait qu'être surpris par cette déclaration, car :

— **il est une règle absolue dans le domaine des satellites commerciaux qui veut qu'on n'embarque jamais des technologies de pointe qui n'aient déjà largement été éprouvées.** On n'a pas le droit de prendre des risques sur la fiabilité du satellite ;

— les seuls problèmes technologiques qui avaient un lien avec les discussions évoquées étaient liés aux amplificateurs de puissance. Or curieusement ces amplificateurs représentent le point le plus avancé de la technologie correspondante à l'heure actuelle (on le leur a même à l'occasion reproché...).

Donc si T.D.F. 1 était blâmable, c'était peut-être pour la raison contraire... Peut-être ne s'adressait-on pas réellement à la technologie, mais plutôt à la conception du système global. La réponse sera alors donnée à l'issue du débat actuel sur la T.V.H.D., et — là encore — il y a de grandes chances que la situation T.D.F. 1 se révèle comme une sage manière de préserver l'avenir.

En effet, les caractéristiques électriques du récepteur de T.D.F. 1 présentent des marges suffisantes pour permettre sans aucune sorte de difficulté la diffusion de signaux D2-Mac/Paquet et même HD-Mac. Finalement, s'il y a une seule question à se poser à son sujet, c'est bien celle du choix de la puissance des amplificateurs.

7.2.2.3. Les amplificateurs de puissance de T.D.F. 1.

Les amplificateurs de puissance de T.D.F.1. sont réalisés avec des tubes à onde progressive (T.O.P.), associés à des boîtiers d'alimentation qui leur fournissent les tensions électriques dont ils ont besoin. L'ensemble constitue l'amplificateur, et s'appelle en abrégé A.T.O.P. (pour amplificateur à onde progressive). L'alimentation, elle, est universellement dénommée E.P.C. (pour Electronic Power Conditioning) ; elle ne

sera pas traitée en détail ici, bien qu'elle soit un équipement délicat et très complexe — assurément l'équipement le plus complexe de tout le satellite — et qu'elle détermine en grande partie la qualité de l'amplificateur A.T.O.P.

Sur T.D.F. 1, sont embarquées deux sortes d'A.T.O.P. :

— les A.T.O.P.-A dits « A.N.T. », réalisés par cette compagnie à partir de tubes fabriqués par A.E.G. (notés T.O.P.-A), dont la puissance maximum est de 260 W ;

— les A.T.O.P.-T dits « Thomson », réalisés par Thomson à partir de tubes fabriqués par cette même compagnie (les T.O.P.-T), de puissance maximum 230 W.

Les E.P.C. dans les deux cas ont été fournies par A.N.T.

On voit tout de suite apparaître un des facteurs qui auront pesé lourd sur l'histoire du développement des A.T.O.P. de T.V.S.A.T. et de T.D.F. 1 : c'est le déséquilibre existant entre Thomson et A.N.T. Ces deux compagnies ont été en position de concurrence, à certains moments assez féroces..., sur cette affaire. Or, Thomson a été tributaire d'A.N.T., par le biais des E.P.C., tout au long du développement et de la fabrication de ses A.T.O.P. C'était une position bien inconfortable, qui ne pouvait qu'amplifier les inévitables difficultés rencontrés par la compagnie française. L'affaire a bien failli se terminer pour elle par un « fiasco » complet. (T.V.S.A.T. n'a été équipé que d'amplificateurs A.N.T. T.D.F. 1, pendant un certain temps, ne comportait plus qu'un seul amplificateur Thomson, contre cinq A.N.T. L'équilibre n'a pu être rétabli que très tardivement.) **On peut se demander si, dans le cas où l'existence en France d'un constructeur de T.O.P. de forte puissance est souhaitable, il ne serait pas de bonne politique d'inciter Thomson à développer elle-même ses E.P.C. (1).**

Un autre déséquilibre provenait du fait que le tube A.E.G. paraissait au début du projet avoir atteint un stade de développement plus avancé que celui de Thomson. Cette dernière compagnie a par la suite consenti des efforts considérables pour amener son tube au niveau de qualité requis pour être embarqué sur le satellite. Or, il faut être bien conscient que l'étude et le développement de ce type de tube, puis la mise en place d'une unité de production, représentent des investissements énormes en ressources humaines, et en moyens techniques et financiers : les technologies mises en œuvre sont très délicates et « pointues » ; le savoir-faire correspondant est rare ; enfin les progrès accomplis ne peuvent s'apprécier qu'après plusieurs cycles de fabrication : ils sont lents, et les erreurs très onéreuses...

(1) La remarque vaut aussi pour les amplificateurs de plus faible puissance : il est à peu près certain que Thomson aurait eu beaucoup moins d'ennuis avec les tubes des satellites japonais B.S.I. et B.S.I.I. (sinon pas d'ennuis du tout), si elle avait eu l'entière responsabilité de l'amplificateur complet.

Finalement, il a été produit un nombre suffisant d'amplificateurs pour équiper les satellites alors projetés (T.V.S.A.T. 1 et 2, T.D.F. 1 et 2, Telex). Ces amplificateurs ont d'excellentes performances (rendement, caractéristiques électriques, tenue à l'environnement spatial et fiabilité). Le problème des coupures intempestives, qui était apparu avec les amplificateurs Thomson, mais dont on s'était rendu compte qu'il affectait aussi les amplificateurs A.E.G., a trouvé sa solution dans la mise en place du « redémarrage automatique ». (Si par hasard l'A.T.O.P. s'arrête, l'E.P.C. lance d'elle-même une séquence de démarrage : la coupure d'émission est très brève.) **En résumé, les deux types amplificateurs ont atteint un état honorable de développement.**

A l'heure actuelle, il n'y a plus aucune commande pour ce genre d'équipements, et les constructeurs (en tout cas Thomson) n'ont pas maintenu l'outil de production ni les compétences correspondantes. C'était peut-être inévitable, mais nous le regrettons ; en effet, cette expérience sera très utile pour le développement des amplificateurs de la prochaine génération de satellites (quelle qu'elle soit...) : **il est dommage d'abandonner la production d'un équipement aussi performant, dont — à notre avis — la seule existence ferait naître la nécessité.**

Enfin, on notera que de l'avis de tous les spécialistes, les tubes d'A.E.G. (260 W) et Thomson (230 W) sont à la limite des possibilités de leur technologie. Si des puissances supérieures étaient nécessaires (on parle de 400 W), il faudrait se tourner vers un autre type de T.O.P. (à cavités couplées ; les tubes de T.D.F. 1 sont à hélice), et des développements complets seraient à lancer.

7.2.3. Aspects économiques concernant la puissance des satellites de diffusion.

Les paragraphes précédents ont montré où se trouvaient les problèmes techniques liés à la forte puissance des satellites de diffusion. Il est important de voir comment ils se traduisent en termes économiques. Leur influence s'exerce à plusieurs niveaux :

- sur la complexité des équipements et des systèmes. Donc sur les coûts de développement, et dans une bien moindre mesure sur les coûts de fabrication ;
- sur le poids et le volume du satellite, donc, en premier lieu, sur son coût de lancement ;
- sur le nombre de canaux embarqués, donc sur les recettes que l'on peut attendre de son exploitation.

Remarque : La puissance du satellite n'a pas d'influence directe sur le coût de fonctionnement du système, si ce n'est que plus les canaux

sont puissants, et moins ils sont nombreux, et donc moins coûteuse devrait être l'exploitation du système, du moins en théorie. En pratique, la différence de coût direct d'exploitation entre des satellites à 5 et à 16 canaux, par exemple, semble être de second ordre.

Un bon indice de comparaison entre satellites est le coût de revient par canal et par an (1) (soit coût par canal divisé par la durée de vie escomptée).

Mais cette comparaison n'est pas aisée, car on compte rarement la même chose. Prenons T.D.F. 2., Astra et les satellites Eutelsat II : il semble que chacun d'eux a coûté aux environs de 1,5 milliard de francs en orbite.

Pour T.D.F. 2., c'est le coût résultant des contrats signés ; le satellite est pratiquement achevé : on peut espérer qu'il n'y aura pas de modification des prix.

Pour Astra, c'est le coût annoncé ; par contre, on notera qu'Astra a profité d'un lancement à prix « promotionnel ». Quelle fut la réduction ?

Pour Eutelsat II enfin, il s'agit de coûts prévisionnels, pour un ensemble de cinq satellites. Deux remarques :

— le coût d'un seul satellite serait sûrement proportionnellement bien plus élevé ;

— le programme Eutelsat II a déjà subi des surcoûts par rapport à ceux que nous donnons (modification, accélération du programme) ; de combien ? ils ne sont sûrement pas négligeables.

Toutes ces remarques préliminaires étant dûment notées, on remarquera que les coûts de ces satellites sont du même ordre de grandeur. Cela ne doit pas étonner, car :

i) le satellite lui-même constitue un peu moins de la moitié du coût total ;

ii) le coût du satellite croît avec le nombre de canaux, mais moins vite que lui ;

iii) le reste du coût correspond au lancement, aux opérations de mise à poste, aux assurances, etc., qui sont à peu près aussi chers pour tous les satellites de même taille.

(1) Cet indice ne tient pas compte de l'audience potentielle. Il faudrait se tourner vers le coût par canal, par an et par foyer desservi.

Or, dans un système bien conçu, la règle d'or sera toujours d'utiliser au mieux les ressources d'énergie et la charge au lancement disponibles : cela veut dire que, bien qu'ayant des nombres de canaux différents, les satellites auront à peu près le même poids (ex : T.D.F. 1. 2000 kg ; Eutelsat II 1800 kg) et le même volume : on obtient des satellites de « la même classe », pour lesquels le lancement, la mise à poste, l'exploitation, coûtent à peu près le même prix.

Ainsi, certains estiment que passant de 5 canaux à 10 canaux, le coût du canal à l'année chuterait de 30 à 35 % ; pour 14 canaux, de 35 à 40 % (ce qui est plus pessimiste que ce que l'on peut déduire des exemples donnés ci-dessus, mais n'oublions pas les réserves que nous avons faites).

Au niveau système, il faut faire attention de comparer des éléments comparables. **Un des points les plus importants à ce propos est la prise en compte de la sécurité de service offerte** : un système comportant plusieurs satellites dont certains ne servent qu'au secours éventuel des autres apporte un service radicalement différent de celui où aucune réserve de secours n'est disponible. Cela est tellement vrai qu'il nous paraît impensable de lancer un service quelconque de diffusion de télévision (haute définition ou non) sans qu'il soit secouru : ni les industriels de la réception, ni les opérateurs, ni le public n'engageront l'effort financier correspondant, si un minimum de garantie de continuité du service n'est pas assuré.

Enfin, il ne faut pas oublier que le coût du canal pour la chaîne qui l'utilise n'est pas uniquement déterminé par le prix de revient du canal à l'année. Pour s'en convaincre, on comparera à nouveau T.D.F. 1. et Astra.

Sur T.D.F. 1. : 1 canal TV coûte 75 MF par an

Sur Astra : 1 canal TV coûte 36 à 42 MF par an

Mais pour T.D.F. 1., il s'agit du coût d'un canal redondé (quand T.D.F. 2; sera en orbite), et pour Astra, de celui d'un canal simple (il n'est pas officiellement prévu de deuxième satellite Astra pour l'instant). Si on double donc le coût du canal Astra, pour comparer le même service, on se rend compte que les prix sont du même ordre, alors qu'on s'attendrait à une moins-value conséquente sur les prix d'Astra...

ANNEXE 1

CARACTÉRISTIQUES DE MUSE/HD-MAC

PARAMÈTRE	MUSE	HD-MAC
Format d'image	16:9	16:9
Fréquence d'image (Hz)	30	25
Entrelacement	2	1
Nombre lignes/image	1125	1250
Lignes actives/image	1035	1152
Fréquence d'échantillonnage (MHz)	48,6	54
Echantillons actifs/lignes :		
- luminance	1122	1440
- différence de couleur	280	720
Type de codage	analogique	analogique
Méthode de compression : sous-échantillonnage avec adaptation en fonction du mouvement et compensation	oui	oui
Largeur de bande luminance (MHz)	22	21
Largeur de bande couleur (MHz)	7	10,5
Sous-échantillonnage luminance (horizontal)	2:1	2:1
Sous-échantillonnage couleur :		
- horizontal	2:1	2:1
- vertical	2:1	2:1
Compression luminance	1:1	3:2
Compression couleur	4:1	3:1
Largeur de bande de base transmise (MHz)	8,1	10,125
Données assistance	--(?)	1,2
Multiplex numérique son/données (Mb/s)	1,35	1,5 ou 3
Codage son : quasi instantané	oui	oui
Nombre de sons	4 (HQ)	4 (HQ)

ANNEXE 2

BASES TECHNIQUES DE LA DIFFUSION PAR SATELLITE

1. Généralités.

Le schéma d'un système de diffusion par satellite est très simple ; il comprend :

- un satellite géostationnaire ;
- une station terrienne émettant le signal vers le satellite ;
- les équipements de réception.

Le satellite est géostationnaire, car il doit rester, vu de la terre, à une position fixe dans le ciel. Dans le cas contraire, les antennes de réception devraient être constamment réorientées, ce qui est impensable pour la réception individuelle, et même pour les têtes de réseaux câblés.

Les équipements de réception peuvent être de plusieurs types :

- réception individuelle desservant un foyer ;
- réception collective ou communautaire desservant un immeuble ou un groupe d'immeubles ;
- réception pour réseau câblé : le signal est introduit à la tête de réseau comme tout autre programme.

La station émettrice, bien que représentant un maillon complexe de la chaîne, ne sera pas traitée dans ce rapport, l'essentiel des problèmes tant techniques qu'économiquement se trouvant dans la partie descendante de la liaison.

2. Formules de base : puissance reçue.

Pour ce qui nous intéresse, le satellite peut être caractérisé par deux données :

- la puissance fournie à son antenne d'émission par l'amplificateur d'un canal ;
- le gain de l'antenne d'émission dans la direction de la région de la terre considérée.

La puissance fournie s'exprime en Watt. C'est une notion suffisamment connue pour qu'on ne s'y attarde pas. Elle varie actuellement entre quelque 20 W et 250 W suivant les satellites.

Le gain de l'antenne sera traité dans la partie suivante de ce rapport (réception et visualisation).

Nous y verrons que la « puissance Isotrope Rayonnée Equivalente » d'un satellite, ou Pire (E.I.R.P. en anglais), dans une direction donnée, n'est autre que la puissance qu'il faudrait fournir à une antenne isotrope pour émettre, dans la direction considérée, la même puissance que celle émise par le satellite.

3. Tubes d'émission.

(Extraits du glossaire réalisé pour le compte de l'Office par M. René Bezar.)

Les tubes d'émission sont un élément fondamental des émetteurs embarqués. T.D.F. 1 et TV-SAT en comportent chacun six. Ces matériels de très haute technologie sont des T.O.P. (abréviation de tubes à ondes progressives - traveling wave tubes en anglais) (*) à hélice, dont le « gain », c'est-à-dire la possibilité d'amplification du signal reçu de la station de connexion atteint le million ; la consommation électrique d'un T.O.P. est pour moitié perdue sous forme calorifique, l'autre moitié étant rayonnée par l'antenne d'émission.

Très peu d'entreprises fabriquent ce type de tubes d'émissions, dont le marché spatial est relativement étroit puisque limité aux satellites civils et militaires de télécommunications (dans la zone de 10 à 50 W) et aux satellites de télévision directe (de 200 à 290 W).

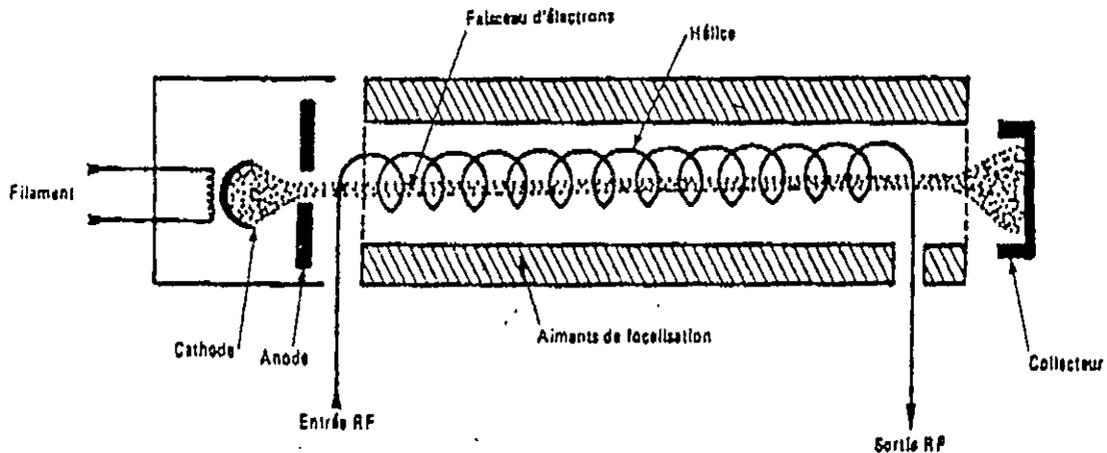
Dans le monde occidental, les fournisseurs se limitent :

- aux USA à Hugues Aircraft Corp. et à Watkins Johnson (ce dernier uniquement à des fins militaires),
- en Europe à A.E.G. Telefunken et à Thomson.

(*) Les tubes à ondes progressive sont des tubes amplificateurs à large bande passante couramment utilisés dans les domaines des télécommunications terrestres et spatiales, ainsi que dans les radars et les dispositifs de contre-mesures.

Un T.O.P. comporte un canon à électrons dans lequel la cathode, chauffée par le filament, émet des électrons qui sont accélérés par l'anode et concentrés en faisceau de très faible diamètre. Le champ magnétique, produit par des aimants permanents de localisation, maintient le diamètre du faisceau constant. L'amplification, dans le T.O.P., résulte d'un échange d'énergie entre le faisceau électronique et l'onde hyperfréquence se propageant le long d'une structure périodique en forme d'hélice.

L'hélice constitue une ligne à retard dont le rôle essentiel est de guider l'onde électromagnétique appliquée à l'entrée avec une vitesse de phase égale ou voisine de la vitesse des électrons du faisceau. L'onde RF amplifiée est recueillie à la sortie de l'hélice et les électrons du faisceau sont récupérés par le collecteur.



Lorsque, vers 1978, le besoin a commencé à se faire sentir de tubes d'émission pour satellites de télédiffusion directe, seuls A.E.G. et Thomson lancèrent des études de R. et D. correspondantes :

— A.E.G. procéda par extrapolation de tubes à ondes progressives utilisés au sol ; le tube ainsi mis au point pèse environ cinq kilogrammes et nécessite un dispositif annexe de refroidissement, dont le poids s'ajoute à celui du tube ;

— Thomson s'attacha au contraire à développer un matériel plus léger (3,8 kg) et susceptible d'évacuer directement l'énergie calorifique produite.

La première utilisation en vraie grandeur fut japonaise, la N.H.K. ayant confié à General Electric la réalisation de l'émetteur du premier satellite de télévision directe (1). Trois T.O.P. Thomson de 100 W ont été montés sur la plate-forme.

Le dysfonctionnement d'un émetteur fut à l'origine d'une campagne de dénigrement des T.O.P. de Thomson, campagne d'autant moins justifiée que la preuve a pu être apportée depuis que le défaut n'incombait pas au T.O.P. mais à son dispositif d'alimentation dans la fabrication duquel la responsabilité de Thomson n'était pas engagée.

Quoi qu'il en soit, le climat de suspicion suscité par cette campagne de dénigrement — joint au fait que la mise au point du T.O.P. Thomson (léger et performant, mais nouveau) avait entraîné des retards sur le programme —, conduisit à l'équipement en tubes A.E.G. de T.V.-S.A.T. et même initialement de T.D.F. 1.

Aujourd'hui T.V.-S.A.T. 1 est en panne définitive d'alimentation, ses panneaux solaires ne s'étant pas déployés, et T.D.F. 1 a finalement été équipé de trois tubes A.E.G. et de trois tubes Thomson.

Le second T.V.-S.A.T., actuellement à Kourou en attente de lancement est équipé de six tubes A.E.G. Concernant T.D.F. 2, il est prévu d'adopter la même solution mixte que pour T.D.F. 1.

(1) Pour son second satellite de télévision, la N.H.K. en a acquis un, fabriqué à l'intention de la Comsat et resté disponible « en magasin ».

ANNEXE 3

MODULATION DE FRÉQUENCE ET MODULATION D'AMPLITUDE

La modulation d'amplitude.

La modulation d'amplitude consiste, pour transmettre un signal $s(t)$ variant dans le temps, à émettre une porteuse de fréquence élevée (par rapport à celles du signal $l(t)$ dont l'enveloppe (c'est-à-dire l'amplitude) reproduit le signal $s(t)$). La réception s'effectue très simplement, en détectant l'enveloppe du signal reçu. Il s'agit alors de la modulation d'amplitude classique (dite à doubles bandes latérales M.A.-D.B.L.) associée à la détection d'enveloppe.

Ce type de modulation utilise mal la puissance dont on dispose :

- la porteuse en consomme une part importante (au mieux la moitié), et ne transporte aucune information ;
- les deux bandes latérales transportent exactement la même information ; une seule suffirait.

Ces remarques ont conduit aux modulations dérivées suivantes :

- la M.A.-P.S. : M.A. à porteuse supprimée. Le spectre ne comporte plus la porteuse. La réception de ce type de modulation s'effectue par un procédé spécial (la détection synchrone), de mise en œuvre un peu délicate ;
- la M.A.-B.L.U. : M.A. à bande latérale unique. La deuxième bande est supprimée ;
- la M.A.-B.L.R. : M.A. à bande latérale résiduelle (ou atténuée) : une bande latérale est transmise presque intégralement, l'autre ne l'est qu'en partie. Si les parties atténuées des deux bandes sont symétriques (condition de Nyquist), on sait démoduler ce signal et retrouver ce signal modulant sans déformation.

Enfin, on peut hybrider ces trois types entre eux.

La modulation de fréquence.

● Définition :

La modulation de fréquence est apparue (sous sa forme actuelle) bien après la modulation d'amplitude ; cela est dû, notamment, aux difficultés techniques alors présentées par l'obtention d'oscillateurs de fréquence variable. Elle consiste à transmettre un signal modulant $s(t)$ en agissant sur la fréquence de la porteuse.

La modulation de fréquence est donc un organe qui produit une porteuse dont la fréquence varie en fonction du signal modulant.

Par exemple un signal nul se traduira par la fréquence f_0 (de repos) ; un signal de 1V (continu) par une fréquence de $f_1 = f_0 + \Delta f$, de 2V par $f_2 = f_0 + 2\Delta f$, etc...

La quantité Δf s'appelle l'excursion de fréquence pour 1 Volt, ou la pente de modulation. C'est le paramètre fondamental de la M.F.

La M.F. est plus robuste face au bruit et aux perturbateurs, mais c'est au prix d'une occupation spectrale plus importante. La possibilité d'agir sur sa largeur de spectre par le truchement de Δf permet de s'adapter au canal offert : on échange de la puissance contre de la bande passante.

On peut alors comparer la M.F. et la M.A. à puissance égale : la première sera plus robuste (mais utilisera plus de spectre) ; ou à qualité égale : la première demandera des émetteurs de bien moindre puissance. C'est ce dernier cas qui est bien sûr le plus intéressant en diffusion par satellite.

TROISIÈME PARTIE

LA RÉCEPTION ET LA VISUALISATION

PREMIÈRE SOUS-PARTIE

(M. RANQUET)

LA RÉCEPTION (ANTENNES ET DÉCODAGE)

Résumé.

— Concernant tout d'abord les antennes, M. Ranquet fait observer que les exigences, plus élevées, de la T.V.H.D. devraient conduire à éliminer du marché les modèles les moins performants, bien que la compatibilité suppose une certaine continuité dans l'utilisation des matériels. Il estime que les antennes planes peuvent constituer une solution élégante de réception au centre de la zone couverte par le satellite, mais que leur rapport prix-résultats est moins bon que celui des antennes paraboliques (moindre gain à surface égale, protection inférieure contre les parasites).

La simplification mécanique, qui résulte de la possibilité de les orienter électroniquement, est leur seul avantage mais ce procédé coûte cher et entraîne des pertes de gain supplémentaires, alors que les antennes paraboliques de petite taille évoluent elles aussi vers un concept mécanique monobloc (cf. antennes à source « cigare »).

— S'agissant, ensuite, du décodage du HD-Mac, M. Ranquet souligne l'importance d'une industrialisation rapide de la fabrication des circuits intégrés nécessaires.

Il rappelle qu'un récepteur S.E.C.A.M. muni d'une prise péritélévision pourra recevoir, moyennant un décodeur, les émissions HD-Mac et D 2 Mac avec une très bonne qualité d'image.

Il estime que la dégradation de l'image HD-Mac reçue par un récepteur D 2-Mac sera tout à fait tolérable. Enfin, il précise que le décodeur des récepteurs H.D.-Mac leur permettra de capter directement les émissions en norme D 2-Mac, mais qu'un décodeur supplémentaire sera nécessaire pour recevoir les émissions en P.A.L. et S.E.C.A.M. dont l'image, à moins d'un traitement approprié (doublement de la fréquence trame, etc.), paraîtra inévitablement assez médiocre sur un grand écran.

SOMMAIRE

	Pages
1. LES ANTENNES DE RÉCEPTION	295
1.1. Les contraintes dues à la T.V.H.D.	295
1.2. Quel type d'antenne ?	296
1.3. De quelle taille et à quel prix ?	297
2. LE DÉCODAGE DU HD-MAC	299
2.1. Considérations générales	299
2.2. La compatibilité D 2-HD-Mac/S.E.C.A.M.	300
2.3. La compatibilité HD-Mac/D 2-Mac	300
2.4. La compatibilité S.E.C.A.M./D 2-Mac-HD-Mac	301
3. ANNEXES	
1. Caractéristiques d'une antenne de réception	302
2. Prix des différentes antennes de réception	305

1. LES ANTENNES DE RÉCEPTION

1.1. Les contraintes dues à la T.V.H.D.

On appelle souvent antenne de réception l'ensemble de l'antenne proprement dite et de l'amplificateur (ou convertisseur) faible bruit associé. En effet, ainsi que le rappelle l'annexe 1, ces deux éléments sont intimement liés dans le *facteur de mérite* de la station, qui caractérise entièrement le rapport signal à bruit obtenu à la réception. La question à laquelle il serait souhaitable de pouvoir répondre est de savoir si la T.V.H.D. sera reçue avec des antennes spéciales, ou tout simplement avec celles qui auront été installées pour la diffusion de télévision conventionnelle.

Il est difficile d'y répondre dans l'absolu, indépendamment de toute idée préconçue sur le codage T.V.H.D., mais on peut faire la remarque que le souci de compatibilité avec la diffusion par satellite qui guide bon nombre de concepteurs ne peut que militer en faveur de la continuité dans les antennes, comme dans celle du service. Il suffit que cela soit possible, ce qui est semble-t-il le cas. **On peut cependant s'attendre à des exigences de la part de la T.V.H.D. un peu plus contraignantes** que celles imposées par la télévision conventionnelle (ou assimilée, comme le D2-M.A.C./Paquet...) en termes de :

- a) rapport signal bruit ;
- b) rapport signal utile à signaux interférants ;
- c) qualité des paramètres de transmission dans la bande du canal.

Bien que cette affirmation ne soit pas en toute rigueur irréfutable (certains systèmes proposés seraient moins sensibles que la T.V. conventionnelle... Mais ils ne sont actuellement que sur le papier), il est à peu près certain qu'elle est dans la vérité. D'ailleurs c'est bien ce que l'on observe des expériences faites à ce jour sur les systèmes Muse et HD-Mac.

