



HAL
open science

Mise au point d'un systeme d'acquisition et de numerisation in situ d'images hemispheriques sous un couvert vegetal

J.F. Hanocq

► **To cite this version:**

J.F. Hanocq. Mise au point d'un systeme d'acquisition et de numerisation in situ d'images hemispheriques sous un couvert vegetal. Sciences du Vivant [q-bio]. 1991. hal-02844207

HAL Id: hal-02844207

<https://hal.inrae.fr/hal-02844207>

Submitted on 7 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITE DE DROIT, D'ECONOMIE ET DES
SCIENCES D'AIX-MARSEILLE

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE
SAINT-JEROME

MEMOIRE

présenté par

Jean-François HANOCQ

en vue de l'obtention du **DIPLOME D'ETUDES DOCTORALES**

MISE AU POINT D'UN SYSTEME D'ACQUISITION ET
DE NUMERISATION *IN SITU* D'IMAGES
HEMISPHERIQUES SOUS UN COUVERT VEGETAL

Soutenu le 8 février 1991 devant le jury:

M. COULON R.	Président
M. DUCREY M.	}
M. GUYOT G.	} Examineurs
M. LOISEL R.	}

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE
I. N. R. A.
Station de Bioclimatologie
B.P. 91 - Domaine Saint-Paul
84143 MONTFAVET CEDEX
FRANCE

UNIVERSITE DE DROIT, D'ECONOMIE ET DES
SCIENCES D'AIX-MARSEILLE

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE
SAINT-JEROME

MEMOIRE

présenté par

Jean-François HANOCQ

en vue de l'obtention du **DIPLOME D'ETUDES DOCTORALES**

MISE AU POINT D'UN SYSTEME D'ACQUISITION ET
DE NUMERISATION *IN SITU* D'IMAGES
HEMISPHERIQUES SOUS UN COUVERT VEGETAL

Soutenu le 8 février 1991 devant le jury:

M. COULON R. Président
M. DUCREY M. }
M. GUYOT G. } Examineurs
M. LOISEL R. }

PBTH5
MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE
I. N. R. A.
Station de Bioclimatologie
B.P. 91 - Domaine Saint-Paul
64143 MONTFAVET CEDEX
FRANCE

18/4/91

REMERCIEMENTS

Je remercie tout d'abord Monsieur le Doyen R. COULON, président du jury, de m'avoir toujours reçu et conseillé au cours de ce travail avec beaucoup de gentillesse et de patience.

Je remercie messieurs M. DUCREY, G. GUYOT, R. LOISEL, d'avoir bien voulu être membres du jury.

Je tiens également à exprimer mes très sincères remerciements à Frédéric BARET pour son aide efficace et constante et pour ses encouragements amicaux qui m'ont permis de mieux surmonter les difficultés.

Je remercie aussi

R. DELECOLLE pour son aide lors de la rédaction.

G. GUYOT pour ses conseils dans le domaine de l'instrumentation.

M. VERBRUGGHE qui a toujours répondu avec beaucoup de disponibilité aux multiples questions que je lui ai posées.

MO. et F. ARIES ainsi que JP. GUINOT pour leur précieuse collaboration dans le domaine de l'informatique.

J. CASTEAU pour la présentation et la mise en page de ce mémoire.

Je remercie enfin le service de bioclimatologie (INRA. Avignon) de m'avoir donné les moyens matériels et tous ceux qui, à des degrés divers, m'ont permis de mener à bien ce travail.

I. INTERET DE LA CARACTERISATION DE LA STRUCTURE D'UN COUVERT VEGETAL

1 - Qu'est-ce que la structure d'un couvert végétal?

- 1.1. Surface des éléments végétaux.**
- 1.2. Orientation et inclinaison des feuilles.**
- 1.3. La répartition spatiale des éléments.**

2 - Intérêt de la connaissance de la structure d'un couvert végétal.

- 2.1. Dans le domaine du PAR : estimation de la production de matière sèche.**
- 2.2. Dans le domaine optique : estimation des paramètres micrométéorologiques.**
- 2.3. Pour des bandes spectrales déterminées : utilisation de la télédétection.**
 - 2.3.1. Influence des facteurs externes au couvert végétal.
 - 2.3.2. Influence des facteurs propres au couvert végétal.

3 - Méthodes de mesure de la structure du couvert.

- 3.1. Méthodes directes.**
 - a) Mesure de la surface foliaire
 - b) Mesure de l'inclinaison des feuilles
 - c) Mesure de l'orientation des feuilles
- 3.2. Méthodes indirectes.**

4 - Utilisation de la photographie hémisphérique.

- 4.1. Principe de mesure**
- 4.2. Estimation des paramètres de structure (LAI, inclinaison des feuilles) à partir des photographies hémisphériques.**
 - 4.2.1. Estimation de la surface foliaire.
 - 4.2.2. Estimation de l'inclinaison foliaire.
- 4.3. Méthodes d'analyse des clichés photographiques.**
 - 4.3.1. Analyse visuelle par échantillonnage.
 - 4.3.2. Analyse par planimétrage manuel.

4.3.3. Analyse semi-automatique par projection du positif.

4.3.4. Numérisation des négatifs.

4.4. Inconvénients liés à l'utilisation du support photographique.

II. DESCRIPTION ET FONCTIONNEMENT DU SYTEME D'ACQUISITION ET DE NUMERISATION D'IMAGES HEMISPHERIQUES

1. Description des différents éléments du système : LA CAMERA

1.1. Le système optique.

1.1.1. Le fish eye.

1.1.2. Le plan image.

1.1.3 Le miroir de renvoi.

1.1.4. L'objectif interne.

1.2. La matrice CCD.

1.2.1. Technologie générale des caméras équipées avec ce type de capteur.

1.2.2. Technologie et fonctionnement d'un dispositif à transfert de charge.

1.2.3. Application de la technologie CCD aux dispositifs photosensibles matriciels.

1.2.4. Principaux avantages des matrices CCD.

1.2.5. Principales caractéristiques de la matrice équipant la caméra.

1.3. Electronique de balayage.

1.4. Numérisation des données

2. Module d'acquisition et d'enregistrement des données.

2.1. Description et fonctionnement du module d'acquisition

2.1.1. La carte université : TM990/189 TEXAS.

2.1.2. La mémoire.

2.1.3. Extension hors carte de la mémoire.

2.1.4. Les entrées/sorties.

2.1.5. Circuit d'accès direct à la mémoire.

2.1.6. Logique de l'interface caméra/DMA.

3. **L'enregistreur.**
4. **Description du logiciel d'application.**
 - 4.1. **Fonctions du programme.**
 - 4.1.1. Identification de l'enregistrement.
 - 4.1.2. Acquisition de l'image.
 - 4.1.3. Test de l'image.
 - 4.1.4. Transfert des données sur l'enregistreur.

III - TEST DU SYSTEME

1. **Effet de l'angle de visée.**

Variation théorique.
Détermination expérimentale de l'angle de visée.
2. **Comparaison entre les images caméra et les photos,**
(ces dernières étant prises comme référence.)

Première analyse.
Protocole expérimental.
Résultats.
Calibration des mesures "caméra".

CONCLUSION.

CONCLUSION GENERALE

INTRODUCTION

L'étude du fonctionnement des couverts végétaux constitue un thème de recherche majeur. Elle intéresse de nombreuses disciplines telles que l'agronomie, la bioclimatologie, la physiologie... Une partie importante de ce thème concerne l'analyse du microclimat à l'intérieur des couverts végétaux. La connaissance des flux d'énergie et de masse permet en effet de résoudre un certain nombre de problèmes concrets tels que l'estimation de la photosynthèse (flux de CO₂), la transpiration (flux de vapeur d'eau). Ces quantités sont déterminées en grande partie par la structure du couvert. De très nombreux travaux essaient de formaliser les relations fonctionnelles existant entre la structure du couvert et les paramètres qui déterminent les flux. Ces modèles basés sur une description physique des processus mis en oeuvre nécessitent une comparaison rigoureuse de leurs différentes variables de sortie ou d'entrée avec la réalité expérimentale.

Pour déterminer les différents paramètres de structure (surface, orientation, inclinaison des organes végétaux ainsi que leur répartition spatiale), plusieurs méthodes sont utilisées :

- Les méthodes directes où chaque élément constituant la plante est mesuré séparément; ces méthodes nécessitent une destruction partielle de la culture et représentent un travail long et fastidieux.
- Les méthodes indirectes où les paramètres à acquérir sont déduits de la mesure de la fréquence de "trous" dans différentes directions : Elles correspondent par exemple aux tâches de lumière pénétrant dans le couvert végétal sans être interceptées par les organes végétaux.

Ces méthodes ne sont pas destructives et sont d'une mise en oeuvre plus facile; elles nous intéressent particulièrement parce que leur principe de mesure a pu permettre une évolution technologique dont notre projet fait partie. En effet, de nombreuses études sont basées sur l'utilisation d'un objectif hémisphérique permettant d'appréhender instantanément les probabilités de trous dans toutes les directions. La précision de ces paramètres étant liée au nombre de mesures effectuées sous le couvert c'est-à-dire au nombre de photographies, le problème posé par l'analyse au laboratoire d'un grand nombre de clichés a été le principal facteur limitant l'utilisation des photographies hémisphériques.

Il existe différentes méthodes d'analyse des clichés photographiques; certaines font appel à des appareillages plus ou moins automatisés qui n'apportent pas de solution satisfaisante à une analyse à la fois précise et rapide.

Compte tenu de l'intérêt d'estimer les paramètres de structure à partir d'images hémisphériques, le but de notre étude est de concevoir un système équipé du même objectif

(fish eye) que l'appareil photographique mais n'utilisant plus le film comme intermédiaire entre l'acquisition de l'image et son traitement.

Nous proposons le système d'acquisition et de numérisation in situ d'images hémisphériques. La présentation de nos travaux comportera trois parties :

Nous consacrerons le premier chapitre à définir les éléments qui composent la structure d'un couvert végétal et nous nous appuierons sur quelques applications pour montrer l'intérêt de caractériser la géométrie d'une culture. Nous décrirons ensuite les méthodes utilisées pour déterminer les paramètres de structure et ferons une analyse critique de l'utilisation des photographies hémisphériques.

Dans le deuxième chapitre, nous donnerons une description très détaillée de notre système et expliquerons le principe de son fonctionnement.

Nous présenterons, dans le troisième chapitre, deux types de test. L'un sera effectué en laboratoire et aura pour but d'évaluer les principales caractéristiques de notre matériel. L'autre sera effectué dans la culture et permettra de comparer et de discuter nos résultats de mesure avec ceux obtenus à partir de photographies hémisphériques.

I - INTERET DE LA CARACTERISATION DE LA STRUCTURE D'UN COUVERT VEGETAL

I - 1. QU'EST-CE QUE LA STRUCTURE D'UN COUVERT VEGETAL ?

La complexité de l'architecture des couverts végétaux, peut être décrite par les trois types de grandeurs suivantes:

- La surface des organes végétaux
- L'orientation et l'inclinaison de ces organes
- Leur répartition spatiale

Nous allons définir ces différents paramètres .

I - 1.1. Surface des éléments végétaux du couvert

C'est un paramètre essentiel qui détermine l'importance d'un couvert. On s'intéresse principalement aux surfaces foliaires qui représentent la fraction la plus importante des surfaces des différents organes végétaux (tiges, tronc, fruits). On rapporte en général cette surface à la surface de sol sous-jacent, pour obtenir un nombre sans dimension appelé indice foliaire ou LAI (leaf area index) qui permet de comparer entre eux différents couverts.

Suivant que la mesure de surface foliaire est considérée depuis une cote h et le sommet du couvert H ou depuis le sol ($h = 0$) jusqu'à H , on parle d'indice foliaire partiel ou total. (figure I.1.).

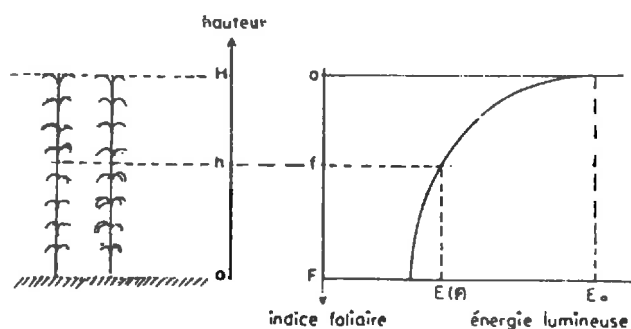


Figure I.1 : Profil lumineux dans un couvert homogène.

Suivant les applications, on pourra aussi distinguer les surfaces foliaires vertes des surfaces foliaires non chlorophylliennes. Pour les couverts correspondant à nos zones tempérées, l'indice foliaire peut varier de 0 (sol nu) à plus de 10 (dans le cas de forêt).

I - 1.2. L'orientation et l'inclinaison des feuilles

L'orientation correspond à la mesure de l'angle azimutal des feuilles. L'inclinaison (ou angle zénithal) est donnée par l'angle de la feuille avec la verticale.

Dans le cas où les feuilles ont une courbure marquée, on divise la feuille en facettes dont on mesure les inclinaisons et azimuts respectifs.

Dans la plupart des applications, on considère qu'il n'y pas d'azimut privilégié. Bonhomme (1970), a montré que dans le cas extrême d'une distribution qui n'est pas uniforme, l'erreur due à l'hypothèse d'uniformité restait faible.

L'inclinaison varie selon l'espèce du végétal mais elle varie également en fonction du stade de développement, d'un stress ou d'une attaque parasitaire. On caractérise le plus souvent l'inclinaison des feuilles non pas par un angle moyen mais par une fonction de distribution des angles.

De Wit, (1959) a proposé le classement suivant :

- *Planophile* : majorité de feuilles horizontales.
- *Erectophile* : majorité de feuilles dressées.
- *Plagiophile* : majorité de feuilles inclinées.
- *Extrémophile* : majorité de feuilles ayant deux inclinaisons possibles (horizontale ou verticale).
- *Uniforme* : même probabilité d'obtenir toutes les inclinaisons.
- *Sphérique* : la fonction de distribution est la même que celle des éléments de surface d'une sphère.

I - 1.3. La répartition spatiale des éléments

Dans le cas de couverts hétérogènes, les éléments du couvert, en particulier les feuilles, ne sont pas répartis de façon homogène. Il est donc important de caractériser ces

particularismes. En effet, pour le cas des couverts en rangs ou en poquets, la répartition horizontale des éléments ne peut pas être considérée comme homogène.

De même, dans le cas de la plupart des couverts, la répartition verticale ne peut pas non plus être considérée comme homogène.

Au regard de cette brève description des paramètres caractéristiques de la structure d'un couvert, apparaît la complexité de leur mesure. Avant de décrire les méthodes de mesures mises en oeuvre pour caractériser cette structure, nous aborderons rapidement comment cette information sur la structure peut être utilisée.

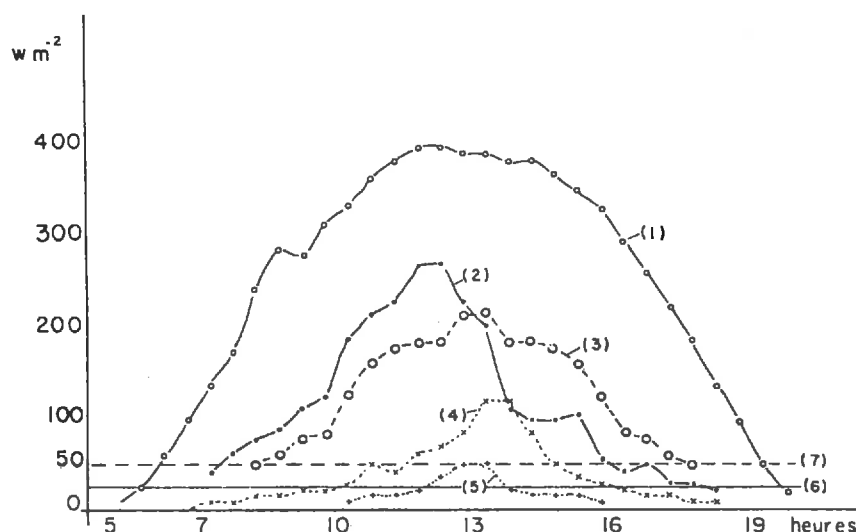
On parlera alors de couvert de type plutôt agrégatif dans le cas des couverts en rangs, pour lesquels on a une superposition privilégiée des feuilles. Au contraire, pour certains couverts et à certains stades (exemple du soja adulte), on parlera de couvert à caractère régulier : les feuilles se répartissent de telle manière qu'elles se superposent peu et "bouchent" rapidement les trous.

I - 2. INTERET DE LA CONNAISSANCE DE LA STRUCTURE D'UN COUVERT

La pénétration des rayonnements électromagnétiques à l'intérieur d'un couvert dépend de sa structure. Selon les longueurs d'ondes et les caractéristiques directionnelles des rayonnements incidents ou réfléchis, on aboutit à des applications très variées.

I - 2. 1. Dans le domaine photosynthétiquement actif : Estimation de la production de matière sèche

La feuille verte convertit l'énergie photosynthétiquement active (400-700nm) qu'elle absorbe, en matière végétale qui va contribuer à la croissance du couvert. La position de la feuille et son orientation détermineront la quantité de rayonnement qu'elle pourra intercepter et donc transformer en biomasse. Au niveau du couvert, la croissance résultante de la contribution de chacune des feuilles dépendra donc de sa structure qui détermine la quantité totale de rayonnement absorbé dans le domaine du PAR (rayonnement photosynthétiquement actif). A titre d'exemple, la Figure I.2. montre l'extinction du rayonnement PAR dans une culture de blé. On peut observer que l'énergie lumineuse à 10 cm du sol est huit fois moins importante que l'énergie incidente (Baldy, 1973) et ne permet pas l'activité de la photosynthèse à ce niveau.



Extinction du rayonnement visible dans le Blé Rex :

- (1) Rayonnement solaire visible ;
- (2) Énergie visible à 60 cm au-dessus du sol (LAI 2) ;
- (3) Même courbe, compensée des erreurs dues à la position relative des piles dans le peuplement par rapport au soleil ;
- (4) à 30 cm (LAI 4) ; (5) à 10 cm du sol ;
- (6) Valeur du point de compensation lumineux, en énergie visible de même composition que la lumière solaire ;
- (7) Valeur probable du point de compensation en lumière pauvre en bleu et rouge clair.

Figure I.2. : Extinction du rayonnement visible dans le blé.

La diminution de l'éclairement au fur et à mesure que l'on s'enfonce dans la végétation est due à l'accumulation des obstacles rencontrés, essentiellement composés par les feuilles. On peut en déduire que le microclimat lumineux d'un couvert va dépendre de son architecture.

De nombreux travaux ont formalisé ces processus de conversion de l'énergie lumineuse en matière sèche en utilisant la notion de "rendement énergétique" d'une culture pour en analyser la croissance : (Monteith, 1977; Gosse et al, 1986; Green, 1987; Baret et Guyot, 1988).

Au niveau du couvert et pour une échelle de temps suffisante (de l'ordre du mois au minimum), on peut écrire :

$$MS = \epsilon_i \cdot PAR_a$$

avec : MS = production de matière sèche ;
 PAR_a = quantité d'énergie PAR absorbée par le couvert ;
 ϵ_i = efficacité de la conversion par le couvert du rayonnement absorbé en MS.

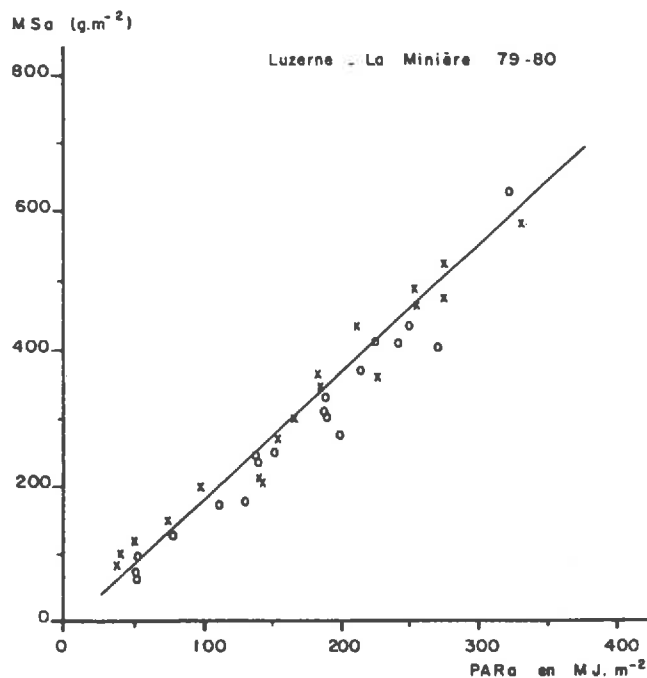


Figure I.3. : Relation entre la quantité d'énergie visible (PAR : 400 - 700 nm) absorbée et la production de biomasse d'une culture de luzerne.

x : Pousses de printemps

o : Pousses d'été.

La Figure I.3 illustre clairement ce formalisme (Gosse et al, 1986). Il y a proportionnalité entre matière sèche aérienne d'une culture de luzerne et la somme de rayonnement visible absorbé (La Minière, 1980). La description de la culture est donc utilisée pour estimer la croissance potentielle des végétaux par le biais du calcul de la quantité de rayonnement visible absorbée. Les agronomes comme les forestiers cherchent donc à caractériser la structure du couvert végétal afin d'appliquer ce type de relation.

I - 2.2. Dans le domaine optique :

Estimation des paramètres microclimatiques

L'utilisation du bilan d'énergie pour estimer en particulier la consommation en eau des cultures, nécessite la connaissance d'un certain nombre de paramètres qui dépendent de la structure du couvert. Il s'agit du bilan d'énergie qui permet de décrire les échanges d'énergie qui s'établissent entre le végétal et le milieu ambiant.

Il peut s'écrire :

$$R_n + S + H + LE = 0$$

R_n : rayonnement net.

S : flux de chaleur dans le sol.

H : flux de chaleur sensible dans l'air (dû à la convection et à la conduction)

LE : flux de chaleur latente (flux de vapeur d'eau dû à l'évaporation).

Une partie de ces échanges d'énergie se fait sous forme radiative. Le bilan des échanges radiatifs d'un couvert végétal peut s'exprimer par le rayonnement net R_n dont la relation est :

$$R_n = (1 - a) R_g + R_a - \epsilon \sigma T_s^4$$

a : albédo (rapport entre l'énergie solaire réfléchie et l'énergie incidente).

R_g : rayonnement global.

R_a : rayonnement atmosphérique.

ϵ : émissivité

σ : constante de Stefan Boltzman.

T_s : température de surface.

Dans la bande spectrale correspondant aux courtes longueurs d'onde (0,4 à 4 μm), le rayonnement global R_g correspond à la somme du rayonnement direct du soleil et du rayonnement diffus qui est réfléchi au niveau du sol avec un coefficient a appelé *albédo*.

Dans les grandes longueurs d'onde (4 à 100 μm), le sol reçoit le rayonnement d'origine atmosphérique R_a qui est pratiquement complètement absorbé. Par contre, il émet un flux d'énergie ($\epsilon \sigma T_s^4$) qui dépend de l'émissivité (ϵ) et de la température de surface (T_s). (Dans les relations, les apports d'énergie sont comptés positivement et les pertes sont comptées négativement).

Chacun des termes du bilan d'énergie est très dépendant de l'état du couvert : Dans l'équation de R_n , l'albédo a est étroitement lié au type de culture et à son stade de développement; il dépend en particulier de la surface foliaire et de la structure du couvert (Jarvis, 1976). La structure va également intervenir sur les autres termes du bilan d'énergie.

Le flux de chaleur sensible H est déterminé principalement par les échanges de nature convective c'est à dire au flux énergétique nécessaire au réchauffement de l'air.

Il est défini par la relation :

$$H = \rho C_p \frac{(T_s - T_a)}{r_a}$$

- ρ : masse spécifique de l'air,
- C_p : capacité calorifique de l'air à pression constante,
- T_s : température de surface,
- T_a : température de l'air,
- r_a : résistance aérodynamique.

Le flux de chaleur latente LE correspond aux transferts de chaleur liés à l'évaporation ou à la condensation. Il est défini par la relation :

$$LE = \rho C_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a + r_s}$$

- e_s : tension de vapeur saturante pour une température de surface donnée.
- e_a : tension de vapeur à la température de l'air.
- r_s : résistance stomatique.

Ces dernières relations nous permettent de remarquer que les flux de chaleur sensible et de chaleur latente sont inversement proportionnels à la résistance aérodynamique et stomatique. La résistance aérodynamique dépend de la vitesse du vent et de la rugosité de la surface à laquelle est liée la densité du couvert et sa hauteur.

En ce qui concerne les transferts de masse, la surface foliaire et la structure du couvert ont également leur influence étant donné que la résistance stomatique est pour une part dépendante de la quantité d'énergie incidente au niveau de la feuille.

Nous constatons donc que, là encore, il est possible de relier les différents termes du bilan d'énergie aux caractéristiques de structure du couvert végétal et il est donc important de pouvoir mesurer les différents paramètres.

I - 2.3. Pour les bandes spectrales déterminées : Utilisation de la télédétection

Elle est utilisée pour déterminer les caractéristiques physiques et biologiques d'objets, par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci.

Elle constitue une méthode non perturbatrice puisqu'elle est basée sur l'analyse du rayonnement émis ou réfléchi par les cibles étudiées; de ce fait, plusieurs facteurs vont influencer l'acquisition des mesures de réflectance. On peut distinguer :

I - 2.3.1. L'influence des facteurs externes au couvert végétal :

- La hauteur du soleil dont dépend la proportion des zones ombrées.
- L'angle zénithal de visée des capteurs, la proportion de sol vu diminuant au fur et à mesure que l'on s'écarte de la verticale.
- La nébulosité qui a pour effet d'accroître le rayonnement diffus.

I - 2.3.2. L'influence des facteurs propres au couvert :

La réponse spectrale d'un couvert dépend très fortement des propriétés optiques de ses éléments, de leur surface et de la manière dont ils sont agencés les uns par rapport aux autres, donc de sa structure. Les propriétés optiques caractériseront le comportement de diffusion, absorption ou émission au niveau de la feuille; elles dépendent des caractéristiques de la feuille (teneur en eau, teneur en pigment, anatomie...) et de la longueur d'onde. (Guyot, 1984, 1989).

Que ce soit dans le domaine optique du visible, proche infra rouge ou moyen infra rouge, dans le domaine infra rouge thermique ou dans le domaine des microondes, la structure du couvert déterminera la réponse spectrale dans chacun d'eux. A titre d'exemple, la Figure I.4 représente l'effet de l'angle d'inclinaison des feuilles et de la surface foliaire sur la réflectance d'un couvert (Verhoef et Bunnik, 1981)

Elle montre que l'effet de l'inclinaison des feuilles est plus important dans le proche infrarouge que dans le visible. Nous pouvons également remarquer l'effet de saturation dans le visible qui apparaît pour un indice foliaire supérieur à trois.

Pour les différentes applications envisagées, la structure du couvert est l'élément commun dont vont dépendre les grandeurs que nous recherchons (absorption du rayonnement photosynthétiquement actif (PAR), albédo, réflectance...).

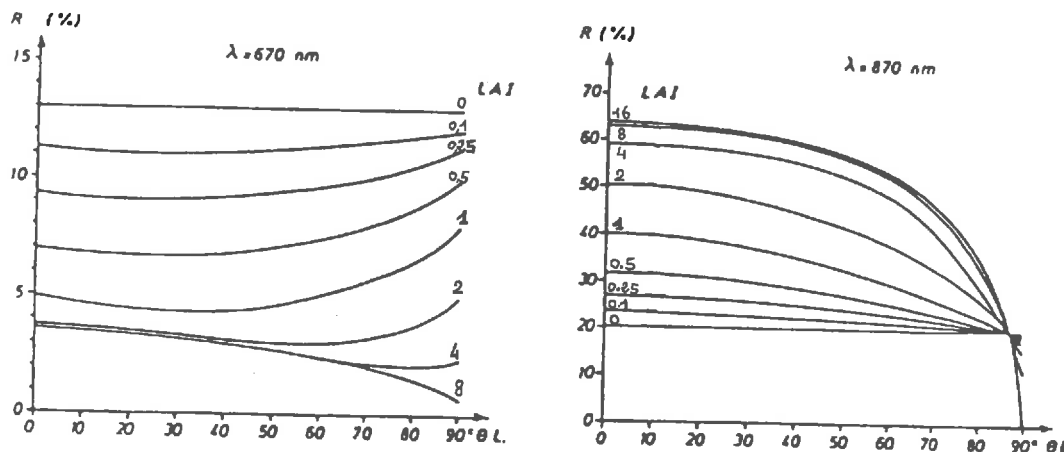


Figure I.4. Influence de l'angle d'inclinaison des feuilles θ_L et de l'indice foliaire (L.A.I.) sur le facteur de réflectance d'un couvert végétal dans le rouge (670 nm) et dans le proche infrarouge (870 nm). $\theta_L = 0^\circ$: feuilles horizontales, $\theta_L = 90^\circ$: feuilles verticales (d'après Verhoef et Bunnik, 1981).

Depuis une vingtaine d'années, la description des relations entre la structure du couvert et la pénétration, absorption, émission, réflexion du rayonnement électromagnétique s'est beaucoup développée avec l'utilisation grandissante de la modélisation. Elle s'appuie sur une description physique aussi exacte que possible des phénomènes mis en jeu. Elle aboutit à une formalisation mathématique des relations entre la structure et la grandeur étudiée. La modélisation nécessitant de grosses capacités de calcul, son développement a été parallèle à celui de l'informatique.

Dans le domaine du transfert radiatif dans le couvert végétal, la structure est décrite de différente manière et engendre ainsi des familles de modèles différents suivant les hypothèses simplificatrices et les approximations réalisées :

- *Les modèles géométriques* où les couverts sont décrits en termes d'éléments de géométrie simple (disques, cylindres, parallélépipèdes...). Les transferts radiatifs sont calculés soit à partir de facteurs de forme, soit à partir de techniques de type "lancer de rayon"; par

exemple De Refye et al (1986) construisirent une maquette informatique en trois dimensions représentant très fidèlement la structure du couvert. Ce type de maquette a été utilisé dernièrement pour recomposer une petite parcelle de maïs (Aries, 1987) où chaque pied de maïs est une image de synthèse.

- *Les modèles dits de "transfert radiatif"* où le couvert est décrit comme étant une succession de strates "diffusantes" homogènes, le plus souvent indépendantes. (Suits, 1972; Prevot, 1985).

Cependant, un modèle n'a de sens que s'il peut engendrer des grandeurs vérifiables; le rôle des observations et la mesure des paramètres sont donc indispensables comme éléments de comparaison et de calage.

Nous allons donc aborder maintenant les méthodes de détermination de la structure des couverts.

I - 3. METHODES DE MESURE DE LA STRUCTURE DU COUVERT

Les méthodes peuvent être classées en méthodes directes et en méthodes indirectes dans lesquelles les paramètres sont déduits de la mesure d'autres grandeurs. Les deux types de méthodes sont souvent utilisés conjointement à cause de leur complémentarité.

I - 3. 1. Méthodes directes

Elles sont utilisées pour estimer les paramètres suivants :

a) Mesure de l'indice foliaire (LAI).

De nombreuses techniques de mesure ont été développées. La méthode la plus précise qui sert en général de référence est celle qui consiste à utiliser un planimètre optique pour mesurer la surface des feuilles prélevées dans la culture.

Cette mesure de LAI peut être soit globale, soit locale; elle sera alors définie par une densité volumique de surface foliaire exprimée en m^2/m^3 . La cartographie de la densité volumique de surface foliaire permet de rendre compte de l'hétérogénéité de la culture.

b) Mesure de l'inclinaison des feuilles

La mesure se fait à l'aide d'un rapporteur associé à un fil à plomb. La mesure de l'angle d'insertion sur la tige est peu significative lorsque les feuilles ont une courbure marquée; il est alors préférable d'utiliser la méthode des silhouettes.

Utilisée par Bonhomme et Varlet Grancher (1978), elle consiste à photographier devant une mire quadrillée des plantes entières et intactes venant d'être arrachées. On détermine ensuite les coordonnées de segments de feuilles supposés plans. La méthode permet d'obtenir la fonction de distribution des inclinaisons de feuilles.

Cette méthode pouvant également fournir les dimensions des feuilles, elle peut permettre, en connaissant les corrélations entre dimensions et surface, d'obtenir l'indice foliaire.

c) Mesure de l'orientation des feuilles

Un compas est utilisé dans ce cas. Il faut remarquer que cette mesure comme celle de l'inclinaison des feuilles sont très lourdes et peu précises.

I - 3.2. Méthodes indirectes : Mesure de la fréquence de trous.

Contrairement à la méthode précédente où l'on mesure chaque élément constituant la plante, les méthodes indirectes appréhendent la végétation dans son ensemble. Les mesures sont donc faites in situ et sont peu ou pas destructives.

I - 3.2.1. La méthode des *points quadrats*

Introduite par Warren Wilson (1960), elle consiste à enfoncer une aiguille dans le couvert selon une direction donnée et à relever le nombre de contacts aiguille feuilles. L'aiguille simule en fait la pénétration d'un rayon lumineux dans la végétation (*point quadrat*, figure I.5).

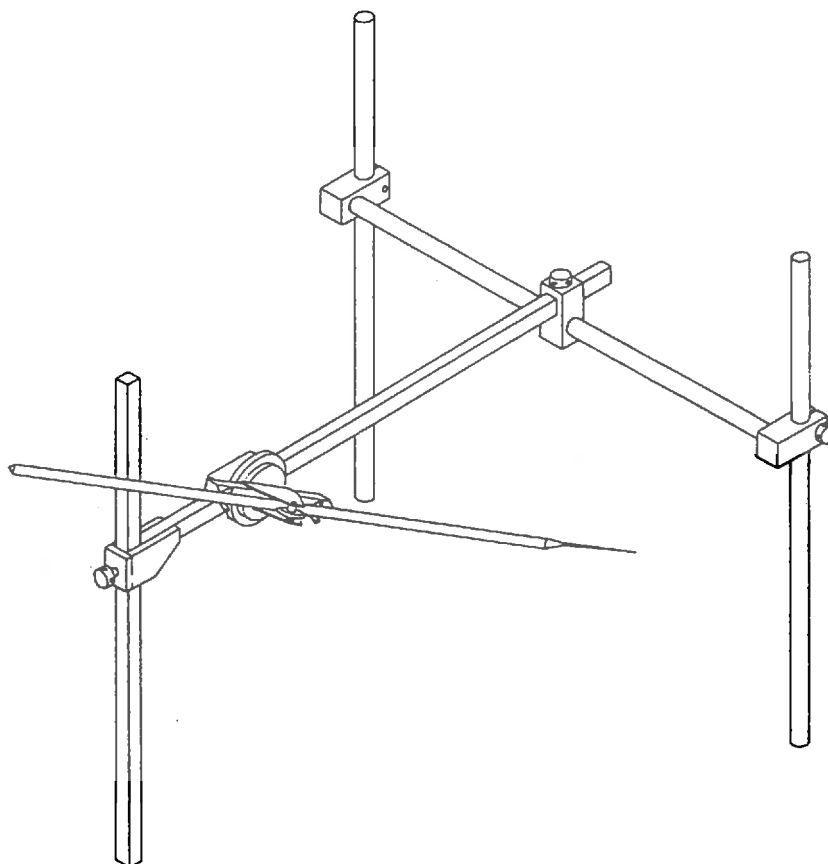


Figure I.5. : *Point quadrat* incliné pour des cultures de petite taille,
(Warren Wilson, 1963).

L'angle d'incidence de l'aiguille dans la végétation est fonction du type de mesure désiré. L'auteur a montré qu'un angle d'incidence de $32,5^\circ$ permettait d'estimer l'indice foliaire indépendamment de l'inclinaison des feuilles et que les mesures faites sous différents angles permettaient de déterminer l'inclinaison moyenne des feuilles.

Cette méthode nécessite beaucoup de temps pour acquérir les données. Il faut en effet un grand nombre de quadrats pour obtenir un échantillonnage représentatif du couvert végétal, les mesures devant être répétées pour des angles d'inclinaison différents.

Afin d'améliorer sa précision qui est liée en partie à l'interprétation de l'opérateur, diverses tentatives ont eu pour but de rendre plus facile et plus objective la détection des contacts entre l'aiguille et la végétation. Nous citons par exemple :

- L'utilisation de gouache rouge à l'extrémité de l'aiguille pour matérialiser les points de contact.

- La détection électrique des contacts au moyen d'une aiguille métallique mise sous tension.
 - L'emploi du laser dont le faisceau remplace l'aiguille (Vanderbilt, 1979).
- La mise au point d'un système automatisé de point quadrat. (Dauzat et al, 1981) a permis de faciliter la mise en oeuvre et surtout d'améliorer les caractéristiques du matériel (temps, précision).

L'appareillage est équipé de deux détecteurs optoélectroniques (figure I.6).

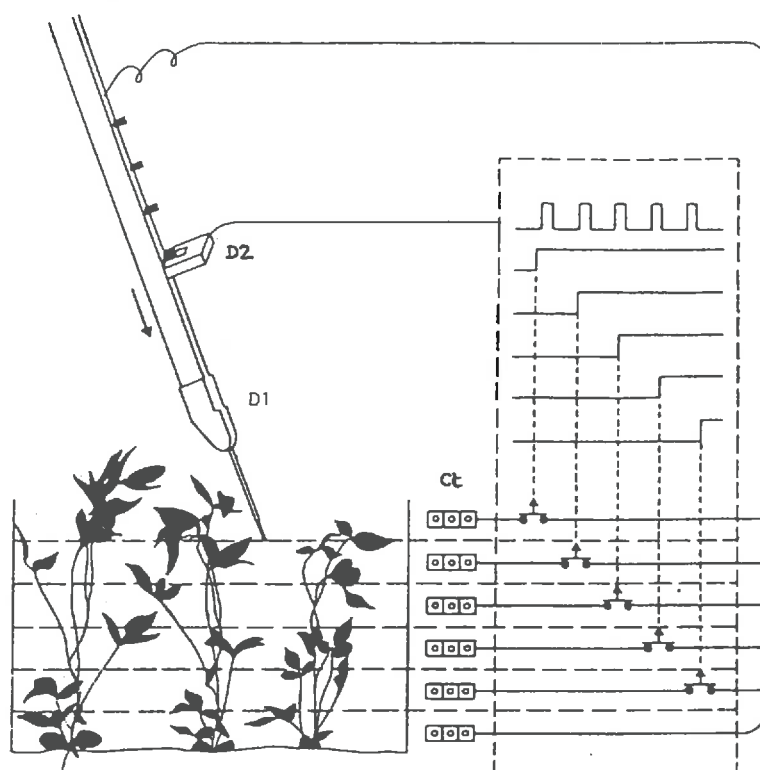


Figure I.6. : Représentation schématique du système de comptage stratifié des contacts.

D1 - détecteur à fibres optiques

D2 - détecteur en fourche

D3 - compteurs électromécaniques

- L'un est prolongé par un faisceau de fibres optiques fixé à l'extrémité de l'aiguille. Il a pour fonction d'émettre une impulsion lors d'un contact de l'aiguille avec une partie végétale lors de sa pénétration dans le couvert.
- La fonction du deuxième détecteur est d'orienter les impulsions sur le compteur correspondant à la strate explorée.

Bien qu'il soit beaucoup plus performant, les inconvénients de cet appareillage sont principalement liés au modèle d'origine dont il est dérivé : il est encombrant et surtout mal adapté aux cultures de grande taille. Pour remédier à ce problème, la méthode basée sur l'utilisation de photographies hémisphériques a été développée.

I - 4. UTILISATION DE LA PHOTOGRAPHIE HEMISPHERIQUE

I - 4.1. Principe de mesure

Depuis la description par Hill (1924) d'un objectif photographique ayant un angle de visée de 180° , de nombreux auteurs ont utilisé des dispositifs de photographie hémisphérique pour estimer l'insolation ou l'énergie solaire reçue dans des constructions, sous des forêts ou quelquefois sous des cultures. Bonhomme et Chartier (1972) ont développé une méthode qui consiste à prendre des clichés à différentes hauteurs dans la végétation en visant le ciel à l'aide d'un objectif "fish eye" ayant un angle de visée de 180° . Cet objectif a également été choisi pour son type de projection (projection équidistante) qui donne une correspondance linéaire entre la hauteur de visée θ d'un point de la voûte et sa distance par rapport au centre du cliché (figure I.7.), d'après Bonhomme.

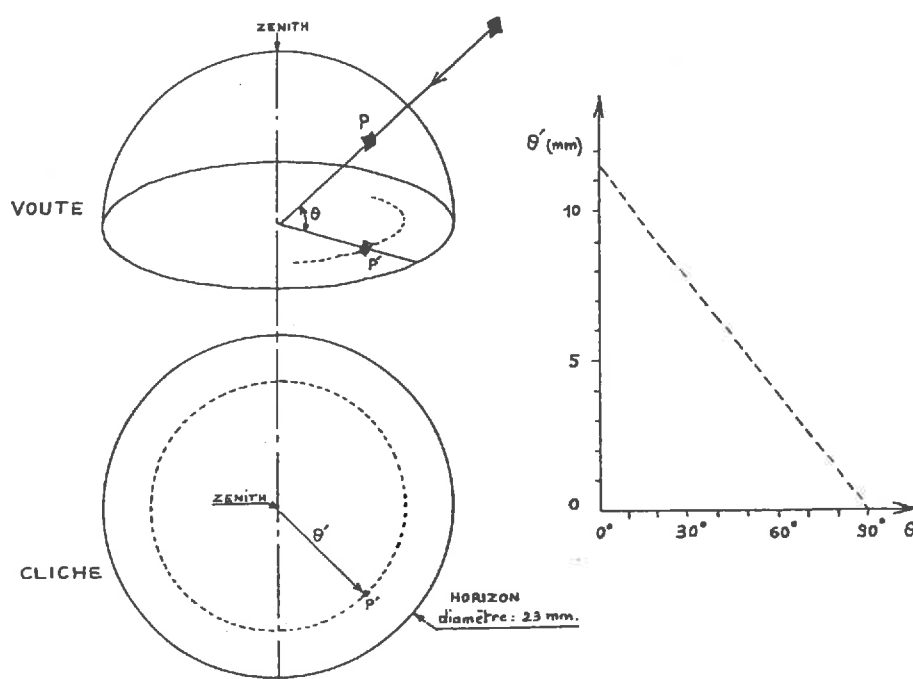


Figure I.7. L'appareil photographique est placé horizontalement au centre O en visée verticale vers le ciel (d'après Bonhomme, 1974).

La relation linéaire entre θ et θ' permet de connaître la hauteur θ du point P.

θ est l'angle zénithal en degrés.

En fait, le principe de mesure est identique à celui des points quadrats puisque le rayon lumineux traversant le couvert sans interruption par un organe végétal peut être assimilé à la pénétration de l'aiguille des points quadrats.

Comme celle de Warren Wilson, cette méthode permet d'estimer pour un angle de visée donné dans la végétation, la probabilité d'interception du rayonnement; c'est donc la probabilité qu'aurait un observateur situé au centre de la photo de voir le ciel (Figure I.8).

L'avantage de la photo hémisphérique est de permettre avec une seule prise de vue, de déterminer la probabilité d'interception du rayonnement dans toutes les directions visées. Cependant, lorsqu'un rayon lumineux est intercepté, il n'est pas possible de savoir à quel niveau du couvert se situe l'obstacle (organe végétal) et quel est le nombre d'interceptions rencontrées dans l'épaisseur du couvert. Cette mesure était possible avec le système des points quadrats.

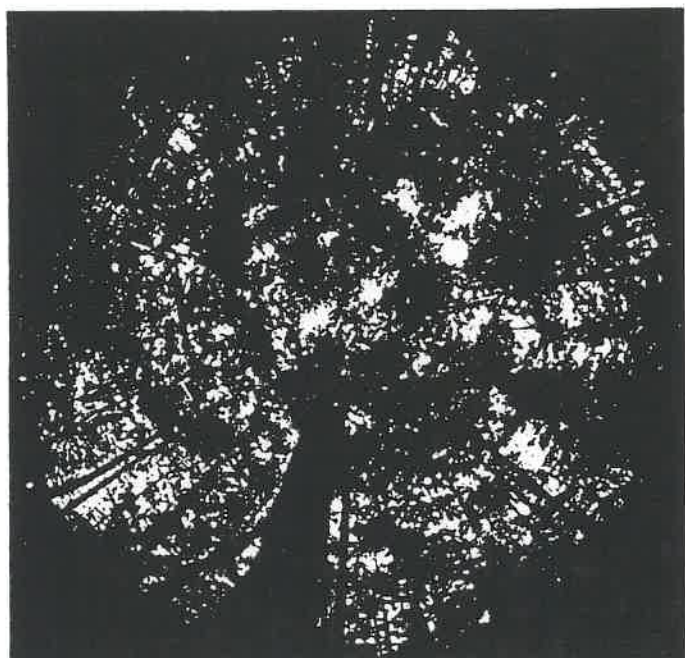


Photo Oldeman, O. R. S. T. O. M.

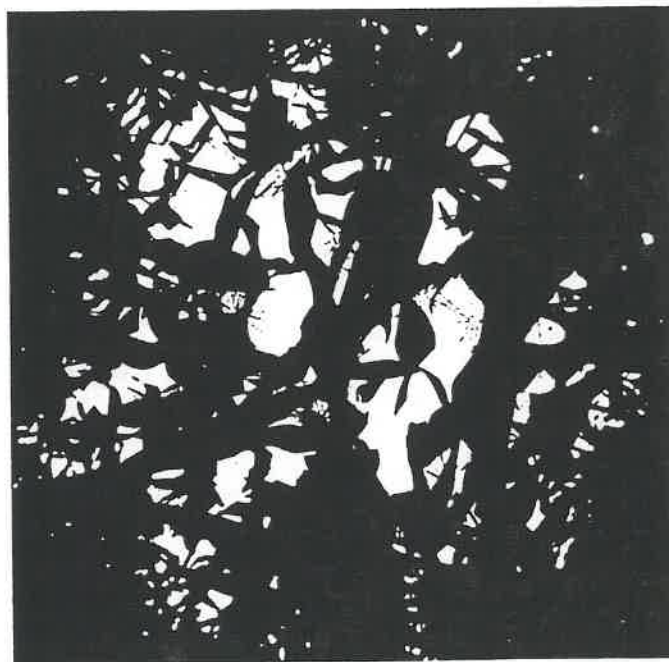


Photo Bonhomme et Chartier, I. N. R. A.

Figure I.8. Photographies hémisphériques prises l'une sous un couvert forestier guyanais (à gauche), l'autre sous un couvert de maïs (à droite).

L'intérêt des deux systèmes est de permettre la mesure directe des fréquences de trous à travers la végétation; cette donnée est la base de diverses relations pour déterminer par

exemple la mesure d'éclairement à différents niveaux du couvert ou l'indice foliaire. C'est aussi une donnée utilisée parfois directement par les modèles de transfert radiatif.

I - 4.2. Estimation des paramètres de structure (LAI, inclinaison des feuilles) à partir des photographies hémisphériques

Nous en rappelons les lois théoriques .

I - 4.2.1. Estimation de l'indice foliaire

A partir des travaux de Chartier (1966), Bonhomme (1973) a montré que le pourcentage S_θ de ciel pour une hauteur de visée θ est donné par la relation :

$$S_\theta = e^{-k(i,\theta).F}$$

F est l'indice foliaire,

K (i, θ) est le coefficient d'extinction qui est fonction de i (inclinaison des feuilles) et de θ (hauteur de visée).

Il est donc possible par cette relation, de calculer l'indice foliaire à partir du pourcentage de ciel vu à travers la culture. Soit :

$$\text{Log } S_\theta = - K F$$

$$F = - 1/K \text{ Log } S_\theta$$

$$F = - 1/K 2,3 \log S_\theta \quad (1/K=1,12 \text{ pour } \theta = 35^\circ)$$

$$F = - 2,58 \log S_\theta \quad (\text{pour } \theta = 35^\circ)$$

Cette relation est valable si le couvert répond aux hypothèses suivantes :

- 1) Il n'y a pas d'azimut privilégié.
- 2) Il n'y a pas de superposition privilégiée, c'est-à-dire que la probabilité de présence d'une feuille en un point donné de la couche de végétation, ne dépend pas de la position de ce point.
- 3) L'inclinaison des feuilles est constante.

Lorsque les inclinaisons de feuilles sont variables, la relation s'écrit :

$S_{\theta} = e^{-\mu(i,\theta).F}$ où " $\mu(i,\theta)$ " dépend de la hauteur de visée et de la distribution d'inclinaisons des feuilles.

Pour le calcul de l'indice foliaire, la Figure I.9 permet de constater que les courbes $K(i,\theta)$ se coupent approximativement pour un angle de visée de $32,5^{\circ}$. Bonhomme a choisi cet angle de visée (en fait 35°) pour lequel la valeur de l'extinction ne dépend pas de l'inclinaison des feuilles dans la plupart des applications.

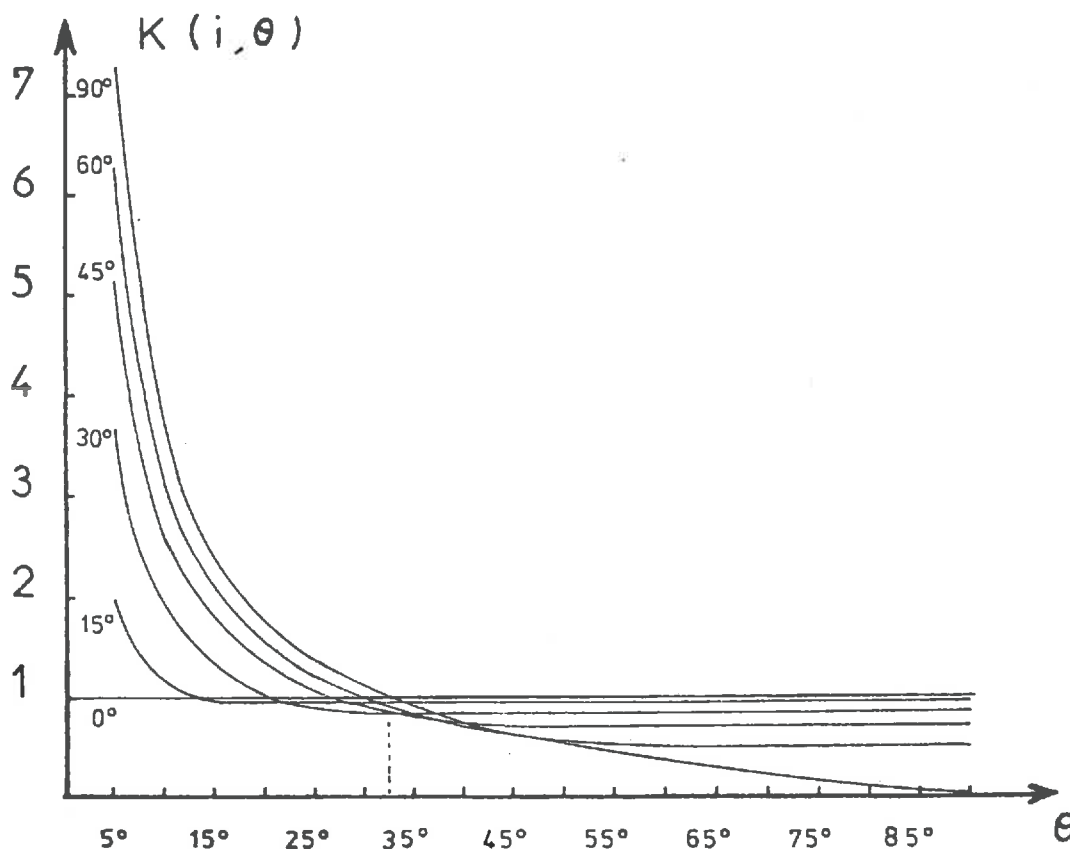


Figure I.9. : Variation de $k(i, \theta)$ "fonction d'extinction" des zones de ciel vues d'un point à travers une culture, dont les feuilles ont une inclinaison constante i , pour différentes hauteurs de visée.

I - 4.2.2. Estimation de l'inclinaison foliaire

En mesurant la fréquence de trous pour différentes incidences, il est possible, en s'appuyant sur les résultats théoriques présentés par la Figure I.9. de déterminer l'inclinaison équivalente du couvert étudié.

Après avoir décrit rapidement les principes théoriques d'utilisation de la photographie hémisphérique, il faut maintenant nous intéresser au problème pratique posé par le dépouillement de ces photographies.

I - 4.3. Méthodes d'analyse des clichés hémisphériques

Au fur et à mesure du développement des techniques et du matériel informatique, les méthodes ont évolué .

I - 4.3.1. Analyse visuelle par échantillonnage

Pour estimer la part de ciel vu pour un angle de visée donné dans la végétation la méthode la plus employée est la suivante .

Sachant que la photographie hémisphérique représente l'ensemble de la voûte végétale qui surplombe le point où s'est faite la mesure, il suffit de tracer sur le tirage en papier dur un cercle dont le rayon correspond à l'angle de visée désiré. La circonférence de ce cercle est ensuite divisée en parts égales (2mm par exemple) de manière à pouvoir compter le nombre de divisions superposées aux tâches de lumière.

I - 4.3.2. Analyse par planimétrage manuel

Il est réalisé à partir d'un négatif agrandi puis tiré sur papier dur. Pour estimer la part du ciel vu sur la totalité de l'image, on peut procéder :

- Par découpage et pesée des zones du ciel,
- Par planimétrage.

On se doute que ces méthodes sont longues mais elles peuvent néanmoins servir de référence.