Le point *c)* ne pose pas de problème, les équipements disponibles ayant en général de très bonnes caractéristiques de transmission (amplitude et temps de groupe en fonction de la fréquence).

Les points *a)* et *b)* par contre auront une influence directe sur les antennes de réception. Toutes choses égales par ailleurs, il semble que celles-ci devront avoir un gain de 3 à 4 dB plus élevé que pour la

télévision conventionnelle, ce qui se répercutera sur leur diamètre (ou dimensions en général).

D'autre part, le point *b*) plus particulièrement pourrait amener à resserrer les exigences sur les parties « parasites » des diagrammes des antennes (voir annexe 1). De combien ? Difficile de le dire aujourd'hui, où seules les bribes de résultats de mesures sur HD-Mac sont disponibles. Qu'en est-il de Muse, et *a fortiori* des autres systèmes proposés ?

1.2. Quel type d'antenne ?

Tout ce qui vient d'être dit renforce la position des classiques antennes paraboliques. En effet, les deux types d'antenne qui risquent de s'affronter sont les *antennes paraboliques* et les *antennes planes*. Ces dernières semblent *a priori* présenter un avantage d'encombrement, puisqu'elles sont planes. En fait il n'en est rien, d'abord parce qu'elles doivent être installées inclinées, et ensuite parce qu'elles ont un gain nettement plus faible que celui des antennes paraboliques à surface égale. D'autre part, elles sont plus chères, et le resteront, que les antennes paraboliques.

A notre avis, les antennes planes présentent deux avantages :

- elles n'ont pas de source physiquement identifiable, ce qui fait qu'elles ont une mécanique plus simple que les antennes paraboliques ;
- elles peuvent être conçues pour pouvoir être « orientées » électroniquement, en jouant sur les phases des réseaux de conducteurs et de dipôles qui les constituent (d'où simplification supplémentaire de la mécanique).

Pour être complet, il faut cependant signaler que ces deux avantages méritent des remarques :

- l'antenne parabolique de petite taille évolue elle aussi vers un concept mécanique monobloc (voir les antennes à source « cigare ») ;
- la possibilité d'orientation électronique ne peut être obtenue qu'au prix :
 - d'une perte supplémentaire sur le gain, qui n'est déjà pas très élevé,
 - d'un accroissement du coût.

On peut donc se demander si ce système — séduisant en soi — arrivera à remplacer pratiquement le « rotactor » actuellement commercialisé.

Enfin, les antennes planes présentent des caractéristiques en dehors du lobe principal (1) moins bonnes que celles des antennes

(1) Voir annexe n° 1. (4. Les diagrammes d'antennes.)

paraboliques (moins bonne protection contrapolaire, lobes latéraux plus élevés). Ce dernier point est d'importance s'il se confirme que la T.V.H.D. demande de meilleurs rapports de protection que la TV conventionnelle, et si surtout la T.V.H.D. satellite cohabite en fréquence avec un service de terre (T.V.H.D. ou tout autre... ; voir le paragraphe sur la diffusion hertzienne).

Cette présentation — dans laquelle nous avons essayé d'être le plus objectif possible — ressemble à un réquisitoire contre les antennes planes. Il ne faut pas en conclure que celles-ci doivent être définitivement abandonnées : elles peuvent être une réponse bien adaptée et élégante dans les cas, somme toute assez fréquents, où la marge de puissance sera suffisante (zone centrale de la couverture du satellite) et les risques d'interférences absents.

Mais elles ne pourront pas s'imposer face aux antennes paraboliques dans les zones plus critiques.

On retiendra de cette discussion que la T.V.H.D. amènera les constructeurs à proposer des antennes plus grandes, de meilleure qualité, mais n'introduira pas de révolution ni de rupture dans le parc des antennes qui existeront lors de son apparition. On peut d'ailleurs se demander s'il ne serait pas judicieux de veiller dès aujourd'hui, par le biais des normes industrielles, à éliminer du marché les antennes aux caractéristiques notoirement insuffisantes.

1.3. De quelle taille et à quel prix ?

Les antennes actuellement proposées, en réalité pour la T.V. conventionnelle, sont en très grande majorité paraboliques. Il existe un certain nombre de variantes, concernant la géométrie de l'antenne (« prime focus », ou « offset »), le montage de la source : montage classique avec barres de soutien ; plus récemment, source diélectrique : la source se trouve déportée par un cylindre de diélectrique (d'où la dénomination « cigare »). L'avantage de cette dernière solution est d'avoir une antenne monobloc, dont la tenue mécanique est donc meilleure. Organes d'orientation (avec une monture polaire) ; et enfin convertisseur à faible bruit. Les caractéristiques de ce dernier dépendent bien sûr de sa fréquence de fonctionnement. A 12 GHz, des convertisseurs ayant un facteur de bruit de 1,7 à 2 dB sont actuellement commercialisés, pour les applications grand public.

Le tableau de l'annexe 2 donne un aperçu des caractéristiques et des prix que l'on peut attendre pour des antennes paraboliques de différents diamètres. Une antenne plane y a été incluse, à des fins de comparaison.

Il est évident que l'on a intérêt à prendre l'antenne la plus petite compatible avec la qualité de service que l'on attend. La croissance rapide des prix avec le diamètre en est déjà une raison suffisante. Une autre raison tout aussi importante est l'encombrement de l'antenne. On a démontré que l'on peut recevoir à Paris le D2-Mac/Paquet par T.D.F. 1 avec des antennes de moins de trente centimètres de diamètre : de telles antennes passent inaperçues dans un salon ou une chambre (à moins qu'on les utilise comme objet d'art...). Si aucune fenêtre n'est correctement orientée, leur installation à l'extérieur ne pose aucun problème. La réception du HD-Mac dans les mêmes conditions requerra des antennes de 50 centimètres de diamètre ! Il sera encore possible de les loger à l'intérieur, ou discrètement à l'extérieur, en des points bas ; cela n'est plus possible pour des antennes de 1,5 à 2 mètres.

A ce propos, signalons que l'habitude de placer les antennes sur les toits — tout à fait judicieuse pour les ondes U.H.F. ou plus longues — ne se justifie plus pour les ondes S.H.F. (centimétriques et plus courtes). **On a au contraire intérêt à placer les antennes paraboliques dans un endroit en vue directe du satellite, bien sûr, mais le plus bas possible,** afin premièrement d'éviter les éventuelles interférences, et deuxièmement de soustraire l'antenne aux agressions atmosphériques. L'idéal est l'antenne intérieure... mais il faut qu'elle soit suffisamment petite.

2. LE DÉCODAGE DU HD-MAC

2.1. Considérations générales.

Le diagramme du décodeur HD-Mac présente deux parties très nettement séparables :

- un démultiplexeur ;
- un décodeur proprement dit.

L'interface entre les deux est du type « Rec. 656+ » (pour la vidéo), ce qui signifie qu'il se présente sous la forme préconisée par le C.C.I.R. dans sa recommandation 656 (+ : amendée pour les signaux de service). Cette forme importe peu par elle-même. Par contre l'existence de cet interface montre bien la séparation en deux blocs fonctionnellement et physiquement distincts du décodeur HD-Mac.

La partie démultiplexeur (à laquelle on rattachera toute la partie « D 2 » et sons HQ) est assez peu différente de son homologue en D 2-Mac Paquet. Elle travaille à une fréquence plus élevée sur le chemin vidéo ; elle comporte une voie d'extraction de données supplémentaire, à haut débit, mais avec uniquement des traitements simples. Enfin la voie D 2-Paquet et sons est strictement identique à celle du D 2-Mac Paquet. En conclusion, cette partie du décodeur HD-Mac n'est pas sensiblement plus complexe que son homologue en D 2-Mac Paquet, et lui sera assez sensiblement équivalente en termes de complexité, encombrement, etc.

Le décodeur proprement dit effectue la décompression des signaux, leur stockage dans les mémoires de trame, puis leurs filtrages, adaptés en fonction de l'état de mouvement, sous le contrôle des données d'assistance fournies par le démultiplexeur. **Les éléments de plus fort poids (encombrement, consommation, coût) dans cet ensemble sont les mémoires de trame, chacune de plusieurs mégabits, et au nombre de 4 à 6, suivant le mode de réalisation du décodeur.**

Les mémoires d'images se répandent déjà dans les équipements de télévision, professionnels bien sûr, mais aussi grand public... Elles n'ont pas la taille requise pour le HD-Mac et fonctionnent à des vitesses plus basses, mais il serait très étonnant que des mémoires bien adaptées à cette application ne voient le jour rapidement.

En conclusion, on peut affirmer que le récepteur HD-Mac ne sera pas *a priori* un équipement infiniment plus complexe et onéreux que celui du D 2-Mac Paquet (il en sera d'ailleurs de même du récepteur Muse). Dans ce cas, comme dans bien d'autres à l'heure actuelle, la

seule solution aux problèmes posés est le développement et l'industrialisation d'une famille de circuits intégrés appropriés, permettant de réaliser l'ensemble des fonctions requises. La seule question à se poser est de déterminer le degré d'universalité de ces circuits, et jusqu'à quel point des circuits destinés au D 2-Mac Paquet, ou à d'autres applications, seraient réutilisables dans ce contexte.

Une fois le signal T.V.H.D. décodé, il faut le visualiser. Cela suppose résolu un certain nombre de problèmes que nous examinerons plus loin.

2.2. La compatibilité D 2-HD-Mac S.E.C.A.M.

Un récepteur prévu pour recevoir *uniquement* le S.E.C.A.M. ne peut absolument rien faire d'un signal D 2-Mac, ni *a fortiori* HD-Mac. Par contre, on peut insérer entre le signal et le récepteur un décodeur D 2-Mac. Il se présente alors plusieurs cas :

- le récepteur est muni d'une prise péritélévision (c'est le cas de la grande majorité des récepteurs en France) : on pourra utiliser la sortie R.V.B. du décodeur, et éviter ainsi un passage par le signal composite S.E.C.A.M. La qualité d'image sera alors dans les deux cas (HD-Mac et D 2-Mac) excellente ; en effet, on se trouve dans la situation normale de réception du D 2-Mac, et dans celle de réception compatible pour le HD-Mac ;

- le récepteur n'a pas de prise péritélévision. Il faut alors pour l'utiliser repasser en S.E.C.A.M. et en U.H.F. ou V.H.F. La qualité de l'image reçue sera alors déterminée par les défauts des codeurs-décodeurs S.E.C.A.M. et des modulateurs-démodulateurs R.F. Si ceux-ci sont de construction soignée, on obtiendra une image d'une qualité meilleure que celle qu'aurait fournie une transmission S.E.C.A.M. de bout en bout, car des défauts de transmission n'auront pas agi sur le décodage S.E.C.A.M.

2.3. La compatibilité HD-Mac/D 2-Mac.

La compatibilité HD-Mac/D 2-Mac est bien sûr une des questions centrales concernant le HD-Mac, puisque celui-ci a été conçu justement pour être compatible avec le D 2-Mac.

Tout le système de codage du HD-Mac est un compromis entre la qualité de l'image haute définition et celle de l'image obtenue par réception sur un équipement D 2-Mac.

Ce qui veut dire qu'une image HD-Mac reçue sur un équipement D 2-Mac aura forcément une qualité inférieure à celle qu'elle aurait sur

un récepteur HD-Mac (1). Les facteurs de dégradation de qualité sont le brassage, dont l'effet est supprimé par filtrage, et les traitements liés au mouvement, qui sont ignorés par un récepteur D 2-Mac. Cependant les caractéristiques de codage ont été choisies de telle manière que ces dégradations soient peu perceptibles, et donc tout à fait tolérables (on a un peu la même situation quand on reçoit une image couleur sur un poste noir et blanc : l'image est légèrement dégradée par la sous-porteuse couleur, mais cette dégradation est à peine perceptible).

2.4. La compatibilité S.E.C.A.M./D 2-Mac, HD-Mac.

Là encore, un récepteur ne pouvant recevoir que le D 2-Mac, ou que le D 2-Mac et le HD-Mac, ne peut absolument rien faire d'un signal S.E.C.A.M. Par contre, il est évident que les récepteurs équipés de décodeurs D 2-Mac devront aussi être capables de recevoir du S.E.C.A.M. (n'oublions pas que le D 2-Mac arrive bien après le S.E.C.A.M.). Dans ce cas le signal S.E.C.A.M. sera visualisé tout à fait normalement par le récepteur : on aura la « qualité S.E.C.A.M. » habituelle.

Le récepteur HD-Mac posera un problème un peu différent. Il semble logique de lui demander de recevoir aussi le D 2-Mac ainsi que le S.E.C.A.M. (et d'ailleurs aussi le P.A.L.). Il suffira dans ces derniers cas de lui adjoindre un décodeur S.E.C.A.M. ou P.A.L. Pour ce qui est du D 2-Mac, on pourra faire en sorte que le décodeur HD-Mac puisse aussi fonctionner directement en norme D 2-Mac. Mais dans tous ces cas, le problème à résoudre sera celui de la *visualisation*. En effet, une image décodée du S.E.C.A.M. ou même du D 2-Mac aura du mal à « passer » sur un écran de T.V.H.D. L'effet ne sera pas catastrophique, mais la qualité ne sera pas idéale. Ce problème n'est d'ailleurs pas lié à tel ou tel codage de T.V.H.D. ; il est dû simplement au fait que les récepteurs de T.V.H.D. auront des écrans adaptés aux images de haute définition, et feront donc ressortir les défauts des autres images.

Un certain nombre de solutions existe : elles font appel aux méthodes employées pour améliorer la qualité de l'image en 625 lignes : doublement fréquence image, interpolation et filtrage, etc. Elles pourraient être prévues dès le départ dans le récepteur HD-Mac, et utiliser les mémoires de trame qu'il détient pour ses besoins propres.

(1) On ne tient pas compte dans cette comparaison des différences de définition des images.

ANNEXE 1

CARACTÉRISTIQUES D'UNE ANTENNE DE RÉCEPTION

1. Le gain d'antenne.

Le gain d'antenne est une notion délicate. Il est lié à la capacité de l'antenne de concentrer l'énergie émise dans un cône, d'ouverture plus ou moins grande. Plus celle-ci sera faible, plus petite sera la surface sur laquelle l'énergie sera concentrée, et plus la densité d'énergie (ou de puissance) y sera élevée ; en simplifiant, on peut dire que si on divise par deux à la fois la puissance des amplificateurs du satellite et la surface « arrosée », on ne modifie pas la densité d'énergie sur la zone restante.

Aussi compare-t-on toute antenne à une antenne idéale, dite isotrope, qui diffuserait l'énergie de manière égale dans toutes les directions. Le gain d'une antenne, dans une direction donnée, est alors le rapport de l'énergie qu'elle émet dans cette direction à celle qu'émettrait l'antenne isotrope, les deux antennes étant alimentées par le même amplificateur.

Ce gain s'appelle le gain isotrope. Comme pour beaucoup de grandeurs en électronique, on l'utilise tel que, ou converti en « dB » (c'est-à-dire dix fois son logarithme décimal) :

$$G = \frac{\text{énergie émise par l'antenne dans une direction}}{\text{énergie émise par l'antenne isotrope dans cette direction}}$$

$$\text{et } G^{\text{dB}} = 10 \times \log (G)$$

L'antenne de réception est placée au sol dans le faisceau d'énergie issu du satellite, dont elle capte une partie *grosso modo* proportionnelle à sa surface.

On a ainsi :

Puissance reçue = Densité de puissance \times surface équivalente de l'antenne

$$P_r = \text{PFD} \times S_{\text{eq}}$$

2. Le bruit.

Dans toute transmission radioélectrique, le récepteur reçoit le signal mélangé à du « bruit ». On appelle ainsi un signal parasite, plus ou moins aléatoire, qui est produit par une multitude de sources elles-mêmes plus ou moins identifiées. Les caractéristiques de ce bruit sont :

– son omniprésence : il est impossible de le faire totalement disparaître, par quelque moyen que ce soit :

– il est bien sûr très faible. Mais le signal utile est lui aussi très faible dans les transmissions par satellite...

La présence de ce bruit est fondamentale, car c'est essentiellement lui qui limite la capacité des systèmes de transmission.

On a l'habitude de caractériser le bruit présent en un point d'un circuit électrique par une *température de bruit*. Cela vient de la fréquence prépondérante dans ce signal du bruit d'origine thermique : toute résistance produit un bruit dont la puissance est proportionnelle à sa température absolue T . Cependant, tout bruit n'est pas thermique.

Les calculs de puissance « utile » et bruit reçus peuvent se combiner, pour donner le rapport signal à bruit : $\frac{P_s}{N}$, noté aussi $\frac{C}{N}$
(pour $\frac{\text{Carrier}}{\text{Noise}}$) en radiofréquence.

3. Le facteur de mérite.

Le facteur de mérite G/T mesure la qualité de l'ensemble d'une installation de réception. En fait, pratiquement seuls l'antenne et le premier amplificateur de l'équipement interviennent dans sa détermination. (On démontre en effet que si ce premier amplificateur a un fort gain — ce qui est toujours le cas en réception satellite — le bruit apporté par tous les étages suivants est négligeable).

Pour augmenter G/T on emploie, en réception satellite, des amplificateurs « faible bruit » qui diminuent la valeur de T .

Toujours pour obtenir le meilleur G/T , on recherche l'antenne au plus fort gain, en tenant compte, de ce qu'une antenne a aussi, une température de bruit, et participe donc à la création du bruit de réception.

L'essentiel du bruit ramené par l'antenne est dû aux sources radioélectriques qui sont dans le « champ » de l'antenne. Ce peut être des sources extraterrestres (exemple classique : le soleil...) ou plus fréquemment tout simplement l'atmosphère terrestre, dont la température de bruit dépend de son épaisseur dans l'axe de l'antenne, et de son état.

Dès que l'on s'éloigne de l'axe d'émission, le gain diminue. C'est normal et même souhaitable :

— normal : le gain de l'antenne traduit sa capacité à concentrer l'énergie dans un faisceau de faible ouverture. Plus le gain dans l'axe sera élevé, plus vite il décroîtra en s'éloignant de l'axe (puisque c'est toujours la même quantité d'énergie qui doit être répartie...);

— souhaitable : cette décroissance rapide permet de « discriminer » les satellites sur la même fréquence, mais à une position différente. Plus elle sera rapide, moins ces satellites perturberont notre réception, ou plus ils pourront être rapprochés (et donc meilleurs sera l'utilisation de l'orbite).

4. Les diagrammes d'antenne.

Des diagrammes « copolaires » ou « contrapolaires » permettent de représenter les pertes de gains dues à l'éloignement par rapport à l'axe d'émission ou aux erreurs de polarisation de l'antenne.

Dans les premières figures (diagrammes copolaires) l'existence de lobes secondaires importants signifie une mauvaise protection contre les interférences causées par d'autres émissions.

Les deuxièmes figures (diagrammes contrapolaires), mettent en évidence les effets des interférences dues aux défauts de polarisation (1) de l'antenne.

(1) Toute onde peut être considérée comme la somme de deux ondes polarisées circulairement droite et gauche, ou de deux ondes polarisées linéairement suivant deux directions orthogonales ;

— Il existe des dispositifs de réception qui ne sont — en théorie — sensibles qu'à un certain type de polarisation d'onde. Ce qui veut dire que l'on peut séparer deux ondes de polarisation différentes (droit et gauche, ou par exemple horizontale et verticale).

Cette dernière possibilité est abondamment utilisée dans tous les systèmes de communication, et en particulier par satellite, afin de tirer le meilleur usage possible des capacités hertziennes allouées. Mais cela suppose que l'antenne de réception au sol sache séparer les deux polarisations de l'onde émise : en pratique, elle ne le fait qu'imparfaitement, et reçoit donc de l'énergie aussi sur la polarisation non voulue.

ANNEXE 2
PRIX DES DIFFÉRENTES ANTENNES DE RÉCEPTION

Diamètre (m)	Gain (dB)	Coût (F. HT)
<i>Paraboliques :</i>		
3	48,9	(non connu)
2,4	47	14 000
1,8	44,5	8 500
1,4	42,3	5 000
1	40,1	2 400
0,7	36,3	»
0,5	34,1	1 300
<i>Plane :</i>		
0,42 × 0,42	30	5 400

Coût :

- coût estimé pour le téléspectateur, pour un équipement acheté en 1989 ;
- il ne correspond qu'à l'antenne proprement dite.

DEUXIÈME SOUS-PARTIE

LES MOYENS DE VISUALISATION

I. — Expertise de M. Ranquet.

RÉSUMÉ

S'il ne constitue pas une solution définitive, en raison de sa taille et de son encombrement, le tube cathodique, auquel la fabrication de modèles à écran plat pourrait donner une « seconde jeunesse », est actuellement le seul moyen de visualiser de façon correcte ou de projeter, à domicile, une image de télévision haute définition.

Les écrans plats hybrides à plasma ou à cristaux liquides pourraient représenter la solution de l'avenir aussi doivent-ils faire l'objet d'efforts de recherche significatifs. Leur commercialisation ne peut cependant être envisagée dans un avenir proche (il reste en effet à corriger les défauts actuels de ces systèmes et à maîtriser les difficiles problèmes de connectique que pose la mise au point de l'électronique de commande, très complexe, des dispositifs d'adressage matriciel utilisés).

Concernant les systèmes de projection professionnels à relais optique, il existe des équipements à relais diffracteur (Eidophore et Talaria) ou à relais biréfringent (tube Titus) qui, bien que perfectibles, répondent aux besoins de la télévision haute définition. Mais, l'avenir semble, là aussi, appartenir aux systèmes à état solide (relais biréfringents avec matrices de cristaux liquides, etc.).

Les systèmes à laser permettent d'obtenir des images de très bonne résolution mais dont les couleurs laissent, pour le moment, à désirer.

SOMMAIRE

	Pages
1. L'ÉCRAN IDÉAL	308
2. LES DIFFÉRENTS MODES DE PROJECTION	310
2.1. <i>Le tube à projection</i>	310
2.2. <i>Les systèmes à laser</i>	310
2.3. <i>Les systèmes à relais optiques</i>	311
2.4. <i>Conclusion</i>	312
3. LES ÉCRANS PLATS	313
3.1. <i>Ecrans à plasma</i>	313
3.2. <i>Ecrans électroluminescents</i>	314
3.3. <i>Ecrans à cristaux liquides</i>	315
3.4. <i>Conclusion</i>	316

1. L'ÉCRAN IDÉAL

Pour mériter le « label » T.V.H.D., une image devrait être visualisée sur un écran (cas de T.V.H.D. domestique) :

- de grande surface (on vise actuellement $0,8 \text{ m}^2$) ;
- de format comparable à celui du cinéma (par exemple 16/9) ;
- de luminosité et contraste suffisants (150 cd/m^2 et 50 : 1) ;
- ayant de bonnes qualités colorimétriques (en plus évidemment, de l'absence de défauts de convergence) ;
- d'une finesse de restitution suffisante pour tirer entièrement parti des qualités haute définition, cela veut dire :
 - au moins 1 500 à 1 900 points par ligne,
 - au moins 1 100 à 1 200 lignes par écran,
 - une bonne réponse temporelle : décroissance de la luminosité d'un point adaptée à la finesse spatio-temporelle recherchée, ainsi qu'à l'absence de visibilité du lignage.

En plus de ces propriétés qui définissent sa qualité de restitution des images, on demandera à l'écran idéal de T.V.H.D. :

- un encombrement raisonnable : il est hors de question d'installer dans une salle à manger moderne un écran aussi profond que large ;
- une bonne résistance aux agressions du milieu : chocs, rayures, poussière, agents atmosphériques, etc. Cette remarque, qui peut paraître triviale, a des implications technologiques très importantes. De plus, elle est d'autant plus de rigueur que l'écran est plus grand ;
- une faible consommation. Cette caractéristique n'est pas fondamentale, mais les progrès techniques ont habitué l'utilisateur d'équipements domestiques à de très faibles consommations. Il accepterait difficilement un téléviseur consommant plus qu'un four électrique...

Le tube à rayons cathodiques, qui est actuellement le moyen de visualisation de télévision de très loin le plus utilisé (1), répond mal à l'ensemble de ces contraintes. En particulier, pour la surface et le format demandés, il doit avoir 120 cm de largeur. Or, les plus grands tubes

(1) On peut dire que c'est actuellement le seul moyen de visualiser de manière correcte une image de télévision.

construits actuellement font 100 cm, pèsent 170 kg, et ont une profondeur rédhibitoire. Bien que des progrès dans la technologie des tubes soient annoncés tous les jours, **il est peu probable que le tube soit la réponse définitive la mieux adaptée à la visualisation pour T.V.H.D.**

Comment peut-on alors visualiser une image T.V.H.D. actuellement ? Une solution simple, qui utilise le tube à rayons cathodiques, consiste à projeter sur un écran de taille appropriée l'image créée par un tube de petites dimensions. Cette technique est utilisée depuis longtemps pour les présentations sur grand écran (le tube n'est pas forcément à rayons cathodiques...). Elle peut très bien s'appliquer à la T.V.H.D. domestique, en attendant... l'avènement de l'écran plat...

2. LES DIFFÉRENTS MODES DE PROJECTION

Pour résoudre – au moins temporairement – le problème de la visualisation de T.V.H.D., on aura (et on a déjà) donc recours à des systèmes à projection. Voyons plus en détail qu'elles en sont les possibilités actuelles ou envisagées à court terme.

2.1. Le tube a projection.

Le système le plus simple consiste à prendre trois tubes de projection en combinaison avec des optiques réfractives ou réfléchives.

Un tube de projection est un tube de petites dimensions (généralement 15 à 20 cm) de très forte luminosité, monochrome (on peut alors améliorer très sensiblement toutes ses autres caractéristiques).

Peu de systèmes ont été développés avec des optiques réfléchives. Les appareils réalisés dans le cadre de la T.V.H.D. par N.H.K emploient des optiques réfractives et fonctionnent en projection frontale ou arrière.

Pour des raisons d'encombrement, la version compacte sous forme de meuble est la mieux adaptée à l'utilisation grand public.

Tous ces projecteurs utilisent des écrans à gain, et donc présentent une certaine directivité (\pm au pire), ce qui peut être gênant dans le contexte d'une visualisation domestique (plusieurs personnes situées à courte distance de l'écran).

D'autre part, on remarquera que les équipements proposés sont encore loin d'être de petite taille et de faible poids !

2.2. Les systèmes à laser.

Dans ces dispositifs, on utilise la modulation de la lumière issue d'un laser dans un cristal électro-optique pour traduire les variations du signal vidéo. La finesse et la directivité du faisceau laser autorisent un fonctionnement à des vitesses permettant d'obtenir des images de très bonne résolution.

Le problème majeur du système à laser est l'obtention de couleurs acceptables (surtout les bleus) ; d'autres problèmes viennent de sa forte

consommation en énergie, de la délicatesse de sa mise en œuvre, et donc de **contraintes d'exploitation actuellement peu compatibles avec l'utilisation grand public**. Par contre, on peut porter à son actif sa haute résolution, l'uniformité d'éclairage de l'écran, la facilité de changement de format d'image... Pour la télévision, un seul appareil a été commercialisé (en 1986, par Dwight Cavendish). Il fonctionne aux normes T.V. actuelles, mais des essais avec des signaux de 30 MHz de bande passante ont donné de très bons résultats.

En France, l'université de Valenciennes poursuit des travaux sur ces systèmes.

2.3. Les systèmes à relais optique.

Il s'agit d'équipements professionnels destinés à des projections devant un nombreux public ; les flux lumineux délivrés peuvent atteindre plusieurs milliers de lumens. Ces dispositifs emploient une source de lumière externe de forte puissance (type lampe au xénon) associée à un relais optique qui module le faisceau.

● *Relais diffracteurs.*

C'est le cas des appareils bien connus l'Eidophore (société Getag) et le Talaria (société General Electric).

Dans ces appareils, le réseau diffracteur est induit à la surface d'un mince film d'huile par un balayage cathodique.

L'Eidophore travaille en réflexion, alors que le Talaria travaille en transmission.

Les définitions obtenues sont un peu faibles pour la T.V.H.D., mais malgré tout très honorable, et peuvent très certainement être un peu améliorées. L'Eidophore est actuellement l'appareil professionnel le plus performant, mais son coût est élevé, et son exploitation et sa maintenance sont délicates.

Un autre type de système à relais diffracteurs commence à voir timidement le jour : il s'agit de systèmes où le réseau diffracteur est induit sur une couche métallique réfléchissante par les forces électrostatiques créées par un substrat actif, à base de transistors en film mince (une technique que l'on retrouvera chez les écrans plats). Cette approche est prometteuse, en ce sens qu'elle supprime les gros défauts des systèmes Eidophore ou Talaria, et mettrait donc la projection par relais optique à la portée du grand public. Cependant, elle est **loin d'être au stade où on peut envisager un début d'industrialisation.**

- *Relais diffuseurs.*

Ces systèmes utilisent la diffusion dans une céramique ou un cristal liquide pour moduler le faisceau d'une source de lumière externe.

Différents dispositifs ont été étudiés. Cependant seuls les dispositifs à cristaux liquides et à adressage matriciel (*cf.* bas § 3.3) ont donné des résultats encourageants pour la télévision. Ils fonctionnent d'ailleurs aussi bien en projection (T.H.C.S.F., Hughes) qu'en vision directe (Matsushita, Toshiba).

Les performances obtenues sont actuellement modestes (faible résolution, faible contraste, traînage important), et laissent penser que ces dispositifs ne sont pas pour l'instant de bons candidats pour la télévision et *a fortiori* pour la T.V.H.D.

- *Relais biréfringents.*

Le principe de fonctionnement de ces dispositifs repose sur la modulation de la lumière par variation d'indice d'un milieu biréfringent (un cristal liquide ou électro-optique). Le tube Titus (société Sodern) en est une application déjà relativement ancienne (il utilise un cristal électro-optique). Le vidéoprojecteur V.S.V. utilise trois tubes Titus (R, V, B) et une source au xénon. Ses performances peuvent se comparer à celles de l'Eidophore ou du Talaria, avec un flux lumineux d'environ 2 000 lumens, et une résolution d'environ 800 lignes TV. Matsushita vient d'annoncer la mise au point d'un rétro-vidéoprojecteur fonctionnant avec une matrice de cristaux liquides : là aussi « l'état solide » essaie de faire sa place... mais il est beaucoup trop tôt pour se prononcer sur l'avenir de ces systèmes.

2.4. Conclusion sur les systèmes à projection.

On peut retenir de l'exposé ci-dessus que pour les applications professionnelles (projection devant public nombreux), il existe des équipements (Eidophore, Talaria, Titus...) répondant assez bien aux besoins de la T.V.H.D., avec éventuellement un léger progrès à faire sur la définition.

Pour les applications grand public et domestiques, le tube à rayons cathodiques reste actuellement le seul moyen sérieux pour visualiser une image T.V.H.D. par projection pour des écrans permettant une vision correcte de l'image.

Mais les systèmes à état solide commencent à être développés. Il est évident qu'il faut chercher de leur côté les solutions adaptées à la

projection T.V.H.D. grand public, mais on ne peut pas se prononcer actuellement sur leur développement, et, en état de cause, ils ne pourront pas concurrencer les tubes cathodiques avant longtemps.

3. LES ÉCRANS PLATS.

Il y a toujours une petite ambiguïté quand on parle d'écran plat. En effet, cette appellation peut s'appliquer indifféremment à des écrans de tubes cathodiques ayant une forme plate, au lieu de leur convexité bien connue actuelle, ou bien à des écrans — plats bien sûr — mais surtout de faible épaisseur (ou profondeur). L'exemple classique est celui des calculatrices minces, ou des écrans d'ordinateurs portables. Et il est clair que parler d'écran plat, sans autre indication, se réfère presque exclusivement à ce deuxième cas.

Il n'est cependant pas inutile de s'attarder un peu sur celui du **tube cathodique à écran plat**. On ne sait réaliser ce type de tubes pour les applications téléviseurs grand public que depuis une date récente. Il a fallu pour cela que les industriels résolvent plusieurs problèmes technologiques ardues, en particulier au niveau de procédés de fabrication. Mais le pas vient d'être franchi, et **il est très probable que le tube cathodique en tirera une « seconde jeunesse »**. On peut espérer pour très bientôt des tubes d'assez grande taille (1 m ?) pour des poids raisonnables et avec des caractéristiques très convenables, et enfin, pour un prix toujours imbattable (c'est là un des points forts des tubes cathodiques actuels).

Cette digression terminée, intéressons-nous plus particulièrement aux écrans minces (que nous appellerons aussi écrans plats).

3.1. Ecrans à plasma.

Ces écrans emploient comme source de lumière la décharge continue ou alternative dans un gaz, généralement du néon ; ils fonctionnent sous faible tension (200 V), et ne requièrent donc pas l'utilisation de voltages aussi élevés que pour les tubes cathodiques.

Pour constituer une image, on doit avoir recours à un adressage matriciel qui demande une électronique de commande complexe et pose des problèmes de connectique.

Actuellement, les possibilités de rendu des couleurs et des demi-teintes sont encore très limitées ; d'autre part le rendement global du dispositif est faible (0,2 lm/W) ; enfin, il semble que l'on ne maîtrise pas complètement l'évolution des caractéristiques de ces systèmes avec le temps (problème de vieillissement).

Les travaux de développement actuels sont orientés vers l'obtention d'une meilleure résolution, des dimensions plus grandes. Photonics

à produit un écran d'un mètre de diagonale, avec une excellente résolution (1 212 lignes de 1 596 points !). Mais ces écrans sont essentiellement destinés à l'affiche de données alphanumériques et graphiques.

Pour les applications en télévision, seules les techniques qui associent le plasma en tant que source d'excitation soit à la photoluminescence, soit à l'électro-luminescence peuvent conduire à terme à des solutions viables.

D'importants travaux ont été entrepris dans les laboratoires de recherche (Sony, Hitachi, N.H.K., Philips, Siemens...), aboutissant à divers prototypes. La démonstration la plus spectaculaire a été réalisée par la N.H.K. (en 1983 !) avec un écran de 40 cm de diagonale produisant une image de T.V. comparable à celle d'un tube cathodique de même résolution. La N.H.K. développe un écran de 51 cm de diagonale de résolution 640×448 pts, avec comme objectif final l'écran mural grand public pour la T.V.H.D. Des travaux similaires existent dans d'autres laboratoires, comme Fujitsu, Thomson..., et laissent penser que l'écran hybride à plasma a de bonnes chances de figurer parmi les moyens de visualisation de la T.V.H.D.

Ce sentiment vient d'être confirmé par la toute récente annonce par N.H.K. d'une démonstration en juin prochain d'un écran à plasma de 82 cm, au format 16/9, destiné à la T.V.H.D. A voir et à suivre de très près...

3.2. Ecrans électroluminescents.

L'écran électroluminescent utilise la luminescence induite dans un solide polycristallin par l'application d'un champ électrique. On a recours là aussi à l'adressage matriciel (avec les problèmes de connectique associés). Le matériau électroluminescent le plus utilisé est le sulfure de zinc activé, qui émet une lumière jaune-orange : d'où l'aspect de bon nombre d'écrans d'ordinateurs portables actuellement sur le marché.

La production industrielle de ces écrans s'est heurtée à bien des difficultés, et son essor est relativement récent. La résolution limite actuelle est de 640×400 pts, équivalente à celle d'un tube cathodique de 23 cm. Ces écrans monochromes sont surtout adaptés à l'affichage de données alphanumériques ou graphiques.

Pour les écrans couleur, le problème du rendement des phosphores n'est pas encore bien résolu (surtout pour le bleu). Planar Systems a annoncé la réalisation d'un écran couleur de 15 cm de diagonale, d'une résolution de 320×240 pts composé de triades comme dans un tube cathodique couleur.

Pour la télévision, les travaux ne semblent pas avoir débouché sur des produits utilisables. En 1978, Sharp montrait un écran monochrome jaune sur fond noir (240 × 320 pts). Depuis, peu d'information sur ce sujet est parue.

Notons cependant l'annonce en 1987 par Lohja du développement d'un écran couleur électroluminescent de 18 cm : **tout espoir n'est pas perdu, mais on est encore loin des écrans T.V.H.D. !**

3.3. Écrans à cristaux liquides.

Ces dispositifs utilisent les changements de structure moléculaire des cristaux liquides pour moduler un faisceau de lumière par diffusion, ou par biréfringence. Cette modulation est produite par les variations de l'indice de réfraction du cristal en présence d'un champ électrique.

Pour les applications en télévision, seule la version de l'écran biréfringent incluant une matrice de transistors en couche mince (T.F.T.) et des filtres colorés a abouti à la production et à la commercialisation des écrans des minirécepteurs T.V. (qui sont presque tous japonais !).

Même pour les systèmes de télévision actuels, **ces écrans présentent encore des défauts**, et des travaux de recherche sont encore nécessaires, pour améliorer leurs caractéristiques (en France, les laboratoires du C.N.E.T., L.E.T.I., de la Sagem principalement s'y intéressent). Ces améliorations portent sur :

- les dimensions, limitées actuellement à 15 centimètres environ ;
- la luminosité et le contraste ;
- le rendu colorimétrique ;
- l'uniformité d'éclairement. On notera d'autre part que ces écrans sont directifs en horizontal et en vertical, ce qui peut être très gênant pour les applications en télévision ;
- la résolution, qui est encore faible (640 × 400 pts).

Dans ces conditions, **il est clair que l'écran plat T.V.H.D. à cristaux liquides n'est pas commercialisable dans un avenir proche.**

Cependant les progrès des travaux de recherche et développement sont encourageants ; Seiko a annoncé la réalisation d'un prototype de 35 cm, comportant 1 140 lignes verticales de 640 triades. Cet écran présenterait encore des défauts, mais il montre que les cristaux liquides pourraient bien à terme être utilisables pour la T.V.H.D.

3.4. Conclusion sur les écrans plats.

Aucun des types d'écran passés en revue ne peut aujourd'hui être retenu pour visualiser la T.V.H.D. Cependant, compte tenu des résultats obtenus actuellement, et de la très forte pression qui existe sur les recherches et développements dans ce domaine particulier, on peut raisonnablement estimer que cela sera possible dans un avenir plus ou moins proche, en tout cas pour les écrans à plasma ou à cristaux liquides.

Quand ? Difficile à dire... La dernière annonce de N.H.K. semble indiquer que cet avenir serait très proche ; il faut cependant être prudent : que vaut cet équipement ? à quel stade de développement est-il ? De toute façon, on peut estimer que, s'il est « au point » aujourd'hui, un délai d'industrialisation de cinq ans minimum, plus vraisemblablement huit ans, sera nécessaire avant une commercialisation grand public.

Cela étant, il est clair que cette voie doit être surveillée très étroitement, et que des efforts significatifs doivent y être consentis, si on veut rester dans la course de la T.V.H.D.

II. — COMPLÉMENTS APPORTÉS PAR M. OUDIN

RÉSUMÉ

Dans son rapport sur les équipements de production en haute définition, M. Oudin nous a fourni quelques éléments d'information sur l'état actuel des technologies et les appareils commercialisés qui complètent la présentation faite par M. Ranguet.

A. — ÉTAT ACTUEL DES TECHNOLOGIES

1. Les tubes cathodiques.

Des tubes ont été développés au Japon en donnant la priorité à une augmentation de la taille et une amélioration de la résolution.

Concernant l'augmentation de taille, un tube de 40 pouces (diagonale 1 m) a été développé en 1985 et présenté à l'exposition Expo 85 de Tsukuba, Japon. Ce tube pesait environ 80 kg et était au format 5/3. En 1987, un tube de 41 pouces avec un format 16/9 a été développé. Il pesait 105 kg et avait une brillance de 85 cd/m² (1) pour un signal au blanc. Ce tube équipé d'un système numérique de convergence permet de réduire les erreurs de convergence sur toute la surface de l'écran à moins de 0,5 mm. Poids total du récepteur : 170 kg. Dimensions externes : 1 030 × 760 × 850 mm.

Afin d'obtenir de meilleures brillances et résolutions, il a été nécessaire de réduire les effets de dôme des « shadow-masks » (2) dus à la dilatation thermique. Pour cela, il a été utilisé de l'acier « invar », ce qui a permis de réduire ces coefficients de dilatation par 10. En 1987, un tube de 32 pouces (soit une diagonale de 81 cm) a été développé avec ce nouveau type d'acier, ce qui a permis d'obtenir des pointes de brillance à 230 cd/m².

A noter que des tubes d'une brillance supérieure à 100 cd/m² sont disponibles dans des tailles allant jusqu'à 750 mm de diagonale.

(1) La brillance d'un tube se mesure en candelas/m². Un tube couleur actuel de bonne qualité a une brillance de 90 cd/m².

(2) Un tube couleur est constitué de luminophores de couleur rouge, vert, bleu. Le masque ou grille (« shadow mask ») permet que les faisceaux d'électrons aillent frapper les luminophores correspondant. Une des caractéristiques importantes en HD est l'espacement entre les « trous » correspondant à une même couleur appelée « pitch ». La quantité de pitches d'une ligne horizontale de l'écran déterminera la bande passante du tube C.R.T.

Les moniteurs couleurs utilisant des tubes de 51, 76 et 81 cm (20, 30 et 32 pouces) avec un rapport 16/9 ont été développés en 1988 en Belgique, Allemagne fédérale, France, Italie, Pays-Bas et Royaume-Uni. L'utilisation de « pitches » d'un diamètre d'environ 0,3 mm et d'une bande passante vidéo de l'ordre de 60 MHz permet d'obtenir une résolution horizontale supérieure à 1 400 éléments actifs/ligne utile, avec un balayage en 1 250 lignes. Les pointes de luminance et les rapports de contraste étaient d'environ 90 cd/m² et 50/1.

Une technique de balayage bidirectionnelle permettra des fréquences de balayage doubles, ce qui permettra de réduire le papillotement (flicker).

2. Tubes de projection et rétro-projection.

A partir de tubes cathodiques de petit diamètre (7 à 9 pouces), on peut projeter des images sur un écran pouvant atteindre 3 mètres et avec une brillance supérieure à 100 cd/m².

Un rétro-projecteur de 50 pouces (125 cm) utilisant un tube de projection de 7 pouces a atteint une brillance de 400 cd/m² tandis que la profondeur de l'équipement ne dépasse pas 65 cm. En outre, un rapport de contraste de 35/1 ou plus est obtenu en remplissant les espaces entre le tube et l'optique avec un matériau qui a toujours le même indice de réfraction que le verre. Des écrans de ce type de 50 à 110 pouces sont équipés de convergences automatiques.

Un écran de 180 pouces (4,50 m), utilisant 3 tubes de projection de 12 pouces, fait apparaître une brillance de 55 cd/m² avec un gain de 3,5.

Des projections sur de très grands écrans peuvent être faites à partir de différentes sources en utilisant la technique des « light valve » et des optiques Schlieren (théâtre électronique).

B. - LES APPAREILS COMMERCIALISÉS

Il est difficile d'en faire une liste complète :

Prix connus

MISTUBISHI :	
Moniteur 40" S.C.T.-M 401 HD, projecteur L.V.P. 2000X.H.P.	
NEC :	
Moniteur 32", projecteur jusqu'à 100"	
PANASONIC :	
Moniteur 20" T.M.-2020H.D., rétroprojecteur T.H. 500 de 50", projecteur jusqu'à 230"	250 000 dollars
SONY :	
12", 18", 28", 38"	90 000 dollars pour le 38"
TOSHIBA :	
Moniteur de 32", rétroprojecteur de 55"	
SHIBASOKU :	
Toute une série de moniteurs dont un 65 cm	22 000 dollars pour le 26"
IKEGAMI :	
T.P.P. 1500, projecteur de l'ordre de 2,50 m de base	60 000 dollars
EIDOPHORE :	
Projection sur très grand écran (> 7 m de base)	
THOMSON :	
Moniteurs	
PHILIPS :	
Rétroprojecteurs	
BARCO :	
Moniteurs 51 cm, 70 cm, 100 cm	51 cm = 60 000 F 70 cm = 285 000 F

Les cars de production européens sont actuellement équipés de moniteurs Barco.

QUATRIÈME PARTIE
LES ENJEUX ÉCONOMIQUES

PREMIÈRE SOUS-PARTIE
LES PERSPECTIVES DE MARCHÉ
DES MATÉRIELS GRAND PUBLIC A HAUTE DÉFINITION
(Par M. Jean-Paul Brianchon.)

Présentation de l'expert et résumé.

Les perspectives de marché des matériels haute définition grand public, dont l'étude a été confiée à M. Jean-Paul Brianchon, chef de projet au département des techniques nouvelles du Bureau d'informations et de prévisions économiques (B.I.P.E.), doivent être appréciées par rapport à la situation de l'industrie électronique grand public. Ce secteur, où les innovations technologiques se succèdent rapidement, est dominé par les constructeurs japonais. L'industrie européenne s'est récemment restructurée; Thomson notamment, par l'achat de G.E./R.C.A., s'est ouvert le marché américain, tandis que les firmes sud-coréennes progressent rapidement et qu'il n'y a quasiment plus de firmes américaines. Le téléviseur couleur et le magnétoscope représentent environ 50 % des produits de l'électronique grand public et 70 % de la filière image.

Le marché de ces deux produits devrait croître de façon assez faible sur la période 1987-1993 : + 3 % pour le téléviseur couleur et + 4,5 % pour le magnétoscope.

L'enjeu économique et industriel pour ce secteur est très important puisqu'il s'agit dans le long terme et dans la perspective de l'avènement inéluctable de la T.H.V.D., du renouvellement du parc mondial de téléviseurs évalué en 1988 à 760 millions d'unités.

Il y aura d'abord la commercialisation du matériel E.D.T.V. (télévision à définition « étendue ») dont la première génération est d'ores et déjà disponible au Japon. La deuxième génération de ces matériels, offrant un format 16/9, sera commercialisée, en Europe, en 1990, et en 1992-1993 au Japon et aux Etats-Unis.

La commercialisation des matériels haute définition devrait débiter en 1990-1991 au Japon (norme Muse), en 1995, en Europe (norme HD-Mac) vers 1995-1996, aux Etats-Unis.

Dans ces perspectives, les premiers prototypes de téléviseurs haute définition avec des tubes cathodiques H.D. au format 16/9 seront présentés en 1990 alors que les prototypes de rétroprojecteurs seront dévoilés à la mi-1989.

Cependant les constructeurs européens accusent un retard certain sur leurs concurrents japonais en matière d'écrans à cristaux liquides, ces derniers s'estimant capables d'en produire de grandes dimensions avant la fin du siècle.

Quant aux prix des matériels haute définition, M. Brianchon estime que le prix public d'introduction pourrait être de 5 000 dollars pour le téléviseur et 3 000 dollars pour le magnétoscope. Ces prix pourraient être en 2010 respectivement de 650 dollars et de 520 dollars. En 2010, le marché cumulé du téléviseur haute définition pourrait représenter 215 millions d'unités pour une valeur de 220 milliards de dollars et celui du magnétoscope 155 millions d'unités pour une valeur de 110 milliards de dollars.

La répartition géographique des marchés de ces produits serait la suivante en 2010 :

- Etats-Unis : 38 % ;
- Europe : 26 % ;
- Japon : 15 % ;
- Reste du monde : 21 %.

Le marché américain constitue donc l'enjeu majeur et tout s'y jouera pour les constructeurs en fonction de la norme adoptée finalement. En Europe, les firmes européennes disposeront d'un avantage concurrentiel important sur les Japonais grâce à l'adoption de la norme HD-Mac.

Enfin, M. Brianchon note que l'avènement de la télévision haute définition permettra de desserrer l'étau de la concurrence exercée par les groupes sud-coréens qui ne devraient pas être en mesure de commercialiser des matériels haute définition avant les années 2000.

L'industrie électronique européenne se verra offrir une occasion unique de conforter sa position sur le marché des téléviseurs couleur, en Europe, voire de reconquérir le marché des magnétoscopes.

SOMMAIRE

	Pages
I. — Elements de référence sur l'électronique grand public	325
A. — <i>Les caractéristiques de la production mondiale de l'électronique grand public</i> ..	325
1. La domination des constructeurs japonais	325
2. Un secteur affecté par les innovations technologiques	326
2.1. La numérisation progressive des matériels	326
2.2. L'introduction de la télévision haute définition	326
B. — <i>Le processus de concentration industrielle</i>	327
1. La croissance des coûts de R & D	327
2. La concentration industrielle	328
3. La restructuration de l'industrie européenne	328
3.1. L'émergence d'un troisième pôle industriel : Nokia	329
3.2. Le renforcement du groupe Thomson	329
4. Les stratégies de délocalisation des groupes japonais	330
5. L'irruption des firmes sud-coréennes	331
C. — <i>Les marchés de l'électronique grand public</i>	332
1. Les déséquilibres en termes de production et de marché	332
2. L'importance des produits de la filière image	333
3. Les perspectives de marché à moyen terme	333
D. — <i>La position concurrentielle des constructeurs</i>	334
1. L'enjeu majeur du marché américain	334
2. Le marché européen sous la pression des groupes d'Asie	335
3. Le marché japonais, base de l'expansion des groupes nippons	335
II. — <i>Télévision à définition améliorée et télévision haute définition</i>	336
A. — <i>Les systèmes de télévision à définition améliorée (E.D.T.V.)</i>	336
1. En Europe : les normes D et D2 Mac Paquet	336
2. Au Japon : le système Clearvision	337
3. Aux Etats-Unis : une situation confuse	337
B. — <i>Les systèmes de télévision haute définition</i>	337
1. Des échéanciers bien encadrés	338
2. Un enjeu économique et industriel	338

	Pages
III. – L'échéancier de commercialisation des matériels grand public	340
A. – <i>Les matériels en définition améliorée</i>	341
1. Les matériels de première génération	341
2. Les matériels de seconde génération en Europe	341
3. Les matériels de seconde génération au Japon	342
B. – <i>Les matériels en haute définition</i>	342
1. La commercialisation sur le marché japonais	343
2. La commercialisation sur le marché européen	344
3. La commercialisation sur le marché américain	346
IV. – Les perspectives de marché des matériels grands public haute définition et la position concurrentielle des industriels	347
A. – <i>L'évaluation du prix public d'introduction des matériels haute définition</i>	347
B. – <i>Les perspectives de marchés des matériels haute définition</i>	348
1. Le marché des téléviseurs haute définition	348
2. Le marché des magnétoscopes haute définition	350
3. Le marché global des matériels haute définition	352
C. – <i>La position concurrentielle des industriels</i>	353
1. Le retard des industriels sud-coréens	354
2. L'avantage concurrentiel des industriels européens sur leur propre marché	355
3. L'issue incertaine de la lutte pour le contrôle du marché américain	356
3.1. Le scénario de domination japonaise	356
3.2. Le scénario d'identité américaine	357
3.3. Le scénario « européen »	357

I. — ÉLÉMENTS DE RÉFÉRENCE SUR L'ÉLECTRONIQUE GRAND PUBLIC

En préambule aux développements concernant les matériels audiovisuels grand public en définition améliorée (E.D.T.V. pour Enhanced Definition Television) ou en haute définition (T.V.H.D.), cette partie vise à présenter les éléments de référence relatifs à la production, aux marchés et aux positions des constructeurs de l'électronique grand public.

A. — Les caractéristiques de la production mondiale de l'électronique grand public.

En 1988, l'électronique grand public (son et image) représente, selon les estimations de l'E.I.C. (Electronics International Corporation), 11 % de la production mondiale de l'électronique, estimée à 756 milliards de dollars. Le secteur de l'électronique grand public est caractérisé par la forte domination des industriels japonais qui se trouvent confrontés à de nouvelles contraintes économiques et mettent en œuvre une stratégie de délocalisation de leur production vers les zones marchés. L'année 1987 a cependant été marquée par de profondes restructurations de l'industrie européenne et par l'émergence d'un troisième pôle européen de l'électronique grand public.

1. LA DOMINATION DES CONSTRUCTEURS JAPONAIS

En 1987, le Japon assurait 43 % de la production mondiale du secteur de l'électronique grand public, estimée à 78 400 millions de dollars. Mais les constructeurs japonais contrôlaient en réalité près de 50 % de la production mondiale au travers de leurs implantations industrielles à l'extérieur du Japon. En termes de produits, il convient de souligner la forte domination des industriels nippons dans le domaine des magnétoscopes, dont ils assurent 65 % de la production mondiale en 1987.

LA PRODUCTION MONDIALE PAR ZONES GÉOGRAPHIQUES

(En millions de dollars.)

En 1987	Europe	Etats-Unis	Japon	Monde
Téléviseurs couleurs	5 800	5 700	5 470	23 100
Magnétoscopes	1 700	100	8 870	13 400
Autres produits	5 200	4 700	19 230	40 300
Total	12 800	10 500	33 600	78 400
(En pourcentage)	(16 %)	(13 %)	(43 %)	(100 %)

Source : E.I.C.

2. UN SECTEUR AFFECTÉ PAR LES INNOVATIONS TECHNOLOGIQUES

Le secteur est, et sera particulièrement affecté par les innovations technologiques. Ces évolutions, déjà à l'œuvre, vont en effet entraîner une profonde mutation des produits et des marchés par l'élargissement du traitement numérique du son et de l'image, l'introduction de nouveaux systèmes de télévision (E.D.T.V., T.V.H.D.) et la mise en place de nouveaux vecteurs de diffusion (satellites de télédiffusion directe, réseaux câblés en fibres optiques...).

2.1. La numérisation progressive de la chaîne de traitement du son et de l'image se traduit par l'amélioration des performances des produits existants et une possibilité étendue de traitement. Mais la numérisation du signal exige pour sa transmission une plus large disponibilité des fréquences et aura des conséquences à la fois sur les réseaux de diffusion et sur les supports d'enregistrement et de stockage. Ces mutations provoquent un renouvellement du parc de matériels existants et la diffusion accélérée de nouveaux produits, dont le précurseur aura été le lecteur de disque compact.

2.2. L'introduction de la télévision haute définition fait l'objet d'une véritable bataille pour l'établissement des standards de production, de diffusion et de réception. L'enjeu du renouvellement du parc mondial de téléviseurs et de matériels associés (magnétoscopes), et notamment du parc de 180 millions de téléviseurs couleur prévus à l'horizon 1995 en Europe, a conduit les européens à adopter une démarche compatible et évolutive vers la télévision haute définition.

B. — Le processus de concentration industrielle.

Les mutations technologiques, l'internationalisation des marchés, la croissance de la concurrence et la faible rentabilité des firmes du secteur ont provoqué, au côté d'autres facteurs, un vaste mouvement de restructuration et de concentration industrielles au niveau mondial.

1. LA CROISSANCE DES COÛTS DE RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT

Confrontés à l'accélération des cycles technologiques et à ces vagues d'innovations en termes de produits, les constructeurs doivent engager des programmes de Recherche et Développement qui conditionnent dans une large mesure leur pérennité industrielle et commerciale. Ces coûts de Recherche et Développement représentaient en 1986 :

- 2,3 % du chiffre d'affaires de Thomson grand public ;
- 2,3 % du chiffre d'affaires de Grundig ;
- 4 % du chiffre d'affaires de Pionner ;
- 9 % du chiffre d'affaires de Sony.