I - 4.3.3. Analyse semi-automatique par projection du positif (Système de DUCREY et GROSS)

Un positif est placé avec précision dans un cache de diapositives. Un projecteur donne une image agrandie sur un écran. (L'agrandissement a alors un diamètre de 1,10 mètre. Dix-huit phototransistors montés sur un bras mû par un moteur décrivent les cercles correspondant aux dix-huit hauteurs de visée. (Schéma Figure I.10). Lorsque les phototransistors ne sont pas éclairés (zone d'ombre correspondant au feuillage), les impulsions d'un oscillateur sont transmises aux compteurs associés à chaque phototransistor. Si un phototransistor est éclairé,

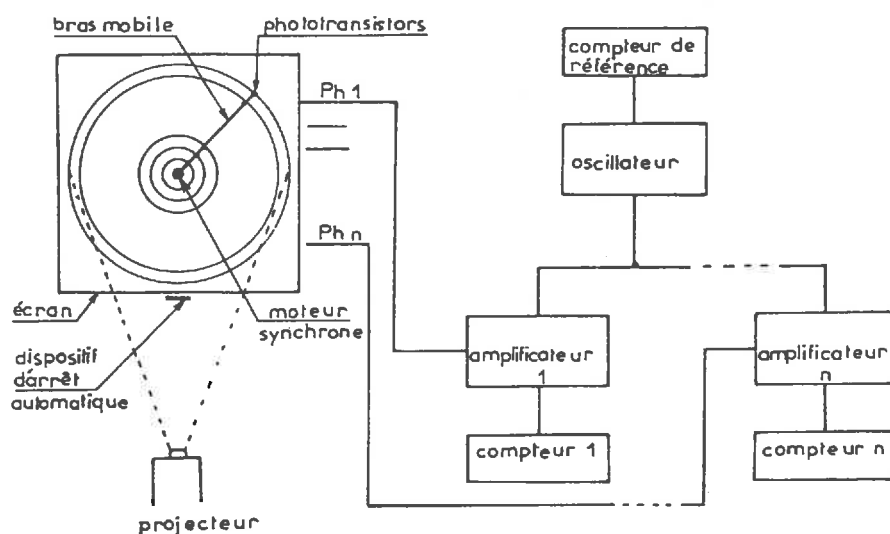
la transmission des impulsions est interrompue sur le compteur correspondant. La transmission ou l'arrêt des impulsions sur chacun des compteurs est fonction d'un seuil réglable adapté aux caractéristiques des clichés photographiques.

Après une rotation complète du bras, la fréquence des trouées pour une hauteur de visée donnée est obtenue par le rapport suivant.

$$\frac{N - n}{N}$$

N est le nombre total d'impulsions délivrées par l'oscillateur.

n est le nombre d'impulsions partiel pour un niveau donné.



(18 photo-transistors permettent l'exploitation des photographies pour des hauteurs angulaires de 5 en 5 degrés)

Figure I.10. : Schéma d'ensemble du lecteur de photographies hémisphériques.

La mise en oeuvre de ce système est assez contraignante. Elle demande un centrage parfait du négatif dans son support puis de la projection du négatif sur l'écran devant lequel est placé le bras. L'uniformité du réglage de seuillage pour chaque phototransistor peut être délicate.

Par rapport au dépouillement manuel cet appareil a cependant facilité considérablement le travail de l'expérimentateur.

I - 4.3.4. Numérisation des négatifs

Les appareils de traitement d'images et depuis peu, les microordinateurs équipés de cartes de numérisation permettent la numérisation de clichés photographiques.

Principe :

Le négatif est posé sur une table lumineuse au-dessus de laquelle est placée une caméra de télévision reliée à l'ordinateur. L'image est visualisée sur un écran vidéo de contrôle qui permet la mise au point de la distance caméra/cliché et son centrage. La numérisation et le stockage d'une seule image sont exécutés à partir d'une commande de l'opérateur. Les données peuvent être ensuite stockées sur disquette (Boissard - Valery, 1981).

Ce système de dépouillement est relativement rapide, son grand intérêt est sa précision, liée aux caractéristiques de la caméra et à la résolution de la carte de numérisation (nombre de lignes et nombre de points par ligne).

I - 4.4. Inconvénients liés à l'utilisation du support photographique

Tous ces procédés de dépouillement passent par un intermédiaire qui est le cliché photographique avec tous les inconvénients que cela comporte :

Inconvénients liés à l'acquisition d'image :

- Il n'est pas possible sur le site de mesure de visualiser la vue d'ensemble des éléments qui entrent dans le champ de l'objectif.
- Il n'est pas possible de vérifier in situ la qualité de l'exposition des photos.

Inconvénients liés au support photographique :

- Lors du développement des clichés : le support photographique dépend des conditions souvent variables dans lesquelles sont exécutés les traitements chimiques.
- Lors du dépouillement : quelle que soit la méthode utilisée, le problème majeur reste celui du centrage du cliché. En effet, sur un rayon de 11,5 mm il faut au moins pouvoir différencier neuf hauteurs de visée; sachant qu'un angle de 10° est représenté sur le rayon par 1,27 mm, la précision d'une mesure dépendra en grande partie d'une bonne précision lors du centrage du cliché.

Pour remédier à ces inconvénients inhérents au support photographique, nous nous proposons de développer un système de numérisation *in situ* d'images hémisphériques. Ce système offrirait l'avantage de visualiser constamment l'image issue de l'objectif *fish eye* et

donnerait donc la possibilité de cadrer et de vérifier approximativement l'exposition de la prise de vue.

Son originalité serait de permettre simultanément la numérisation et le stockage des données *in situ*, à l'instant même de la prise d'image et donc sans support intermédiaire. Au laboratoire, la cassette magnétique sur laquelle seraient enregistrées les images, pourrait être directement lue sur ordinateur.

Les chapitres suivants seront consacrés à la description d'un tel système.

II. DESCRIPTION ET FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'ACQUISITION ET DE NUMERISATION D'IMAGES HEMISPHERIQUES

a) Conception du système

L'ensemble se compose : (cf Fig 1 caméra CCD)

- d'une caméra à mosaïque CCD équipée d'un objectif *fish eye*,
- d'un module d'acquisition et d'enregistrement des données renfermant un micro-processeur et un enregistreur magnétique à cassette.
- d'un écran permettant de visualiser, en continu, le champ visé par la caméra.

b) Fonctionnement de l'ensemble

Le signal vidéo fourni par la caméra est envoyé d'une part à l'écran de visualisation et d'autre part à un module de numérisation placé à l'intérieur de la caméra. En sortie de ce module, une mémoire tampon gérée par un circuit spécialisé, stocke temporairement les données composant une image. Après l'acquisition de cette dernière, le micro processeur reprend le contrôle et peut ainsi assurer le transfert des informations vers l'enregistreur.

II - 1. DESCRIPTION DES DIFFERENTS ELEMENTS DU SYSTEME.

- La caméra à matrice CCD. Constitution :

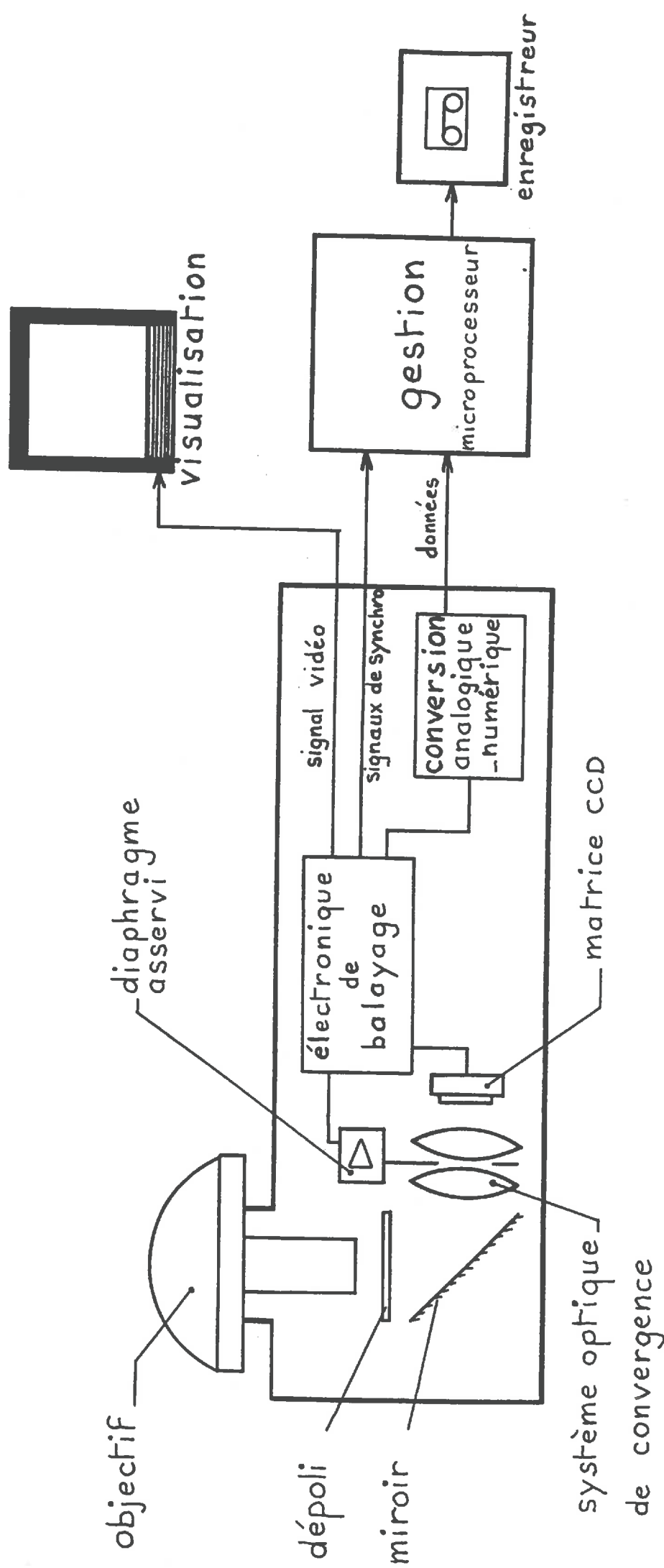
Elle comprend :

- Le système optique,
- La matrice CCD (élément photosensible),
- L'électronique de balayage,
- L'électronique de numérisation des données.

II - 1.1. Le système optique (voir schéma synoptique de la caméra). Fig. II.1.

Les éléments qui le composent sont :

- L'objectif *fish-eye* extérieur, monté sur bague à baïonnette.
- Le plan image constitué par un verre dépoli.
- Le miroir de renvoi.
- Un objectif interne équipé d'un diaphragme asservi (*auto-iris*) derrière lequel est placée la matrice CCD, élément photosensible terminal du trajet optique.



CAMERA CCD - Schéma synoptique

fig II.1.

II - 1.1.1. L'objectif *fish-eye* :

C'est un objectif NIKKOR 7,5 mmf/5,6, dont l'angle d'ouverture est de 180 degrés. Il répond à la loi de projection équidistante : $Y = C.\theta$

où : Y = distance d'un point au centre de l'image (image circulaire).

θ = angle zénithal du point visé.

C = constante.

C'est essentiellement en raison de ces caractéristiques particulières de projection que l'objectif nikkor a été utilisé pour le développement de la méthodologie des photos hémisphériques. Tous les points correspondant à un angle de visée donné sont situés sur un même cercle. L'image résultante est circulaire et a un diamètre de 23 mm.

II - 1.1.2. Le plan image :

C'est un verre dépoli situé sous l'objectif; sa distance est réglée de manière à ce que l'image projetée ait la meilleure définition possible. Il sert de plan de référence pour le système optique qui le suit.

II - 1.1.3. Le miroir de renvoi :

Dévie de 90° le trajet optique et rend le montage le plus compact possible, répondant ainsi à l'exigence du cahier des charges.

II - 1.1.4. L'objectif interne : (FUJINON - TV 1 : 1,4 / 16)

Il est placé entre le miroir de renvoi et la matrice CCD, son rôle est de réduire la diamètre de l'image de 23 mm (diamètre de départ) à 3 mm, c'est-à-dire à la largeur de la matrice CCD qui a pour dimensions 4 x 3 mm.

Cet objectif est équipé d'un diaphragme asservi commandé par le niveau moyen du signal vidéo. Sa partie avant comporte une bague à vis sur laquelle est monté un filtre destiné à couper la partie infrarouge du rayonnement incident. La Figure II.2. montre, en effet, qu'à partir de $\lambda = 780 \text{ nm}$, les feuilles réfléchissent 50 % et transmettent 45 % du rayonnement incident; cette courbe est à mettre en parallèle avec celle montrant la réponse spectrale de l'élément photosensible de la caméra (matrice CCD) Figure II.3., où nous pouvons remarquer que le maximum de signal est atteint pour une longueur d'onde de 850 nm (Il est encore égal à 90 % du maximum pour $\lambda = 780 \text{ nm}$).

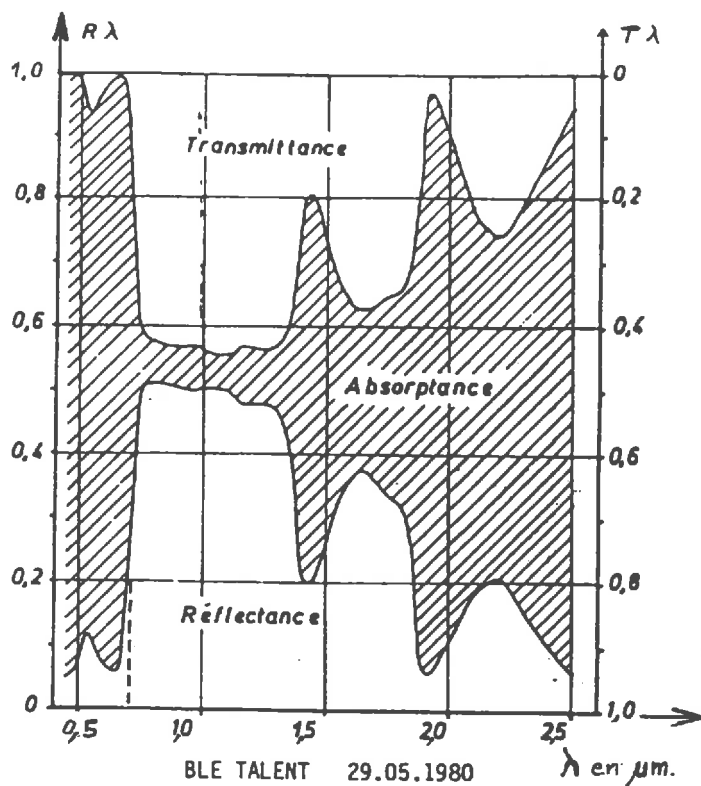
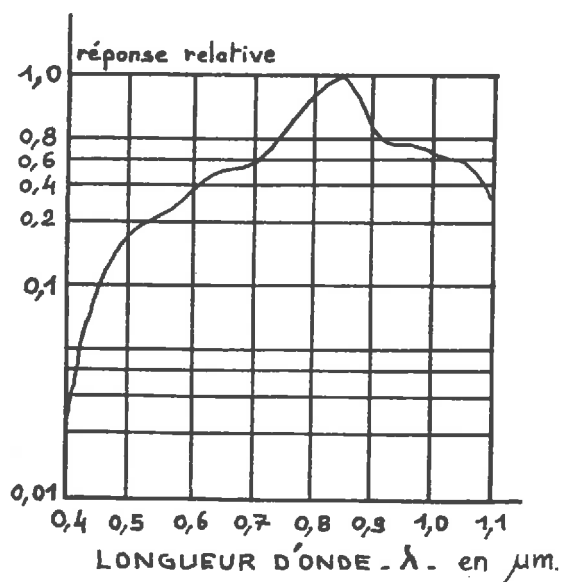


fig. II.2 - Evolution des propriétés optiques d'une feuille de blé en fonction de la longueur d'onde. L'échelle de gauche correspond à la réflectance et celle de droite à la transmittance (d'après Guyot 1983a).

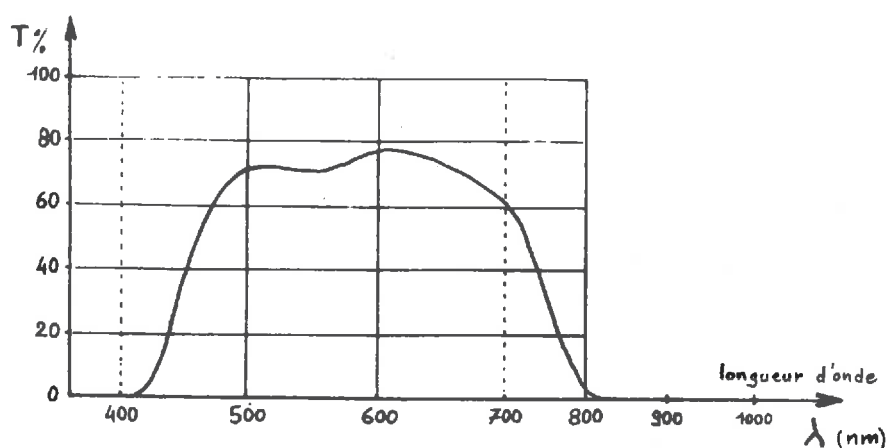


SENSIBILITE SPECTRALE. MATRICE CCD 202

fig. II.3

Nous pouvons déduire de la Figure II.3. que la sensibilité de la caméra est plus grande dans le proche infra-rouge que dans le visible. De plus, la végétation réfléchit et transmet beaucoup plus de rayonnement dans le proche infrarouge que dans le visible.

Pour obtenir un bon contraste entre le ciel et la végétation, il faut donc acquérir de préférence des images dans le domaine visible comme cela était le cas pour les photographies hémisphériques. Pour cette raison, nous avons donc éliminé le rayonnement proche-infrarouge en utilisant un filtre ne laissant passer que la lumière visible (Figure II.4.).



CARACTERISTIQUES OPTIQUES DU FILTRE DH576 (mfo)

Figure II.4.

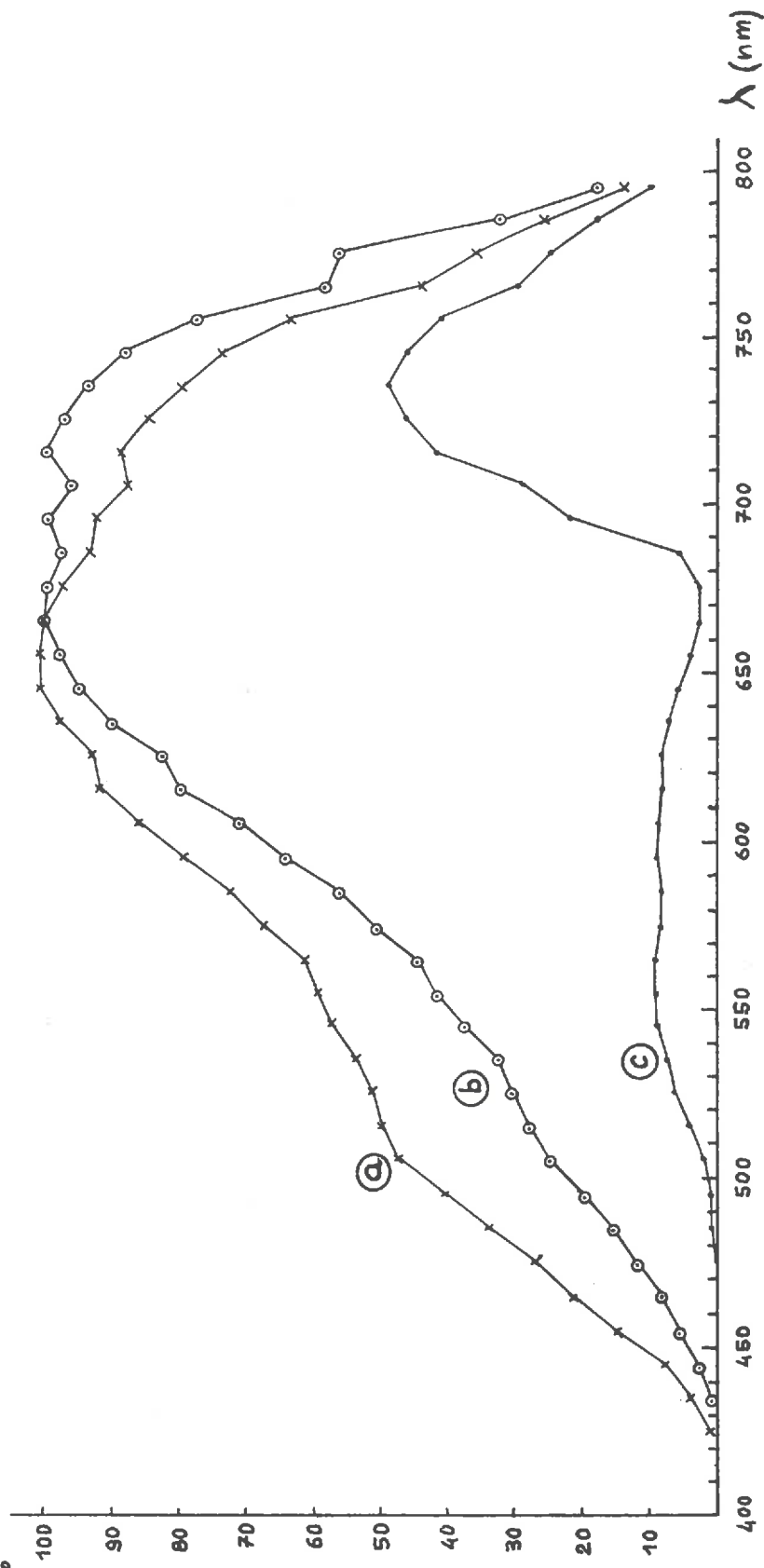
De manière à mettre en évidence l'effet conjugué de la sensibilité de la matrice et des caractéristiques du filtre, nous avons représenté sur la Figure II.5 (*courbe a*) la sensibilité globale du système optique de la caméra hormis celle de l'objectif *fish-eye* dont les caractéristiques seront montrées ultérieurement.

La *courbe b* représente la fraction de l'énergie solaire extra-atmosphérique mesurée avec le système optique tel qu'il a été défini précédemment.

Cette même fraction de l'énergie solaire transmise par une feuille verte et mesurée avec le système optique est représentée par la *courbe c*. L'écart entre les *courbes b et c* nous permet de vérifier le rôle du filtre; nous observons que la part de rayonnement transmis reste inférieure à 10 % par rapport à l'énergie incidente entre 400 et 680 nm. Par contre, à partir de 690 nm, l'efficacité du filtre est plus limitée et la part de rayonnement transmis atteint 48 % du rayonnement incident.

SENSIBILITE SPECTRALE RELATIVE

%



LONGUEUR D'ONDE

λ (nm)

- a) Sensibilité spectrale relative du système optique de la caméra (sensibilité-matrice * filtre.)
- b) Éclairement spectral reçu par le système exposé à un rayonnement solaire extra-atmosphérique
- c) Éclairement spectral reçu par le système exposé au rayonnement solaire extra-atmosphérique transmis par une feuille verte.

fig. II.5.

Si nous prenons en compte la totalité de la bande spectrale 400 - 800 nm, la transmittance d'une feuille représente 20 % de l'énergie incidente. Ce rapport 1/5 nous garantit un bon contraste entre le ciel et la végétation mais il faut néanmoins noter qu'il peut varier en fonction des caractéristiques spectrales du rayonnement incident.

Sachant que la réflectance et la transmittance des feuilles vertes représentent le même pourcentage d'énergie (Figure II.2.), le rôle du filtre est également important pour supprimer la majeure partie des rayonnements réfléchis par la végétation et dirigés vers le sol.

II - 1.2. La matrice CCD

II - 1.2.1. Technologie générale des caméras équipées avec ce type de capteur

La dénomination de "caméra solide" vient du fait que l'élément sensible interne n'est pas un tube à vide de type "vidicon" par exemple mais un semi-conducteur composé de plusieurs milliers de cellules photosensibles constituant une mosaïque. On appelle également cette mosaïque "matrice CCD", (CCD : charge coupled device) : composant à transfert de charge.

II - 1.2.2. Technologie et fonctionnement d'un dispositif à transfert de charge

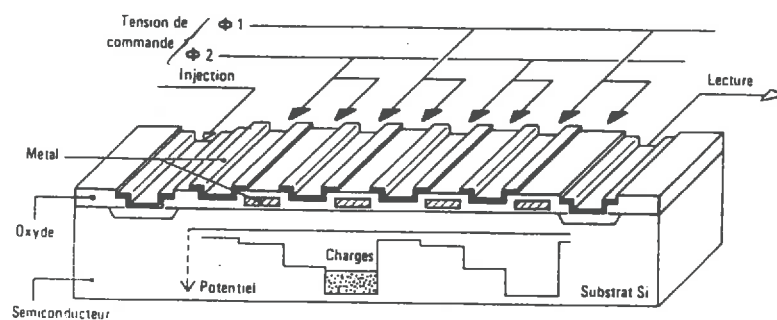
Pratiquement inconnus il y a quelques années, les composants à transfert de charges se sont rapidement développés et trouvent maintenant un grand nombre d'applications dans le domaine de la prise d'images et du traitement de signal.

La structure élémentaire d'un dispositif à transfert de charge est celle d'un registre à décalage analogique. Elle est constituée d'un réseau d'électrodes déposé sur du silicium oxydé.

Chaque électrode forme avec le substrat en silicium une petite capacité qui, lorsqu'elle est soumise à une tension, permet de stocker des charges électriques. L'intervalle séparant ces capacités étant très faible, il existe entre elles un couplage tel qu'une différence de potentiel appliquée entre deux capacités adjacentes, induit un champ électrique qui déplace les charges d'une capacité vers l'autre.

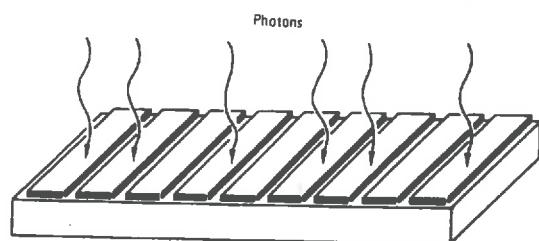
Le profil des puits de potentiel est rendu dissymétrique par constitution des différents couples d'électrodes, afin d'assurer un transfert unilatéral des charges.

L'application séquentielle sur les électrodes de tensions d'horloge en opposition de phase (ϕ_1 , ϕ_2) déplace les charges de proche en proche jusqu'à un collecteur latéral où s'effectue la lecture du signal (figure II.6.).



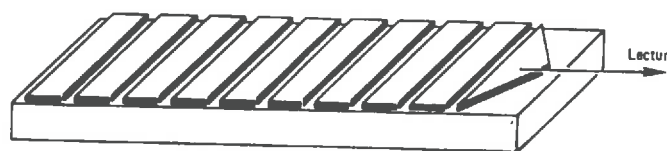
A

– Structure simplifiée d'un DTC à deux phases



B

(b) Injection photoélectrique



C

(a) Lecture en serie

Figure II.6. (doc THOMSON - NTV 6255. 1982)

Les dispositifs à transfert de charges se caractérisent ainsi par leur aptitude à traiter des signaux électriques analogiques sous forme fractionnée.