LES PRINCIPALES INNOVATIONS SUR LA PÉRIODE 1985-2000

Période 1985-1990	Période 1990-1995	Période 1995-2000
<ul style="list-style-type: none">● Téléviseurs numériques.● Caméscopes.● Écrans plats monochromes.● Petits écrans plats couleur.	<ul style="list-style-type: none">● Matériels E.D.T.V.● Magnétoscopes.● Téléviseurs couleur.● matériel T.V.H.D. (Japon).● Magnétoscopes numériques.● Lecteurs disque compact et vidéo.● Supports optiques réinscriptibles audio.	<ul style="list-style-type: none">● Matériels T.V.H.D.● Téléviseurs couleur.● Magnétoscopes.● Lecteur vidéodisc.● Écrans plats de grandes dimensions.● Supports optiques réinscriptibles audio/vidéo.● Systèmes domotiques.

2. LA CONCENTRATION INDUSTRIELLE

L'internationalisation des marchés, la complexification des technologies à mettre en œuvre et la croissance de la concurrence dans toutes les zones marchés contraignent les constructeurs à atteindre une taille critique à la fois pour amortir des coûts de R & D croissants et pour maintenir une compétitivité prix par les effets de série. Dans ce contexte le secteur est marqué par un processus de concentration industrielle comme l'illustre le tableau suivant :

**PARTS DE MARCHÉ DÉTENUES
PAR (a) LES CINQ PREMIÈRES ET (b) LES DIX PREMIÈRES ENTREPRISES MONDIALES
DE L'ÉLECTRONIQUE GRAND PUBLIC SUR LE MARCHÉ**

(En pourcentage.)

1987	Européen		Américain		Japonais		Mondial	
	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)
Téléviseurs couleur	63	79	65	86	80	100	49	72
Magnétoscopes	54	79	53	74	85	100	49	70
Ensemble de l'électronique grand public	45	66	50	70	63	82	45	65

Source : d'après E.I.C.

3. LA RESTRUCTURATION DE L'INDUSTRIE EUROPÉENNE

Confrontée depuis la fin des années 1970 à la concurrence des groupes japonais et coréens, l'industrie européenne de l'électronique grand public s'est engagée dans un processus de concentration industrielle qui l'a fait évoluer vers une forme de duopôle constitué des groupes Philips et Thomson. L'année 1987 a été marquée par l'irruption d'un troisième acteur du secteur, le groupe finlandais Nokia, tandis que le groupe Thomson renforçait ses positions par l'acquisition de G.E./R.C.A. aux Etats-Unis et de Ferguson (filiale de Thorn-Emi) en Grande-Bretagne.

LE PROCESSUS DE CONCENTRATION INDUSTRIELLE EN EUROPE

Groupes acquéreurs	Acquisitions	Groupes vendeurs
Thomson (1)	G.E. Werner (E.), 1974 Nordmende (R.F.A.), 1978 S.A.B.A. (R.F.A.), 1980 Dual (R.F.A.), 1982 Telefunken (R.F.A.), 1983 Ferguson (R.U.), 1987 G.E./R.C.A. (U.S.A.), 1987	Général Electric (U.S.A.) G.T.E. (U.S.A.) A.G.E. Telefunken (R.F.A.) Thorn-Emi (R.U.) General Electric
Philips	Magnavox (U.S.A.), 1978 Grundig (R.F.A.), 1983 Polygram (R.F.A.), 1985	G.T.E. (U.S.A.)
Nokia	Salora (Finl.), 1983 Luxor (F.), 1983 Océanic (F.), 1987 S.E.L. (R.F.A.), 1987	Electrolux (S.) C.G.E. (F.)

3.1. Avec la reprise des activités grand public de la S.E.L. et d'Océanic, le groupe Nokia devient le troisième constructeur européen du secteur. L'électronique grand public représente désormais 65 % du chiffre d'affaires de Nokia qui marque ainsi sa volonté d'insertion dans un secteur où son influence était limitée. L'acquisition de la S.E.L. représente notamment :

- trois marques (I.T.T., Graetz, Schaub-Lorenz) ;
- un chiffre d'affaires de 1,4 milliard de deutschemark en 1986 ;
- une production annuelle de 1,2 million de téléviseurs et de 350 000 magnétoscopes.

3.2. La prise de contrôle de Ferguson et de G.E./R.C.A. par le groupe Thomson en 1987 bouleverse l'échiquier industriel mondial de l'E.G.P. Le groupe Thomson double en effet sa taille dans l'électronique grand public, devient le second producteur mondial de téléviseurs couleur et détient une part significative du marché américain. Le groupe Thomson accède ainsi au quatrième rang mondial du secteur derrière Matsushita (Japon), Sony (Japon) et Philips (seul groupe européen qui possédait une taille mondiale) et s'ouvre les perspectives du marché américain sur lequel il était marginalement implanté.

L'OPÉRATION THOMSON-FERGUSON-R.C.A. (1987)

	Thomson grand public 1986	Thorn Emi Ferguson	G.E./R.C.A.	Thomson grand public 1988
Activités	C.A. : 15 mil- liards de francs	C.A. : 300 mil- lions de livres	C.A. : 3,5 mil- liards de dollars	C.A. : 38 milliards de francs
E.G.P.	C.A. : à l'étran- ger : 70 % 32 usines 30 000 salariés	C.A. : à l'étran- ger : 10 % 2 usines 4 300 salariés	17 usines 31 000 salariés	51 unités 65 300 salariés
Téléviseurs couleurs (millions d'uni- tés)	2,8	0,680	3,8	7,3
Tubes (millions d'unités)	3,2	*	5	8,2
Magnétoscopes (millions d'uni- tés)	0,7	0,3	2,4	3,4

Ce renforcement de la position des groupes européens s'inscrit dans le cadre de l'émergence de nouveaux concurrents d'Asie du Sud-Est, notamment des firmes sud-coréennes, et de la pression concurrentielle des firmes japonaises.

4. LES STRATÉGIES DE DÉLOCALISATION DES GROUPES JAPONAIS

Les constructeurs japonais, confrontés à de nouvelles contraintes économiques (hausse du yen contre dollar, montée du protectionnisme en Europe et aux Etats-Unis), accélèrent la délocalisation de leur production selon une double logique : implantation d'unités de production sur les zones marchés (Etats-Unis, Europe) visant à contourner les barrières douanières et renforcement des bases de production dans les pays à faibles coûts salariaux d'Asie du Sud-Est (dont la monnaie est rattachée au dollar) visant à desserrer l'étau des parités monétaires. **Cette stratégie d'expansion industrielle s'accompagne d'un transfert technologique au profit des pays de l'Asie du Sud-Est.** Ces derniers se posent désormais en concurrents sérieux pour les produits de bas de gamme sur les marchés européens et américains, voire japonais. Ces nouvelles contraintes concurrentielles contribuent sans aucun doute à l'accélération des mutations technologiques qui apparaissent pour les constructeurs japonais comme le moyen de maintenir leur suprématie industrielle et commerciale au plan mondial, quitte à délaissier une partie de la production des produits en technologies anciennes à leurs nouveaux concurrents.

5. L'IRRUPTION DES FIRMES SUD-CORÉENNES

En 1986-1987, la progression des firmes sud-coréennes dans le domaine de l'électronique grand public s'est vu consacrée par une pénétration spectaculaire des marchés européens et américains. Cette montée en puissance des constructeurs sud-coréens trouve sa source dans la mise en œuvre d'une politique offensive fondée sur des coûts salariaux très faibles, la dépréciation effective d'une unité monétaire indexée sur le dollar et des capacités de production largement supérieures aux besoins du marché intérieur. Les trois principaux producteurs sud-coréens (Samsung, Goldstar et Daewoo) sont notamment en mesure de produire 4,7 millions de magnétoscopes par an.

Confrontées aux mesures protectionnistes — la C.E.E. et les Etats-Unis ont obtenu fin 1987 des accords d'« autolimitation » des exportations de produits électroniques en provenance de la Corée du Sud — les firmes sud-coréennes multiplient les implantations industrielles aux Etats-Unis et en Europe. Elles y détiennent désormais de fortes positions concurrentielles sur les produits bas de gamme. Le Japon, lui-même, n'est pas épargné : les entreprises sud-coréennes ont commencé à y exporter des téléviseurs couleur et des magnétoscopes de bas de gamme.

LA PRODUCTION D'ÉLECTRONIQUE GRAND PUBLIC DANS LES PAYS D'ASIE DE L'EST

(En milliers d'unités.)

	Corée du Sud		Taiwan		Singapour		Hong Kong	
	1987	1988	1987	1988	1987	1988	1987	1988
Magnétoscope	5 967	8 000	1 070	1 500	0	20	0	0
Téléviseur couleur	11 926	13 000	4 747	4 500	6 000	7 000	1 119	4 000
Matériel hi-fi	3 186	4 000	7 300	7 000	2 100	4 000	16	20
Radiorécepteur	36 932	41 000	32 913	17 500	29 000	33 000	18 763	19 200
Autoradio	17 685	17 000	2 800	2 900	8 000	8 500	558	700

Source : E.I.A.J.

Mais la dépendance technologique des firmes d'Asie du Sud-Est reste très forte vis-à-vis du Japon et elles tentent désormais de réaliser une montée en gamme de leur production et d'imposer leurs propres marques. Selon certaines estimations, 50 % des exportations coréennes se font en O.E.M. (Original Equipment Manufacture), les produits étant commercialisés par d'autres marques.

Le mouvement de concentration et d'internationalisation qui s'est développé dans l'industrie de l'électronique grand public depuis la fin des années 1970 se traduit par la constitution d'une forme d'oligopole mondial et crée les conditions d'un affrontement direct entre les principaux groupes industriels de secteur sur un marché en maturité appelé à connaître une faible progression avant l'arrivée de nouvelles générations de produits.

C. — Les marchés de l'électronique grand public.

Caractérisé par de profonds déséquilibres régionaux entre production et consommation, le marché de l'électronique grand public est un marché en maturité sur lequel les produits de la filière image représentent près des deux tiers de la consommation des ménages. Les forts taux d'équipement des ménages pour les deux produits phares du secteur — le téléviseur couleur et le magnétoscope — entraînent une croissance amortie d'un marché dans l'attente de nouvelles générations de produits.

I. LES DÉSÉQUILIBRES EN TERMES DE PRODUCTION ET DE MARCHÉ

Les trois principales zones de marchés, les Etats-Unis, l'Europe et le Japon, représentent 80 % du marché mondial. Le tableau suivant illustre le déséquilibre en termes de production et de marché : le Japon assure 43 % de la production mondiale du secteur et représente environ 20 % de la consommation tandis que les Etats-Unis, avec 13 % de la production mondiale, assurent près du tiers des débouchés mondiaux du secteur.

LES MARCHÉS MONDIAUX DE L'ÉLECTRONIQUE GRAND PUBLIC

(Hors supports enregistrés et jeux électroniques.)

(En millions de dollars courants.)

En 1958	Europe	Etats-Unis	Japon	Monde
Produits Vidéo	12 040	13 030	8 140	45 160
<i>dont :</i>				
Téléviseurs couleur	6 569	6 886	3 525	22 910
Magnétoscopes	4 748	4 039	3 140	15 400
Produits Audio	7 900	9 165	4 680	26 390
Supports vierge	2 270	1 910	2 220	7 560
Total grand public	22 210	24 105	15 040	79 110
(En pourcentage)	(28 %)	(30 %)	(19 %)	(100 %)

Source : B.I.P.E. (S.I.M.E.).

2. L'IMPORTANCE DES PRODUITS DE LA FILIÈRE IMAGE

Les produits de la filière image (téléviseur couleur, magnétoscopes, caméscopes, supports vierges,...) **comptent pour 64 % du marché total.**

LA STRUCTURE DES MARCHÉS PAR CATÉGORIES DE PRODUITS

(En pourcentage.)

En 1988	Europe	États-Unis	Japon	Monde
Produits filière image	61	60	65	64
<i>dont</i> : téléviseurs couleur ...	30	29	23	29
magnétoscopes	21	18	21	20
caméscopes	3	7	6	5
supports vierges	7	6	11	7
Produits audio	39	40	35	36
Total	100	100	100	100

Source : B.I.P.E. (S.I.M.E.).

Les deux principaux produits du secteur sont le téléviseur couleur et le magnétoscope (près de 50 % du marché). Le produit de base de l'équipement de ménage en E.G.P. reste en effet le téléviseur couleur mais ce marché apparaît en relative saturation et ne semble pas devoir retrouver des taux de croissance importants à moyen terme. La sortie de nouvelles générations de produits comme les téléviseurs en définition améliorée et en haute définition et, dans une moindre mesure, les téléviseurs numériques, devrait durablement relancer ce marché. Le marché des magnétoscopes reste en expansion rapide en Europe mais sa croissance devrait se ralentir aux États-Unis et au Japon en dépit de baisse rapide de prix. En revanche, le marché des caméscopes et des lecteurs de vidéodisques connaissent des taux de croissance importants mais les volumes de marché restent encore limités.

3. LES PERSPECTIVES DE MARCHÉ À MOYEN TERME

Au total, sur la période 1987-1993 et sur la base d'une parité 1 ECU = 1,85 \$, le marché mondial de l'électronique grand public devrait connaître un taux annuel de croissance exprimé en dollars courants, de 3,5 %, avec il est vrai de fortes disparités selon les produits :

- + 3 % pour les téléviseurs couleurs ;
- + 4,5 % pour les magnétoscopes ;
- + 7,5 % pour les caméscopes ;
- + 12,5 % pour les lecteurs de vidéodisques.

Sur ces bases, le marché mondial, exprimé en dollars courants, s'élèverait en 1993 à 92 200 millions de dollars dont :

- M\$ 26 300 pour les téléviseurs couleur ;
- M\$ 19 600 pour les magnétoscopes ;
- M\$ 5 600 pour les caméscopes ;
- M\$ 61 400 pour les produits de la filière image.

(Source : B.I.P.E.)

D. — La position concurrentielle des constructeurs.

Dans toutes les zones marchés, les industriels japonais détiennent de fortes positions, notamment aux Etats-Unis. En Europe, les industriels européens contrôlent en revanche une large partie du marché de la filière image en dépit de la forte pression concurrentielle des groupes japonais et sud-coréens.

1. L'ENJEU MAJEUR DU MARCHÉ AMÉRICAIN

Le marché américain constitue l'enjeu central du secteur en raison de son poids relatif. Les industriels américains se sont désengagés du secteur, notamment en raison de son faible taux de rentabilité, et en 1988, la quasi-totalité du marché est contrôlée par des constructeurs d'origine étrangère : groupes japonais (Matsushita, Sony, Toshiba, Sanyo...), européens (Thomson et Philips) et, dans une moindre mesure, d'Asie du Sud-Est (Daewoo, Goldstar, Samsung, Tatung...). Depuis la prise de contrôle de G.E./R.C.A. par le groupe Thomson, le groupe **Zenith** reste le dernier constructeur du secteur détenu par des capitaux américains.

2. LE MARCHÉ EUROPÉEN SOUS LA PRESSION DES GROUPES D'ASIE

Sur le marché européen, les groupes industriels européens accusent une faiblesse dans les équipements audio (en dépit de positions solides dans les lecteurs de disque compact et les autoradios) devant la forte pression concurrentielle des pays de la zone Pacifique (Asie du Sud-Est et Japon). Ils contrôlent en revanche une partie du marché du téléviseur couleur et, au travers d'accords d'O.E.M. et de licences, celui des magnétoscopes. Mais on observe depuis quelques années une pénétration accrue du marché des téléviseurs de bas et de moyenne gamme par les constructeurs sud-coréens et japonais.

3. LE MARCHÉ JAPONAIS, BASE DE L'EXPANSION DES GROUPES NIPPONS

Le marché japonais représente près de 20 % du marché mondial, confirmant ainsi le **haut niveau de consommation des ménages japonais en électronique de loisir** et leur forte réceptivité aux nouveaux produits (camescopes, baladeurs vidéo, vidéodisques...). C'est sur leur marché intérieur que les constructeurs japonais lancent les produits innovants, y réalisent des volumes de production significatifs avant d'en généraliser la commercialisation puis la production aux autres zones marchés (magnétoscopes, camescopes, lecteurs de compact-disque vidéo...). Les groupes japonais contrôlent quasi totalement leur marché intérieur, les ventes réalisées par d'autres acteurs restant marginales. On observe cependant une légère pénétration des produits de bas de gamme sud-coréens. Le tableau ci-après illustre la forte position concurrentielle des constructeurs japonais sur les trois principales zones marchés.

LA POSITION CONCURRENTIELLE DES CONSTRUCTEURS SUR LES MARCHÉS

En 1987	Européen	Nord-Américain	Japonais	Mondial
<i>Constructeurs :</i>				
Européen	++	+	-	+
Japonais	++	+++	+++	+++
Sud-Est asiatique	+	+	-	+
Américain	+	-	-	-

Source : B.I.P.E. (S.I.M.E.).

- : part de marché inférieure à 5 %.

+ : part de marché inférieure à 30 %.

++ : part de marché inférieure à 50 %.

+++ : part de marché supérieure à 50 %.

II. — TÉLÉVISION A DÉFINITION AMÉLIORÉE ET TÉLÉVISION HAUTE DÉFINITION

A. — Les systèmes de télévision à définition améliorée (E.D.T.V.).

Les systèmes de télévision à définition améliorée (E.D.T.V.) consistent à enrichir les normes de transmission actuelles tout en conservant les mêmes trames (625 lignes en P.A.L.-S.E.C.A.M., 525 lignes en N.T.S.C.). Ils s'inscrivent dans la logique d'évolution des standards de télévision et permettent de tirer pleinement partie de la numérisation à l'œuvre dans le domaine de la production (composantes ou composite numériques) et de la réception (I.D.T.V.). La mise en place des systèmes E.D.T.V. comprend deux phases : une phase de première génération conservant un format d'image de 4:3 et une phase de seconde génération qui permet de diffuser des images en format 16/9. La diffusion E.D.T.V. sera initiée en 1989 en Europe et au Japon avec deux finalités différentes. Aux Etats-Unis, en revanche, la situation demeure confuse.

I. EN EUROPE : LES NORMES D ET D2-MAC PAQUET

En Europe, la diffusion E.D.T.V. sera réalisée selon les normes D et D2-Mac Paquet dès 1989 par satellite de télédiffusion directe (satellite T.D.F. 1 et B.S.B. notamment) et correspond à une phase intermédiaire d'évolution vers la télévision haute définition (HD-Mac) avec laquelle une compatibilité est assurée. Les normes D et D2-Mac conservent une trame de 625 lignes mais permettent une amélioration de la résolution par un codage des signaux en composantes (dissociation des signaux de chrominance et de luminance), accompagnée de plusieurs sons d'une qualité équivalente à celle du disque compact. La réception des émissions D et D2-Mac suppose l'équipement en matériels spécifiques (antennes satellitaires, décodeurs), la visualisation des programmes pouvant être réalisée sur les téléviseurs P.A.L./S.E.C.A.M. actuels. A partir de 1990, une partie des émissions sera diffusée au format élargi 16/9, offrant ainsi aux consommateurs une image agrandie d'un format se rapprochant de celui des films 35 mm.

2. AU JAPON : LE SYSTÈME CLEARVISION

1.2. Au Japon, la diffusion E.D.T.V. selon le système Clearvision devrait débuter en 1989. Clearvision est un système de transmission pleinement compatible développé à l'intention des chaînes de télévision commerciales inquiètes de la « menace » que constitue le système de télévision haute définition de la N.H.K. Comme pour l'Europe, le système E.D.T.V. japonais comprend deux phases, le système Clearvision de première génération permet d'augmenter la résolution de l'image tout en conservant un format d'écran de 4/3. La seconde génération (E.D.T.V. II) est considérée comme une amélioration de Clearvision avec une résolution encore améliorée et un format d'écran élargi. E.D.T.V. II n'a pas encore été normalisé par la Broadcast Technology Association qui regroupe fabricants d'équipements et diffuseurs. Sa normalisation pourrait intervenir après la décision de la Federal Communications Commission (F.C.C.) américaine afin de s'efforcer de l'harmoniser avec le futur système adopté aux Etats-Unis.

3. AUX ETATS-UNIS : UNE SITUATION CONFUSE

1.3. Aux Etats-Unis, la situation reste confuse. Les acteurs publics et privés américains semblent avoir pris la mesure des enjeux technologiques attachés à la télévision haute définition et la Federal Communications Commission a adopté le 1^{er} septembre 1988 une mesure provisoire en faveur d'une compatibilité de la télévision haute définition avec le standard N.T.S.C. Près de 20 systèmes de télévision haute définition et de télévision à définition améliorée sont aujourd'hui sous l'évaluation de la F.C.C. qui devrait prendre une décision en 1991. Dans l'hypothèse d'une décision en faveur d'un système évolutif, une phase de E.D.T.V. de seconde génération pourrait débuter en 1992.

B. — Les systèmes de télévision haute définition.

A la différence des systèmes de télévision E.D.T.V., l'introduction de la télévision haute définition (T.V.H.D.) constitue une véritable rupture technologique puisqu'il faut mettre en œuvre des techniques plus sophistiquées à la fois dans les équipements de production et de transmission et dans les matériels grand public avec des considérations de prix et d'encombrement qui conduisent à un très haut degré de miniaturisation et d'intégration des circuits. La conception et le déve-

loppement de tels circuits nécessitent la mobilisation d'équipes d'ingénieurs qualifiés et se traduisent par des coûts de R & D considérables. Il convient dans le même temps de développer et d'industrialiser des tubes à haute définition avec les mêmes considérations de prix et d'encombrement. La mise en œuvre de programmes aussi ambitieux s'inscrit dans le cadre de lourdes incertitudes : à quelle date débutera dans les différentes zones la diffusion commerciale de programmes en haute définition ? Pourra-t-on assurer la production d'un volume de programmes suffisamment attractifs pour susciter l'équipement des utilisateurs ? Les industriels seront-ils en mesure de respecter les échéanciers annoncés ? Quelles seront les normes de production qui finiront par s'imposer « de jure » ou « de facto » dans les différentes zones géographiques ?

1. DES ÉCHÉANCIERS BIEN ENCADRÉS

Les premiers prototypes de matériels professionnels et grand public en haute définition ont été présentés, des expérimentations de diffusion ont eu lieu et les échéanciers de disponibilité des matériels apparaissent relativement bien encadrés par les développements en cours dans les laboratoires de R & D. S'il semble aujourd'hui difficile de préjuger des stratégies que mettront en œuvre les fabricants de programmes d'une part et les diffuseurs de l'autre, on ne peut douter de leur volonté de participer à l'évolution du système audiovisuel. Dans ce contexte, les industriels européens jouent leur carte en Europe : les satellites de télédiffusion vont permettre d'initier une phase de télévision en définition améliorée en 1989 et la diffusion selon les normes HD-Mac devrait intervenir au milieu des années 1990, sous l'hypothèse de la réussite commerciale de la phase d'E.D.T.V. de seconde génération et de l'existence d'un parc significatif de décodeurs et de récepteurs 16/9.

2. UN ENJEU ÉCONOMIQUE ET INDUSTRIEL

L'enjeu économique et industriel de la télévision haute définition est dans le long terme le renouvellement du parc mondial de téléviseurs. Ce parc est évalué en 1988 à 760 millions d'unités (500 millions de téléviseurs couleur et 260 millions de téléviseurs noir et blanc) dont près de 60 % au standard N.T.S.C. Le marché mondial des téléviseurs s'est élevé en 1988 à environ 70 millions d'unités, avec une répartition équilibrée entre chaque standard. Sur les bases de l'étude réalisée par le N.R.I. (Nomura Research Institute) en 1988, les prévisions de marché et de parc s'établissent comme suit :

— En 1995 le marché mondial des téléviseurs couleurs s'élevaient à plus de 93 millions d'unités dont 57 % au standard P.A.L./S.E.C.A.M.

MARCHÉ MONDIAL DES TÉLÉVISEURS COULEURS EN 1995

(En millions de téléviseurs.)

	Bloc P.A.L./S.E.C.A.M.	Bloc N.T.S.C.	Total
Japon	—	11,5	11,5
Asie	10,8	4	14,8
Europe de l'Ouest	20,9	—	20,9
Europe de l'Est	8,9	—	8,9
Moyen-Orient	4,9	—	4,9
Afrique	2	—	2
Amérique du Nord	—	22	22
Amérique Centrale et du Sud	4,7	2,7	7,4
Océanie	1,2	—	1,2
Total	53,4	40,2	93,6
Pourcentage	57	43	100

Source : N.R.I.

— Le parc mondial de téléviseur atteindrait à cette date le milliard d'unités, dont 740 millions de téléviseurs couleur, et le parc installé aux standards P.A.L./S.E.C.A.M. compterait pour plus de 60 % du total.

III. — L'ÉCHÉANCIER DE COMMERCIALISATION DES MATÉRIELS GRAND PUBLIC

L'avènement des nouveaux systèmes de télévision (E.D.T.V., T.V.H.D.) apparaît aujourd'hui inéluctable à la fois en raison des faiblesses des standards de télévision actuels et de l'évolution des techniques. Les calendriers de mise en place des services en haute définition au Japon et en Europe et, avec une marge d'incertitude importante, aux Etats-Unis sont bien définis. Parallèlement, les échéanciers de commercialisation des matériels grand public apparaissent bien encadrés par l'état d'avancement des travaux de R. & D. et les annonces des constructeurs. Les conditions du déclenchement d'un marché semblent donc réunies. Mais de nombreuses incertitudes pèsent sur la création d'un marché de masse dans le domaine des matériels grand public en raison, d'une part, des contraintes techniques à surmonter qui se traduiront par des prix de matériels élevés et, d'autre part, de l'attitude des consommateurs qui pourraient, face à l'accélération des cycles technologiques, adopter une position d'attentisme et différer leur équipement dans le temps. Dans ce contexte il faut s'efforcer de coordonner les stratégies mises en œuvre par l'ensemble des acteurs européens engagés dans la télévision haute définition, dans les trois segments de la production, de l'émission et de la réception. Leurs intérêts ne coïncident pas nécessairement et des divergences apparaissent notamment entre production de programmes et production de matériels de réception. Or, si la disponibilité de vecteurs de diffusion (satellites de télédiffusion directe) et de matériels de réception est une condition de succès de la télévision haute définition, il faut également produire et diffuser des programmes attractifs susceptibles de capter l'intérêt des utilisateurs et de susciter leur équipement. Le concept d'introduction évolutive et compatible de la télévision haute définition, développé et initié par les Européens, permet précisément l'engagement d'un cercle vertueux : les producteurs et les diffuseurs sont assurés de l'existence d'un parc d'équipements en service et donc d'une audience potentielle dans les premières étapes d'évolution vers la télévision haute définition et les industriels peuvent commercialiser des matériels haut de gamme pour exploiter les améliorations apportées par les nouveaux standards. L'objet de cette partie est de préciser les échéanciers de commercialisation des téléviseurs et des magnétoscopes en définition améliorée et en haute définition dans les différentes zones géographiques.

A. — Les matériels en définition améliorée.

1. LES MATÉRIELS DE PREMIÈRE GÉNÉRATION

Au Japon et en Europe, des services de télévision en définition améliorée de première génération (format d'image 4/3) sont programmés pour 1989 : système D/D2-Mac Paquet en Europe et système Clearvision au Japon. Ces systèmes offrent une résolution égale à une fois et demi celle des standards actuels. Compatibles avec les récepteurs en service, ils permettront d'exploiter pleinement les capacités techniques des matériels I.D.T.V.

— En Europe, la diffusion est assurée au moyen de satellites de télédiffusion directe et les utilisateurs doivent s'équiper de matériels d'interface pour capter les émissions (antennes satellitaires, circuit de décodage en « boîte noire » ou intégré aux téléviseurs).

— Au Japon, la mise en place du système Clearvision est prévue pour juin 1989 à Osaka et à Tokyo, les programmes seront diffusés par voie hertzienne.

Les téléviseurs et magnétoscopes correspondant à cette première génération des systèmes E.D.T.V. — téléviseurs couleur « numérique » intégrant des mémoires d'images et des mémoires de trames, magnétoscopes offrant une haute résolution de type S-VHS — **sont d'ores et déjà commercialisés au Japon, en Europe et aux États-Unis.** Leurs caractéristiques techniques leur permettent d'optimiser la réception, le traitement et la visualisation des signaux E.D.T.V.

2. LES MATÉRIELS DE SECONDE GÉNÉRATION EN EUROPE

La seconde génération des systèmes E.D.T.V., offrant un format d'image en 16/9, est programmée en Europe pour le courant de l'année 1990. Les chaînes de fabrication des tubes 16/9 seront mises en place dans les unités de production des groupes Philips (Aix-la-Chapelle) et Thomson (Agnagni) dès le début de l'année 1990 et **les téléviseurs au format élargi, intégrant le circuit décodage, seront commercialisés dans le courant de l'année 1990.** La diffusion de ces équipements devrait rester confidentielle en 1990 et limitée en 1991, le véritable déclenchement du marché devrait se situer en 1992. Pour l'enregistrement et la reproduction des programmes en 16/9, l'utilisation des magnétoscopes au format S-VHS, comportant une entrée R.V.B.,

permettra de traiter les signaux D/D2 Mac Paquet. Dans ce domaine, les acteurs européens doivent adopter une approche complémentaire reposant sur la disponibilité des matériels (téléviseurs 16/9, magnétoscopes) et des programmes. Cette approche a permis aux industriels européens de s'imposer sur le marché européen des lecteurs de disques compacts alors que l'absence d'une offre matériel/programme ne leur a pas permis de résister à la concurrence des constructeurs japonais dans le domaine du magnétoscope. Il convient cependant de noter que l'industrie européenne ne dispose pas de la maîtrise industrielle et commerciale des magnétoscopes de type S-VHS.

3. LES MATÉRIELS DE SECONDE GÉNÉRATION AU JAPON

Au Japon, le principe de la mise en place d'un service de télévision E.D.T.V. de seconde génération est arrêté. Mais il est probable que son introduction n'interviendra qu'après la décision de la F.C.C. américaine, prévue pour 1991. Les acteurs japonais, groupes industriels mais également chaînes de télévision commerciales, semblent en effet privilégier un système présentant une étroite compatibilité avec le système E.D.T.V. américain que pourrait retenir la F.C.C. dans le cadre d'une approche évolutive et progressive de la télévision haute définition. Dans cette hypothèse, **la mise en place de services E.D.T.V. de seconde génération interviendra en 1992-1993 au Japon et aux Etats-Unis,** et reproduira la situation actuelle avec un fractionnement du marché mondial en deux blocs : un bloc D/D2 Mac en 625 lignes/50 Hertz dans les zones P.A.L./S.E.C.A.M. et un bloc E.D.T.V./Clearvision en 525 lignes/59.94 Hertz dans la zone N.T.S.C. Les matériels grand public correspondant à cette seconde génération d'E.T.V. — téléviseur au format 16/9 — seront introduit sur les marchés américains et japonais à cette date. Dans le domaine des magnétoscopes, comme pour le marché européen, les matériels actuels de type S-VHS permettront l'enregistrement des signaux E.D.T.V. de seconde génération.

B. — Les matériels en haute définition.

L'introduction de la télévision haute définition débutera dès le début des années 1990 au Japon et au milieu des années 1990 en Europe. Aux Etats-Unis, premier marché mondial de l'électronique grand public et des téléviseurs couleur, la situation demeure confuse et semble évoluer vers une forme de rupture avec les propositions japonaises.

I. LA COMMERCIALISATION SUR LE MARCHÉ JAPONAIS

C'est au Japon que devrait débiter en 1991 la diffusion de services en télévision haute définition (norme Muse), après une phase de diffusion expérimentale qui commencera dans le courant de l'année 1989 (satellite BS-2b ou BS-2x). Le Japon présente ainsi la caractéristique d'introduire quasisimultanément deux nouveaux systèmes de télévision sans compatibilité mutuelle : Clearvision en 525 lignes/59.94 Hertz au format 4/3 en 1989 et Muse en 1 125 lignes/60 Hertz au format 16/9 en 1991. A la différence du système Clearvision, Muse nécessite l'équipement des consommateurs en matériels spécifiques : téléviseurs et magnétoscopes dont les prototypes sont déjà en service dans des lieux d'exposition au Japon. Ainsi deux cents récepteurs répartis en quatre-vingt endroits différents du Japon ont notamment donné lieu à une expérimentation en grandeur nature à l'occasion des jeux Olympiques de Séoul en 1988. Cette opération a permis à la N.H.K. d'organiser une vaste campagne médiatique sur le système Muse, campagne qui trouve actuellement sa suite dans de nombreuses initiatives. Le musée de Gifu vient de se doter d'une « galerie Hivision » qui permet au public de consulter une partie de la collection d'œuvres sur écran haute définition. Parallèlement le ministère des Postes (M.P.T.) a officiellement désigné les quatorze villes qui bénéficieront de mesures financières privilégiées pour l'installation de systèmes de télévision haute définition pour des applications particulières (musées, théâtres, vidéo-thèques, bases de données sur les patrimoines culturels...). Enfin, les Japonais ont créé une société pour la promotion de la norme Hivision dotée de moyens importants. Il reste que les acteurs japonais, et notamment la N.H.K., doivent faire face à une double pression :

— d'une part, une pression extérieure exercée par les Européens pour une démarche évolutive et compatible vers la télévision haute définition et par la décision de la F.C.C. américaine de respecter une compatibilité avec le standard N.T.S.C.H. pour l'introduction de la télévision haute définition ;

— et, d'autre part, une pression intérieure, exercée par les chaînes commerciales japonaises soucieuses de maintenir leur part de marché et inquiètes des visées « hégémoniques » de la N.H.K.

Dans ce contexte, la N.H.K. a annoncé la réalisation d'un convertisseur qui permettra de recevoir les émissions diffusées en Muse sur un récepteur N.T.S.C. pour un coût compris entre 100 et 200 dollars (entre 600 et 1 000 F). A une approche européenne et américaine privilégiant la compatibilité, les Japonais opposent désormais une démarche de convertibilité. La commercialisation des matériels grand public Muse (magnétoscopes et téléviseurs) débutera selon toute vraisemblance en 1990-1991.

2. LA COMMERCIALISATION SUR LE MARCHÉ EUROPÉEN

En Europe, la diffusion de services en haute définition (norme HD-Mac) devrait débiter en 1995-1996. Le principe d'évolution et de compatibilité développé par l'Europe permettra aux diffuseurs de s'appuyer sur le parc de récepteurs D/D2-Mac Paquet de première mais surtout de seconde génération en service à cette date. Cette évolution maîtrisée de la télévision haute définition implique une amélioration significative des performances pour déclencher l'équipement des consommateurs à chaque étape. C'est précisément le fondement de l'introduction de la norme HD-Mac (1 250 lignes/50 Hertz au format 16/9) qui permettra aux consommateurs de bénéficier d'une résolution égale au double de celle des standards D/D2-Mac Paquet de seconde génération. La commercialisation des matériels grand public HD-Mac devrait véritablement débiter en 1995 simultanément à la mise en place des services. Quelques milliers d'unités seront cependant « commercialisées » dès 1992-1993 à des fins de promotion et de démonstration. Les industriels européens devant raisonnablement avoir résolu les difficultés techniques de la fabrication des tubes haute définition et de la réalisation des circuits de décodage HD-Mac.

Les premiers prototypes de téléviseurs haute définition avec des tubes cathodiques haute définition au format 16/9 seront présentés en 1990 (33" et 36" de diagonale d'écran). Parallèlement les industriels ont développé des téléviseurs à rétroprojection de grande dimension dont les prototypes seront présentés en août 1989 au Funkaustellung de Berlin. L'approche des industriels européens du marché des téléviseurs haute définition consiste en effet à opérer une segmentation du marché en termes de taille d'écran et de techniques : au-delà de 36" de diagonale d'écran les récepteurs seront des téléviseurs à rétroprojection, de 14" à 36" de diagonale d'écran les téléviseurs intégreront un tube cathodique au format 16/9 et jusqu'à 14" de diagonale d'écran la technique utilisée pourrait être celle des écrans plats à cristaux liquides. Sur ce dernier point, il est important de souligner que les développements concernant les trois modes de projection ne sont pas au même stade d'avancement dans les laboratoires européens de R. et D. En effet, **tandis que les constructeurs japonais annoncent la sortie d'écrans plats à cristaux liquides de grandes dimensions avant la fin du siècle**, que le J.K.T.C. (Japan Key Technology Center), sous la tutelle du M.I.T.I. et du M.P.T., est en charge du développement d'un projet d'un grand écran à matrice active de 40" doté de moyens importants (budget de l'ordre de 140 millions de francs), **les industriels européens accusent un retard certain dans ce domaine. Ils font état de l'importance des investissements industriels à réaliser qui atteindraient le milliard de francs sur quatre ans. Dans ce contexte, et face aux appuis financiers dont disposent**

leurs concurrents japonais, les industriels européens ne peuvent supporter seuls de tels investissements et un soutien communautaire serait de nature à leur permettre de prendre la place qu'il leur faut occuper sur le marché des écrans plats.

Le second type de difficultés à résoudre concerne la conception et le développement des circuits de décodage des signaux HD-Mac. Les industriels doivent surmonter des contraintes multiples, notamment d'encombrement et de coût, qui conduisent à un très haut niveau de densité et d'intégration des circuits. Les travaux portent sur les technologies submicroniques qui devraient permettre la réalisation des circuits V.L.S.I. Comme pour le développement des tubes, l'industrie européenne a engagé d'importants programmes de R. et D. soutenus par les Etats et la Communauté et il faut souligner l'impérieuse nécessité de conforter ces développements par un soutien affirmé de la Communauté. A cet égard, le projet Jessi en cours de constitution, qui associera plusieurs industriels européens (Thomson, Philips et Siemens, notamment), devrait permettre de respecter les échéanciers de réalisation de ces circuits complexes, pour la commercialisation des téléviseurs.

Dans le domaine du magnétoscope HD-Mac, l'industrie européenne est à ses marques : un prototype de magnétoscope grand public, développé par Philips, a été présenté à l'occasion de la Convention internationale de Brighton en 1988.

Opérationnelle dès le début des années 1990, l'industrie européenne de l'électronique grand public et des composants électroniques est assurée de pouvoir répondre à la demande exprimée par les consommateurs et de respecter les échéanciers annoncés. Mais il convient, comme cela a été souligné, que l'ensemble des acteurs engagés dans les trois maillons de la chaîne audiovisuelle haute définition mettent en œuvre des stratégies convergentes. Il faut notamment que la chaîne entière d'équipements professionnels de télévision à haute définition soit rapidement opérationnelle et que des projets de production de programmes en haute définition soient initiés et soutenus par les Etats et la Communauté. **A défaut d'un volume suffisant de productions en haute définition, les diffuseurs devront massivement recourir à la diffusion de films 35 mm, transférés au préalable en haute définition au moyen de télécinémas**, ce qui aurait pour conséquence directe de générer des coûts supplémentaires. Il convient donc de développer une approche matériels/programmes cohérente et volontariste. C'est précisément l'objectif de la création du G.I.E International H.D., doté d'un budget conséquent, qui vise la promotion de la norme européenne haute définition auprès des diffuseurs et producteurs.

3. LA COMMERCIALISATION SUR LE MARCHÉ AMÉRICAIN

Le 1^{er} septembre 1988, la Federal Communications Commission, instance gouvernementale américaine, annonçait que les Etats-Unis connaîtraient une évolution vers la télévision haute définition en respectant une compatibilité avec le standard N.T.S.C. La position américaine, officiellement favorable à la norme de production haute définition japonaise lors de la session plénière du C.C.I.R. en mai 1986, s'est modifiée spectaculairement sous la pression des arguments présentés dans le débat sur la télévision haute définition qui apparaît désormais comme le moyen d'éviter aux Etats-Unis une dégradation de leur position internationale dans le secteur de l'électronique : les analyses développées aux Etats-Unis font état d'une perte de compétitivité de l'industrie électronique américaine, notamment des composants électroniques et de l'informatique, si les industriels américains ne parviennent pas à s'assurer de fortes positions dans le domaine des matériels grand public en haute définition. Une période d'incertitude s'ouvre aux Etats-Unis jusqu'en 1991, date à laquelle la F.C.C. devrait décider du système de télévision haute définition. Une phase transitoire de télévision à définition améliorée (E.D.T.V.) est possible à partir de 1992-1993, la diffusion de services en haute définition débutant en 1996. **Dans ce contexte, les matériels grand public devraient être commercialisés pour des applications spécifiques et en quantité limitée à partir de 1993, le véritable marché grand public ne devant s'amorcer que vers 1995-1996.** Les industriels ne peuvent, en effet, que difficilement s'engager dans la conception et le développement des circuits de décodage sans connaître le standard de télévision haute définition qui sera finalement retenu par la F.C.C. Il convient pourtant de souligner l'enjeu stratégique du marché américain grand public sur lequel les effets de série peuvent être atteints, enjeu qui n'a pas échappé aux industriels japonais qui, sitôt connue la décision de la F.C.C. pour une approche compatible N.T.S.C., ont annoncé de nouvelles versions du système Muse : Muse 6 et Muse 9 qui, précisément, sont deux normes compatibles.

IV. — LES PERSPECTIVES DE MARCHÉ DES MATÉRIELS GRAND PUBLIC HAUTE DÉFINITION ET LA POSITION CONCURRENTIELLE DES INDUSTRIELS

Si la disponibilité des matériels grand public et la mise en place de services de télévision en haute définition sont des données de base qui conditionnent le développement des marchés, il reste que **la qualité des programmes diffusés et le prix de commercialisation des matériels apparaissent comme les facteurs-clés de l'équipement des ménages** dans un contexte d'une offre de matériels et de services substituables.

Dans ce contexte, le prix de commercialisation des matériels constitue une des contraintes majeures pour le développement d'un véritable marché de masse parce qu'il pourrait provoquer, s'il apparaissait trop élevé, un attentisme prudent chez les consommateurs. A cet égard, il convient de noter que les matériels grand public associés aux phases E.D.T.V. présentent un niveau de résolution supérieure de 50 % à celui des standards actuels et un format d'image élargi. Si leur introduction sur le marché apparaît comme un enchaînement logique, dans la ligne traditionnelle des constructeurs qui réalisent une montée en gamme de leur production, elle constitue sans aucun doute un **frein potentiel au développement de la télévision haute définition même si, dans le même temps, elle permet d'accroître progressivement les exigences des consommateurs et de les habituer à des systèmes plus complexes et performants**. La mise en place de la télévision haute définition devra en conséquence apporter une amélioration significative de la qualité lors de la réception pour susciter l'équipement des consommateurs. L'objet de cette partie est de présenter les perspectives de marché des téléviseurs et des magnétoscopes haute définition et d'évaluer les positions concurrentielles des industriels européens et japonais sur les marchés européens et américains. Les données relatives aux projections de marché sont en partie issues de travaux menés aux Etats-Unis et notamment de trois études prévisionnelles réalisées par des associations privées américaines.

A. — L'évaluation du prix public d'introduction des matériels haute définition.

Les scénarios d'introduction de la télévision haute définition se multiplient depuis 1988 et les acteurs japonais (M.P.T., M.I.T.I.) ont été les premiers à évoquer le potentiel que représente la télévision haute

définition pour l'industrie de l'électronique grand public. Des chiffres impressionnants ont été annoncés au début de l'année 1988 pour le marché japonais : 715 milliards de yens en 1995 et 3 030 milliards de yens en 2000 (soit respectivement 31 et 130 milliards de francs) pour les matériels grand public haute définition. Depuis lors, l'évolution de la position des acteurs américains s'est traduite par une révision à la hausse des prix de commercialisation des matériels (le débouché du marché américain étant fermé à court terme) et, de fait, par des perspectives de marché moins euphoriques.

Dans ces conditions, les prix de commercialisation des matériels grand public dans leur phase d'introduction sur les différents marchés font l'objet d'évaluations divergentes, voire contradictoires, dans lesquelles les effets d'annonces des constructeurs nippons ont une importance singulière. Il reste que pour de nombreux observateurs, les prix publics d'introduction des matériels dans les différentes zones de marché devraient s'établir à 5 000 dollars pour les téléviseurs haute définition et à 3 000 dollars pour les magnétoscopes.

B. — Les perspectives de marché des matériels haute définition.

La commercialisation des matériels débiterait en 1990 pour les applications professionnelles de type vidéo-conférences et les studios professionnels mais également à des fins de promotion et de démonstration des différents systèmes. **Pendant plusieurs années, la diffusion des matériels restera limitée à quelques milliers d'unités.**

Le véritable déclenchement du marché n'interviendra que lors de la mise en place des services en haute définition. Sur les bases du rapport de l'A.T.V. Task Force Economic Impact Team de l'American Electronic Association, qui apparaît comme le plus réaliste des rapports publiés sur la télévision haute définition, des volumes de marché de quelques centaines de milliers d'unités seraient en effet atteints en 1992-1993 au Japon, 1996-1997 en Europe, 1998-1999 aux Etats-Unis et 2000-2001 dans le reste du monde. Sur ce dernier point, il convient de noter qu'il s'agit essentiellement du marché canadien, le marché ne devant débiter dans certains pays d'Asie du Sud-Est que vers 2005. Les perspectives d'évolution des marchés des téléviseurs et des magnétoscopes haute définition sont présentées dans les tableaux suivants.

I. LE MARCHÉ DES TÉLÉVISEURS HAUTE DÉFINITION

En ce qui concerne les téléviseurs haute définition, le marché mondial s'élèverait à environ 5 millions d'unités en 2000 pour un marché évalué, aux prix de détail, à près de 9,5 milliards de dollars. Au

cours des dix prochaines années, 13 millions de récepteurs seraient commercialisés pour près de 33 milliards de dollars. **A l'horizon 2010, le marché cumulé mondial atteindrait 215 millions d'unités pour plus de 220 milliards de dollars.**

**LE MARCHÉ MONDIAL DES TÉLÉVISEURS
HAUTE DÉFINITION À L'HORIZON 2010**

(En milliers d'unités.)

Date	Etats-Unis	Europe	Japon	Reste du monde	Marché total	Marché cumulé
1990	0	0	20	0	20	20
1991	0	0	80	0	80	100
1992	2	3	150	0	155	255
1993	6	9	260	3	278	533
1994	10	15	350	5	380	913
1995	20	50	450	3	523	1 436
1996	30	150	620	5	805	2 241
1997	80	300	800	15	1 195	3 436
1998	100	600	1 000	40	1 740	5 176
1999	500	1 000	1 200	100	2 800	7 976
2000	1 000	1 500	1 600	700	4 800	12 776
2001	1 600	2 400	2 000	1 200	7 200	19 976
2002	2 600	3 000	3 000	1 900	10 500	30 476
2003	4 900	4 500	3 500	2 500	15 400	45 876
2004	6 500	5 000	4 500	3 400	19 400	65 276
2005	6 700	5 500	5 000	4 000	21 200	86 476
2006	6 800	6 500	5 000	4 700	23 000	109 476
2007	6 900	7 000	4 800	5 300	24 000	133 476
2008	7 900	7 500	4 000	5 500	24 900	158 376
2009	9 000	8 000	4 500	5 800	27 300	185 676
2010	11 000	8 500	4 500	6 000	30 000	215 676

Source : d'après A.E.A.

A partir du seuil de 1 million d'unités, la courbe de diffusion des récepteurs haute définition serait équivalente à celle des téléviseurs couleur.

Sur les bases d'un prix public d'introduction de 5 000 dollars, l'évolution du prix des téléviseurs au sein des différentes zones marchés serait la suivante :

- en 1995 : 4 800 dollars aux Etats-Unis, 4 600 dollars en Europe et 3 200 dollars au Japon ;
- en 2000 : 2 000 dollars dans toutes les zones marchés ;
- en 2005 : 1 000 dollars dans toutes les zones marchés ;
- en 2010 : 650 dollars dans toutes les zones marchés.

Les perspectives de marché en valeur et aux prix de détail des téléviseurs haute définition s'établissent en conséquence comme suit :

LE MARCHÉ MONDIAL DES TÉLÉVISEURS HAUTE DÉFINITION À L'HORIZON 2010

(En millions de dollars.)

Date	Etat-Unis	Europe	Japon	Reste du monde	Marché total	Marché cumulé
1990	0	0	100	0	100	100
1991	0	0	368	0	368	468
1992	10	15	630	0	655	1 123
1993	30	45	988	15	1 078	2 201
1994	50	75	1 225	25	1 375	3 576
1995	96	230	1 440	15	1 781	5 357
1996	138	615	1 798	24	2 575	7 932
1997	320	1 080	2 080	68	3 548	11 480
1998	340	1 800	2 400	140	4 680	16 160
1999	1 350	2 500	2 640	300	6 790	22 950
2000	2 000	3 000	3 200	1 400	9 600	32 550
2001	2 880	4 320	3 600	2 160	12 960	45 510
2002	4 160	4 800	4 800	3 040	16 800	62 310
2003	6 860	6 300	4 900	3 500	21 560	83 870
2004	7 800	6 000	5 400	4 080	23 280	107 150
2005	6 700	5 500	5 000	4 000	21 200	128 350
2006	6 120	5 850	4 500	4 230	20 700	149 050
2007	5 520	5 600	3 840	4 240	19 200	168 250
2008	5 925	5 625	3 000	4 125	18 675	186 925
2009	6 300	5 600	3 150	4 060	19 110	206 035
2010	7 150	5 525	2 925	3 900	19 500	225 535

Source : d'après A.F.A.

2. LE MARCHÉ DES MAGNÉTOSCOPES HAUTE DÉFINITION

En ce qui concerne les magnétoscopes haute définition, le processus de diffusion serait similaire à celui des magnétoscopes actuels et le marché mondial s'élèverait à 3,5 millions d'unités en l'an 2000 pour un marché aux prix de détail de l'ordre de 4 milliards de dollars. En marché cumulé sur les dix prochaines années, près de 10 millions de magnétoscopes seraient commercialisés pour environ 15 milliards de dollars. A l'horizon 2010, le marché cumulé s'élèverait à 155 millions d'unités et représenterait, aux prix de détail, près 110 milliards de dollars.

LE MARCHÉ MONDIAL DES MAGNÉTOSCOPES HAUTE DÉFINITION À L'HORIZON 2010

(En milliers d'unités.)

Date	Etat-Unis	Europe	Japon	Reste du monde	Marché total	Marché cumulé
1990	0	0	20	0	20	20
1991	0	0	40	0	40	60
1992	0	0	120	0	120	180
1993	3	5	200	2	210	390
1994	10	10	300	3	323	713
1995	12	30	400	3	445	1 158
1996	20	100	600	5	725	1 883
1997	50	200	750	7	1 007	2 890
1998	60	400	900	10	1 370	4 260
1999	300	800	1 100	20	2 220	6 480
2000	800	1 300	1 400	50	3 550	10 030
2001	1 300	1 750	1 800	350	5 200	15 230
2002	2 100	2 380	2 500	600	7 580	22 810
2003	4 000	2 150	3 000	1 000	10 150	32 960
2004	5 200	3 200	4 000	1 200	13 600	46 560
2005	5 500	3 750	4 200	1 700	15 150	61 710
2006	5 600	4 200	4 500	2 000	16 300	78 010
2007	6 000	4 500	4 000	3 000	17 500	95 510
2008	6 500	4 600	4 000	3 500	18 600	114 110
2009	7 200	4 700	3 500	4 000	19 400	133 510
2010	9 000	5 000	3 200	5 000	22 200	155 710

Source : d'après A.E.A.

Sur les bases d'un prix public d'introduction de 3 000 dollars, l'évolution du prix des magnétoscopes haute définition serait la suivante :

- en 1995 : 2 700 dollars aux Etats-Unis, 2 600 dollars en Europe et 2 000 dollars au Japon ;
- en 2000 : 1 100 dollars dans toutes les zones marchés ;
- en 2005 : 650 dollars dans toutes les zones marchés ;
- en 2010 : 520 dollars dans toutes les zones marchés.

Les perspectives de marché en valeur des magnétoscopes haute définition s'établissent comme suit :

**LE MARCHÉ MONDIAL DES MAGNÉTOSCOPES
HAUTE DÉFINITION À L'HORIZON 2010**

(En millions de dollars.)

Date	Etats-Unis	Europe	Japon	Reste du monde	Marché total	Marché cumulé
1990	0	0	60	0	60	60
1991	0	0	112	0	112	172
1992	0	0	312	0	312	484
1993	9	15	480	6	510	994
1994	29	29	660	9	727	1 721
1995	32	78	800	9	919	2 640
1996	50	230	1 080	14	1 374	4 014
1997	110	400	1 200	17	1 727	5 741
1998	108	640	1 260	20	2 028	7 769
1999	420	960	1 320	30	2 730	10 499
2000	880	1 430	1 540	55	3 905	14 404
2001	1 300	1 750	1 800	350	5 200	19 604
2002	1 890	2 142	2 250	540	6 822	26 426
2003	3 200	1 720	2 400	800	8 120	34 546
2004	3 640	2 240	2 800	840	9 520	44 066
2005	3 575	2 438	2 730	1 105	9 848	53 914
2006	3 500	2 625	2 813	1 250	10 188	64 101
2007	3 600	2 700	2 400	1 800	10 500	74 601
2008	3 770	2 668	2 320	2 030	10 788	85 389
2009	3 960	2 585	1 925	2 200	10 670	96 059
2010	4 680	2 600	1 664	2 600	11 544	107 603

Source : d'après A.E.A.

3. LE MARCHÉ GLOBAL DES MATÉRIELS HAUTE DÉFINITION

Pour les deux produits phares de l'électronique grand public le marché mondial atteindrait 13,5 milliards de dollars en 2000, le tableau ci-après présente le développement des marchés des deux produits à l'horizon 2010.

**LE MARCHÉ MONDIAL DES MATÉRIELS DE TÉLÉVISION
HAUTE DÉFINITION À L'HORIZON 2010**

(En millions de dollars.)

Date	Etats-Unis	Europe	Japon	Reste du monde	Marché total	Marché cumulé
1990	0	0	160	0	160	160
1991	0	0	480	0	480	640
1992	10	15	942	0	967	1 607
1993	39	60	1 468	21	1 588	3 195
1994	79	104	1 885	34	2 102	5 297
1995	128	308	2 240	24	2 700	7 997
1996	188	845	2 878	38	3 949	11 946
1997	430	1 480	3 280	84	5 274	17 221
1998	448	2 440	3 660	160	6 708	23 929
1999	1 770	3 460	3 960	330	9 520	33 449
2000	2 880	4 430	4 740	1 455	13 505	46 954
2001	4 180	6 070	5 400	2 510	18 160	65 114
2002	6 050	6 942	7 050	3 580	23 622	88 736
2003	10 060	8 020	7 300	4 300	29 680	118 416
2004	11 440	8 240	8 200	4 920	32 800	151 216
2005	10 275	7 938	7 730	5 105	31 048	182 263
2006	9 620	8 475	7 313	5 480	30 888	213 151
2007	9 120	8 300	6 240	6 040	29 700	242 851
2008	9 695	8 293	5 320	6 155	29 463	272 314
2009	10 260	8 185	5 075	6 260	29 780	302 094
2010	11 830	8 125	4 589	6 500	31 044	333 138

Source : d'après A.E.A.

Le marché cumulé mondial, aux prix de détail, atteindrait à l'horizon 2010 plus de 330 milliards de dollars. Le marché américain représenterait près de 100 milliards, les marchés européens et japonais environ 90 milliards de dollars chacun.