II - 1.2.3. Application de la technologie CCD aux dispositifs photosensibles matriciels

Dans le cas d'une matrice CCD, les charges électriques stockées dans les capacités proviennent d'un effet photoélectrique; en effet, lorsque le silicium est irradié par de la lumière visible ou proche infrarouge (350 à 1100 nm), des déplacements d'électrons sont engendrés par l'impact des photons incidents. Les charges ainsi créées sont localisées dans les capacités du dispositif sous l'action des tensions appliquées aux électrodes. La quantité des charges stockées dans chaque capacité est proportionnelle à l'éclairement local et permet, par une lecture séquentielle, d'obtenir un signal analogique échantillonné, représentatif de l'image analysée. (Figures II.6. B et C).

Les matrices photosensibles composées d'un grand nombre de photoéléments permettent de restituer des images de haute résolution.

Nous pouvons résumer le fonctionnement d'une rangée de cellules d'un dispositif photosensible matriciel à transfert de charge à l'aide du schéma simplifié suivant : (Figure II.7.)

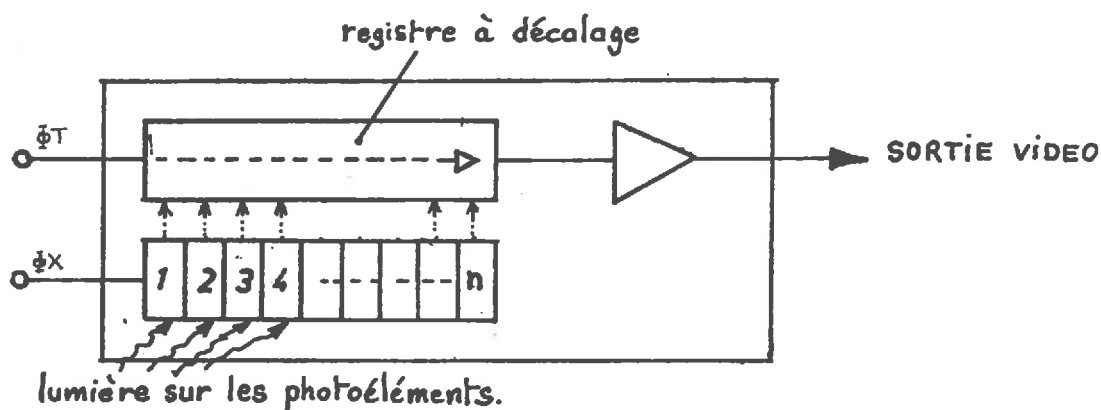


Figure II.7. : Schéma simplifié représentant une ligne de la matrice.

Dans la plupart des dispositifs on distingue deux phases qui se décomposent ainsi :

1) *Séquence d'intégration* :

On pourrait aussi l'appeler "temps d'exposition" puisque durant ce cycle l'information lumineuse est transformée en charges électriques au niveau de chaque photodiode.

2) *Séquence de lecture* :

Les charges électriques contenues dans chaque photodiode sont envoyées vers un registre à décalage qui va les transmettre en série vers la sortie vidéo sous forme de tensions analogiques; ces dernières formeront le signal vidéo.

Sur la Figure II.8., on voit que le contrôle de ce fonctionnement est réalisé à l'aide de signaux d'horloge déphasés ϕX et ϕT :

- le temps d'intégration est donné par ϕX .
- le temps de lecture est donné par $2(\phi T)$

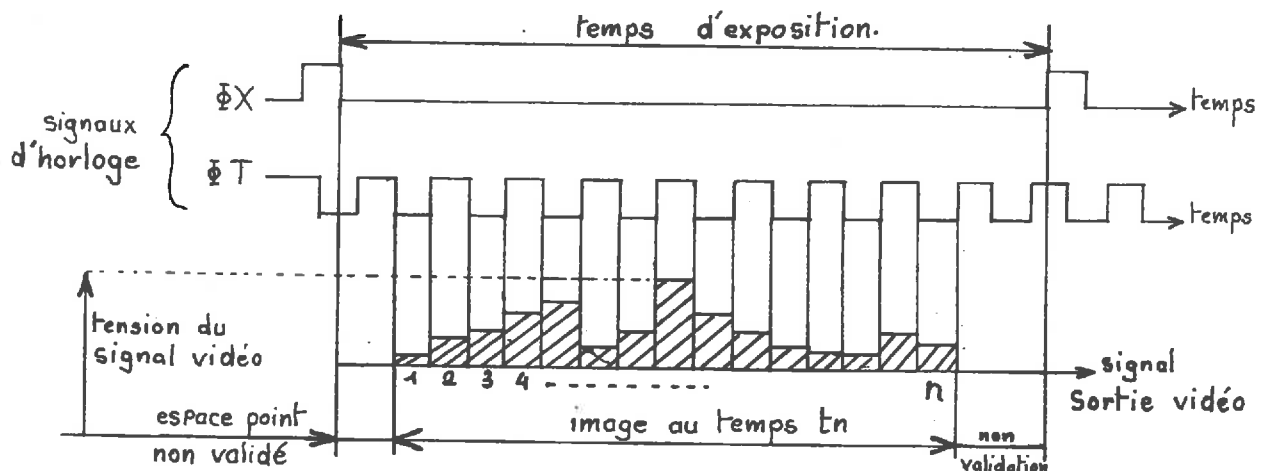


Figure II. 8. : Chronogramme du registre à décalage

Les séquences d'intégration et de lecture étant réparties dans le temps, la durée de lecture est maintenue très faible par rapport au temps d'intégration de façon à éviter tout phénomène de traînage.

Remarque : la fréquence ϕX d'utilisation est donnée par le constructeur de l'élément CCD. Des formules permettent de calculer les limites max et min de ϕX auxquelles est liée la quantité de charges électriques stockées dans chaque cellule.

II - 1.2.4. Principaux avantages des matrices CCD.

Elles offrent:

- une faible rémanance,
- une consommation réduite,
- un faible encombrement,
- une immunité aux forts éclairagements; la surface sensible n'est pas détruite lorsqu'elle est soumise au rayonnement direct du soleil.

Nota. Les caméras équipées de tube à vide (vidicon) ne doivent jamais avoir leur objectif en visée directe du soleil; il en résulte un "brûlage" de la surface photosensible qui correspond à une destruction localisée nécessitant le remplacement du tube. La méthodologie d'acquisition d'images hémisphériques sous couvert végétal impose que l'objectif soit tourné vers le ciel, ce qui rend ainsi délicat l'emploi d'une caméra équipée d'un tube à vide. La mosaïque CCD est mieux adaptée à ce type d'étude.

II - 1.2.5. Principales caractéristiques de la matrice CCD équipant la caméra

a) Caractéristiques mécaniques

Fabriquée par FAIRCHILD sous la référence CCD 202 elle se présente sous la forme d'un circuit intégré classique de 24 broches, comportant sur sa face supérieure une fenêtre transparente protégeant la matrice. Cette dernière est composée de 100 lignes et 100 colonnes de photodiodes, soit 10 000 cellules de dimensions identiques couvrant une surface de $4 * 3 \text{ mm}^2$.

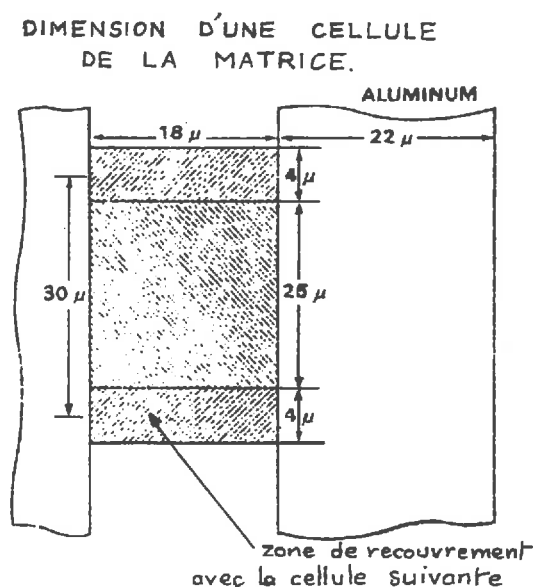


Fig. II.9

Remarque : D'après la Figure II.9., nous pouvons remarquer que l'intervalle séparant deux colonnes est de 22 microns, soit une largeur supérieure à celle de chaque cellule. Ce détail a son importance puisque c'est une surface non négligeable de l'image (50%) qui n'est pas analysée.

b) Caractéristiques électriques

Elles sont données en annexe.

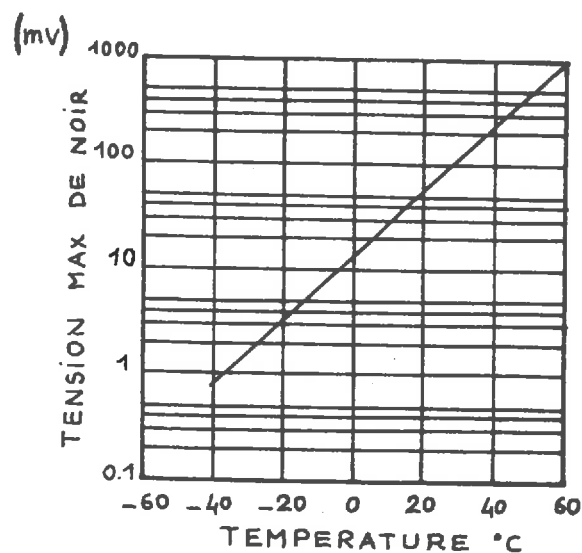
1) Réponse spectrale

Le maximum de réponse (voir Fig II.3.) est atteint pour une longueur d'onde de $0,85 \mu\text{m}$. Cette sensibilité dans le proche infrarouge est parfois recherchée pour certaines applications; nous verrons dans le chapitre concernant le filtrage quels en ont été les inconvénients pour notre utilisation.

2) Courant d'obscurité

On appelle "courant d'obscurité" la tension produite par chaque cellule au silicium lorsqu'elle n'est pas éclairée.

Au sein du semi-conducteur, cette tension est due à l'agitation des électrons, liée à la température ambiante (courbe Figure II.10.)



NIVEAU DE NOIR EN FONCTION DE LA TEMPERATURE

Fig. II.10.

Ce phénomène devient critique l'été où la température interne du boîtier de la caméra atteint # 50° C et certains inconvénients sont à prendre en compte :

1) Sachant que l'amplitude maximum du signal vidéo est mesurée entre le courant d'obscurité de référence (80 mv à 25°) et le niveau de saturation de la cellule CCD, l'une des conséquences de l'augmentation du courant d'obscurité est la diminution de la dynamique de sortie du signal vidéo. D'après la Figure II.11., on peut assimiler le courant d'obscurité à une "tension d'offset" (Décalage du zéro)

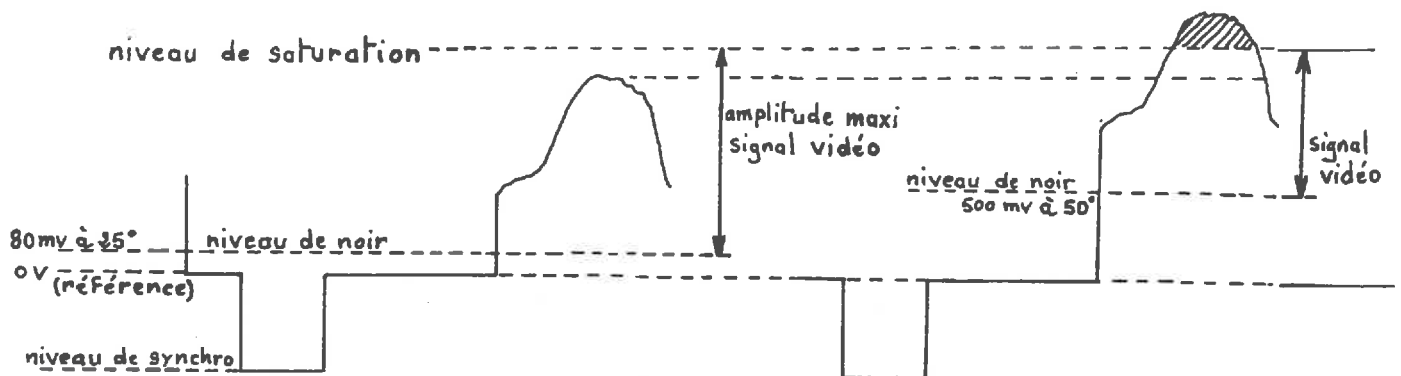


Figure II.11.

2) L'autre inconvénient est lié à l'utilisation qui est faite du signal vidéo ; dans notre cas, il est relié à l'entrée d'un convertisseur analogique/numérique dont l'entrée est référencée au potentiel de la masse (0 volt). En nous reportant au tableau ci-dessous, nous observons que pour une température de 25°, il y a une tension permanente de 80 millivolts (mv) à l'entrée du convertisseur qui est suffisante pour ne plus pouvoir obtenir un codage numérique égal à zéro (voir caractéristiques en annexe).

La réponse du convertisseur est résumée dans le tableau ci dessous :

Température ambiante	Etat de la cellule	Niveau à l'obscurité	Sortie vidéo	entrée du convertisseur
25°	non éclairé	80 mv	0	# 80 mv
25°	éclairé	80 mv	# 420 mv	# 500 mv
50°	non éclairé	500 mv	0	# 500 mv

Nous observons d'autre part que le convertisseur ne peut pas différencier l'information vidéo d'une modification importante de la température ambiante. Pour résoudre ce problème, un cache a été placé sur la fenêtre de la matrice de manière à ce que les cinq premières cellules de chaque ligne ne soient jamais éclairées. Le niveau à l'obscurité ainsi recueilli au début du balayage de chaque ligne agit sur un système de compensation délivrant un niveau de noir fictif dont la tension constante est fixée à 80 mv. (niveau de réf à 25°).

II - 1.3. Electronique de balayage

Le fonctionnement interne de l'élément CCD nécessite comme nous l'avons vu plusieurs signaux de contrôle qui peuvent se différencier par leur fréquence, mais également par divers degrés de déphasage. (voir page des caractéristiques). Ils sont généralement issus d'un oscillateur interne, générateur de la fréquence d'horloge. Seuls ceux qui sont utiles à la visualisation ou au transfert des données sont accessibles sur une prise extérieure.

Leurs caractéristiques sont les suivantes :

- La fréquence de balayage-point : # 300 khz, soit 3,3 μ s entre impulsions.
- La fréquence de balayage-ligne : # 3 khz
- L'ordre de prise en compte des données (émis tous les quatre points image), soit 3,3 μ s x 4 = 13,2 μ s entre impulsions.
- La parité de la trame.
- La cadence image : 50 trames/seconde (entrelacées d'ordre deux)

L'entrelacement d'ordre deux adopté dans le "standard télévision" consiste à visualiser une image complète en deux fois:

- *La première trame* visualisée (1ère *demi-image*), résulte du balayage des lignes paires.
- *La deuxième trame* visualisée (2ème *demi-image*), résulte du balayage des lignes impaires.

Ceci a pour effet d'éviter le phénomène de battement désagréable pendant la visualisation sur écran cathodique.

Afin de parer à d'éventuelles difficultés relatives à la vitesse de transfert des signaux de synchronisation et des données soit au niveau des liaisons (câbles de transmission), soit au niveau de l'acquisition (DMA), nous avons prévu une commutation de manière à diminuer de moitié la fréquence de balayage.

Les deux vitesses sont alternativement utilisées de la façon suivante :

- a) Vitesse proche du "standard télévision" pour l'analyse qualitative de l'image.
- b) Vitesse lente pour l'analyse quantitative de l'image.

II - 1.4. Numérisation des données

Le fonctionnement de la caméra est autonome et par conséquent son balayage et la sortie des données sont ininterrompus. Sur le schéma montrant l'ensemble de l'étage "vidéo de sortie" donné en annexe, on distingue deux sorties vidéo :

- a) Une sortie "Vidéo traitement", pour laquelle le signal vidéo composite est linéaire, c'est-à-dire que les signaux de luminance sont proportionnels à l'éclairement des cellules.
- b) Une sortie "Vidéo visu" qui comporte une correction $\gamma = 0,45$.

Il faut en effet préciser que la réponse en luminance d'un écran de visualisation à tube cathodique n'est pas linéaire, ce qui a pour effet d'atténuer la valeur des extrêmes (noir et blanc). La correction γ consiste à compenser cette atténuation par une amplification appropriée.

Le convertisseur analogique/numérique est un DATEL-SH4B dont les principales caractéristiques sont les suivantes :

Entrée :

- Entrée analogique - 0 à 1 v (pleine échelle).
- Impédance : 50 Ω
- Commande conversion : 2 à 5,5 v maximum. Temps impulsion compris entre 20 et 40 ns

Sortie :

- 4 bits codés en binaire avec signal de fin de conversion (EOC)
- La sortie du convertisseur est reliée à un ensemble de registres de manière à stocker l'information provenant de quatre cellules successives de la matrice formant ainsi un mot de 16 bits parallèles qui est disponible en sortie de la caméra à chaque ordre de prise en compte des données.

II - 2. MODULE D'ACQUISITION ET D'ENREGISTREMENT DES DONNEES

Le système d'acquisition est géré par un microprocesseur.

Nous avons choisi cette solution pour permettre la plus grande souplesse au niveau de l'identification et du traitement de chaque image. (Introduction au clavier de paramètres extérieurs, établissement d'un dialogue en clair avec l'opérateur, modifications de certaines fonctions suivant l'utilisation).

Dans notre cas, le but est d'enregistrer la totalité d'une image captée par la caméra. En choisissant l'emploi d'un microprocesseur, nous rencontrons son seul facteur limitant : la vitesse d'accès.

Lorsqu'un microprocesseur doit prendre une information présente sur un bus d'entrée pour la placer en mémoire, le transfert est relativement lent puisqu'il s'effectue par déroulement d'un programme.

Le temps moyen pour effectuer une instruction est d'environ $8 \mu\text{s}$; or, il faut au minimum quatre instructions pour réaliser la fonction précédemment citée. La caméra émet sans interruption un signal de prise en compte des données toutes les $13,3 \mu\text{s}$... d'où l'impossibilité d'utiliser un microprocesseur en fonctionnement classique.

Le choix du microprocesseur que nous avons utilisé s'est porté sur le TMS 9980 parce que texas commercialisait une "carte université" et un circuit de DMA (DMA : Direct Memory Acces ou Accès direct à la mémoire) et leurs fonctions sont les suivantes.

a) *Circuit de DMA*

Lorsque certaines applications exigent des transferts de données à cadence élevée, il n'est plus possible de faire transiter l'information par le microprocesseur. Il devient dès lors nécessaire d'utiliser le circuit de DMA qui va permettre un échange direct et rapide entre les organes d'entrées/sorties et la mémoire **sans passer par le microprocesseur**.

Le circuit de DMA se substitue en quelque sorte au microprocesseur pour réaliser la fonction demandée; c'est évidemment un circuit intégré et certaines de ses connexions sont communes au microprocesseur et à la mémoire par l'intermédiaire de "bus".

D'autres, par contre, sont en correspondance avec l'extérieur, c'est-à-dire la caméra et l'étude d'une carte d'interfaçage a été obligatoire pour assurer les différentes phases séquentielles nécessaires à l'acquisition et à la mémorisation de l'information.

Le schéma synoptique Figure II.12., (électronique de contrôle), nous montre les trois cartes rassemblant l'électronique de contrôle de l'ensemble d'acquisition, leur interconnexion ainsi que leur liaison avec les organes extérieurs (caméra et enregistreur).

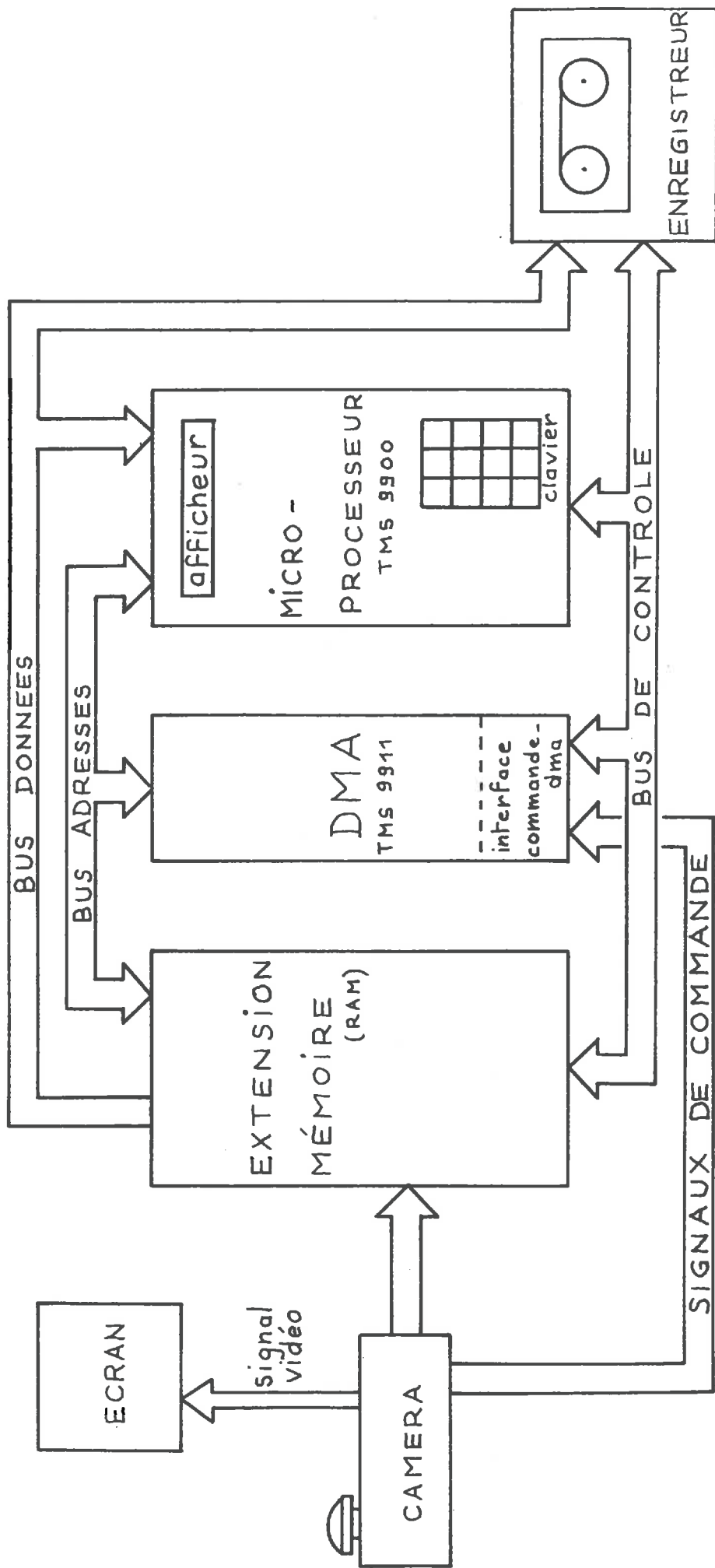
b) *Carte université* (Ref TMS 990)

Le microprocesseur est un circuit intégré qui ne peut fonctionner seul. TEXAS INSTRUMENTS, a commercialisé une carte à circuits imprimés rassemblant autour du microprocesseur (TMS 9980), tous les éléments indispensables pour écrire des programmes et faire exécuter des fonctions simples. Son but est d'ailleurs, en tant qu'outil didactique, de contribuer à l'enseignement des connaissances de base indispensables à la mise en oeuvre des microprocesseurs. Un autre avantage est son prix très avantageux.

Nous verrons cependant, dans sa description que la capacité "mémoire" étant insuffisante pour stocker l'image caméra dans sa totalité, il a fallu y adjoindre une carte d'extension mémoire.

c) *L'enregistreur*

C'est un enregistreur magnétique (marque TAD) utilisant des cassettes (format standard) permettant le stockage d'une vingtaine d'images.



ELECTRONIQUE DE CONTROLE

schéma synoptique 42

Fig. II.12.

II - 2.1. Description et fonctionnement du module d'acquisition

Le but de ce chapitre n'est pas d'expliquer le fonctionnement complet de la "carte université" et toutes ses possibilités. Nous nous limiterons donc à examiner en détail les éléments qui nous seront utiles pour comprendre le fonctionnement et la réalisation de notre ensemble.

II - 2.1.1. La "carte université" : (TH 990/189 - TEXAS)

Les éléments principaux en sont les suivants :

- le microprocesseur TMS 9980
- 2 k octets ram (*Random Access Memory*) qui ont toujours besoin d'être sous tension pour garder l'information.
- 4 k octets rom (*Read Only Memory*) qui garde toujours l'information préalablement programmée.
- Un emplacement prévu pour une EPROM (2k-octets); c'est une ROM effaçable.
- Moniteur et assembleur sont implantés en ROM.
- Un interface cassette audio pour stocker et sauvegarder les programmes.
- Un clavier alpha numérique.
- Un afficheur 10 caractères.
- Des indicateurs optiques et acoustiques.
- Une horloge 2 mhz
- La possibilité d'exécuter les programmes pas à pas.
- Des voies d'entrées/sorties programmables sur 16 bits et contrôle des interruptions par l'intermédiaire du circuit d'interface TMS 9901).

C'est donc un ensemble complet et le schéma synoptique de la carte Figure II.13., dégage les principaux blocs fonctionnels décrits ci-dessus.

Sont également représentés les canaux de communication des divers signaux électriques appelés "bus" qui sont :

- Le bus de données,
- Le bus d'adresse,
- Le bus CRU (*Registre de Communication Série*),
- Le bus de contrôle.

Nous allons d'abord décrire le fonctionnement de ces bus, car ils relient entre elles les différentes parties.

- Le bus de données :

Il se compose de huit lignes d'échange bidirectionnel, repérées D0 à D7 (poids faible). Elles canalisent les échanges d'information entre processeur et mémoire par l'état du signal de contrôle du bus de donnée DBIN.

DBIN = 1 lorsque le microprocesseur est en état d'attente d'une prise de données.

- Le bus d'adresse :

Il se compose de 14 lignes notées : A0 à A13/CRU OUT (poids faible) qui servent à repérer un emplacement mémoire ou bien une adresse CRU. On distingue les références mémoires des références CRU à l'aide du signal de contrôle du bus d'adresse : MENEM. Ce signal est à zéro pendant les cycles d'accès mémoire.