C. — La position concurrentielle des industriels.

Devant les perspectives commerciales et industrielles offertes par les marchés des matériels grand public haute définition sur les vingt prochaines années, les constructeurs de l'électronique grand public mettent en œuvre des stratégies volontaristes : accélération et coordination des efforts de R. et D., multiplication des annonces commerciales, présentation des prototypes, démonstration de la chaîne entière des équipements, etc. Parallèlement, ils obtiennent des soutiens financiers significatifs de la part des Etats qui ont désormais pris la mesure des

enjeux industriels et technologiques attachés à la télévision haute définition. Il est vrai que, longtemps en position de secteur suiveur en termes technologiques, l'électronique grand public est en passe de devenir un secteur stratégique : l'avènement de la télévision haute définition aura, au-delà du seul marché grand public, un impact considérable sur l'ensemble de l'industrie électronique, des composants à l'informatique. La maîtrise des technologies de la télévision haute définition est en conséquence jugée vitale par les constructeurs et c'est dans ce contexte que s'inscrivent les décisions des acteurs américains et européens de rejet de la norme japonaise Muse.

Il ne fait désormais plus beaucoup de doute que trois normes de transmission haute définition seront établies dans les trois principales zones marchés : HD-Mac en Europe, Muse au Japon et un système compatible N.T.S.C. aux Etats-Unis. Et s'il est vrai que l'emploi des circuits intégrés permettra de développer et de commercialiser des matériels aux différentes normes, il reste que **les industriels à l'origine de la norme disposent à la fois d'une avance de plusieurs années sur leurs concurrents, d'une maîtrise dans le processus d'industrialisation des matériels qui leur confèrent un avantage concurrentiel incontestable et de l'assurance de royalties substantielles.** Au-delà, le développement de ces nouveaux marchés, pour lesquels la recherche d'une plus grande valeur ajoutée remplace la recherche systématique d'une production de masse, s'inscrit dans le cadre des orientations actuelles des groupes japonais et européens.

1. LE RETARD DES INDUSTRIELS SUD-CORÉENS

L'avènement de la télévision haute définition permettra de desserrer l'étau de la concurrence exercée par les groupes sud-coréens qui disposent de faibles capacités de R. et D. et accusent un retard important dans le domaine de la télévision haute définition. Les principaux groupes sud-coréens ne devraient pas être en mesure de commercialiser des matériels haute définition avant les années 2000. Il suffit, pour évaluer le retard des groupes sud-coréens, de noter que sur un produit mûr comme le magnétoscope V.H.S., introduit en 1976 par J.V.C., ils sont encore en situation de dépendance technologique vis-à-vis des constructeurs japonais pour les têtes magnétiques. Sans véritable maîtrise technologique dans le domaine des tubes haute définition et des composants V.L.S.I. pour la réalisation des circuits de décodage, les groupes d'Asie du Sud-Est se voient fermer les débouchés des marchés des matériels haute définition pour plus de dix années. C'est donc entre constructeurs d'origine japonaise, européenne et éventuellement américaine que se jouera la bataille industrielle et commerciale de la télévision haute définition.

2. L'AVANTAGE CONCURRENTIEL DES INDUSTRIELS EUROPÉENS SUR LEUR PROPRE MARCHÉ

Le marché européen des matériels grand public haute définition est évalué à 4,4 milliards de dollars pour l'année 2000 et à 8,2 milliards de dollars en 2010 et l'industrie européenne dispose d'un avantage concurrentiel qui dépasse largement le cadre de ses parts de marché structurelles. Cet avantage se fonde sur l'atout que constitue l'introduction et la maîtrise d'une innovation technologique développée par ses industriels. L'introduction de la télévision haute définition se traduira par une redistribution des cartes au niveau industriel et donnera aux industriels européens l'opportunité de conforter leurs positions dans le domaine des téléviseurs couleur et de reconquérir le marché des magnétoscopes sur lequel ils sont en position de dépendance technologique. De ce point de vue, l'avènement de la télévision haute définition constitue sans aucun doute l'opportunité unique, certainement la dernière avant longtemps, de renforcer l'industrie européenne de l'électronique grand public, dont on a souligné le rôle stratégique qu'elle est appelée à jouer sur l'ensemble de la filière électronique. Les conditions du succès de la démarche européenne semblent, en effet, réunies :

— les groupes Thomson et Philips abordent les années 1990 avec des outils de production réorganisés et rationalisés, une taille mondiale et des compétences marketing affirmées. L'année 1987 a été marquée par l'apparition d'un troisième pôle industriel européen, le groupe Nokia, qui est d'ores et déjà actif dans le domaine de la haute définition. Les groupes européens ont en outre une conscience aiguë de la nécessité d'une approche complémentaire matériels/programmes qui apparaît aujourd'hui comme une des clés du succès sur le marché de la télévision haute définition. Bénéficiant de la maîtrise de la norme qu'ils ont développée et d'une avance de plusieurs années sur leurs concurrents japonais, les industriels européens seront en mesure de contrôler étroitement le marché européen des matériels grand public haute définition pendant plus de dix années ;

— les groupes japonais apparaissent comme leurs seuls concurrents sérieux dans la technologie haute définition, mais ils accusent un retard évalué à au moins cinq ou sept années dans le développement des matériels à la norme HD-Mac. Il convient en outre de souligner l'ampleur des budgets de R. et D. qu'il leur faudra consacrer au développement des matériels HD-Mac, budgets additionnels à ceux engagés pour le développement des matériels à la norme Muse. Ce n'est qu'au début des années 2000 que les constructeurs japonais pourront être en mesure de commercialiser des matériels grand public HD-Mac sur le marché européen.

A cet horizon, l'achèvement du Marché unique se traduira par la montée en puissance des groupes de la distribution qui constitueront le point de passage obligé pour l'accès à un marché ne présentant plus les caractéristiques de morcellement actuel. Dans ce contexte, les industriels seront contraints de mettre en œuvre un marketing global au niveau européen et les constructeurs japonais pourraient alors se positionner comme de sérieux concurrents, reproduisant leur stratégie de pénétration des marchés européens. La position concurrentielle des groupes en présence résultera dans une large mesure de leur pénétration du marché américain.

3. L'ISSUE INCERTAINE DE LA LUTTE POUR LE CONTRÔLE DU MARCHÉ AMÉRICAIN

Le marché américain, évalué à 3 milliards de dollars pour l'année 2000 et à près de 12 milliards de dollars en 2010, constitue en effet l'enjeu majeur pour les constructeurs de l'électronique grand public. C'est sur ce marché, le premier marché mondial, que seront réalisés les effets de séries et la position des acteurs au niveau mondial doit en réalité s'apprécier dans le cadre de scénarios portant sur l'adoption d'un système de haute définition aux Etats-Unis. Trois scénarios, aux conséquences différentes pour l'industrie européenne, peuvent être explorés.

3.1. *Le scénario de domination japonaise.*

Un scénario de domination japonaise qui rendrait compte de l'adoption par la Federal Communications Commission américaine d'un système de transmission présenté par les acteurs japonais, issu de la famille Muse et compatible avec le standard N.T.S.C. **Dans ce scénario, les industriels japonais disposent d'un avantage décisif au niveau mondial** et l'industrie européenne se voit fermer pendant de nombreuses années le débouché du marché américain pour des matériels à haute valeur ajoutée. Les groupes japonais s'assurent, très probablement au travers d'accords avec des constructeurs américains de l'industrie des composants électroniques et du grand public (Zenith), le débouché du marché américain. Dans ce contexte les groupes européens connaissent de graves difficultés. Difficultés pour maintenir leurs positions sur le marché américain sur lequel ils se trouvent cantonnés aux matériels actuels, sourcés en grande partie en Asie du Sud-Est et au Japon, et qui ne permettent pas de dégager de marges substantielles. Difficultés également, à plus longue échéance mais plus lourdes de conséquences, sur le marché européen où les constructeurs japonais tirent profit des effets de série autorisés par les marchés américains et japonais qui leur confèrent une forte position concurrentielle en termes de prix.

Les groupes européens pourraient être amenés dans ce contexte à évaluer l'opportunité de se maintenir sur le marché américain en raison à la fois du faible taux de retour sur les investissements consentis depuis le milieu des années 1980 pour y disposer d'une présence industrielle et commerciale et de l'obligation de passer des accords de licences avec les industriels japonais.

Ce scénario conforte la domination mondiale des groupes industriels japonais et est de nature à hypothéquer sur le long terme l'avenir des groupes européens de l'électronique grand public. En état de dépendance technologique sur le marché américain, les industriels européens apparaissent en effet cantonnés à leur marché intérieur sur lequel ils devront affronter à terme la concurrence des groupes japonais bénéficiant des volumes de marchés japonais et américains.

3.2. Le scénario d'identité américaine.

Un scénario d'identité américaine qui sanctionnerait l'aboutissement des travaux menés actuellement aux Etats-Unis et qui se traduirait par l'adoption par le **Federal Communications Commission d'un système proposé par des acteurs américains** (Système Spectrum de Zenith ?). Ce scénario implique cependant des accords entre industriels américains et étrangers dans la mesure où les acteurs américains accusent un retard important dans le domaine des technologies de la haute définition. Dans ce contexte, les industriels européens et japonais tentent de s'assurer les débouchés du marché américain. Le scénario présente aujourd'hui de fortes probabilités d'occurrence en raison des modifications intervenues dans la position des acteurs américains (décision de la F.C.C. en septembre 1988, position des Etats-Unis au sein du C.C.I.R. en mai 1989). Il reste qu'à moyen terme les **cartes industrielles apparaissent brouillées et il semble difficile de préjuger des accords qui seront noués avant et après la prise de décision de la Federal Communications Commission en 1991.**

3.3. Le scénario européen.

Un scénario européen qui se traduirait par l'adoption par la Federal Communications Commission d'un système de normes de transmission soutenue par les acteurs européens (Thomson, Philips). Dans ce scénario les **industriels européens bénéficient d'un avantage décisif au niveau mondial** et les constructeurs japonais se voient cantonner pendant de nombreuses années à leur seul marché intérieur. Il ne semble pas faire de doute que, confrontés à cette situation, les acteurs japonais seraient amenés à remettre profondément en cause leur programme de télévision haute définition fondé sur la norme Muse et pourraient alors opter pour un système présentant une forte compatibilité avec celui

adopté aux Etats-Unis. Ce scénario apparaît comme le plus favorable à l'industrie européenne qui se voit conforter dans ses choix, s'assure les débouchés du marché américain et dispose de plusieurs années d'avance sur ses concurrents japonais dans les deux principales zones marchés.

La position concurrentielle de l'industrie européenne sur le marché mondial des matériels grand public haute définition doit s'apprécier en référence à son propre marché intérieur sur lequel elle est assurée de disposer d'une avance confortable sur ses concurrents japonais, mais également en référence au marché américain qui pourrait donner aux constructeurs japonais l'opportunité de conforter leur domination mondiale dans le secteur. Ceci dit, la télévision haute définition apparaît comme un atout pour l'industrie européenne d'introduire une norme développée par ses industriels et de renforcer son contrôle du marché européen.

DEUXIÈME SOUS-PARTIE

LA TÉLÉVISION HAUTE DÉFINITION, CLÉ ESSENTIELLE DE LA PÉRENNITÉ D'UNE INDUSTRIE ÉLECTRONIQUE COMMUNAUTAIRE

(Par M. René Bezard.)

Résumé.

Selon M. Bezard, l'Europe ne peut pas se permettre de perdre la bataille de la télévision haute définition car il s'agit :

— d'une mutation plus importante encore que le passage du noir et blanc à la couleur (le parc de téléviseurs est plus considérable et le renouvellement de l'équipement des ménages va s'accélérer) ;

— du principal débouché de l'industrie des composants électronique dont l'indépendance est essentielle sur le plan stratégique (fabrication de radars ou d'ordinateurs haut de gamme utilisés pour la défense nationale).

Les industries de la filière électronique européenne sont ainsi étroitement liées les unes aux autres en ce qui concerne leur avenir.

M. Bezard commence par rappeler quelles sont les perspectives de croissance à moyen terme du marché des composants actifs (circuits intégrés, mémoires et tubes images) et des téléviseurs, avant de citer les prévisions relatives aux ventes de télévision à haute définition à l'horizon 2010, établies, en octobre 1988, par Bis Macintosh.

Il souligne qu'il est urgent que l'Europe dispose de programmes et d'équipements de studio conformes à ses propres normes de télévision haute définition. Il précise par ailleurs :

— d'une part, que Philips et Thomson seront en mesure de fabriquer dès 1990, à Aix-la-Chapelle et à Agnani, des tubes de récepteur 16:9 ;

— d'autre part, que les Européens présenteront cet été à Berlin des rétroprojecteurs tout aussi performants que ceux des Japonais.

Il estime que les efforts que nécessite la mise au point d'écrans plats à cristaux liquides (non prévue par le projet Euréka 95) ne doivent pas être laissés à la charge des seuls industriels. Une aide des Etats et de la Communauté lui paraît également nécessaire en ce qui concerne le développement de tubes cathodiques 16:9 et la fabrication de semi-conducteurs.

Après avoir rappelé les objectifs du projet Jessi en cours d'élaboration, il fait valoir, enfin, que l'emploi de circuits intégrés introduit une plus grande souplesse dans la fabrication des récepteurs. La multiplicité des normes de radiodiffusion peut ainsi jouer un rôle régulateur sur le marché mondial qui risquerait, autrement, de subir les effets dévastateurs d'une concurrence sauvage entre industriels.

SOMMAIRE

	Pages
INTRODUCTION	361
I. — Quelques points de référence	363
II. — Télévision haute définition et industrie européenne des composants	369
III. — Moyens de visualisation	371
IV. — Télévision haute définition et industrie européenne des mémoires et des circuits intégrés	376
 ANNEXE : (Extraits du glossaire réalisé pour le compte de l'Office par M. Bezard)	 379
1. Les semi-conducteurs	379
2. Les mémoires électroniques	379
3. Les caméras de télévision (à tubes analyseurs ou à semi-conducteurs)	379

INTRODUCTION

Pour l'Europe, l'indépendance de son industrie électronique est la clé stratégique de ses libertés fondamentales :

— la liberté d'un Etat ou d'une communauté d'Etats est à la mesure de son équipement et de ses exportations en systèmes électroniques performants et compétitifs ;

— pour cet Etat ou cette communauté d'Etats, la production de tels systèmes sous-entend la libre disposition, donc la fabrication propre des éléments nécessaires ; à cette fin, son industrie de composants électroniques doit donc, aux niveaux de la recherche-développement et des fabrications, disposer de ressources suffisantes pour garantir son indépendance, ses performances et sa compétitivité ;

— cela n'est possible que si son industrie de composants est assurée de la clientèle aval d'industries de masse utilisatrices, notamment dans les domaines de l'informatique, des télécommunications et de l'audiovisuel grand public, et qui soient suffisamment importantes et puissantes pour lui permettre de dégager les ressources indispensables au financement de sa recherche-développement et de ses équipements.

Justifiant le bien fondé de la notion de *filière électronique*, ce raisonnement prouve que *la pérennité d'une industrie électronique européenne implique celle de chacun de ses rameaux, donc celle du secteur des matériels grand public où le téléviseur et ses périphériques occupent une position largement prioritaire.*

La télévision à haute définition illustre, s'il en est besoin, la réalité de l'« effet filière » pour l'électronique européenne.

Cette technique nouvelle, en effet, doit prochainement apporter au téléspectateur une image agrandie, d'un format et d'une résolution se rapprochant de ceux du film standard 35 mm, accompagnée de plusieurs sons de qualité analogue à celle du disque compact, et assortie de possibilités de services divers (télétexte, codage, etc.). Pour le secteur grand public, cet avènement de la télévision à haute définition va constituer — et constitue déjà — une révolution comparable à celle provoquée en son temps par la mise en service de la télévision couleur, révolution comparable au plan des principes, mais économiquement d'un ordre de grandeur beaucoup plus considérable compte tenu de la disparité de l'importance des parcs mondiaux d'appareils en service :

moins de 200 millions d'appareils à l'avènement de la couleur et probablement plus de 1 milliard en 1995, date présumée du début de constitution d'un parc de récepteurs haute définition (1).

Le simple marché de renouvellement généré par un parc d'une telle importance sera considérable. Les avènements successifs de la télévision (plus ou moins) améliorée puis de la télévision à haute définition ne pourront qu'accélérer, pour les ménages, le rythme des achats de remplacement et corollairement, pour les constructeurs de téléviseurs, le volume de leurs besoins en composants spécifiques, notamment tubes couleurs et circuits intégrés (2).

Or la fabrication des téléviseurs couleur est une application européenne qui, restée bien contrôlée par les Européens, offre un débouché de masse raisonnable à l'industrie européenne des composants, grâce auquel cette dernière est en mesure de dégager les ressources financières lui permettant d'offrir aux industriels de l'électronique professionnelle et de défense, les produits sophistiqués et performants dont, ils ont besoin en micro-électronique.

Si ce mécanisme économique vital venait à se dérégler, il n'existerait rapidement plus une seule entreprise de micro-électronique contrôlée par des Européens : l'Europe se trouverait alors dans l'impossibilité de fabriquer des équipements professionnels sans faire appel à des fournisseurs tiers, c'est-à-dire sans aliéner sa liberté de conception et de décision technologiques dans des domaines stratégiques essentiels, tels ceux des radars ou des ordinateurs haut de gamme ; en d'autres termes, *la liberté stratégique de l'Europe ne permet pas à son électronique de perdre son marché du téléviseur couleur, donc de perdre la bataille de la télévision à haute définition.*

(1) Cf. prévisions du Nomura Research Institute (N.R.I.) et de Bis Macintosh ci-après.

(2) On estime que le contenu d'un téléviseur en circuits intégrés était de 10 % quelques années plus tôt, s'élève actuellement à 30 % atteindra 70 % pour la télévision améliorée et 90 % pour la haute définition proprement dite.

I. — QUELQUES POINTS DE RÉFÉRENCE

Selon l'E.I.C. (Electronics International Corporation), en 1988 la production mondiale de la filière électronique s'est élevée à 756 milliards de dollars, soit plus de 5 % du P.I.B. mondial (1).

Cette production est en hausse de 11 % par rapport à celle de l'année précédente (2). Par zone géographique et en monnaie locale, le taux de croissance annuel a dû atteindre 9 % aux Etats-Unis et en Europe ; au Japon le taux a été de l'ordre de seulement 6 % en yens, mais de 14 % si l'on raisonne en dollars.

Hors phénomènes monétaires, au cours des prochaines années le taux de croissance de la production de la filière électronique mondiale devrait se maintenir autour de 6 % en volumes (9 % en dollars courants). Ce taux de croissance est le double de celui généralement prévu pour l'économie mondiale.

La ventilation (3) par zones géographiques de la production électronique mondiale estimée en dollars a fortement évolué au cours des dernières années.

Pourcentage	1980	1984	1988
Europe	26	21	23
Etats-Unis	46	47	37
Japon	15	21	27
Reste du monde	13	11	13

	Dollar U.S.	Yen	ECU
1984	1	238	1,27
1986	1	168	1
1987	1	140	0,86
1988	1	130	0,86

(Estimation E.I.C.)

(1) Il est précisé que, dans cette première partie, on a retenu l'évolution suivante des parités monétaires entre l'Europe, les Etats-Unis et le Japon :

(2) Les résultats provisoires dont on dispose actuellement pour la production électronique en France en 1988 font apparaître un taux de croissance nettement inférieur à celui prévu par l'E.I.C., puisque égal à peine à 3 %.

(3) Evidemment affectée par la réévaluation du yen.

Par secteurs, la production mondiale de la filière électronique en 1988 s'est répartie de la manière suivante :

- biens intermédiaires	14 %	
● composants actifs	8 %	
● composants passifs	6 %	
- biens d'équipement	75 %	
● électronique professionnelle ..	12 %	
● instrumentation	6 %	
● automatismes	5 %	
● médical	2 %	
● télécommunications	8 %	} 50 % (!)
● informatique	25 %	
● logiciels et S.S.I. (1)	13 %	
● bureautique	4 %	
- biens de consommation durables	11 %	
	100 %	

Concernant les composants actifs (circuits intégrés-mémoires et tubes images), la production mondiale du secteur 1987 était évaluée à 52,3 milliards de dollars par l'E.I.C., répartis de la manière suivante :

(Millions de dollars courants 1987.)

	Marché				Production			
	Europe	Etats-Unis	Japon	Monde entier	Europe	Etats-Unis	Japon	Monde entier
Tubes cathodiques	1 900	1 200	1 900	7 500	1 600	1 050	3 400	7 500
<i>Dont</i> : Télévision	1 730	1 100	1 350	6 300	1 550	1 000	2 400	6 300
Autres	170	100	550	1 200	50	50	1 000	1 200
Circuits intégrés	4 900	9 800	11 000	28 900	2 800	8 600	14 200	28 900
Autres composants actifs	3 300	4 700	5 500	15 900	2 600	4 450	7 400	15 900
Total composants actifs	10 100	15 700	18 400	52 300	7 000	14 100	25 000	52 300

Entre 1987 et 1993, sur la base de la parité 1 \$ = 1 ECU en 1986 et dans l'hypothèse d'un taux d'inflation de 3 % par an, l'E.I.C. prévoit les taux de croissance moyens annuels suivants pour les marchés mondiaux exprimés en dollars courants :

(1) Sociétés de services informatiques.

- 5 % pour les tubes cathodiques pour téléviseurs ;
- 14 % pour les circuits intégrés ;
- et 11 % pour l'ensemble des composants actifs.

L'application de ces taux conduirait à un marché mondial en 1993 de :

- M\$ 8 400 pour les tubes cathodiques de télévision ;
- M\$ 63 500 pour les circuits intégrés ;
- M\$ 98 000 pour l'ensemble des secteurs des composants actifs.

Etabli pour 1987 d'après des éléments E.I.C., le tableau ci-dessous illustre la grande concentration industrielle du secteur des composants actifs.

**PARTS DÉTENUES PAR (a) LES CINQ PREMIÈRES ET (b)
LES DIX PREMIÈRES ENTREPRISES MONDIALES DE COMPOSANTS ACTIFS SUR LE MARCHÉ**

(En pourcentages.)

1987	Européen		Des Etats-Unis		Japonais		Mondial	
	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)
	Tubes cathodiques	76	—	71	—	72	—	61
Circuits intégrés	45	69	44	61	54	71	38	62
Ensembles des composants actifs ..	41	57	33	48	49	67	33	52

Quelques données de référence permettent, enfin, de situer l'activité électronique grand public dans le monde.

L'E.I.C. estime à 79,4 milliards de dollars la production mondiale en 1987, ventilés selon le tableau ci-après (1) :

(1) La partie « production » de ce tableau est également reproduit dans l'expertise de M. Brianchon.

(Millions de dollars courants 1987.)

	Marché				Production			
	Europe	Etats-Unis	Japon	Monde entier	Europe	Etats-Unis	Japon	Monde entier
Téléviseurs couleur	6 500	6 800	4 000	23 100	5 800	5 700	5 470	23 100
Téléviseurs noir et blanc	200	300	20	1 600	100	—	30	1 600
Magnétoscopes	3 700	3 500	2 800	13 400	1 700	100	8 870	13 400
Autres produits	10 700	12 500	8 680	40 300	5 200	4 700	19 230	40 300
Total électronique grand public	21 100	23 100	15 500	78 400	12 800	10 500	33 600	78 400

De 1987 à 1993, avec les mêmes hypothèses que pour les composants actifs, l'E.I.C. prévoit par produits les taux moyens annuels d'évolution suivants pour les marchés exprimés en dollars courants :

- 4 % pour les téléviseurs couleur ;
- - 1 % pour les téléviseurs noir et blanc ;
- 4 % pour les magnétoscopes ;
- et 5 % pour l'ensemble des matériels grand public.

Sur ces bases, l'estimation E.I.C. des marchés à horizon 1993 s'établit aux niveaux suivants :

- téléviseurs couleur 29 000 millions de dollars ;
- téléviseurs noir et blanc 1 500 millions de dollars ;
- magnétoscopes 17 000 millions de dollars ;
- ensemble des matériels électroniques grand public 112 200 millions de dollars.

Parmi les prévisions d'évolution du marché mondial des téléviseurs, on retiendra d'abord l'étude effectuée en 1988 par le N.R.I. (Nomura Research Institute). Elle porte simultanément sur le parc et le marché à horizon 1995 ; les deux tableaux ci-après en résument les principaux résultats.

PARC MONDIAL DES TÉLÉVISEURS EN SERVICE EN 1995

(En millions de téléviseurs.)

	Parc couleur			Parc noir et blanc			Parc total		
	P.A.L./ S.E.C.A.M.	N.T.S.C.	Total couleur	625 lignes	525 lignes	Total noir et blanc	Bloc P.A.L./ S.E.C.A.M.	Bloc N.T.S.C.	Total
Japon	-	100	100	-	3	3	-	103	103
Asie	69	27	96	59,5	6	65,5	128,5	33	161,5
Europe de l'Ouest	177	-	177	37	-	37	214	-	214
Europe de l'Est	79	-	79	68	-	68	147	-	147
Moyen-Orient	30	-	30	9	-	9	39	-	39
Afrique	11	-	11	10	-	10	21	-	21
Amérique du Nord	-	184	184	-	47	47	-	231	231
Amérique centrale et du Sud	35	17	52	16	12	28	51	29	80
Océanie	10	-	10	1,5	-	1,5	11,5	-	11,5
Total	411	328	739	201	68	269	612	396	1 008

MARCHÉ MONDIAL DU TÉLÉVISEUR COULEUR EN 1995

(En millions de téléviseurs.)

	Bloc P.A.L./S.E.C.A.M.	Bloc N.T.S.C.	Total
Japon	-	11,5	11,5
Asie	10,8	4	14,8
Europe de l'Ouest	20,9	-	20,9
Europe de l'Est	8,9	-	8,9
Moyen-Orient	4,9	-	4,9
Afrique	2	-	2
Amérique du Nord	-	22	22
Amérique centrale et du Sud	4,7	2,7	7,4
Océanie	1,2	-	1,2
Total	53,4	40,2	93,6
Pourcentage	57 %	43 %	100 %

Enfin, pour le marché de la télévision à haute définition *proprement dite* (et non à définition simplement étendue ou améliorée) on retiendra la prévision suivante, établie en octobre 1988 par Bis Macintosh.

TÉLÉVISION HAUTE DÉFINITION - PRÉVISIONS DE VENTE (1)

(En milliers d'unités.)

Années	Etats-Unis	Europe	Japon	Reste du monde	Total annuel	Total cumulatif
1990	0	0	20	0	20	20
1991	0	0	80	0	80	100
1992	0	0	150	0	150	250
1993	0	0	260	0	260	510
1994	0	0	350	0	350	860
1995	0	0	450	0	450	1 310
1996	80	0	620	0	700	2 010
1997	100	50	800	0	950	2 960
1998	250	150	1 000	0	1 400	4 360
1999	500	300	1 200	100	2 100	6 460
2000	1 000	1 000	1 600	700	4 300	10 760
2001	1 600	1 500	2 000	1 200	6 300	17 060
2002	2 600	2 400	3 000	1 900	9 900	26 960
2003	4 900	3 000	3 500	2 500	13 900	40 860
2004	6 500	4 500	4 500	3 400	18 900	59 760
2005	6 700	5 000	5 000	4 000	20 700	80 460
2006	6 800	5 500	5 000	4 700	22 000	102 460
2007	6 900	6 500	4 800	5 300	23 500	125 960
2008	7 900	7 000	4 000	5 500	24 400	150 360
2009	8 900	8 000	4 500	5 800	27 200	177 560
2010	11 000	8 500	4 500	6 000	30 000	207 560

Tel est l'environnement statistique — descriptif et projectif — dans lequel se situe l'industrie européenne des composants électroniques spécifiquement en cause, c'est-à-dire, essentiellement : les tubes télévision (plus généralement les écrans de visualisation), les circuits intégrés et les mémoires.

L'effort européen de recherche et développement correspondant s'inscrit dans le cadre du Projet 7, « Récepteurs », du programme Euréka 95, projet chargé des différents aspects de la réception.

Il est rappelé :

— que figurent notamment parmi les objectifs du Projet 7 la définition et l'évaluation des composants clés suivants :

- tube à vue directe de grande taille et à haute résolution ;

(1) Ces prévisions ne sont pas très éloignées de celles de l'A.E.A. (American Electronic Association) citées par M. Brianchon, si ce n'est qu'elles prévoient un démarrage plus tardif des ventes en dehors du Japon.

- tube de projection ;
 - circuits intégrés spécifiques ;
- que participent notamment au Projet 7 :
- I.T.T., Intermetall (Fribourg en Brisgau, R.F.A.) ;
 - Nokia, Graetz Nokia (Esslingen, R.F.A.); Océanic (Chartres, France), Salora (Finlande), S.E.L. (Bochum, R.F.A.) ;
 - Philips, Grundig ;
 - Thomson, S.T. (S.G.S. Thomson), Videocolor ;
 - S.E.L.E.C.O.

II. — TÉLÉVISION A HAUTE DÉFINITION ET INDUSTRIE EUROPÉENNE DES COMPOSANTS

Il ne suffit pas de parler d'émissions de télévision améliorée ou à haute définition — ni de réglementer à leur sujet. *Il faut en faire, c'est-à-dire produire et diffuser des émissions attractives, susceptibles de retenir l'intérêt du public* et par là même de susciter la demande d'appareils permettant de les recevoir et de générer ainsi un marché européen des matériels correspondants : celui des « boîtes noires » (« stand alone ») permettant la réception des signaux Mac sur les téléviseurs du parc actuellement en service et celui des récepteurs à grand écran au format 16/9, intégrant les circuits de décodage des signaux Mac, notamment au plan de la multiplicité des sons haute fidélité d'accompagnement.

Au Japon la certitude d'une diffusion en haute définition par la N.H.K. dès avant 1992 génère un véritable marché d'équipement, lequel dynamise l'industrie japonaise des matériels correspondants et lui confère *déjà* une forte position concurrentielle au niveau mondial.

Aux Etats-Unis le caractère privé de la télévision entraîne la prépondérance des considérations économiques, donc des coûts de production des programmes audiovisuels.

En Europe, la situation est plus nuancée notamment du fait de l'importance décisionnelle des Etats en matière de télévision ; il est toutefois évident que l'absence actuelle sur le marché de chaînes complètes d'équipement HD-Mac 1 250 lignes/50 Hz non seulement suscite l'attentisme des radiodiffuseurs, mais également — et c'est beaucoup plus grave de conséquences — laisse ces derniers à la merci des sirènes japonaises et de leurs propositions souvent gracieuses ou quasiment telles d'équipements de production.

Par conséquent, il est indispensable que l'industrie européenne soit à même *le plus rapidement possible* de mettre sur le marché des équipements complets de studio à 1 250 lignes/50 Hz conformes à la norme mondiale de production attendue du C.C.I.R. par l'Europe l'an prochain.

La seconde série de moyens concerne les secteurs des composants électroniques et des équipements professionnels.

Ce qui importe, c'est que, le plus rapidement possible l'industrie européenne des composants puisse, à des prix compétitifs, mettre à la disposition des équipementiers les éléments spécifiques et performants qui leur seront indispensables (circuit intégrés, mémoires, tubes écrans, plus tard écrans plats à cristaux liquides etc.) ; il faut également, comme cela a déjà été souligné plus haut, que l'électronique professionnelle mette très vite sur le marché des équipements complets – de production de transfert (1) – en haute définition 1 250/50 Hz, cela pour faire pièce à l'actuelle politique japonaise d'occupation du terrain dont l'un des objectifs est manifestement de permettre à la N.H.K. de plaider en 1990 devant le C.C.I.R. l'existence d'un standard de fait 1 125/60 Hz au niveau des équipements de studio.

(1) Notamment transfert sur film 35 mm.

III. — MOYENS DE VISUALISATION

Trois techniques principales permettent de visualiser l'image électronique, en noir et blanc comme en couleur : le tube cathodique classique, dit « cathoscope » ou « tube image », l'écran plat à cristaux liquides et le vidéoprojecteur.

Le terme « écran plat » a longtemps désigné les systèmes de visualisation autres que les cathoscopes. La tendance est aujourd'hui à réserver cette appellation à tout système électronique d'affichage — même si c'est un tube cathodique (1) — dont l'épaisseur est relativement faible par rapport à la surface de l'écran proprement dit.

Dans l'acception « ancienne » de l'appellation, les écrans plats se différencient entre « passifs » et « émissifs ».

Communément appelés L.C.D. (Liquid Cristal Display), les écrans plats « passifs » modulent le flux lumineux d'une source auxiliaire par des variations de transparence ou d'opacité. Ce sont des écrans de ce type qui équipent la plus grande partie des montres, des calculettes et des petits ordinateurs portables. Ils ont l'inconvénient d'être lents, d'avoir un angle de vision assez restreint et de ne comporter qu'une plage assez limitée de températures de couleur ; en revanche leur fonctionnement ne nécessite que très peu d'énergie et ils sont d'autant mieux lisibles qu'ils sont mieux éclairés. Leur technique fait appel à l'insertion de *cristaux liquides* (2) entre deux plaques de verre incluant

(1) Il y a lieu de souligner ici que plus un tube cathodique — surtout couleur — est « plat » (c'est-à-dire plus grande est sa surface d'écran par rapport à la profondeur de sa partie « conique »), plus sa fabrication soulève de difficultés :

— mécaniques, pour conserver au verre la résilience nécessaire dans les régions à faible rayon de courbure ;

— optico-électroniques pour assurer la correction de l'image dans les coins de l'écran malgré l'importance qu'y prennent les angles d'incidence des trois pinceaux d'électrons sur le masque et sur le fond du tube.

(2) Les cristaux liquides sont des substances d'état intermédiaire entre l'amorphe et le cristallin, et qui se classent en substances smectiques, nématiques et cholestériques. Transparentes à l'état normal, ces substances « s'orientent », c'est-à-dire prennent une structure semi-cristalline sous l'influence d'un champ électrique ou d'un échauffement (provoqué par un bombardement électronique, par exemple) ; ce changement de structure induit des modifications optiques de la substance (biréfringence du dichroïsme) utilisables pour la visualisation.

des électrodes elles-mêmes disposées en fonction de l'utilisation prévue. Si cette utilisation est du type écran de télévision, un très grand nombre de nœuds d'une grille font alors l'objet d'un « adressage » électrique par matrice active de diodes ou de transistors ; dans un tel cas, la taille de l'écran n'est limitée que par la faisabilité de matrices actives sans défaut.

Les écrans plats « émissifs » produisent d'eux-mêmes un flux lumineux modulé. Lisibles sous faible éclairage, ils autorisent un angle de vision relativement large et permettent une large gamme de températures de couleur. Toutefois ils ont l'inconvénient de nécessiter une tension d'alimentation relativement élevée ; quant à leur coût de fabrication, il est nettement plus élevé que celui des écrans passifs.

« Vidéoprojecteur » est une appellation ambiguë, car elle concerne deux types d'appareils différents : la terminologie anglaise, plus précise, distingue le « front-projector » et le « rear-projector ».

Le « front-projector » permet de projeter, sur un écran réfléchissant (type cinéma) à l'aide de trois objectifs, les trois composantes R.V.B. (rouge, vert et bleu) de la synthèse additive fournies par trois dispositifs électroniques ou optico-électroniques. Les téléprojections en salles de spectacle ressortissent à ce type d'appareils, professionnels ou semi-professionnels, qui mettent en œuvre des techniques diverses.

Le « rear-projector » se présente au contraire comme un très grand téléviseur. Il intègre à la fois un projecteur et un écran translucide (3) où l'on observe l'image par transparence.

Le cathoscope, les écrans plats à cristaux liquides et les deux types de vidéoprojecteur sont utilisables en télévision et donc en télévision à haute définition.

On remarquera toutefois que le Projet 7 « Récepteurs » du programme Euréka 95 de télévision à haute définition concerne explicitement les tubes à vue directe, de grande taille et haute résolution, et le tube de projection, mais non l'écran plat à cristaux liquides.

Il convient de souligner que, à l'égard de la télévision à haute définition, les trois techniques de visualisation n'en sont pas au même stade d'avancement.

Une considération marketing a joué de manière sensible sur les caractéristiques des nouveaux écrans : les constructeurs de téléviseurs ont estimé à juste titre que, pour le succès des nouvelles gammes d'appareils, le passage du format 4/3 au format 16/9 devait s'effectuer par augmentation de la valeur absolue de la longueur et non par réduction de la hauteur des écrans des modèles conventionnels 4/3

(1) En réalité, les très grands rear-projectors utilisent une lentille de Fresnel en verre dépoli qui permet une meilleure uniformisation de l'éclairage sur toute la surface de l'écran.

antérieurs correspondants : le tube écran de 20 pouces de diagonale devait passer à 26" et celui de 28" à 34".

Les fabricants de cathoscopes ont donc dû s'orienter vers la construction d'une gamme de grands tubes au format 16/9 et à haute résolution. Ils ont eu à faire face à deux difficultés principales.

La première portait sur la verrerie du tube et sur le masque compte tenu des contraintes mécaniques auxquelles ils sont soumis. Cette difficulté est aujourd'hui résolue à des conditions économiquement valables jusqu'à la dimension de 36 pouces (c'est-à-dire jusqu'au tube de diagonale d'écran inférieure ou égale à 91 centimètres). Au-delà de cette dimension, le prix de revient de fabrication conduirait à un prix de téléviseur démesuré par rapport à ce que le public — même le plus privilégié — peut admettre de payer. Là commence le domaine de « rear-projector ».

La seconde difficulté à surmonter concernait la haute résolution, c'est-à-dire le nombre des points de la couche fluorescente devant être séparément activés par l'impact du faisceau électronique composite (1).

Ces difficultés sont aujourd'hui résolues.

Dès 1990, des chaînes de fabrication seront mises en place à Aix-la-Chapelle (groupe Philips) et à Agnani (Thomson-Vidéocolor).

Ces chaînes représentent chacune un investissement de l'ordre de 350 millions de francs. D'une capacité unitaire de 350 000 tubes par an, elles sont potentiellement capables de satisfaire à la demande européenne estimée pour 1993 à plus de 750 milliers de tubes.

Ces chaînes produiront deux types de tubes 16/9 :

- les premiers, destinés aux récepteurs des émissions 625 lignes en systèmes Mac, auront une résolution égale à une fois et demie celle des tubes actuels ;

- les seconds, destinés à la haute définition proprement dite, HD-Mac 1 250 lignes, bénéficieront d'une résolution quadruple de l'actuelle.

Un programme conjoint Philips-Thomson prévoit la sortie de prototypes 33" et 36" dans les prochaines semaines et celle de préséries vers la fin de l'année 1989, ces préséries comportant évidemment une grande majorité de tubes à 625 lignes, destinés aux récepteurs équipés pour la réception des émissions dans les systèmes Mac.

(1) Paradoxalement, en apparence, cette difficulté est plus sensible dans la fabrication des petits tubes que des grands.

Bien entendu, et notamment du fait de l'absence de marché grand public à 1 250 lignes durant plusieurs années, les prix relativement élevés des tubes 1 250 lignes en limiteront la diffusion aux matériels de démonstration et au petit segment de marché constitué par les amateurs éclairés et/ou fanatiques de nouveautés sans considération de prix.

Les fabrications de tubes au format 16/9 pour les émissions Mac permettront aux industriels d'attendre l'avènement de celles en HD-Mac, tout en perfectionnant leur know-how.

Il n'empêche que si les fabricants de cathoscopes ont donc fait face au financement des investissements industriels, les dépenses de recherche-développement ont été et sont encore très lourdes et justifieraient des aides nationales et/ou communautaires.

Elles semblent le justifier d'autant plus que, début 1989, ayant pris conscience que l'équipement en très grands écrans radar du réseau d'alerte de la défense US dépendait entièrement de fournisseurs japonais, le Pentagone a suscité et financé (à hauteur de 30 millions de dollars) un accord entre de grandes sociétés américaines pour mettre à l'étude un joint-venture en vue de la production de grands cathoscopes à haute résolution. Quoique initiée à des fins militaires, en vue notamment de produire de grands écrans carrés (1) de 50 cm de côté, cette action aura nécessairement d'importantes retombées civiles à l'égard de la T.H.V.D., au moins au plan recherche-développement et, par la force des choses, affectera la puissance technologique et commerciale de l'industrie européenne des tubes sur le marché mondial et notamment américain.

Concernant les écrans plats à cristaux liquides, l'industrie japonaise vend depuis plus d'un an des « téléviseurs de poche », annonce la sortie incessante sur le marché de récepteurs à écran de 14 pouces et laisse entendre que bien avant la fin du siècle elle commercialisera de très grands écrans plats à cristaux liquides, d'une superficie de l'ordre du mètre carré.

Pour leur part, les fabricants européens de tubes estiment que, notamment à l'égard de la télévision améliorée et encore plus de la télévision à haute définition, l'écran plat à cristaux liquides peut trouver sa place jusqu'à 14 pouces de diagonale ; que, au-delà de 14" et jusqu'à 36" de diagonale le domaine est et restera celui du cathoscope de format 16/9 à haute résolution et que la zone au-delà de 36" est et demeurera celle du vidéoprojecteur.

(1) Les fabricants européens de grands tubes à haute résolution font actuellement porter leurs efforts sur le seul format 16/9. Certains laboratoires, en revanche, poursuivent leurs recherches à des fins d'électronique professionnelle.

Cela précisé, les fabricants européens ont évidemment envisagé de se lancer dans la fabrication d'écrans plats à cristaux liquides.

L'investissement industriel serait de l'ordre de 500 millions de francs et les implantations perdraient de l'argent durant trois, voire quatre ans. Pour l'Europe, l'investissement réel global serait donc de l'ordre du milliard de francs pour prendre place sur le marché de l'écran plat.

A ce niveau, les efforts ne doivent pas être laissés à la charge des seuls industriels.

En octobre dernier, on pouvait voir au Salon de Tokyo, sur les stands des grandes marques, des rear-projectors de très grande taille, au format 16/9 et fournissant de remarquables images. Il s'agissait sinon de prototypes du moins de têtes de premières séries, mais la dimension et la qualité de l'image retenaient l'attention du public malgré le niveau himalayen des prix indiqués.

Les fabricants européens sont très conscients de l'existence d'un marché relativement important pour ce type d'appareils qui figurent d'ailleurs explicitement au projet 7 du programme Eurêka 95, et il est probable qu'au Funkaustellung, en août prochain à Berlin, on pourra voir des rear-projectors européens ne le cédant, ni en dimension, ni en qualité, à ceux exposés à Tokyo dix mois plus tôt à l'admiration des visiteurs.

IV. — TÉLÉVISION A HAUTE DÉFINITION ET INDUSTRIE EUROPÉENNE DES MÉMOIRES ET DES CIRCUITS INTÉGRÉS

On rappellera sommairement que la télévision à haute définition comporte trois stades : la production du signal, sa transmission par voie hertzienne ou filaire et sa réception.

La production du signal et sa compression électronique pour sa transmission font largement appel aux techniques numériques ; quant aux systèmes de la famille Mac, supports du signal, ils ménagent la possibilité de quatre à huit sons numériques d'accompagnement et de services de télétexte additionnel ; les récepteurs doivent donc également faire appel aux techniques numériques.

Les techniques numériques nécessitent la mise en œuvre de mémoires performantes et des considérations de tous ordres — encombrement compris notamment au stade de la réception — conduisent à un très haut degré de miniaturisation et d'intégration des circuits.

Concernant les mémoires (1), l'industrie européenne est opérationnelle dans les délais qu'elle s'est assignés pour les 1 mégabit statiques et les 4 mégabits dynamiques. Cette opération associe Philips (statiques) et Siemens (dynamiques) dans le cadre du programme Euréka 95.

L'opération suivante (projet Jessi en cours de constitution) associera ces deux groupes, Thomson, une société britannique et plusieurs équipementiers. L'objectif en est la fabrication de mémoires à 64 mégabits dans un premier stade et ultérieurement de passer à l'ordre du gigabit tout en continuant de rechercher la miniaturisation maximale.

Les systèmes de la famille Mac nécessitent à la réception un jeu de circuits intégrés pour le traitement du signal.

Deux groupements d'entreprises se sont attelés à cette tâche d'autant plus difficile que, ces circuits complexes étant destinés à des matériels grand public, les contraintes de prix étaient particulièrement sévères et que Mac n'est pas le signe d'un système, mais d'une famille de systèmes.

(1) Voir annexe *in fine*.

Il faut avoir conscience que les fabricants européens étaient en droit de s'interroger sur l'intérêt de se lancer dans l'aventure, c'est-à-dire d'affecter des équipes précieuses de plusieurs centaines d'ingénieurs qualifiés à la conception et au développement d'un composant aussi spécifique et sans marché assuré. (On rappellera en particulier l'orchestration médiatique autour des hésitations françaises au regard de l'opportunité du lancement de T.D.F. 1 et de T.D.F. 2... et encore aujourd'hui l'ignorance de la nature et de l'intérêt pour le public des futures émissions en systèmes Mac).

Le premier industriel à s'être lancé fut I.T.T. Intermetall qui, le 25 février 1988, annonçait la disponibilité d'une « puce » (*) regroupant les fonctions de plus de 150 000 transistors sur 52 mm², commercialisée au prix de 50 DM. Tablant sur le lancement du premier satellite allemand TV-S.A.T., la société I.T.T. avait prévu une demande initiale de 200 000 circuits. L'impossibilité de déployer les panneaux solaires du satellite a constitué pour I.T.T. un sinistre d'autant plus sensible que cette société avait investi 13 millions de deutsch marks dans le projet (investissement propre, sans aide ni subvention).

Les prototypes actuels de décodeurs Mac (boîtes noires ou intégrés dans les téléviseurs haut de gamme) sont équipés de ce composant dont la fabrication est toujours assurée à Fribourg en Brisgau.

Les autres industriels européens ont attendu un peu plus longtemps pour sauter le pas.

Quoi qu'il en soit, un groupement réunissant Philips, Plessey (UK) et V.S.D.S.I. (Suède) va mettre incessamment sur le marché un jeu complet de circuits intégrés adaptés au décodage des différents systèmes de la famille Mac, notamment D2-Mac et D-Mac.

L'industrie européenne du circuit intégré juge que la seule solution raisonnable au problème soulevé par l'avènement de la télévision HD est la recommandation par le C.C.I.R. (en 1990) :

— de la proposition européenne d'une norme mondiale unique de production et d'échange de programme (1 250 lignes, analyse séquentielle ligne par ligne, et 50 images par seconde) ;

— et de la coexistence de deux (et peut-être trois) normes de radiodiffusion (différentes selon que les pays seront à 50 ou à 60 Hz) facilement et réciproquement convertibles.

Le secteur des composants considère, en effet, qu'à l'époque des circuits intégrés, des normes de radiodiffusion différentes ne présentent

(*) Ce circuit intégré spécifique pour le D2-Mac Paquet est référencé D.M.A. 2270.

plus les mêmes risques de cloisonnement technique des territoires qu'aux temps de l'avènement de la couleur : avec la fluidité permise par l'emploi des circuits intégrés, un constructeur européen de récepteurs pourra parfaitement concevoir dans un laboratoire central des téléviseurs qui pourront être réalisés en norme européenne, japonaise ou américaine, dans les lieux de fabrication les plus convenables par rapport aux différents marchés ciblés.

Ainsi régulée par le filtre de la multiplicité des normes de radiodiffusion, la libre concurrence pourra s'exercer sur l'ensemble du marché mondial au niveau des programmes de production sans risque de déversement sauvage sur une zone des surstocks éventuels d'une autre.

A l'instar de leurs homologues des écrans de visualisation, les fabricants européens des mémoires et de circuits intégrés sont donc prêts à fournir aux constructeurs de téléviseurs les composants spécifiques nécessaires à la réception des signaux de la famille des systèmes Mac.

Cela étant, outre l'impérieuse nécessité et l'urgence déjà soulignées d'une politique active de programmation d'émissions Mac susceptibles de provoquer le déclenchement du marché des récepteurs, le secteur doit continuer de bénéficier du soutien des Etats et de la Communauté pour la poursuite de ses efforts de recherche et développement des composants spécifiques nécessaires au HD-Mac aux trois stades : production/échanges, transmission et réception.

ANNEXES

(Extraits du glossaire réalisé pour le compte de l'Office par M. René Bezard.)

1. *Semi-conducteurs.*

La *semi-conductivité* caractérise un élément dont la conductibilité électrique, intermédiaire entre celle des métaux et celle des isolants, est obtenue par addition (« dopage ») « d'impuretés » (indium, arsenic, etc.) dans une structure cristalline (germanium, sélénium, silicium, etc.). Le contact entre deux *semi-conducteurs* de type différent se nomme *jonction*.

Jonctions et combinaisons de jonctions permettent de réaliser « diodes » et « transistors ».

La *fabrication* des dispositifs à semi-conducteurs a énormément évolué depuis quelques années.

Actuellement les *matériaux de base* utilisés sont le *silicium* et l'*arséniure de gallium*.

L'arséniure de gallium présente sur le silicium l'avantage de permettre des fréquences de fonctionnement très supérieures ; en revanche, composé quasi intermétallique (1), il est assez instable et sa maîtrise nécessite de grandes précautions.

Le processus technologique mis en œuvre aujourd'hui est celui de la *diffusion*.

Pour fabriquer un dispositif à semi-conducteurs, la méthode de diffusion consiste, à partir d'une tranche cristalline élémentaire, à y ajouter (dopage) des impuretés de manière sélective, y créant ainsi des zones de conductivités différentes, suivant une configuration topographique préétablie.

Le but de l'opération est d'aboutir ainsi à fabriquer en grandes séries des dispositifs à semi-conducteurs (disques ou puces) capables de remplir les fonctions pour lesquelles ces dispositifs ont été conçus.

La conception de la topographie est très différente selon qu'il s'agit d'un dispositif relativement simple, comme une diode, ou d'un circuit intégré comportant plusieurs centaines de milliers de transistors.

Dans le premier cas le graphisme se fait à la main. Dans le second, l'assistance de l'ordinateur est requise (C.A.O.—Conception assistée par ordinateur).

La topographie étant déterminée, la fabrication proprement dite met en œuvre une série d'opération physico-chimiques précises et complexes, pilotées par ordinateur et faisant notamment appel à des procédés de gravure à l'aide de machines à ultraviolets, à faisceau d'électrons, ou à rayons X.

A ce titre la fabrication en série de circuits à haut degré d'intégration (L.S.I. et V.L.S.I.) est à classer aux premiers rangs des miracles de la technologie, jusques et y compris leur encapsulage sous boîtiers en atmosphère neutre (azote) et l'accessibilité de leurs microscopiques électrodes de sortie.

2. *Mémoires.*

Une *mémoire* est un dispositif permettant le recueil et la conservation d'informations destinées à un traitement ultérieur. Par extension, on donne également la même appellation au support d'une information.

La mise en mémoire d'informations sous forme numérique binaire a fait et continue de faire appel à diverses propriétés physiques des matériaux : magnétisme, semi-conductivité, supra-conductivité, etc.

(1) La chimie minérale classique considère l'arsenic comme un métalloïde et non comme un métal.

Les systèmes nouveaux de télévision font largement appel aux procédés numériques à tous les stades de traitement du signal, par exemple :

- à la production :
 - caméras à transfert de charge (D.T.C.-C.C.D.) ;
 - numérisation du son d'accompagnement de l'image et des services alphanumériques annexés au signal ;
 - trucages et images de synthèse ;
 - transferts entre analogique et numérique réciproques au sein d'un même système de télévision ; transferts vidéo/film ;
 - conversion d'un système de télévision dans un autre ;
- au transport et à la diffusion :
 - compression du signal en fonction de la largeur de bande passante disponible ;
- à la réception :
 - décompression du signal ;
 - transformation numérique/analogique du son d'accompagnement.

Ces manipulations d'informations exprimées sous forme numérique binaire conduisent la télévision à faire de plus en plus appel aux mêmes composants que l'informatique et notamment à l'éventail des mémoires à semi-conducteurs désignées universellement par les symboles R.O.M., R.A.M., P.R.O.M., E.P.R.O.M., E.E.P.R.O.M., etc.

L'informatique en ses débuts a très rapidement fait appel au magnétisme en utilisant des tores de ferrite aux croisements de câbles minuscules disposés à angle droit sur des panneaux matriciels ; chacun de ces câbles ne transportant que la moitié du courant nécessaire à la magnétisation de la ferrite, le tore ne se trouve magnétisé que lorsque les deux courants conjuguent leurs effets ; par convention un tore magnétisé dans le sens des aiguilles d'une montre représente 0 ; il représente 1 dans le sens contraire.

L'apparition des semi-conducteurs a bouleversé la technique des mémoires.

Un semi-conducteur en silicium peut en effet se comporter soit comme un conducteur soit comme un isolant ; il est donc possible de faire appel à cette propriété pour représenter chaque bit (0 ou 1) par une tension électrique (« basse » ou « haute »).

Les progrès de la technologie ont permis de réduire de plus en plus la taille de l'unité de base élémentaire d'une mémoire, dite « cellule », capable de stocker un bit et un seul, tant et si bien qu'un fragment de silicium est aujourd'hui capable de stocker des millions de bits, quelques microns seulement y séparant les cellules les unes des autres.

Cette extrême miniaturisation permet en outre de réduire les distances à parcourir par les informations électriques et donc de gagner considérablement en rapidité d'utilisation des mémoires.

Les mémoires à semi-conducteurs se répartissent en deux grandes classes :

Les « mémoires mortes » ou « mémoires à lecture seule » et les « mémoires vives » ou « mémoires à écriture-lecture ».

Les « mémoires mortes » sont de trois types :

— **R.O.M.** (*Read Only Memory*). Seules ces mémoires sont véritablement « à lecture seule » et programmées à la fabrication ;

— **P.R.O.M.** (*Programmable Read Only Memory*). Non programmées à la fabrication, ces mémoires sont programmées lors de leur mise en service, à l'aide d'un appareil spécial, dit programmeur de P.R.O.M. Une fois programmée, une mémoire P.R.O.M. est rendue ineffaçable par destruction de fusibles disposés sur les circuits.

- **E.P.R.O.M.** (*Erasable Read Only Memory*), **E.E.P.R.O.M.** (*Electrically Erasable Read Only Memory*). Programmables comme les P.R.O.M., ces mémoires mettent en œuvre des semi-conducteurs particuliers qui, évitant la destruction de circuits après programmation, ménagent ainsi la possibilité de modifier ultérieurement l'information mémorisée. Les E.P.R.O.M. sont effaçables par rayonnement ultraviolet ; les E.E.P.R.O.M. s'effacent électriquement.

Les « mémoires vives » ou « à accès aléatoire », **R.A.M.** (*Random Access Memory*) sont dites « volatiles », car l'information qu'elles contiennent est détruite lorsque les tensions d'alimentation ne leur sont plus appliquées. Ces mémoires sont de deux types :

- **S.R.A.M.** « statiques », fonctionnant sous des tensions relativement fortes. Les mémoires ressortissant à ce type mettent en jeu deux semi-conducteurs par cellule élémentaire ; montés en « bascule », ces semi-conducteurs permettent de positionner la mémoire à 1 ou 0 et celle-ci conserve sa valeur aussi longtemps que le circuit est alimenté.