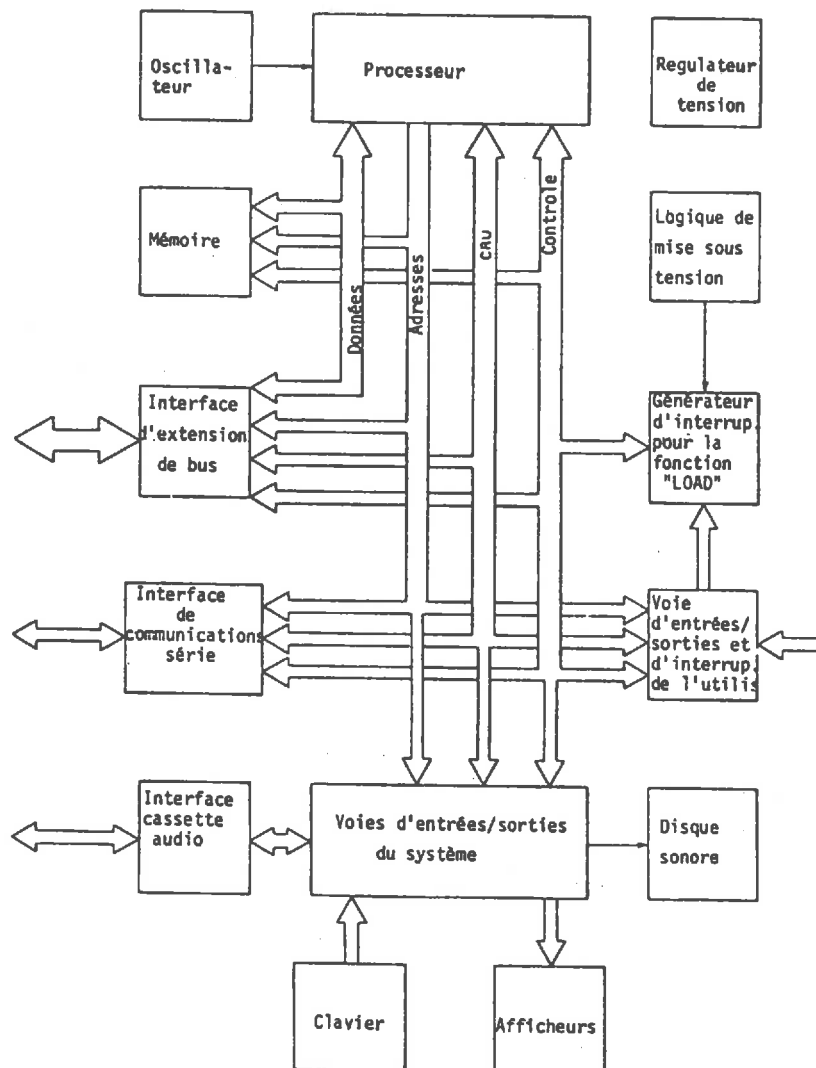


Figure II.13. : Schéma synoptique de la "carte université" (Texas Instrument)

- Le bus CRU (registre de communication série) :

Il comprend quatre signaux : A13/CRU OUT, CRU CLK, IO CLK et CRU IN.

Pendant les instructions CRU d'émission de données, on trouve sur A13/CRU OUT, l'état du bit émis; en réception, l'état des données est lu sur CRU IN. CRU CLK transmet les signaux de synchronisation durant ces transferts (IO CLK et une variante de CRU CLK).

- Le bus de contrôle :

Il regroupe divers signaux d'interrogation ou d'état servant au microprocesseur. Le tableau 1 ci-dessous récapitule ces signaux et en fournit une descriptions succincte.

SIGNAL	ETAT ACTIF	FONCTION
\overline{WE}	BAS	Echantillonne les circuits mémoire pour y écrire une donnée. (validation d'écriture).
READY	HAUT	Indique au processeur que la mémoire est prête à fournir des données. On génère des états d'attente en forçant ce signal à l'état bas.
\overline{DRE}	BAS	Temporise les signaux de validation des circuits mémoire pendant les opérations d'écriture, pour éviter les conflits d'accès aux bus. Voir paragraphe 8-5-1.
INT0 INT1 INT2	HAUT	Codage du niveau de priorité d'une interruption présentée au processeur. Voir paragraphe 8-4.
\overline{HOLD}	BAS	Demande au processeur de libérer les bus adresse et donnée, ainsi que les signaux \overline{MEMEN} , \overline{WE} et \overline{DBIN} .
HOLDA	HAUT	Signal d'acquiescement annonçant que le processeur a libéré les bus et les signaux énumérés ci dessus, et s'est mis en attente.
IAQ	HAUT	Indique que l'on est en train de lire une instruction en mémoire pour la mettre dans le registre instruction.
$\overline{\Phi}$	BAS	Signal d'horloge émis par le processeur pour assurer sa synchronisation avec les dispositifs externes.

Tableau 1 : Signaux du bus de contrôle.

* L'unité de traitement tms 9980 (ou processeur)

C'est l'une des parties importantes du système car le processeur conditionne la puissance de décision et les différentes actions qui en découlent. En plus des prises de décisions, il se charge des fonctions suivantes :

- Acquisition et interprétation des instructions,
- Gestion de la plupart des signaux de contrôle et des échanges de données,
- Contrôle des bus (adresses, données et contrôle).

Ce processeur travaille sur des mots de 16 bits et peut adresser 16 k octets par l'intermédiaire des 14 bits de son bus d'adresse. Le bus de données comporte 8 bits et c'est la raison pour laquelle un mot de 16 bits est traité comme deux mots consécutifs de 8 bits.

La Figure II.14. nous donne un aperçu de sa structure.

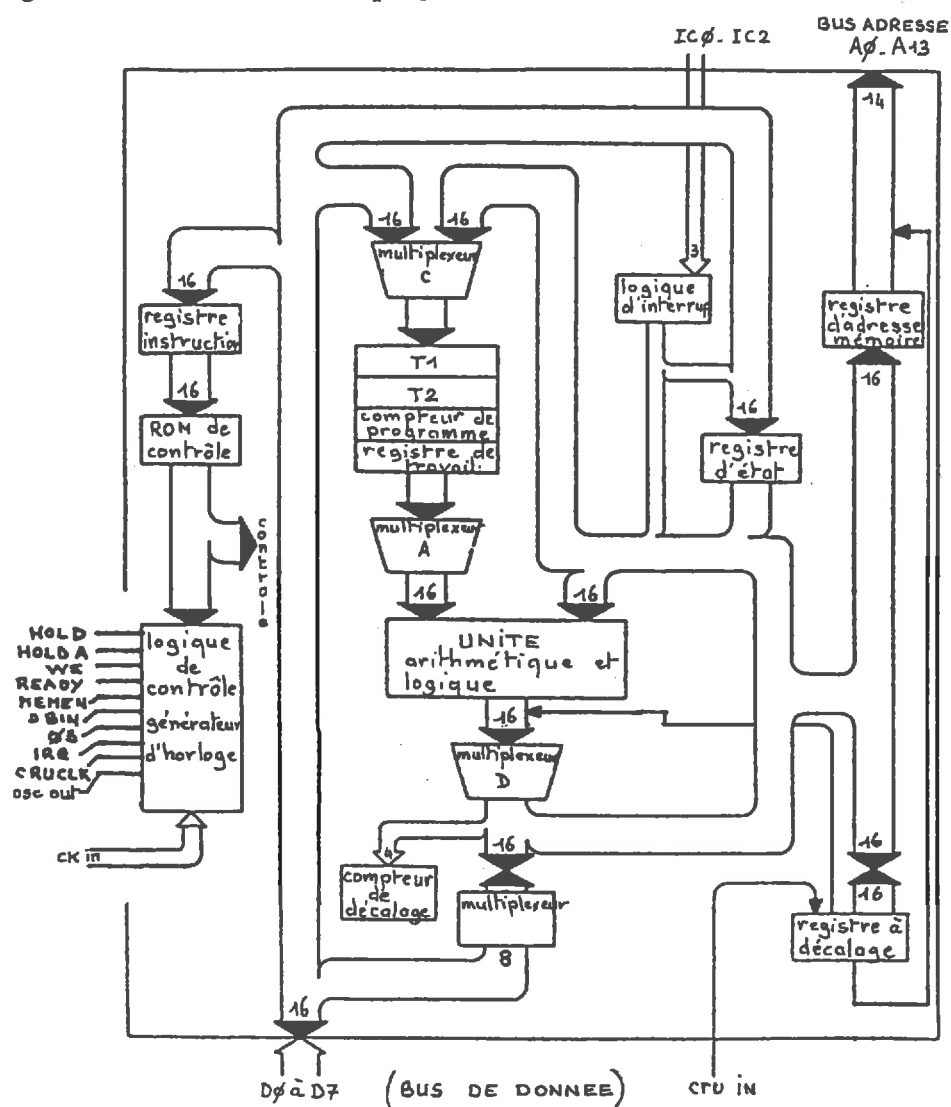


Figure II.14. : Architecture interne du TMS 9980 A.

* Principales caractéristiques du processeur

Il comprend :

- Une unité arithmétique et logique (ALU)
- Un registre d'instructions possédant la multiplication et la division
- Trois registres accessibles : WP, PC, et ST
- 16 niveaux d'interruptions (lignes IC₁ à IC₃)
- Un système E/S de type série (CRU).

Les fonctions des trois registres accessibles sont les suivantes :

WP : (Workspace Register). Retient l'adresse du début de la pile des 16 registres de travail (R₁₀ à R₁₅) situé dans la RAM.

PC : (Program Counter), est un compteur ordinal; il contient l'adresse de la prochaine instruction à exécuter.

ST : est un registre d'état.

Sur la Figure II.15., ci-dessous, nous avons regroupé par fonction, les signaux émis par le processeur ainsi que l'oscillateur de l'horloge.

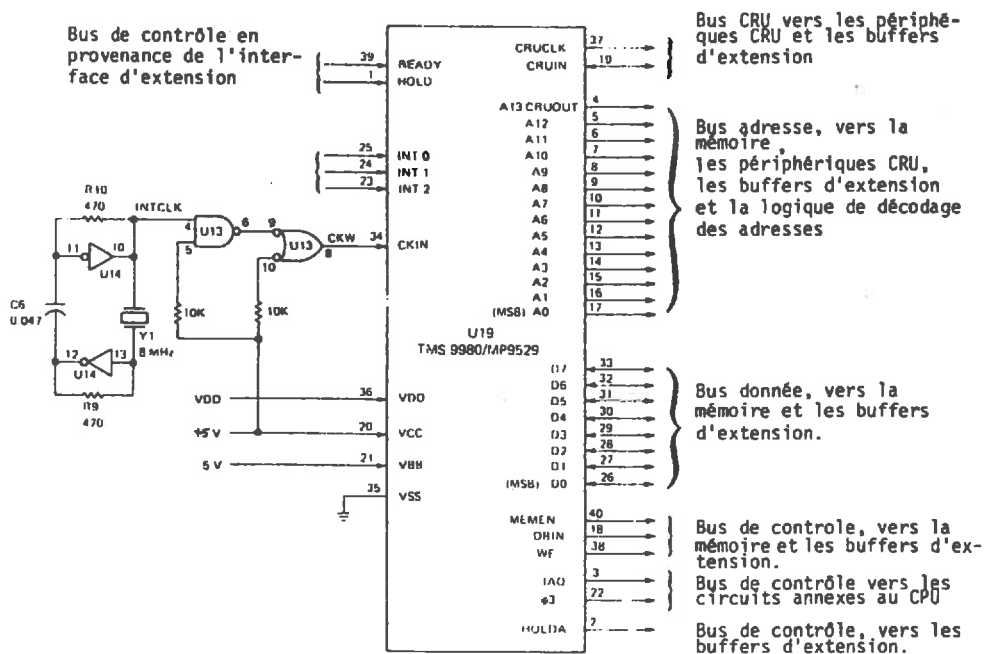
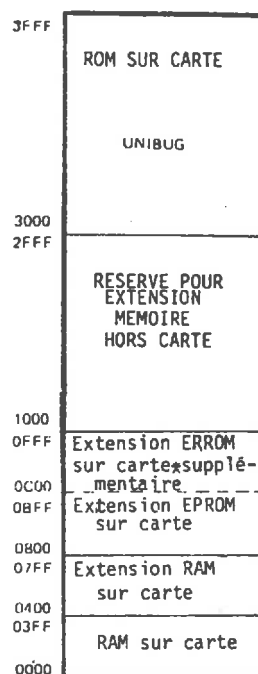


Figure II.15. : Schéma des signaux E/S du TMS 9980 A.

II - 2.1.2. La mémoire

Il est possible d'accéder à 16 k octets; 8 k octets regroupent la zone implantée sur la carte, tous types de mémoire confondus (ram, rom, eprom), le reste étant réservé à la zone hors carte.



* OPTION AU CHOIX DE L'UTILISATEUR (VOIR CHAPITRE 9)

PARTITION DE LA MEMOIRE DU SYSTEME

Figure II.16. Partition de la mémoire du système.

Sur la Figure II.16, nous voyons que l'adresse 1000 à 2FFF sera l'emplacement utile pour le stockage d'une image.

Dans ce but, un circuit imprimé comportant 8 k de ram a été réalisé avant de représenter les liaisons avec la carte université, nous allons en décrire le fonctionnement.

Décodage des adresses mémoire sur carte :

Sur la carte, l'espace mémoire (8k) est divisé en deux blocs de 4 k, au moyen d'un décodeur d'adresses référencé U34 sur la Figure II.17.A.

Ces deux blocs sont identifiés par les signaux de contrôle suivants :

LOMEMENA (Low Memory Enable)

HIMEMENA (High Memory Enable)

DECODE 1

DECODE 2

- Les blocs ROM (4K) sont ainsi validés (autorisés à fonctionner) par l'ordre ROMCE.
- U34 divise d'autre part chaque partie de 4K en blocs plus petits de 1024 octets, identifiés par les signaux : block 0 à block 3.
- La ram (bloc de 1K) est validée par : ramce
- Le signal dre est délivré à partir de dbin et we et sert à éviter les conflits d'accès aux bus; son rôle est de retarder la validation des circuits RAM en écriture jusqu'à ce que WE soit repassé à l'état bas.

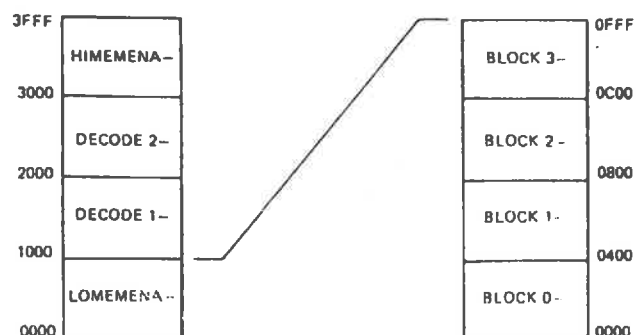
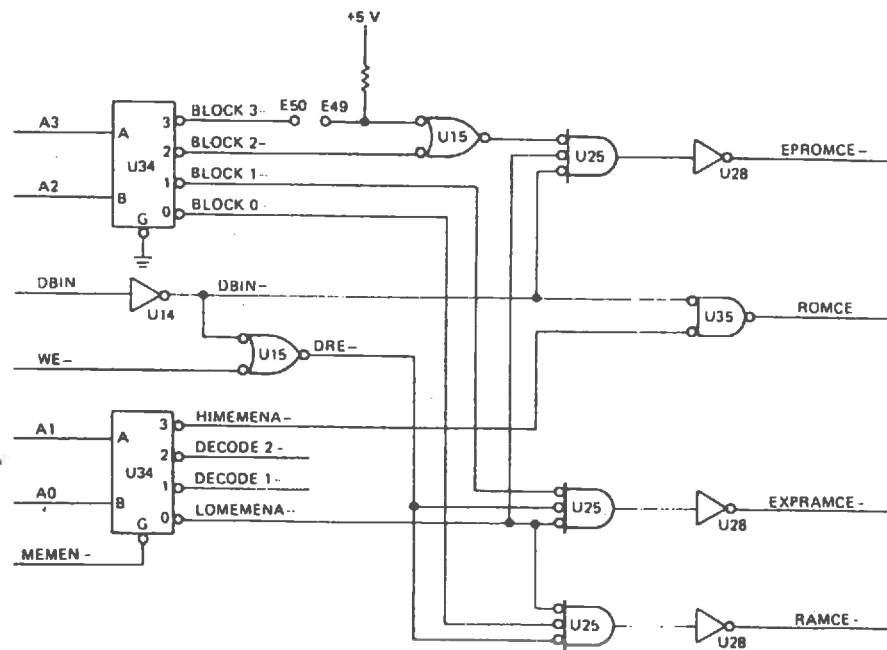


Figure II.17.A.

En gardant la même logique de décodage, l'extension ram sur carte (1K) est validée par :

- EXPRAMCE produit par la combinaison de LOMEMENA, BLOCK 1 et DRE.
- L'extension ROM est validée par EPROMCE, produit par la combinaison de LOMEMENA, DBIN et BLOCK 2.
- La fonction "OU" (U15) entre 3 et 2 permet d'étendre l'espace EPROM à 2K octets (*utilisation de mémoires EPROM ref : TMS 2716*).

La figure II.17.B. nous indique les chronogrammes d'un cycle de lecture.

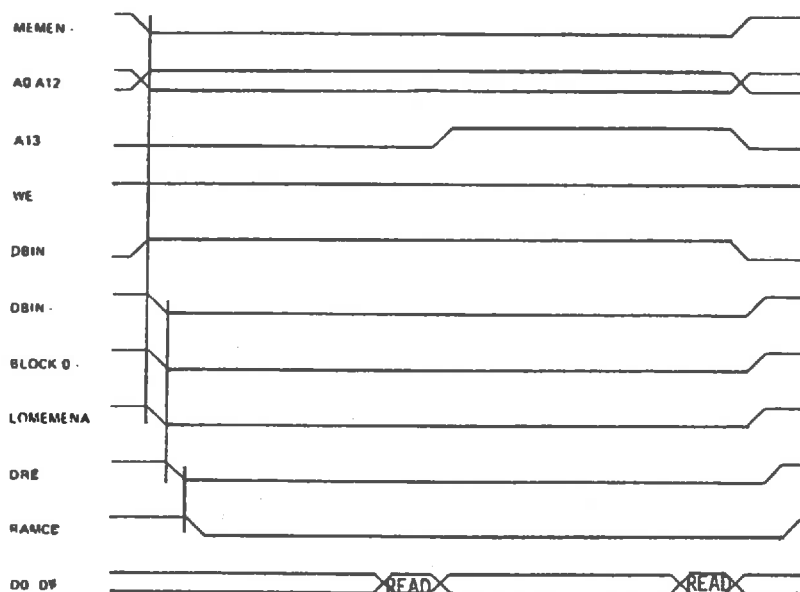


Figure II.17.B. : Chronogrammes d'un cycle de lecture.

II - 2.1.3. Extension hors carte de la mémoire

L'extension se fait par l'intermédiaire de l'interface d'extension du bus qui génère les signaux amplifiés suivants, accessibles sur P4 (Figure II.18) : A0 à A13/CROUT, D0 à DD, MEMEN, WE, DBIN et HOLDA, ainsi que les lignes d'entrées : READY et HOLD.

Le sens de fonctionnement de l'extension du bus de données est piloté par Din produit d'un décodage indiqué sur la Figure II.19., ci-dessous.

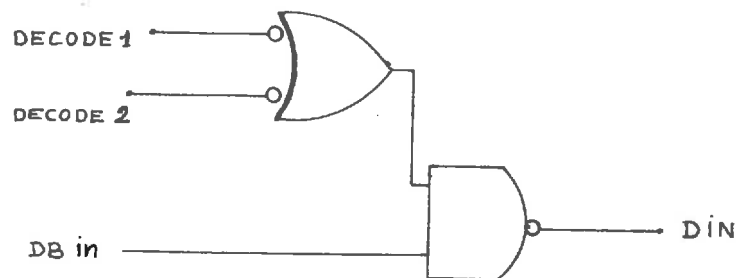


Figure II.19.

La capacité de l'extension mémoire est organisée en huit groupes (BK01 à BK08) de deux boîtiers TMS 4045 (1k x 4). Figure II.18.

Chaque groupe est sélectionné, comme le montage sur carte, par un décodage d'adresses mais ce dernier est assuré par une mémoire morte (SN 74288). Les adresses sont les suivantes:

BK01 adresse >	1000	Sortie : D01
BK02 adresse >	1400	Sortie : D02
BK03 adresse >	1800	Sortie : D03
BK04 adresse >		Sortie : D04
BK05 adresse >		Sortie : D05
BK06 adresse >		Sortie : D06
BK07 adresse >		Sortie : D07
BK08 adresse >	2C00	Sortie : D08

L'extension est reliée au connecteur P4 (extension des bus de données et d'adresses) de la carte université.

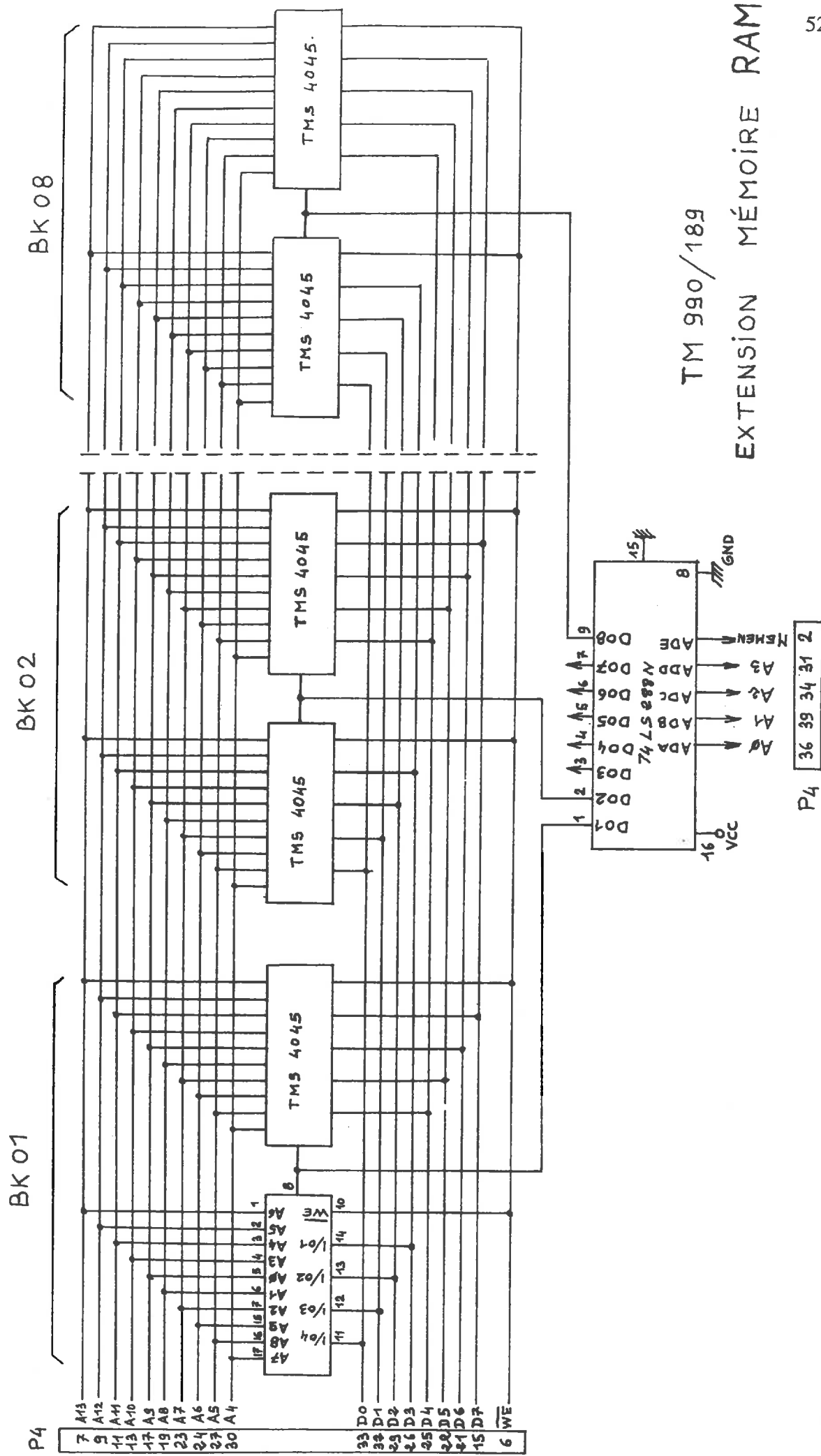


Figure II.18.

Le tableau 2 ci-dessous nous donne la programmation de la PROM :

ADA	ADB	ADC	ADD	ADE	
0	1	0	0	0	D01
0	1	0	1	0	D02
0	1	1	0	0	D03
0	1	1	1	0	D04
1	0	0	0	0	D05
1	0	0	1	0	D06
1	0	1	0	0	D07
1	0	1	1	0	D08

Tableau 2.

II - 2.1.4. Les entrées/sorties (circuit d'interface 9901)

Le registre de communication série (CRU) est un système d'entrées/sorties programmable, entièrement réservé aux échanges de données entre le processeur et les dispositifs externes.

Les échanges d'informations avec les périphériques sont indépendants de la gestion de la mémoire : celle-ci conserve sa capacité maximale quel que soit le nombre de périphériques.

Ce dispositif est, par exemple, utilisé comme interface d'entrées/sorties (E/S) avec le clavier ou l'afficheur de la carte; un autre dispositif identique est réservé à l'utilisateur. Sa particularité réside dans son mode de transmission avec le processeur, qui ne demande que trois liaisons : CRU IN, CR OUT, servant à l'émission et à la réception des informations qui se font en série et en synchronisme avec les signaux d'horloge présents sur la troisième ligne : CRU CLK. Le circuit d'interface TMS 9901 est chargé de gérer les signaux sur ces trois lignes.

Le DMA ne demandant pas l'utilisation de l'interface CRU, il ne nous semble pas utile d'aborder plus en détail son fonctionnement, essentiellement basé sur une bonne connaissance de sa programmation. Par contre, les moyens de communication entre le DMA et le microprocesseur sont identiques à ceux existants entre CRU et le microprocesseur.

II - 2.1.5 Circuit d'accès direct à la mémoire (DMA)

a) Description

C'est un circuit périphérique à 40 broches, réalisé en technologie MOS, spécialement conçu pour être utilisé avec la série des microprocesseurs 9900 de TEXAS. Comme nous pouvons le voir sur la figure II.20. représentant son architecture interne, son moyen de communication avec le microprocesseur est analogue à celui de l'interface 9901 (CRU) puisqu'il contient une unité CRU. Les signaux de contrôle ainsi que l'adressage séquentiel de la mémoire sont produits par le TMS 9911 pour deux canaux de DMA. Sous le même circuit intégré, nous avons en fait deux contrôleurs de DMA pouvant gérer la mémoire indépendamment du CRU (processeur).

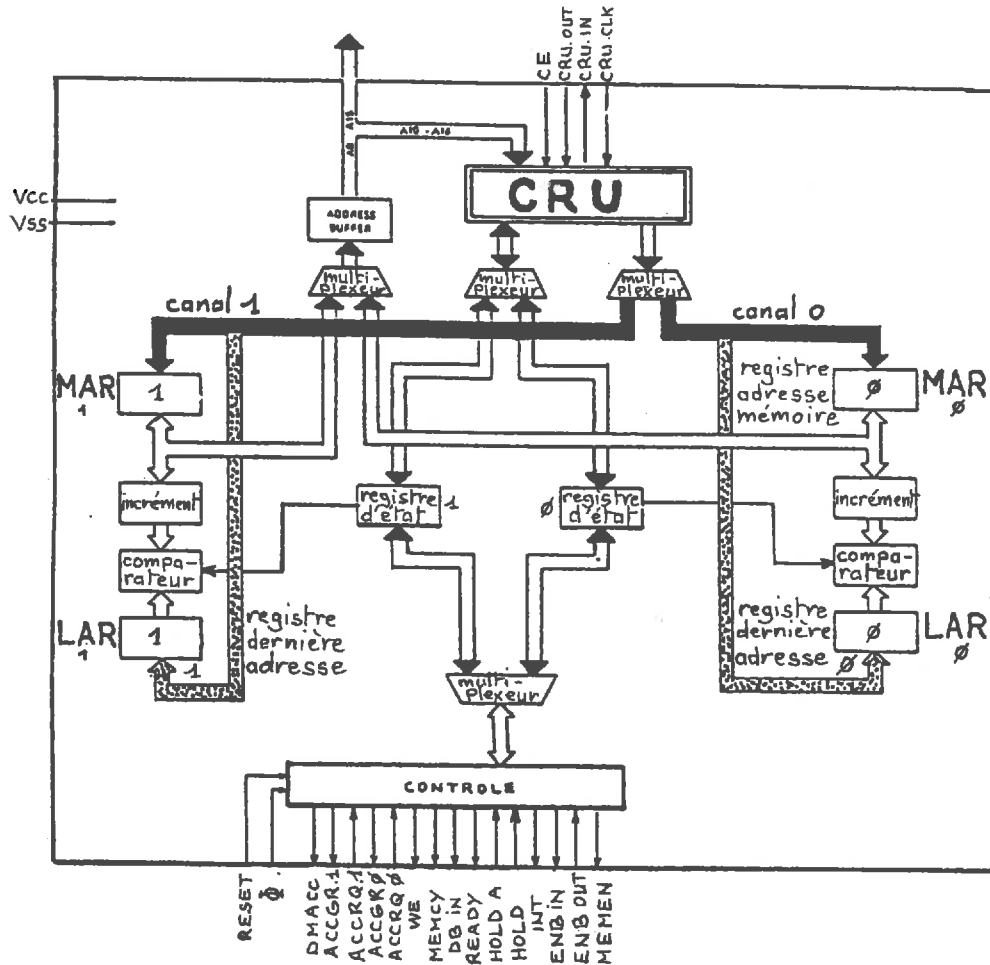


Figure II.20. : architecture interne du circuit de DMA.

b) Architecture

En nous aidant du schéma de la Figure II.20., nous pouvons observer qu'à partir de l'unité logique (CRU), le circuit se divise en deux parties. Chaque canal contient un registre d'adresse mémoire (MAR) et un registre où sera contenue l'adresse du dernier emplacement mémoire à remplir (LAR). Après chaque transfert d'informations, le registre MAR est incrémenté et comparé ensuite au registre LAR; ces deux registres nous seront très utiles pour acquérir avec certitude la totalité de l'image.

c) Liaisons entre DMA et microprocesseur

En reprenant les E/S du schéma ci-dessus (Figure II.20), nous pouvons établir le tableau suivant qui résume leurs fonctions :

CONTROLE DU CPU (processeur)

HOLD	28	I/O	Signal émis par le DMA pour demander au microprocesseur de se mettre en HI (Haute Impédance).
HOLD A	27	IN	(Hold Acknowledge), est le signal émis par le microprocesseur en réponse au "HOLD" du DMA pour lui confirmer que ce dernier a l'accès à la mémoire.
CRU IN	31	OUT	Sortie "série" des données venant du DMA et allant vers CRU OUT du microprocesseur.
CRU CLK	29	IN	Signal de synchro du CRU. Lorsqu'il est actif (état 1), CE est à l'état 0 et indique la validation des données sur CRU OUT du microprocesseur
CE		IN	(Chip-enable) Lorsqu'il est inactif, (état 1), le décodage des adresses CRU du DMA est inhibé, interdisant de cette façon toute fonction du DMA
INT		OUT	Deviens actif (état = 0) lorsque le nombre spécifié d'octets a été transféré et que l'interruption pour le canal (CRU IN, CRU OUT) est validée.

CONTROLE DE LA MEMOIRE

MEMEN	36	OUT	(Memory Enable) Est en HI sauf lorsque le DMA est en "accès mémoire". Ce signal est bas lorsque le DMA est actif exception faite du premier cycle d'horloge de chaque demande en DMA. (HI=haute impédance).
DBIN	37	OUT	Est en HI sauf lorsque le DAM est en "accès mémoire". Il indique la direction du transfert : 1 = lecture ; 0 = écriture
WE	38	OUT	Est en HI sauf lorsque le DMA est en "accès mémoire". C'est l'ordre de lire ou d'écrire les données présentes sur le bus. Ce signal est émis pour chaque "cycle mémoire" du DMA.
READY	34	IN	L'état de ce signal est testé au 3ème cycle d'horloge de chacun des cycles de mémoire du DMA. Si READY = 0, le "cycle-mémoire" est étendu jusqu'à ce que READY = 1
MEMCY	35	OUT	Est en HI sauf lorsque le DMA est en "accès-mémoire". Ce signal est à l'état 1 au dernier cycle d'horloge de chacun des "cycles-mémoire".
ACCRQ	1/3	IN	Cette entrée est utilisée pour (1 ou 0) demander la fonction DMA. C'est la première demande du processus d'accès direct à la mémoire.
ACCER	2/4	OUT	Réponse affirmative de l'accès (1 ou 0) direct à la mémoire. Ce signal est à l'état 0 à chaque cycle-mémoire du DMA. (sauf pour le premier cycle d'horloge).
DMACC	39	OUT	Est actif (état = 0) lorsque le DMA est actif.

CONTROLE DU DMA

ENBIN	24	IN	Est actif lorsque le DMA peut avoir l'accès aux bus.
ENBOUT	23	OUT	Est actif lorsque le DMA n'a aucun accès aux bus (non utilisés pour notre montage)

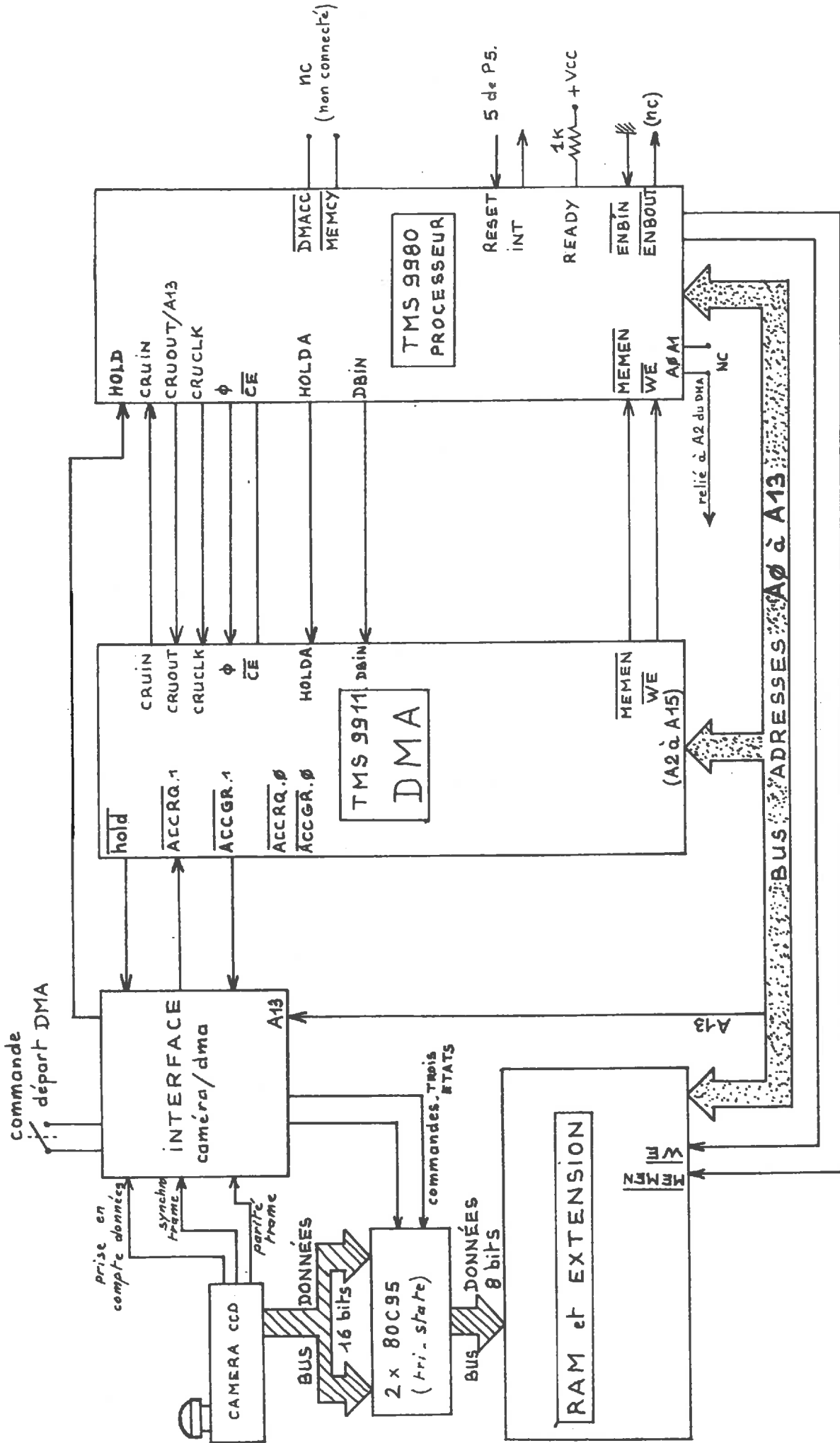
BUS D'ADRESSES

A0 à A13	7 à 20		A0 = MSB à A13 = LSB A0 à A7 = entrée A8 à A12 = pouvant être utilisés en E/S A15 = sortie
ϕ	33	IN	Signal d'horloge provenant de la sortie CK OUT du microprocesseur.
RESET	22	IN	Ce signal désactive les deux canaux du DMA.
VCC	40	IN	+ alimentation en 5v.
VSS	21-32	IN	OV -référence de la masse électrique

Toutes les liaisons électriques sont données sur le schéma du module de commande Figure II.21. ; il est à noter que la plupart des connexions entre DMA et microprocesseur sont facilitées grâce au connecteur P4 (non représenté) de la carte université.

II - 2.1.5.1. Fonctionnement du circuit d'accès direct à la mémoire

Il a pour fonction de se substituer au microprocesseur pour effectuer un transfert d'informations à cadence élevée ; la fréquence maximum de travail peut atteindre celle qui est fixée par les mémoires. Nous savons également que les bus du DMA sont communs avec le microprocesseur et ils vont donc être utilisés en "temps partagé". Il existe principalement trois méthodes qui permettent la gestion de ce partage ; le choix est en grande partie lié à l'activité du microprocesseur pendant les demandes d'accès au DMA.



LIAISONS ELECTRIQUES
DU MODULE DE COMMANDE

Figure II.21.

a) Méthode par vol de cycle

Il s'agit de supprimer un cycle mémoire du microprocesseur. En fait, ce dernier suspend ses activités durant une ou deux périodes du signal d'horloge ; le schéma ci-dessous (Figure II.22.) en résume le déroulement.

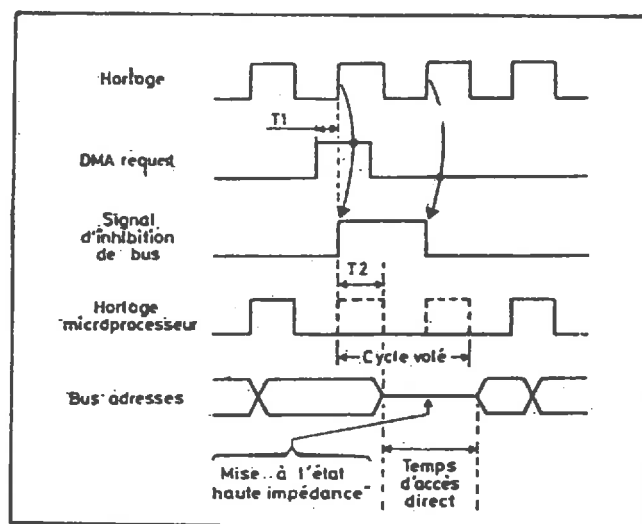


Figure II.22. : chronogramme d'un fonctionnement par "vol de cycle"

Avantages :

- Le programme du microprocesseur n'est pas interrompu.
- L'accès par DMA peut être très rapide si l'on respecte les temps de synchronisation nécessaires au microprocesseur pour se mettre en HI (haute impédance).

Inconvénients :

Le temps d'utilisation du DMA ne peut être que très bref (1 ou 2 cycles d'horloge) car il faut restituer ce cycle au microprocesseur.

b) Méthode par arrêt du microprocesseur (mode HOLD)

Dans ce cas, le microprocesseur qui a reçu l'appel du DMA termine l'instruction en cours et envoie un signal pour indiquer que les bus sont libres. Le DMA exécute l'écriture d'un bloc de données et prévient le microprocesseur, une fois le transfert terminé, que les bus sont libérés.

La Figure II.23, nous indique le chronogramme d'un DMA en mode hold.

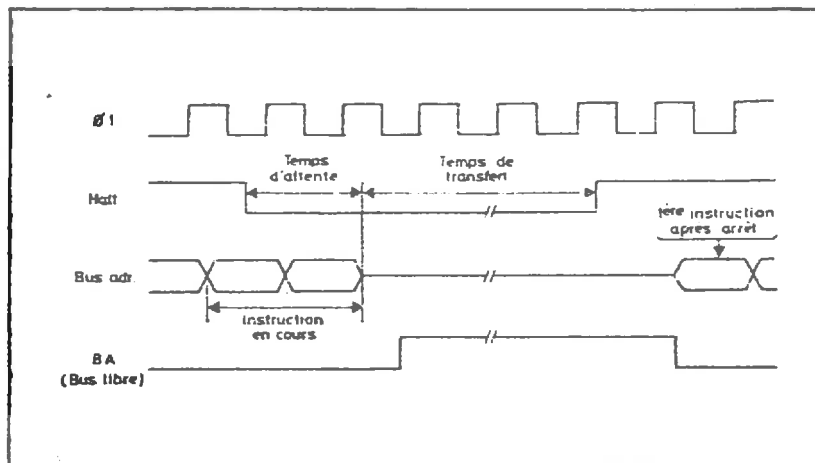


Figure II.23. : chronogramme d'un fonctionnement en mode HOLD

Avantages :

Le microprocesseur étant à l'arrêt, on peut transférer des blocs de données à une vitesse identique à la vitesse d'accès de la mémoire.

Inconvénients :

- a) La prise en compte de l'appel en DMA n'est pas rapide puisqu'elle ne peut se faire qu'à la fin de l'exécution d'une instruction.
- b) Le microprocesseur étant arrêté, il ne doit pas avoir de tâche importante à exécuter.

c) Méthode par multiplexage

L'accès à la mémoire est multiplexé entre le microprocesseur et le DMA. En fait, tous les "temps morts" durant lesquels le microprocesseur ne génère pas de cycle mémoire sont utilisés; les bus d'accès à la mémoire sont libres et par conséquent utilisables par le DMA. La figure II.24. représente la chronogramme d'un fonctionnement en mode "multiplexé".

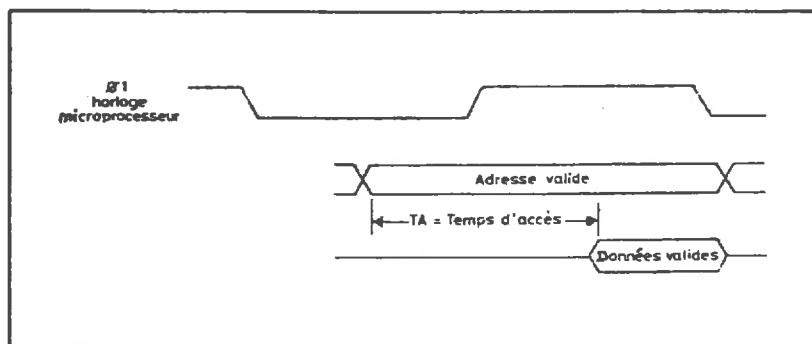


Figure II.24. : Chronogramme d'un DMA en "mode multiplexé".

Avantages :

C'est une méthode très performante car le microprocesseur n'est ni arrêté ni ralenti.

Inconvénients :

Un circuit d'interface à 3 états est nécessaire ainsi que sa commande. La complexité de sa mise en oeuvre est grande.

Dans notre cas, le microprocesseur ne sera pas utilisé pendant la prise d'image et nous sommes bien évidemment intéressés par le transfert de "blocs" de données (mot de 16 bits). La méthode "HOLD" nous semble la plus adaptée.

II - 2.1.5.2. Principe de fonctionnement du DMA en mode "HOLD"

En nous reportant au chronogramme de la Figure II.25, nous pouvons suivre le processus d'accès en DMA à partir d'une commande de prise d'image. Cette dernière va obligatoirement transiter par la carte d'interfaçage caméra/DMA, de manière à ce que tous les débuts de mémorisation d'images se fassent toujours au même instant d'un cycle de balayage, c'est-à-dire : que l'information soit prise à partir du premier mot de la première ligne de la même trame.

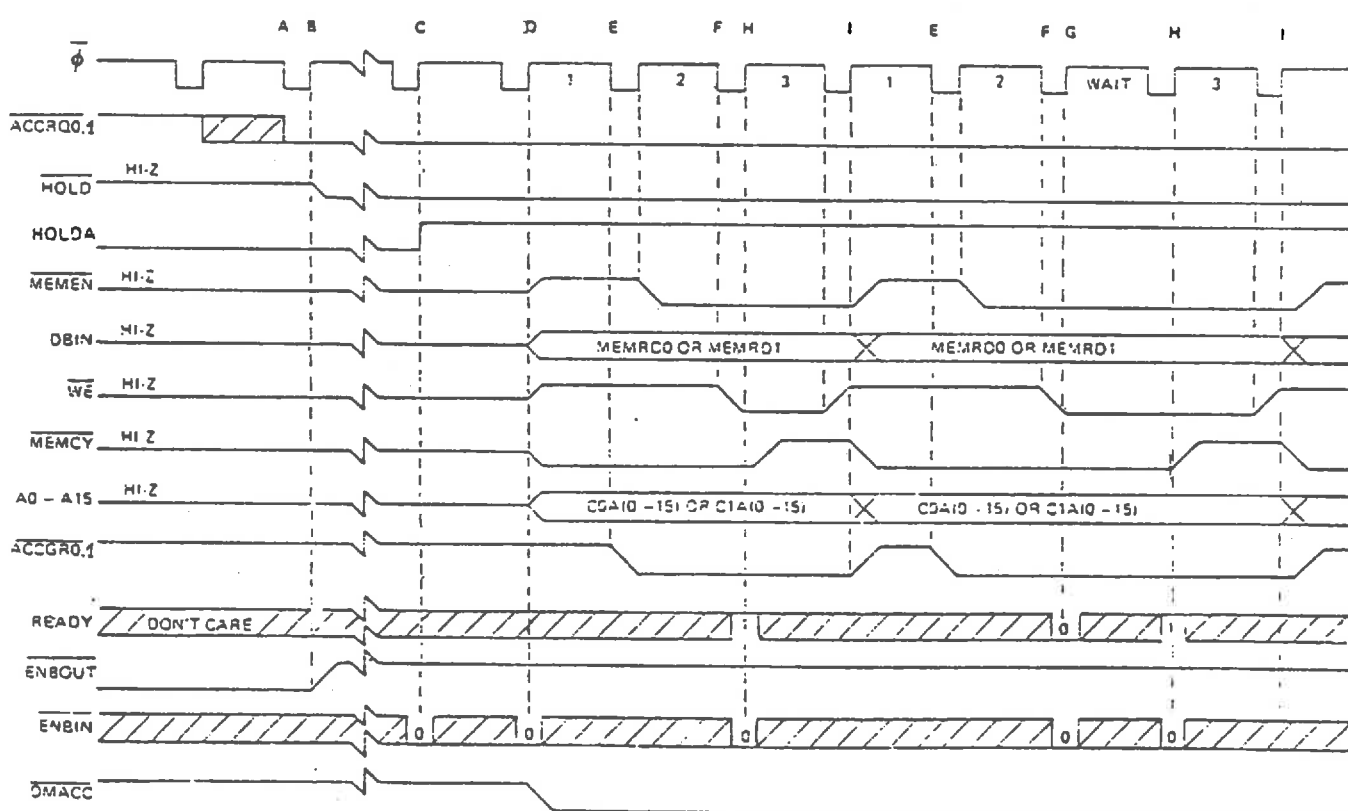


Figure II.25 : Chronogramme d'un début de cycle en DMA avec un état d'attente.

Toutes ces conditions étant réunies, un signal ACCRQ est envoyé au DMA. Ce dernier envoie le signal HOLD au microprocesseur pour lui demander de se mettre en état de haute impédance. Le microprocesseur ne peut pas réagir immédiatement dans le cas où il a une tâche en cours (instruction à exécuter) et devra s'en acquitter avant de pouvoir répondre au DMA par le signal HOLDA. Dès ce moment, l'accès direct à la mémoire est possible et le DMA a libre accès aux bus et au contrôle de la mémoire au moyen des signaux suivants :

- MEMEN : Valide l'ensemble du plan mémoire
- DBIN : Indique le sens de transfert des informations.
- WE : Est utilisé comme signal d'écriture.

Tous ces signaux sont évidemment synchronisés sur le signal d'horloge (.). Nous observons que ACCGR qui confirme l'accès à la mémoire et, par conséquent, la possibilité d'écrire, est actif un cycle d'horloge avant WE; nous utiliserons cette caractéristique conjuguée au cycle de A13 pour diviser l'information venant de la caméra codée sur 16 bits, en deux mots de huit bits commutés successivement sur le bus de données du microprocesseur. Ceci nous amène à donner quelques détails sur le montage réalisé pour remplir cette fonction.

Sur le chronogramme ci-dessous Figure II.26, nous remarquons que le cycle de A13 est contenu dans l'intervalle de temps comprenant deux cycles d'écriture

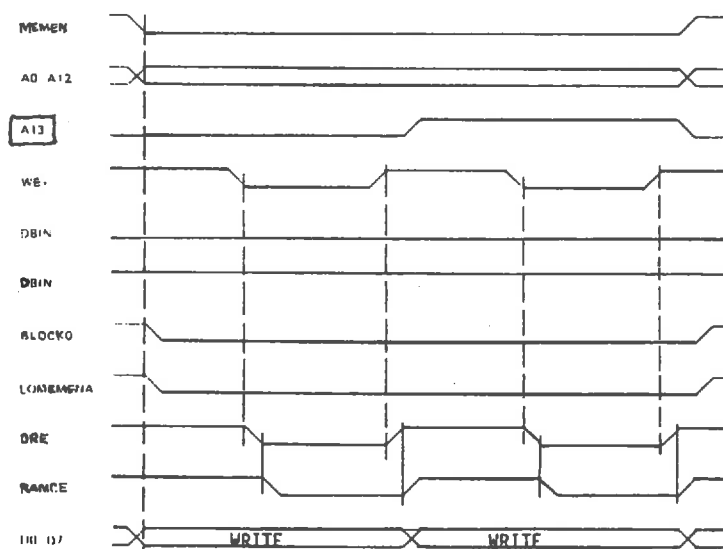


Figure II.26.

Nous avons choisi des circuits à trois états pour obtenir en sortie soit un état "haute impédance", soit une commutation des huit premiers bits du mot dans un premier temps (1er WE) et des huit derniers bits du mot dans un deuxième temps (2ème WE). Le schéma est donné Figure II.27.

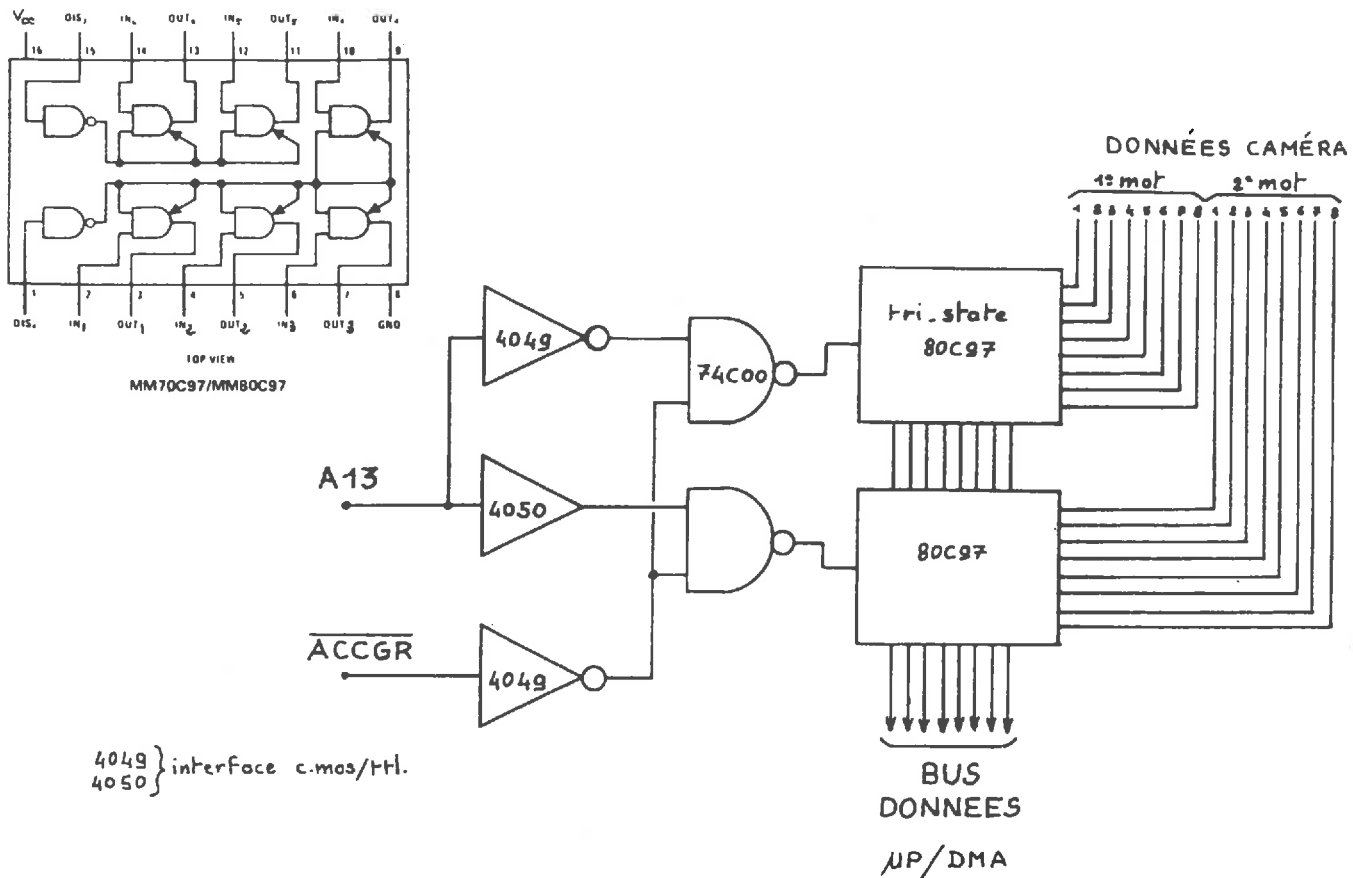


Figure II.27. : Schéma de la commande des circuits à trois états (tri-state).