Les mémoires de ce type sont plus complexes à développer et à fabriquer que celles du type suivant.

- **D.R.A.M.** « dynamiques », nécessitant un « rafraîchissement » fréquent des cellules (cinq cents fois par seconde), faute de quoi l'information serait perdue et ce pour deux raisons :

- la lecture d'une cellule R.A.M. détruit l'information qu'elle contient, laquelle doit donc être réécrite après chaque lecture ;

- ce type de mémoires met en œuvre de microscopiques condensateurs pour stocker les électrons ; ces derniers s'échappent peu à peu dans le silicium environnant et l'information disparaît progressivement si on ne la rafraîchit pas.

RÉSUMÉ

	Mémoires statiques	Mémoires dynamiques
« Mémoires mortes » ou « Mémoires à lecture seule » (conserver l'information qu'elles contiennent en cas de coupure des tensions d'alimentation).	<p>R.O.M. : « Mémoire Morte » <i>stricto sensu</i>.</p> <p>P.R.O.M. : « Mémoire morte », programmable, mais non effaçable.</p> <p>E.P.R.O.M. : « Mémoire morte », programmable, et effaçable par ultraviolet.</p> <p>E.E.P.R.O.M. : « Mémoire morte », programmable, et effaçable électriquement.</p>	
« Mémoires vives » ou « Mémoires à écriture lecture » (perdent l'information qu'elles contiennent en cas de coupure des tensions d'alimentation).	R.A.M. statique (S.R.A.M.) conserve l'information qu'elle contient tant que la tension d'alimentation lui est appliquée.	R.A.M. dynamique (D.R.A.M.) nécessite une opération de « rafraîchissement » cinq cents fois par seconde pour conserver l'information.

CINQUIÈME PARTIE

L'ATTRAIT DES NOUVELLES NORMES DE TÉLÉVISION AUPRÈS DU PUBLIC

Résumé

L'Office, conjointement avec le C.S.A. (Conseil supérieur de l'audiovisuel) a demandé à la S.O.F.R.E.S. d'effectuer un sondage d'opinion sur l'attrait qu'exercent sur le public les nouvelles normes et les nouveaux moyens de diffusion de la télévision.

Les principaux enseignements de ce sondage sont les suivants :

1. Une minorité assez importante de téléspectateurs (27 %) est mécontente de la qualité actuelle de réception des images (18 %) et/ou du son (14 %), les limites de la technologie étant alors mises en cause une fois sur deux.

2. Si 89 % des personnes interrogées connaissent le satellite T.D.F. 1, 38 % seulement d'entre elles ont entendu parler de la télévision haute définition, et 17 % de la norme D2-Mac Paquet.

3. La Sept est la chaîne diffusée par T.D.F. 1 la plus souvent citée (20 % des personnes sondées).

4. Plus de 90 % des téléspectateurs sont intéressés par l'accroissement de la qualité de l'image que permet la norme D2-Mac et plus de 80 %, par la perspective qu'elle offre de bénéficier d'un son stéréo Hi-Fi (les autres avantages de la télévision par satellite : plus grand choix de programmes, accès à des chaînes étrangères, sont aussi très largement appréciés).

5. C'est pour les films (82 %), les actualités (41 %) et les concerts (40 %) que ces avantages paraissent le plus attrayant.

6. Les quatre cinquièmes des répondants envisageraient, dans l'absolu, s'ils devaient changer de téléviseur, d'acquérir un modèle permettant d'accéder aux programmes diffusés par satellite selon les nouvelles normes.

7. Les considérations financières apparaissent toutefois comme un frein sérieux à la motivation du public : 80 % des personnes interrogées ne sont pas intéressées par l'accès à des chaînes à péage, et 78 % ne sont pas prêtes à assumer le prix actuel de l'achat d'un téléviseur équipé pour recevoir les émissions en D2-Mac du satellite T.D.F. 1. (41 % sont tentées, en revanche, par la location du matériel nécessaire, cette solution recueillant l'assentiment de plus de 80 % des abonnés à Canal plus).

CONCLUSIONS

- Beaucoup d'efforts doivent encore être accomplis pour faire connaître les nouvelles normes de télévision ;

- le public est à la fois plutôt satisfait de la qualité actuelle de réception de la télévision et sensible aux améliorations qui pourraient lui être apportées ;

- une minorité non négligeable est mécontente de la qualité présente de l'image et du son (27 %) et prête (20 %) à acheter au prix actuel, un récepteur permettant d'accéder aux émissions de T.D.F. 1 en D2-Mac Paquet.

LES PRINCIPAUX RESULTATS

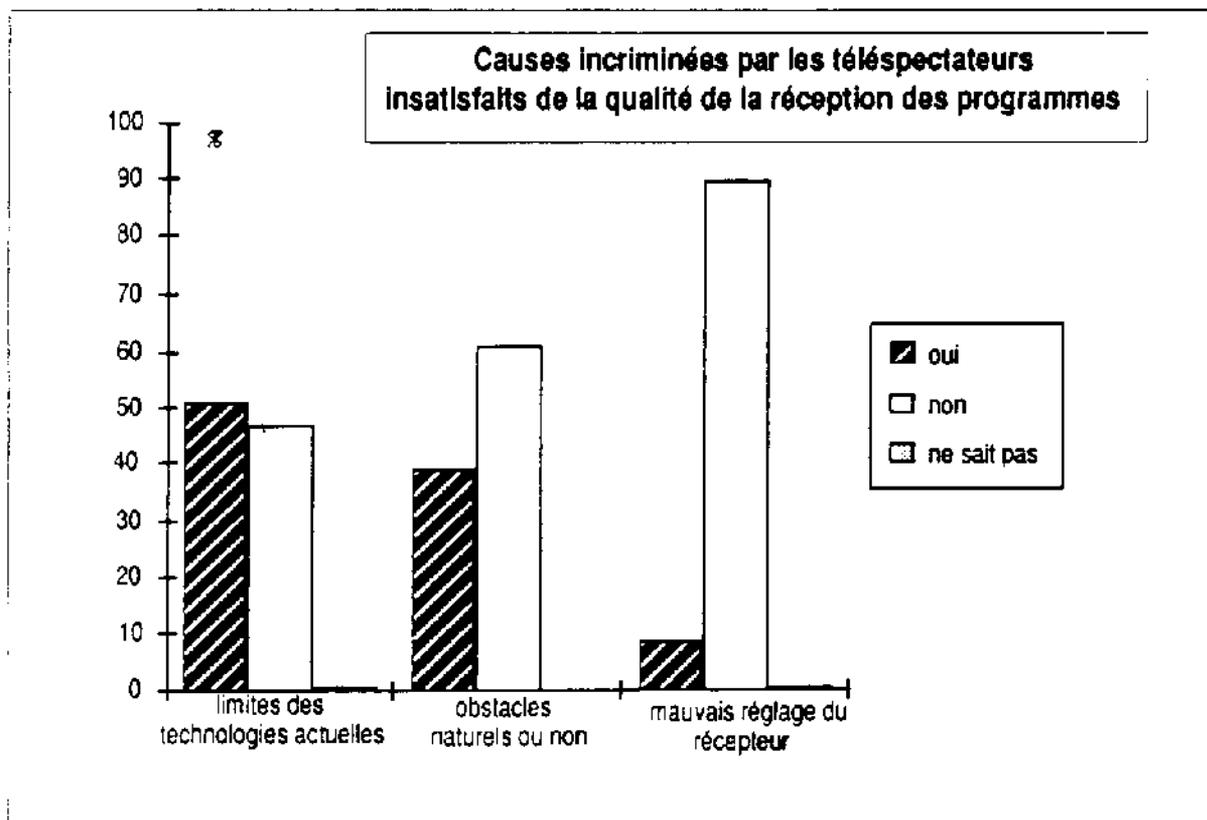
1. Degré de satisfaction par rapport à la qualité de réception actuelle.

Les trois quarts des téléspectateurs se déclarent satisfaits de la qualité actuelle de réception des programmes de télévision.

Un quart (27 % exactement) émettent des appréciations négatives sur la qualité de réception des images (18 %), et/ou du son (14%).

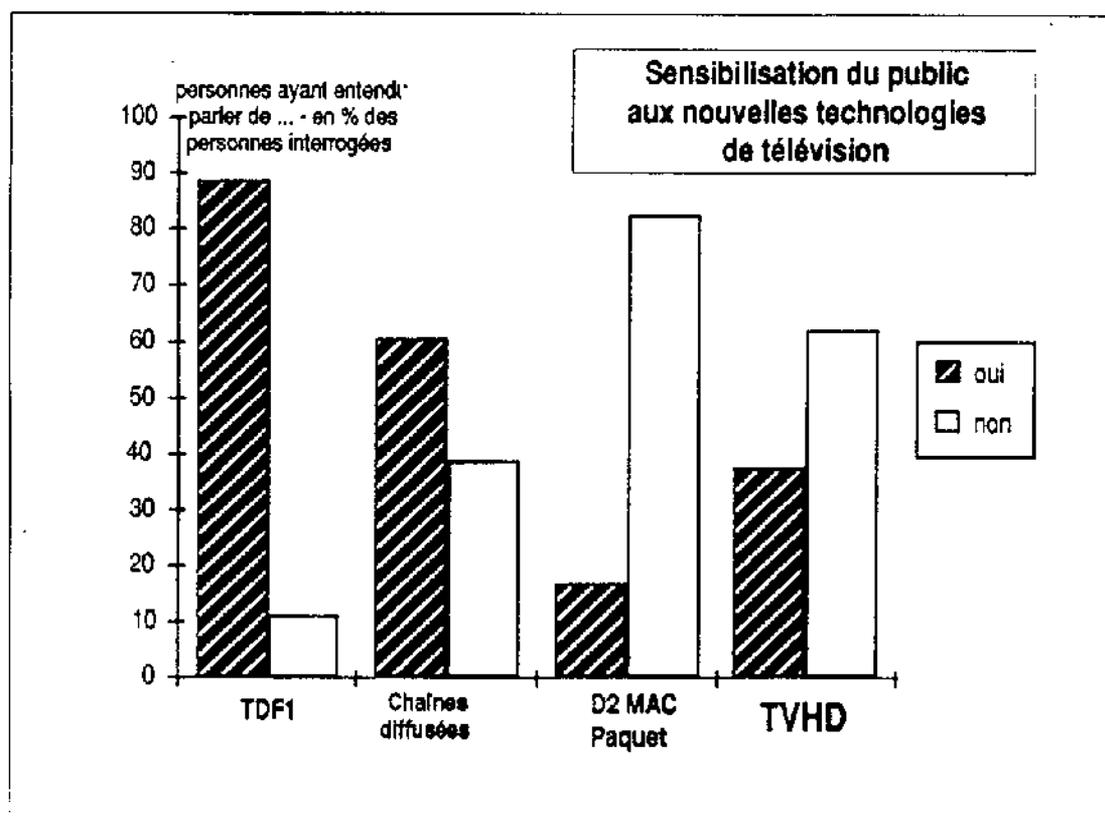
Ces insatisfaits incriminent:

- les limites de la technologie aujourd'hui (51 %)
- les obstacles (naturels ou non) (39 %)
- le mauvais réglage du récepteur (9 %).



2. Sensibilisation aux nouvelles technologies de communication

Notoriété de TDF1	89 %
- des chaînes qui seront diffusées par TDF1	61 %
- de la télévision haute définition	38 %
- des nouvelles normes qui seront utilisées pour la diffusion de ces chaînes (D2 MAC Paquet)	17 %



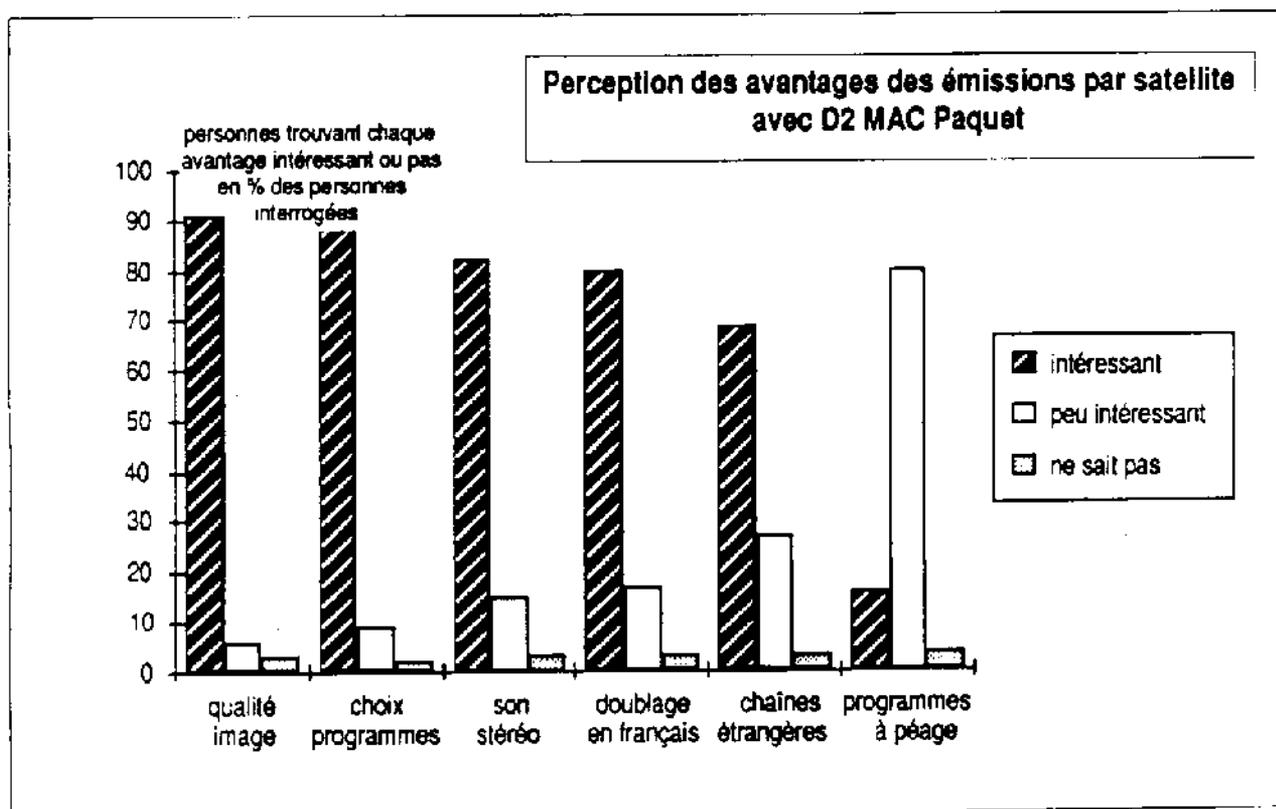
3. Perception des avantages

En tête, ressort la «qualité accrue de l'image», (citée par 91 % des répondants); puis un «plus grand choix de programmes» (cité par 89 %) et le «son stéréo» (cité par 82 %).

Le «doublage en français» (80 %) et l'«accès à des chaînes étrangères» (69 %) sont, eux aussi, assez largement plébiscités.

En revanche, l'«accès à des programmes à péage» suscite sensiblement moins d'enthousiasme: il n'est cité positivement que par 16 % des répondants.

Ces améliorations seraient particulièrement appréciées pour les films (82 %), les actualités (41 %) et les concerts (40 %).



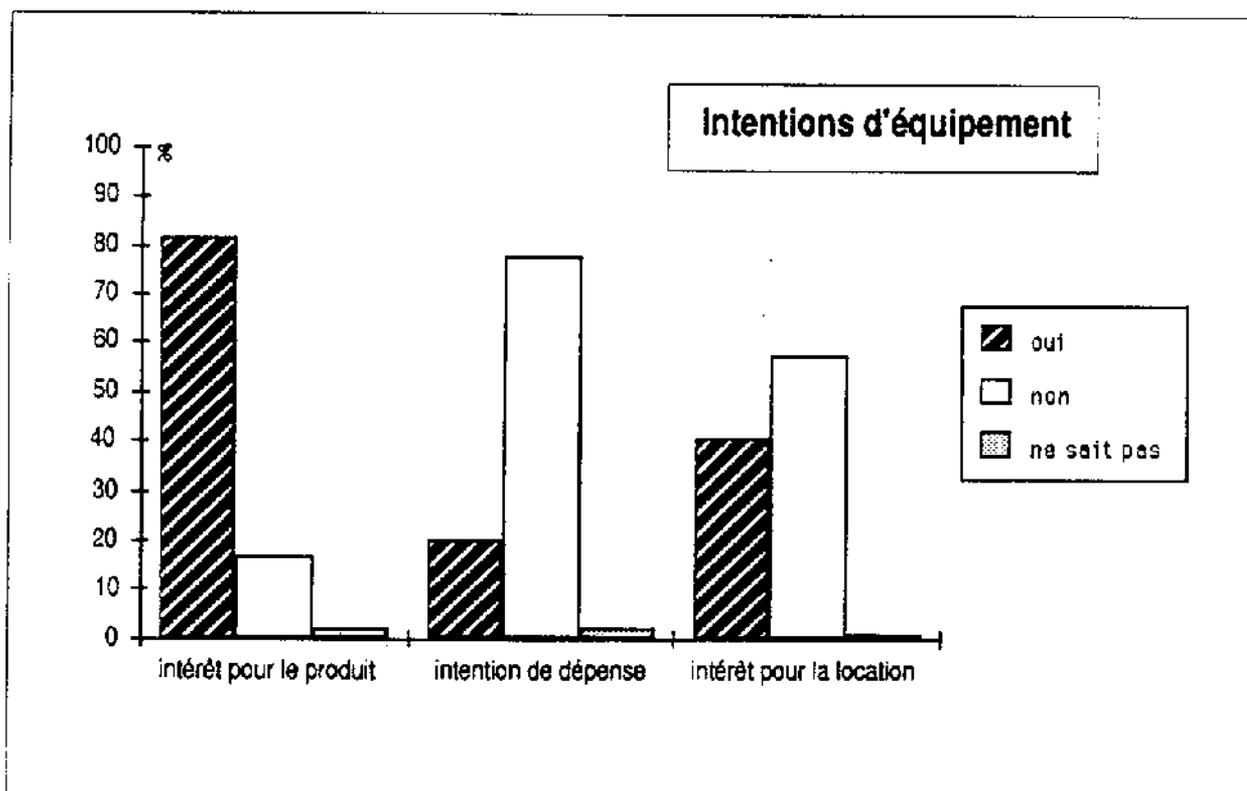
4. Intentions d'équipement

L'intérêt évident pour le produit se traduit par un niveau élevé d'intentions d'achat («dans l'absolu»): le total «sûrement» (35 %) et «probablement» (46 %) regroupe les quatre cinquièmes des répondants.

La prise en considération du facteur budgétaire (question 7) vient moduler sensiblement ces déclarations d'intentions: le total «sûrement + probablement» est ramené à 20 % (dont 4 % seulement de «sûrement»).

L'alternative que représente la location suscite un indéniable intérêt: 41 % de «très intéressant» et «assez intéressant» (dont 4 % pour la première des deux modalités).

En particulier, lorsque la location est présentée comme un prolongement à l'abonnement Canal+, cette solution recueille l'assentiment d'une très large majorité (84 %) des abonnés de cette chaîne.



RESULTATS DETAILLES

Q.1. - Etes-vous satisfait de la qualité de la réception des programmes de télévision que vous regardez habituellement ?

1.1. en ce qui concerne les images:

	Nb	%
Très satisfait	232	24
Assez satisfait	561	57
Peu satisfait	142	14
Pas du tout satisfait	33	3
Sous-total satisfait	794	81
Sous-total pas satisfait	175	18
Ne sait pas	10	1
Total	979	100

1.2. en ce qui concerne les dimensions de votre écran:

	Nb	%
Très satisfait	436	44
Assez satisfait	466	48
Peu satisfait	58	6
Pas du tout satisfait	9	0
Sous-total satisfait	902	92
Sous-total pas satisfait	66	7
Ne sait pas	11	1
Total	979	100

1.3. en ce qui concerne le son:

	Nb	%
Très satisfait	306	31
Assez satisfait	519	53
Peu satisfait	118	12
Pas du tout satisfait	17	2
Sous-total satisfait	826	84
Sous-total pas satisfait	135	14
Ne sait pas	18	2
Total	979	100

Q.2 - L'insatisfaction * que vous ressentez est-elle liée à votre avis:

2.1. - à des obstacles (immeubles, voisins, montagnes...) qui empêchent les émissions de vous parvenir dans de bonnes conditions ?

	Nb	%
Oui	104	39
Non	166	61
Ne sait pas	0	0
Total	270	100

2.2. - à un mauvais réglage de votre récepteur ?

	Nb	%
Oui	25	9
Non	242	90
Ne sait pas	3	1
Total	270	100

2.3. - aux limites technologiques actuelles de la télévision

(netteté insuffisante des contours et des détails, reproduction des couleurs laissant à désirer, absence de son stéréo, hi-fi, écran trop petit...)

	Nb	%
Oui	139	51
Non	128	47
Ne sait pas	3	1
Total	270	100

** question posée à ceux qui sont peu satisfaits ou pas du tout satisfaits pour au moins un élément (soit le son, soit l'image)*

Q.3. Avez-vous entendu parler:

3.1. - du satellite de télédiffusion directe TDF1 ?

	Nb	%
Oui	873	89
Non	106	11
Total	979	100

3.2. - des chaînes qui seront diffusées par ce satellite ?

	Nb	%
Oui	598	61
Non	381	39
Total	979	100

3.3. - lesquelles pouvez-vous citer ?

	Nb	%
TF1	115	19
A2	97	16
FR3	51	9
A2-FR3 chaîne sportive	12	2
La 5	53	9
M6	29	5
Canal +	114	19
Canal + Allemagne	22	4
Canal + enfants	21	4
Autres Canal +	10	2
La Sept	121	20
Chaîne culturelle	11	2
Chaîne pour enfants	8	1
Chaîne musicale	14	2
Chaîne sportive	34	6
TV sport	2	0
Sport 2, 3	7	1
Canal sport	0	0
TDF1	5	0
RTL-RTL plus	18	3
Sky channel	5	0
BBC	7	1
Chaînes europ.étran.	40	7
Chaînes étran.+noms	10	2
Autres chaînes	29	5
Non précisé	188	31
Total	598	100

3.4. - Avez-vous entendu parler des nouvelles normes qui seront utilisées pour les émissions de ces chaînes (D2 MAC Paquet) ?

	Nb	%
Oui	169	17
Non	810	83
Total	979	100

3.5. - Avez-vous entendu parler de la Télévision haute définition ?

	Nb	%
Oui	374	38
Non	605	62
Total	979	100

Q.4 - Les émissions par satellite avec la norme D2 MAC Paquet offrent aux téléspectateurs un certain nombre d'avantages. Pour chacun des avantages suivants, pouvez-vous indiquer si vous le considérez comme très intéressant, assez intéressant, peu intéressant ou pas du tout intéressant ?

	Plus grand choix de programmes		Accès à des chaînes étrangères		Accès à des programmes à péage		Doublage en français		Son stéréo Hi-Fi		Qualité de l'image accrue	
	Nb	%	Nb	%	Nb	%	Nb	%	Nb	%	Nb	%
Très intéressant	512	52	353	36	48	5	424	43	503	51	643	66
Assez intéressant	356	36	326	33	109	11	361	37	301	31	248	25
Peu intéressant	75	8	211	22	356	36	107	11	112	11	43	4
Pas du tout intéressant	14	1	56	6	430	44	58	6	34	3	12	1
Sous-Total Intéressant	868	89	679	69	156	16	785	80	804	82	892	91
Sous-Total Pas Intéressant	90	9	267	27	786	80	166	17	145	15	55	6
Ne sait pas	22	2	32	3	37	4	29	3	30	3	33	3
Total	979	100	979	100	979	100	978	100	979	100	979	100

Q.5. - Pour quel type de programme appréciez-vous ces améliorations ?
(donnez vos 3 premières priorités)

	Nb	%
Films	800	82
Téléfilms	248	25
Primes sportifs	346	35
Concerts	389	40
Variétés	255	27
Actualités	399	41
Jeux	51	5
Publicité	11	1
Ne sait pas	56	6
Total	979	-

Q.6. - Si vous deviez changer de poste de télévisions prochainement, choisiriez-vous un modèle qui permette de recevoir, en plus des chaînes actuelles, les nouveaux programmes de TDF1 avec la qualité D2 MAC Paquet (son stéréo et image améliorée)

	Nb	%
Oui, sûrement	343	35
Oui, probablement	455	46
Non, probablement pas	129	13
Non, sûrement	34	4
Sous-Total oui	798	82
Sous-Total non	163	17
Ne sait pas	18	2
Total	979	100

Q.7. - Pour recevoir, en plus des chaînes actuelles, les programmes qui seront diffusés par TDF1, avec la qualité D2 MAC Paquet, il est nécessaire aujourd'hui:

- d'acquérir un poste de télévision haut de gamme dont le prix est de 8 500 F à 9 000 F;
- et de payer environ 5 000 F pour le décodeur incorporé dans le téléviseur et l'antenne satellite (ce montant ne comprend pas le coût du décodeur et les abonnements aux chaînes à péage).

Lorsque vous changerez de téléviseur, pensez-vous que vous ferez cette dépense ?

	Nb	%
Oui, sûrement	39	4
Oui, probablement	155	16
Non, probablement pas	455	46
Non, sûrement pas	311	32
Sous-Total oui	194	20
Sous-Total non	766	78
Ne sait pas	19	2
Total	979	100

Q.8. - Une autre solution pour accéder aux programmes de TDF1 consiste à louer un décodeur-décodeur et une antenne. Cette solution vous-parait-elle personnellement ...

	Nb	%
Très intéressant	40	4
Assez intéressant	364	37
Peu intéressant	395	40
Pas du tout intéressant	168	17
Sous-Total Intéressant	405	41
Sous-Total Pas Intéressant	563	58
Ne sait pas	11	1
Total	979	100

Q.9. - Etes-vous abonné à Canal + ?

	Nb	%
Oui	151	15
Non	828	85
Total	979	100

Q.10. - Canal+ propose la location du décodeur-décodeur et de l'antenne pour un supplément mensuel de 25 F (en plus de l'abonnement de 150 F par mois) avec un droit d'accès initial de 400 F. Cette proposition vous semble-t-elle personnellement:

	Nb	%
Très intéressante	121	12
Assez intéressante	354	36
Peu intéressante	266	27
Pas du tout intéressante	224	23
Sous-Total Intéressante	476	49
Sous-Total Pas Intéressante	490	50
Ne sait pas	13	1
Total	979	100

RENSEIGNEMENTS SIGNALÉTIQUES

Sexe de l'interviewé	Homme	Femme	Total
Nb	764	215	979
%	78	22	100

Age de l'interviewé	18 à 34 ans	35 à 49 ans	50 à 64 ans	65 ans et +	Total
Nb	245	255	245	235	979
%	25	26	25	24	100

Profession chef de ménage	Agriculteur	Artisan	Cadre supérieur	Prof. interm.	Employé	Ouvrier	Inactif	Total
Nb	39	59	78	127	117	245	313	979
%	4	6	8	13	12	25	32	100

Nb de pers. au foyer	1	2	3	4	5 et plus	Total
Nb	147	274	196	215	147	979
%	15	28	20	22	15	100

Catégorie d'agglomération	rural	2000 à 20 000 hab.	20 000 à 100 000 hab.	plus de 100 000 hab.	agglo. Paris	Total
Nb	264	157	127	274	157	979
%	27	16	13	28	16	100

Région - UDA 8	Région Paris	Nord	Est	Bassin parisien	Ouest	Sud-Ouest	Sud-Est	Méditerran	Total
Nb	186	69	88	167	127	108	117	118	979
%	19	7	9	17	13	11	12	12	100