Pour chaque ordre de prise en compte de l'information, nous provoquerons une demande d'accès en DMA qui comprendra deux cycles d'écriture correspondant à la mémorisation de quatre points de l'image.

Une fois cette opération terminée, deux possibilités sont offertes pour "rendre la main" au microprocesseur.

Première possibilité

Les blocs de transfert étant comptés dans le registre MAR, nous générons une interruption lorsque l'égalité $MAR = LAR$ est obtenue.

Deuxième possibilité

Remettre le niveau de $ACCGR = 1$ à condition que ce changement d'état se fasse dans les 100 nanosecondes qui suivent la remontée de $ACCGR$.

Les deux solutions sont utiles d'autant plus que nous avons préféré rendre le contrôle au microprocesseur après chaque bloc de données afin d'augmenter la fiabilité de leur acquisition.

En effet, comme nous le verrons sur le schéma de l'interface, chaque émission de ACCRQ (demande d'accès au DMA) n'est possible que si certains signaux de synchronisation de la caméra ont des niveaux requis. Nous avons ainsi une sécurité supplémentaire sur l'acheminement des données en évitant des décalages possibles. Il est à noter que ce choix a également été possible parce que l'intervalle de temps entre deux prises de données est suffisant.

En résumé, nous agirons sur ACCRQ (mise à l'état haut) après chaque transfert de données pour rendre le contrôle au microprocesseur. La condition MAR = LAR seulement obtenue après le transfert d'une image complète, aura le même effet.

La Figure II.28, nous indique la réponse des divers signaux du DMA avant, puis après, le changement de niveau de ACCRQ. C'est donc la fin de cycle du fonctionnement en DMA; nous remarquons le retour à l'état 1 de HOLD suivi du basculement de HOLDA qui confirme la mise en "haute impédance" du DMA.

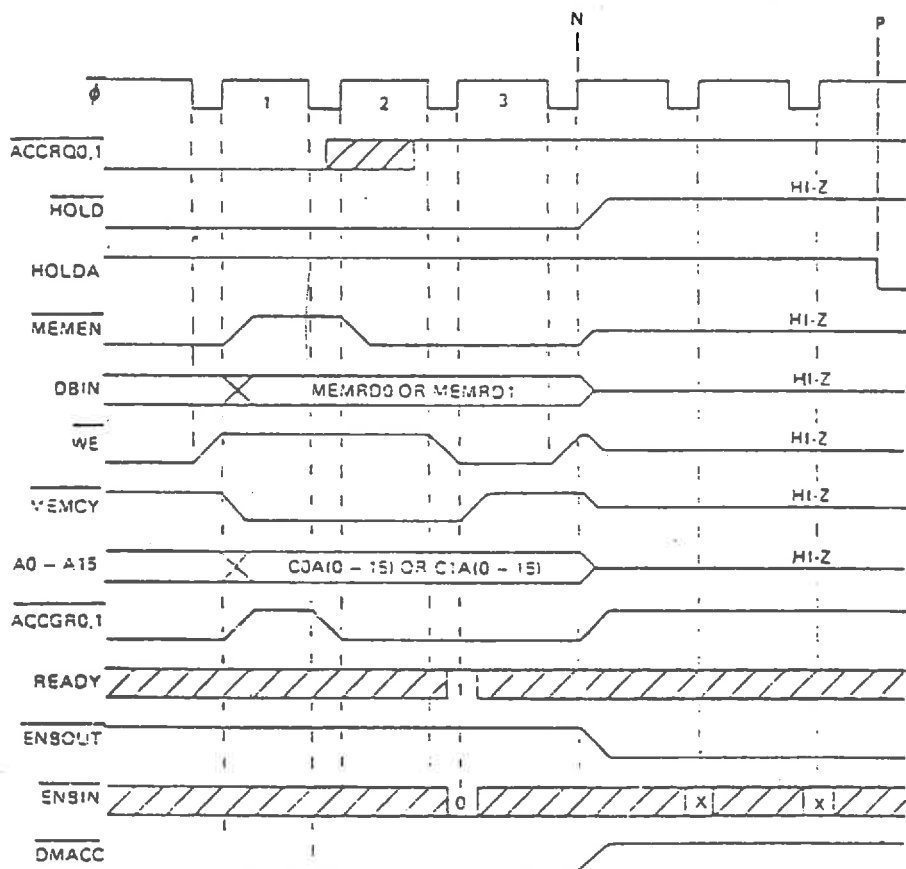


Figure II.28.: Chronogramme d'une fin de cycle en DMA

II - 2.1.6. Logique de l'interface camera/DMA

La lecture et le traitement des données sur ordinateur, permettront par exemple, de reconstituer une image. Pour cela, chaque début d'enregistrement doit toujours correspondre au même point de la matrice CCD; l'interface assure cette fonction.

Le schéma théorique ainsi que l'ordre dans lequel sont détectés les signaux de la caméra sont représentés Figure II.29, (logique interface).

Fonctionnement

L'action sur le bouton poussoir de déclenchement d'image commande, si la vitesse de balayage est correcte, un monostable qui délivre une impulsion qui restera positive durant toute l'acquisition d'image.

Cette impulsion libère la BASCULE 1, qui sera activée dès qu'elle recevra un front négatif du signal de parité-trame. L'entrée D étant au +, nous obtenons en sortie Q une impulsion positive qui libère à son tour la bascule 2. L'entrée D de cette dernière reçoit les ordres de prise en compte (OPC) qui seront synchronisés par $\phi 3 = 2$ MHz présent sur le "CLOCK".

Par sécurité, les OPC passeront par une porte AND qui ne sera "passante" que si la synchronisation trame est au niveau 1.

La réponse de la BASCULE 2 sera la suivante (figure II.30.) :

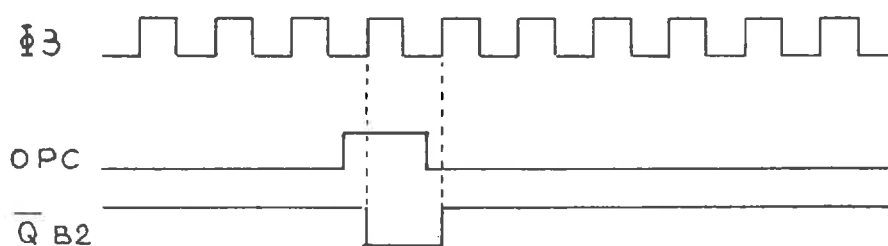
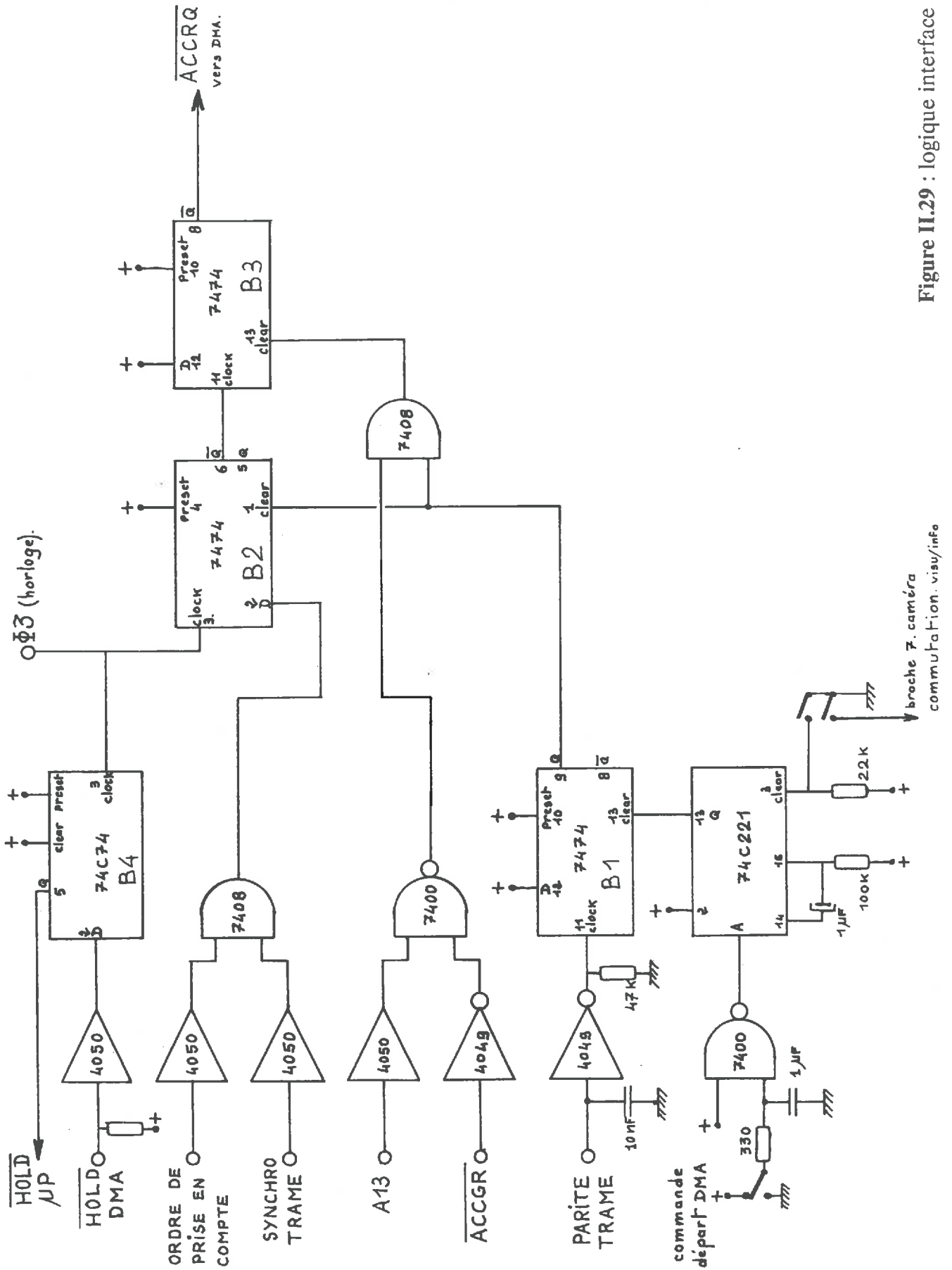


Figure II.30.

Figure II.29 : logique interface



Le niveau de Q de la BASCULE 2 sera transmis sur l'entrée "clock" de la bascule 3 qui réagira sur le front positif de l'impulsion à la condition de ne plus être inhibée (clear = 1).

La sortie Q de B3 qui est la commande ACCRQ prend le niveau 0. Nous agissons sur "clear" dépendant de A13, ACCGR et de la parité trame, pour remettre ACCRQ au niveau 1 dans l'intervalle de temps imposé. (300 ns après le front négatif d'ACCGR). En entrées/sorties de la porte NAND, les niveaux sont les suivants (figure II.31) :

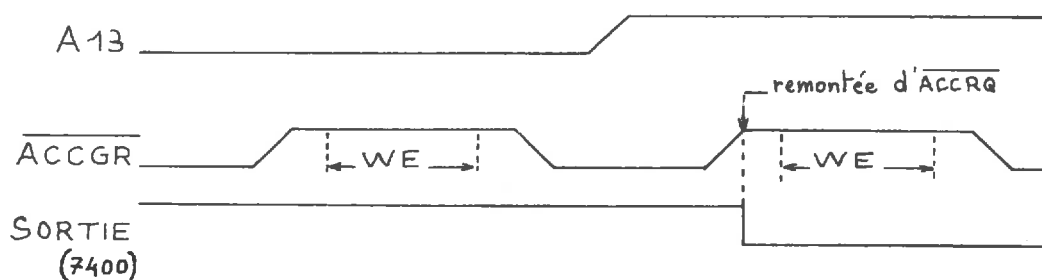


Figure II.31.

La sortie de la porte NAND est reliée au "clear" de B3 par l'intermédiaire d'une porte AND qui est normalement "passante" si la parité de la trame correspond au choix fait à l'origine.

Le rôle de la BASCULE 4 est de synchroniser les changements d'état du signal hold avec ϕ_3 .

II - 3. L'ENREGISTREUR

C'est un enregistreur à cassette TAD 940E qui est réalisé en technologie CMOS ; il a par conséquent, une très faible consommation.

Les données numériques sont enregistrées suivant la norme ECMA 34 dont les caractéristiques sont les suivantes :

Les données entrent sur 8 bits parallèles et le changement s'effectue par blocs formés de :

- Un préambule de 8 bits (10101010)
- 256 octets de données
- Le CRC (Contrôle Cyclique d'Enregistrement) est sous la forme $X^{16} + X^{15} + \dots + X^2 + 1$
- Un postambule de 8 bits (10101010)

L'enregistreur gère les "gaps" interblocs qui sont des espaces de 20mm minimum servant de séparation entre blocs de données.

Un ordre de fin de fichier (EOF) est codé par un préambule de 16 bits à zéro, d'un postambule et sont précédés et suivis d'un gap allongé.

La vitesse de transfert des informations est de 800 octets par seconde. Le schéma de branchement par l'intermédiaire de P5 du microprocesseur est donnée en annexe.

Le chronogramme de chargement des données est représenté Figure II.32 ; les principaux signaux sont les suivants :

- PRET : Prend le niveau 1 lorsque la bande est chargée.
- DE : (Demande d'écriture), est actif au niveau 0. La première demande de mot apparaît environ 110 ms après le front positif.
- DM : (Demande mot) Impulsion négative de 20 microsecondes. Le mot est pris en compte sur le front négatif.
- SE : (Status écriture) Est maintenu le temps nécessaire à l'introduction de CRC et du postambule sur la bande. Sa durée maximale est de 5 ms.

II - 4. DESCRIPTION DU LOGICIEL D'APPLICATION

L'appareillage étant une maquette probatoire, nous n'avons pas élaboré un programme sophistiqué. Nous nous sommes limités à ce qui nous permettait de faire des enregistrements d'une manière rapide et simple sur le terrain.

Avant d'aborder en détail le développement du logiciel examinons brièvement les principales caractéristiques concernant le système d'exploitation du microprocesseur et de l'assembleur

TEXAS.

a) Le moniteur UNIBUG

C'est un programme général mémorisé en ROM qui supervise le microprocesseur et qui permet à l'opérateur de communiquer avec lui. Il est composé de sous-programmes aux tâches bien définies facilitant l'écriture et la mise au point des programmes.

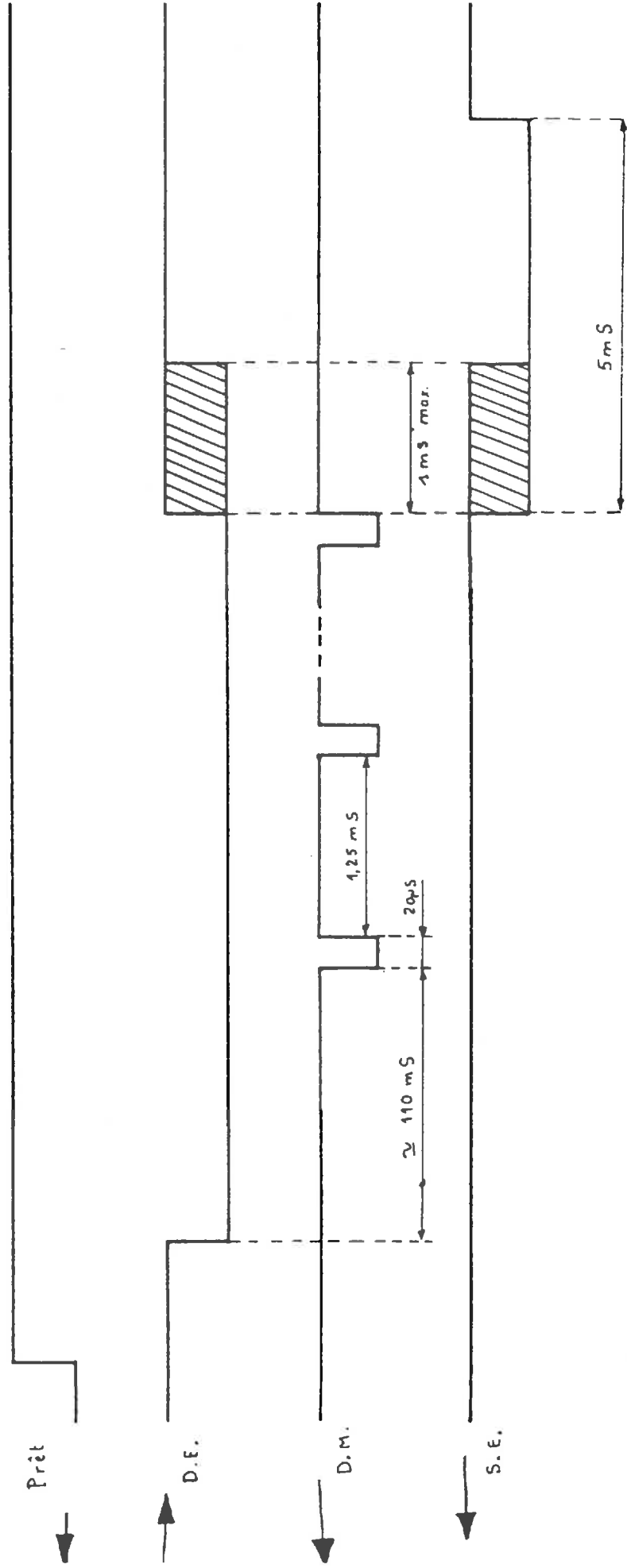


Figure II.32. Chronogramme de chargement des données

UNIBUG reconnaît quinze commandes et contrôle sept sous-programmes utilitaires qui effectuent des opérations d'entrée/sortie qui sont appelées par l'intermédiaire des **Instructions d'opération étendue (XOP)** du langage assembleur.

b) L'assembleur symbolique

Il traduit en code machine ou en code objet des instructions sources écrites en langage assembleur. Ce dernier comprend 69 instructions (liste donnée en annexe), reconnaît la pseudo-instruction NOP (non opération) ainsi que six directives d'assemblage : AORG - BSS - DATA - END - EQU - TEXT.

c) Les modes d'adressage

Le microprocesseur en reconnaît sept, qui sont :

- L'adressage direct par registre,
- L'adressage indirect,
- L'adressage indirect par registre avec autoincrémentation
- L'adressage mémoire symbolique,
- L'adressage immédiat,
- L'adressage relatif au compteur de programme.

II - 4.1. Fonctions du programme

Le programme complet étant joint en annexe, nous énumérerons les manoeuvres successives et donnerons l'organigramme illustrant les tâches principales.

La mise au point du programme peut se décomposer en quatre fonctions :

- Identifier l'enregistrement,
- Acquérir l'image,
- Tester la qualité de l'exposition de l'image.
- Transférer les données sur l'enregistreur.

II - 4.1.1. Identification de l'enregistrement

Suite des opérations (organigramme Figure II.33) :

- 1) Initialisation du programme par l'opérateur.
- 2) Chargement de la date : elle est maintenue tant que le microprocesseur reste sous tension.
- 3) Changement du numéro de parcelle : deux chiffres ou lettres (de A à F), sont réservés. C'est une référence de type de mesure ou de numéro de parcelle; dès que cette valeur est entrée au clavier, elle est automatiquement suivie d'un numéro à deux chiffres appelé "numéro de vue" incrémenté à chaque image si le numéro de parcelle reste inchangé.
- 4) Le numéro de parcelle et de vue étant corrects, la touche "return" met le DMA en état d'attente. Le clavier du microprocesseur reste inopérant.

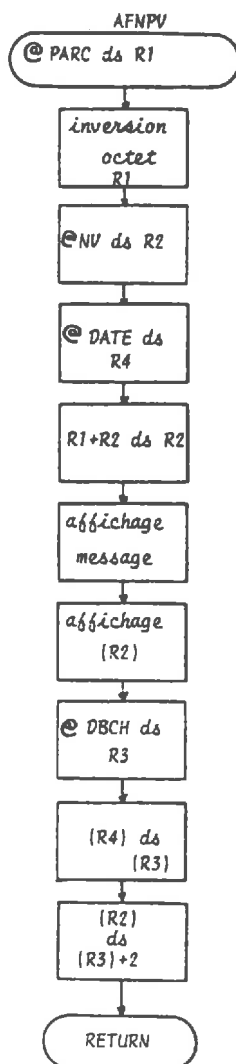


Figure II.33 : Organigramme de l'affichage du numéro de parcelle et numéro de vue

Commentaires concernant la fonction réalisée Fig. II. 33.

La date et le numéro de parcelle sont des valeurs décimales qui sont considérées par le microprocesseur comme étant hexadécimales. Les paramètres introduits au clavier sont placés dans un registre RN puis convertis par l'XOP 9 en hexadécimal.

Après l'acquisition des paramètres, les instructions peuvent être les suivantes :

- XOP Rn, 9 : Rn est le registre où l'on range le mot hexadécimal.
 DATA NUL : Adresse d'attente si aucun caractère n'est rentré.
 DATA ERR : Adresse de branchement à un sous-programme d'erreur si un caractère non hexadécimal est reçu.

Lorsque les paramètres sont chargés et visualisés, la touche "RETURN" branche le programme à la fonction suivante.

L'accès au sous-programme d'erreur est accompagné d'un "bip" sonore ; on utilise pour cela une fonction déjà réalisée par le moniteur et dont le branchement s'effectue à l'adresse > 3008.

L'organigramme de l'acquisition d'un paramètre et du sous-programme d'erreur sont représentés ci-dessous Figure II.34.

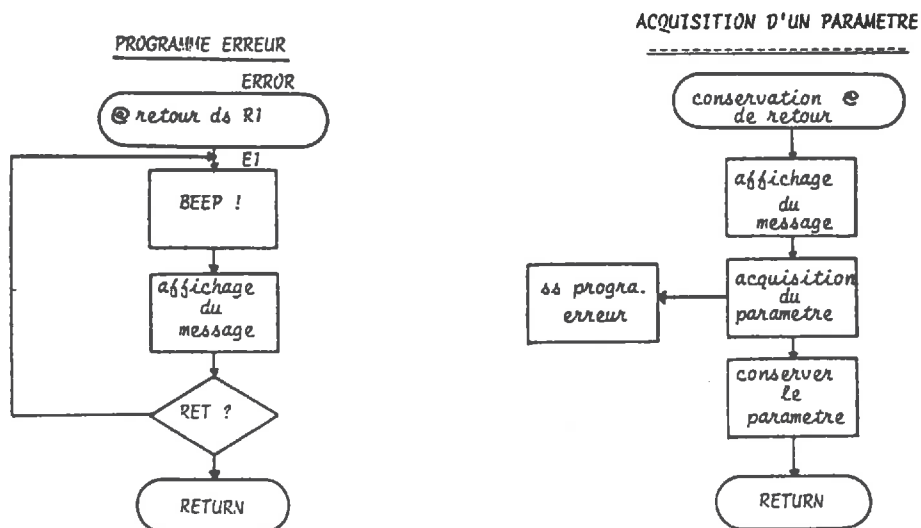


Figure II.34

L'affichage des caractères s'effectue par l'XOP 10. qui envoie sur le terminal les quatre caractères hexadécimaux contenus dans Rn; il faudra auparavant réaliser l'opération suivante :

Nous avons en mémoire,	_____
après l'acquisition des	0 0 : n° Parcelle@ PAR
paramètres, l'acquisition	_____
indiquée ci-contre :	0 0 : n° Vue

Il suffira donc de transférer le contenu de ces adresses dans deux registres de travail et d'inverser les octets contenant le numéro de parcelle. La somme des deux registres nous donnera les positions désirées soit :

n° Parcelle : n° de vue :

II - 4.1.2. Acquisition de l'image

Comme nous l'avons vu sur les schémas électriques une simple action sur un bouton poussoir déclenche la prise d'image.

L'ordre d'acquérir une donnée (ACCRQ) engendre au sein du circuit de DMA une suite d'opérations logiques qui assurent la gestion de la mémoire. Ceci n'est possible qu'à la condition d'avoir préalablement programmé le circuit de DMA; pour cela nous avons agi sur l'état de chacun des bits contenus dans le registre interne du DMA.

Le tableau 3, page suivante résume les fonctions utilisées dans notre programme. En annexe, nous avons placé l'organigramme général représentant un cycle complet d'acquisition de données en DMA (Documentation fournie par le constructeur)

Le programme de validation du DMA est inclus dans le programme principal après la dernière instruction relative à l'identification de l'image.

BITS D'ENTREE
 Bits appliqués à un seul canal
 COMMANDES CPU → OMAC via CRU

N° BIT	NOM	COMMENTAIRE
22	IENB _n	Validation interruption 1: Activation $\overline{\text{INT}}$ quand $\text{MAR}_n = \text{LAR}_n$ 0: Desactive la sortie $\overline{\text{INT}}$
21	OPCMP _n	Ecrire un 0 efface l'interruption du canal n Ecrire un 1 n'a pas d'effet
20	WRDSL _n	Selection mot 0: Incrementation d' par 1 1: Incrementation d' par 2
19	MEMRD _n	Type d'accès memoire 0: Ecriture DBIN = 0 1: Lecture DBIN = 1
18	CNTNU _n	1: Chaque action sur $\overline{\text{ACCRQ}}$ du canal préalablement validé provoquera un transfert de données et une incrementation de MAR_n , 0: Le canal n est automatiquement désactivé quand la valeur de LAR_n est atteinte
17	CHENB _n	Validation du canal 1: Autorise le transfert de données par le canal n 0: Desactive le canal n ($\overline{\text{ACCRQ}}$ est ignoré)
16	CnASEL	Sélection adresse 1: Chargement de MAR_n 0: Chargement de LAR_n
0 à 15		D _n charge dans MAR_n et LAR_n en fonction du bit 16 D _n aura incrementation de MAR_n par 1 ou 2 en fonction du bit 20 BIT 0 = MSB BIT 15 = LSB
N°BIT	NOM	COMMENTAIRE
31	SURST	RESET LOGICIEL Effacement des registres $\text{MAR} = \text{LAR} = 0$ Le circuit DMA peut maintenant être initialiser par le CPU
30	CHAIN	1: Les 2 canaux sont commandés par $\overline{\text{ACCRQ0}}/\overline{\text{ACCRQ1}}$ Les 2 canaux doivent être préalablement validés Le canal 0 a la priorité suivi par le canal 1 lorsque le précédent a fini son adressage 0: Utilisation séparée des canaux
25	CHSEL	Selection du canal 0: canal 0 1: canal 1

Tableau 3

Les instructions sont les suivantes :

PROGRAMME

LI R12, > 0000	Adresse de base de DMAC
SBO 31	Reset DMAC
SBO 25	Selection du canal 1
SBO 20	Incrementation par 2
SBZ 19	Ecriture mémoire
SBO 18	Fonctionnement en coup par coup
SBZ 30	On travaille avec un seul canal
SBO 22	Interruption validée
LI RO > 1004	Valeur de début
SBO 16	Choix de MAR
LDCR RO, 0	Chargement de MAR
LI RO, > 24D4	Valeur de fin
SBZ 16	Choix de LAR
LDCR RO, 0	Chargement de LAR
SBO 77	Validation du canal 1.

Remarques :

Les données de la caméra sont placées en mémoire de l'adresse > 1004 à l'adresse > 24D4.

Ces adresses sont respectivement "chargées" dans le registre MAR et LAR du DMA.

Les numéros de canaux (1 ou 2) indiquent le DMA en service (Un boîtier contient deux DMA indépendants).

II - 4.1.3. Test de l'image

Lorsque l'image est en mémoire, le message "fin de chargement" apparaît. Après un "RETURN", de l'opérateur, l'image peut être :

- soit acceptée, et dans ce cas elle est prête à être transférée sur l'enregistreur,
- soit rejetée ("bip" sonore et blocage de l'avance du programme).

Ce choix est le résultat d'un test de l'image dont la fonction est la suivante :

L'information d'une image correspond à la luminance (ou niveau d'éclairement) de chacune des 10.000 cellules de la matrice. Cette information est, nous l'avons vu, codée sur

quatre bits binaires, soit seize niveaux codés ensuite par le microprocesseur en valeur hexadécimale de 0 (noir) à F (blanc).

La valeur maximum "F" correspond à l'éclairement limite de l'état de saturation ; pour des mesures relatives d'éclairement, nous ne pouvons donc accepter comme valeur que : $F - 1 = E$ (valeur maximale)..

Avant d'initialiser le programme, l'opérateur a la possibilité de charger à l'adresse > 0202 le nombre de cellules pouvant avoir la valeur "F", c'est-à-dire le nombre de cellules maximum pouvant être saturées. Si ce nombre est dépassé, l'image est rejetée.

L'organigramme du test de l'image est représenté Figure II.35.

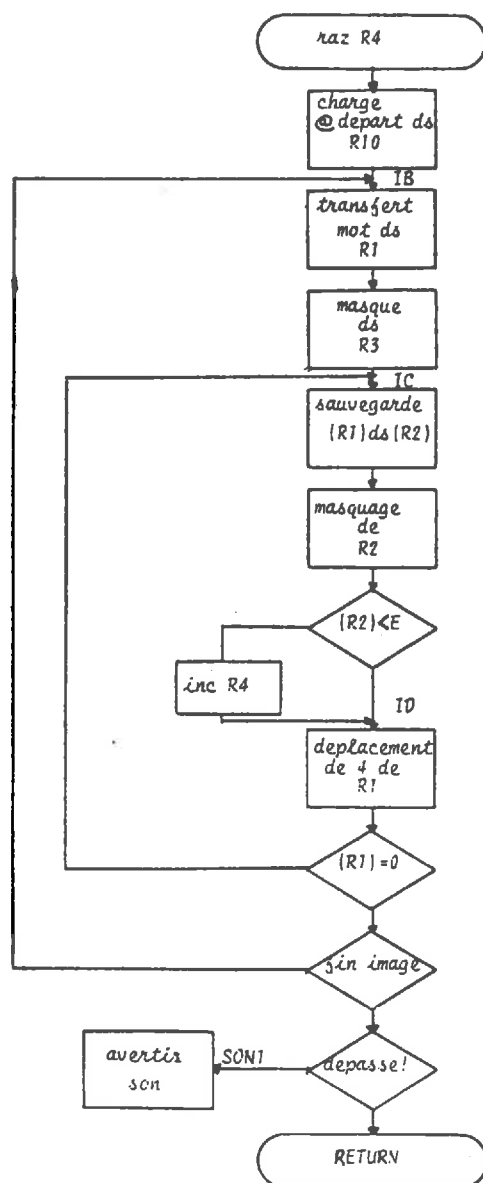


Figure II.35. : Organigramme du test de l'image

Commentaires concernant la fonction réalisée Fig II.35.

Pour tester chaque cellule, il faut isoler chaque digit correspondant. Il suffit pour cela de marquer les trois digits qui ne sont pas lus, de lire la valeur du quatrième et d'effectuer ensuite un décalage de quatre bits dans le registre afin d'isoler une nouvelle valeur.

Les opérations sont les suivantes :

- 1 - Sauvegarde de R1 dans R2,
- 2 - Chargement du masque dans R3, (Valeur du masque = FFF0)
- 3 - Masquage de R2

Nous obtenons :

C1 : C2 : C3 : C4 : R 1

0 : 0 : 0 : C4 : R 2

- 4 - Comparaison ensuite avec la valeur > E.
Si R2 est supérieur à E, nous incrémentons R4, qui est réservé au comptage.
- 5 - Décalage de quatre bits à droite dans R1 et retour à l'opération (4).
Le registre R10 est comparé à l'adresse de fin d'image (@ FIMA); Lorsqu'il y a égalité l'opération de test est terminée.

II - 4.1.4. Transfert des données sur l'enregistreur

- La touche "return" commande le démarrage du transfert des données; il faudra pour cela que la bande magnétique soit positionnée correctement, c'est-à-dire en dehors de la bande-amorce.

- Dans le cas contraire, un message "positionnement-cassette" est affiché.

L'organigramme de gestion du transfert des données est représenté Figure II.36.

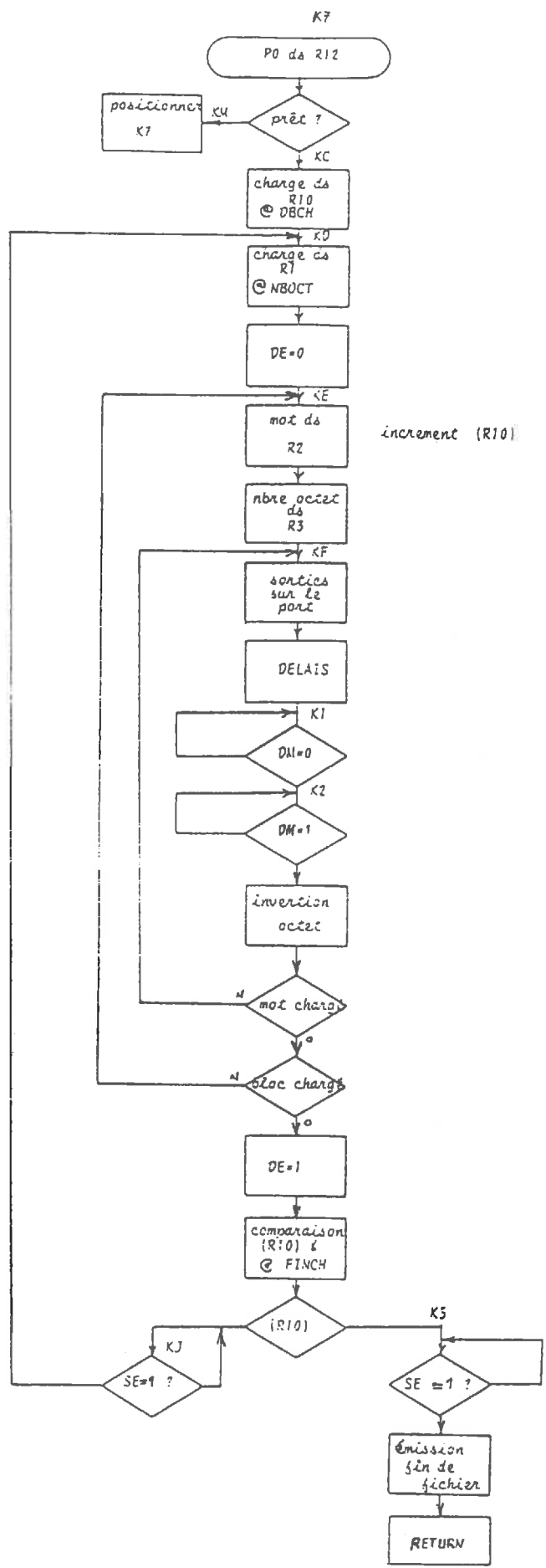


Figure II.36 : Organigramme de gestion du transfert des données.

Commentaires concernant la fonction réalisée Figure II.36.

Le sous-programme de gestion de l'enregistreur a son vecteur de branchement situé à l'adresse PTAD. Pour le transfert de l'information nous utilisons l'interface d'entrées/sorties à partir du bit P0. Il faut donc en tout premier lieu initialiser R12 à l'adresse de P0. Les données utilisées dans le programme principal sont les suivantes :

- Adresse de début de chargement conservée en mémoire à : DBCH.
- Adresse de fin de chargement conservée en mémoire à : FINCH.
- Le nombre de mots de seize bits par bloc de transfert est en mémoire à : NBOCT.

Ces données étant fixes, elles ont été stockées en ROM.

Le bus de données de l'enregistreur comme celui du microprocesseur contient huit bits alors qu'un mot mémoire en contient seize. Un transfert devra donc s'effectuer en deux temps : octet bas en premier puis octet haut.

Lorsque le transfert des données est terminé, un branchement est effectué au niveau du programme qui concerne l'identification de l'image pour demander à l'opérateur s'il y a modification du numéro de parcelle. La réponse N (non) est le point de départ d'une prochaine prise d'image.

III - TEST DU SYSTEME

Deux types de tests ont été réalisés.

Dans le premier, nous évaluerons la variation du signal enregistré en fonction de l'angle d'incidence d'une source de lumière stable.

Dans le deuxième test, nous comparerons les résultats obtenus au moyen de notre système avec les données issues de photographies. Suite aux premières analyses, nous calibrerons notre appareillage puis nous validerons cette procédure et discuterons les facteurs qui influenceront la précision de la mesure.

III - 1. Effet de l'angle de visée

Lors des premiers essais d'enregistrement et de lecture d'images hémisphériques, nous avons constaté que la représentation d'un ciel uniformément voilé se traduisait par une diminution de l'éclairement de l'image d'autant plus importante que l'on s'écartait de la visée verticale du ciel.

La diminution d'éclairement peut avoir différentes causes :

- Dans des conditions de prise d'image à l'extérieur, elle est liée à la luminance du ciel qui croît au fur et à mesure que l'on se rapproche du soleil.
- Le système doit engendrer également des variations d'éclairement reçu au niveau de la matrice qui dépendent de l'angle zénithal de visée. Nous allons étudier plus en détail ces sources de variations liées au système.

Variation théorique

- Loi de projection du fish-eye :

En nous reportant à la figure III.1.b nous observons que la position d'un point sur la surface de l'hémisphère est caractérisée par son angle azimutal α et son angle zénithal θ . La loi de projection est la relation existant entre la position de ce point et les coordonnées de sa projection sur le plan focal. Ces coordonnées peuvent être exprimées dans une représentation polaire par un rayon θ' et un angle azimutal α' . Compte tenu de la symétrie axiale de l'objectif fish eye, il y a identité entre α et α' . Par contre, il existe différents types de lois de projection

définissant la relation entre θ et θ' ; le choix est déterminé par le but recherché lors du traitement de l'image (respect des surfaces, des distances, des formes ...).

Les types de projections les plus utilisées sont :

- La projection " équidistante ou polaire"

qui s'exprime par :

$$\theta' = c \cdot \theta$$

(c = coefficient)

Elle donne une relation linéaire entre θ , hauteur de visée d'un point de l'hémisphère et θ' , distance de la projection de ce point par rapport au centre du cercle.

Sur la figure III.1.a.(1), projection de P en P_1 pour $\theta = 45^\circ$.

Dans ce cas, $P_1 O = P_1 B$.

- La projection orthographique qui s'exprime par : $\theta' = (\pi/2) \sin \theta$

La projection d'un point de l'hémisphère se fait selon une direction normale au plan. Sur la figure III.1.a.(1), projection de P en P_2 . Avec ce type de projection, les surfaces situées au centre de l'image sont dilatées, au détriment de celles situées sur le bord. La figure III.1.a.(2) montre une application de cette projection en cartographie.

- La projection stéréographique exprimée par : $\theta' = (\pi/2) \tan \theta/2$
($0 \leq \theta \leq \pi/2$)

Elle consiste à projeter une sphère sur le plan d'un grand cercle (cercle de même diamètre que l'hémisphère). La projection d'un point d'une hémisphère se fait à partir du pôle de l'autre hémisphère. D'après la Figure III.1.a.(1), la projection de P en P_3 est l'intersection de la droite P A avec le plan. Ce type de projection permet d'obtenir une bonne restitution des formes ; il y a par contre distorsion des surfaces. Figure III.1.a.(3).

- La projection de Lambert qui s'exprime par : $\theta' = (\pi/\sqrt{2}) \sin \theta/2$

Il y a égalité entre une surface prise sur une région de l'hémisphère et la surface de cette même région projetée sur le plan.

L'objectif fish eye que nous avons utilisé est un NIKKOR $f = 7.5 \text{ mm}$, $1 : 5.6$ ayant un angle d'ouverture de 180° ; il a été choisi dans la plupart des expérimentations précédentes utilisant les photographies, pour sa loi de projection équidistante.

Cette loi de projection détermine la variation d'éclairement reçue par la matrice CCD en fonction de l'angle zénithal. A partir d'éléments de surface identiques sur un hémisphère et projetés suivant des angles d'incidence variable, Herbert (1987) a montré quelles étaient les variations de surface qui en résultaient. Une explication succincte est possible en nous aidant de la Figure III.1.b.

En traçant à la surface de l'objectif, la projection, d'un tronc de cône de demi-angle δ centré sur un angle zénithal θ . Deux cas sont représentés :

1er cas : $\theta = 0$ (visée verticale).

Le cône découpe un cercle sur la surface de l'hémisphère qui, projeté sur le plan correspond à la surface A_0 .

2e cas : $\theta \neq 0$.

Le cône découpe sur la surface de l'hémisphère un cercle de même surface que précédemment dont la projection forme un ovoïde de surface A_{θ} , centrée à une distance r du centre de l'image.

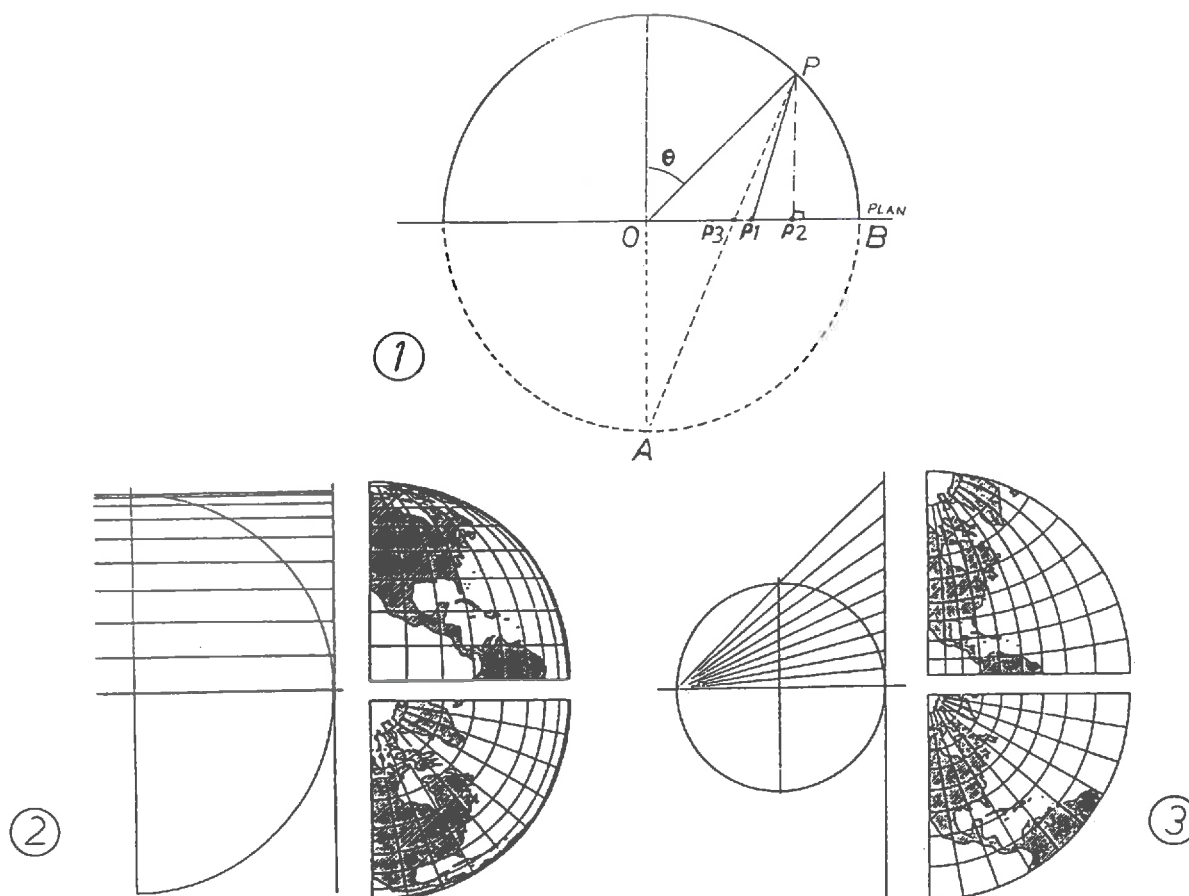


Figure III.1.a -1- Schéma de différents types de projection.

(p_1 : Polaire, p_2 : Orthographique, p_3 : Stéréographique)

Application en cartographie de la projection orthographique (2), stéréographique (3)

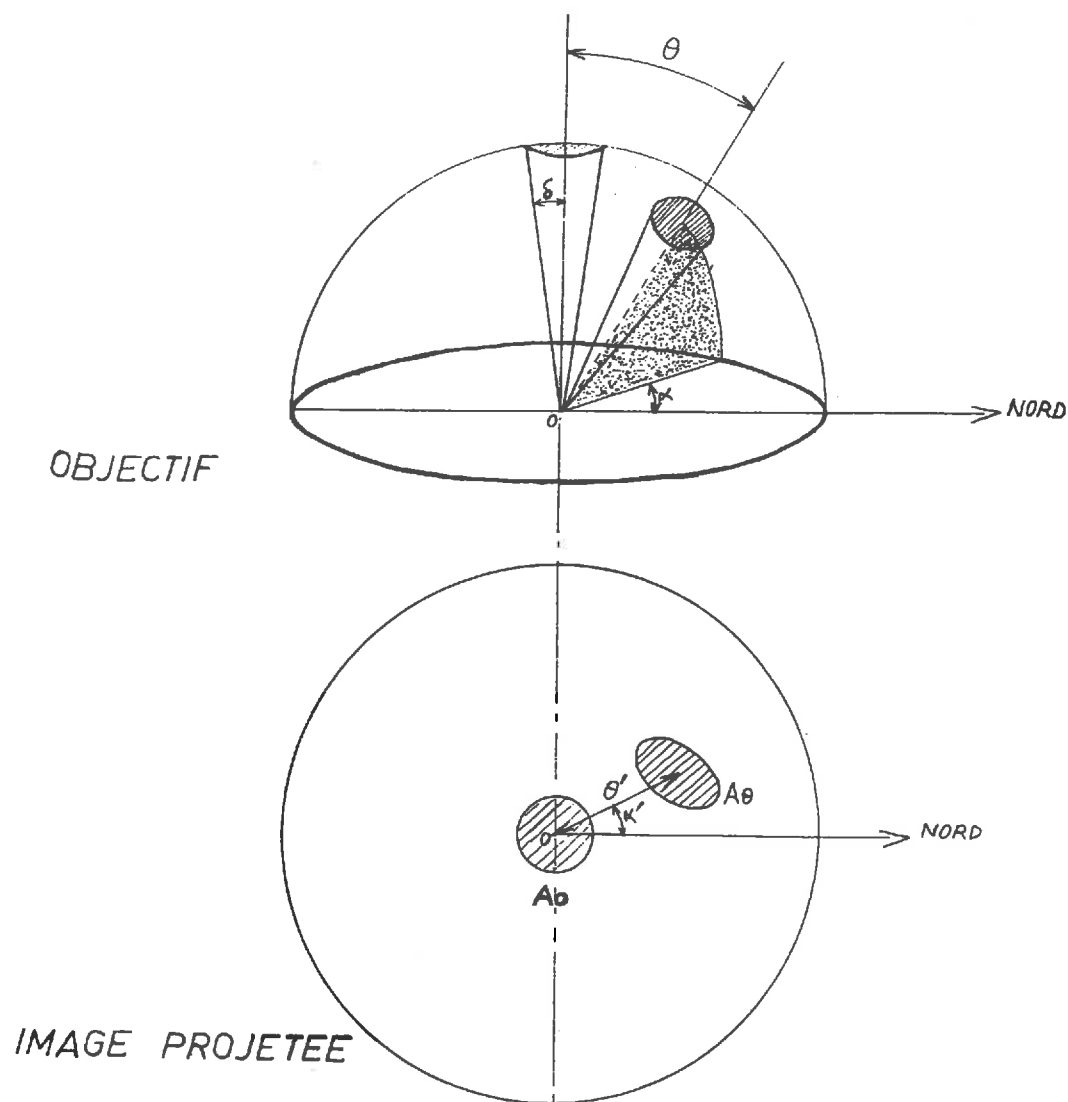


Figure III.1.b.

Avec une projection polaire, nous observons que la relation entre θ et θ' n'implique pas une égalité des surfaces puisque dans notre exemple A_o est plus petit que A_θ . D'après la Figure III.2., Herbert (1986) montre que la variation de la surface A_θ est dans ce cas plus grande que A_o (courbe b).

La loi de projection équidistante ne peut donc pas être utilisée lorsqu'il s'agit de mettre en relation des surfaces.

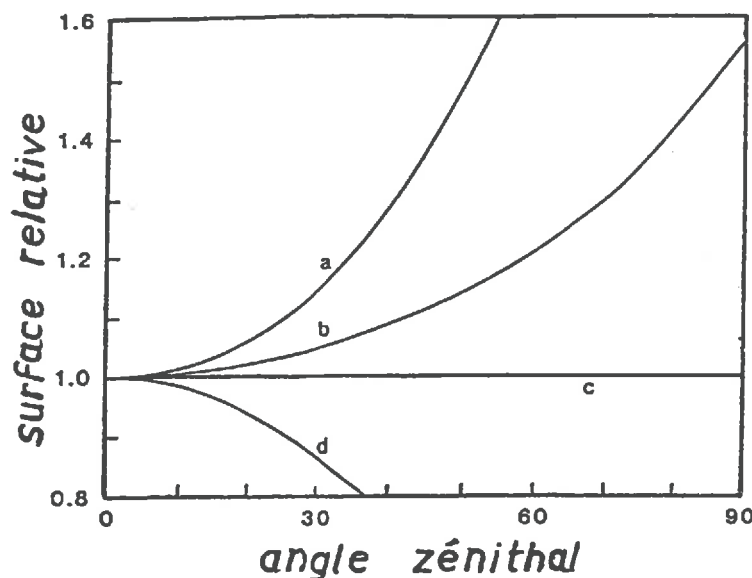


Figure III.2. Valeur relative de la surface projetée A_{θ}/A_0 d'un cercle pour quatre types de projection : (a) stéréographique, (b) polaire, (c) de Lambert, (d) orthographique.

Détermination expérimentale de l'effet de l'angle de visée

Pour tester l'objectif, nous avons mesuré les variations d'éclairement obtenues en fonction de l'angle d'incidence d'une source de lumière "ponctuelle" pouvant couvrir un angle de 180° .

Dans une pièce noire pour éviter toute lumière parasite, nous avons placé la caméra contre un support constitué d'un bras pivotant verticalement. Comme le montre la Figure III.3., la caméra est placée de manière à ce que l'objectif soit situé au même niveau que l'axe de rotation du support. A l'extrémité du bras, nous avons fixé une lampe halogène alimentée par une tension continue et stable.

A partir de la position verticale du bras au-dessus de l'objectif ($\theta = 0$), nous avons enregistré une image par pas de dix degrés de l'angle d'incidence jusqu'à $\theta = 80^{\circ}$. L'opération a été répétée de part et d'autre de l'axe vertical, soit une exploration de l'angle θ comprise entre -80° et $+80^{\circ}$. Les cellules de la matrice CCD étant rectangulaires, nous avons répété l'expérimentation après avoir tourné la caméra dans le plan horizontal de 90° .

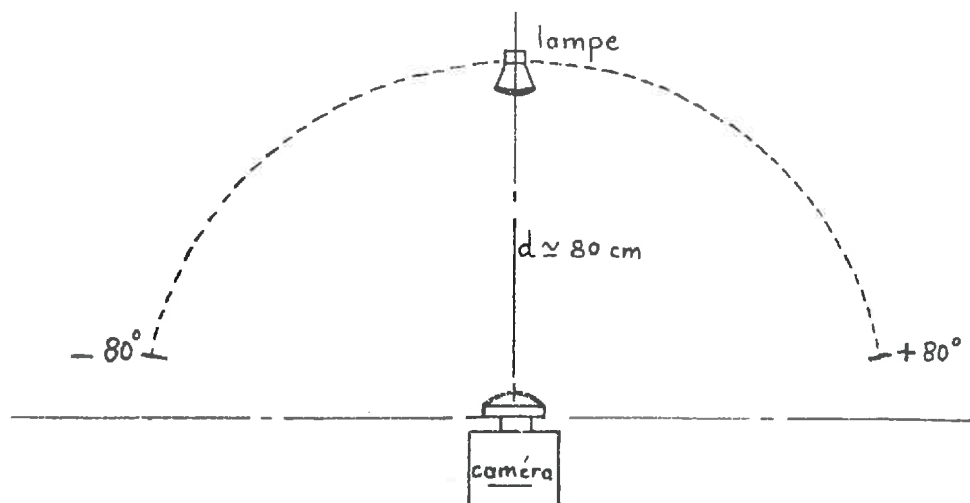


Figure III.3.

D'après les courbes obtenues Figure III.4. sur lesquelles sont représentés les pourcentages d'éclairement en fonction des variations de l'angle θ , nous pouvons remarquer qu'il existe bien une diminution de la quantité de lumière projetée sur le plan en fonction de l'augmentation de l'angle d'incidence de la source de lumière. L'éclairement est réduit de plus de 40 % pour un angle de 60° .

A partir de la mesure de plusieurs objectifs ayant une projection polaire, Herbert (1986) a estimé que la surface projetée sur le plan augmentait de 57 % pour une variation de θ de 0 à 89 degrés ; ce qui implique que la réduction de l'éclairement doit au moins atteindre ce même ordre de grandeur.

L'allure des courbes représentées Figure III.4. est parabolique; le pourcentage d'éclairement E en fonction de θ est donné par l'équation :

$$\% E = - 0,0085.\theta^2 - 0,18.\theta + 101$$

En utilisant cette relation pour calculer le pourcentage d'éclairement pour un angle de 89° , nous obtenons :

$$\% E \# 17,5$$

soit un pourcentage d'extinction de 82,5 %.

En faisant référence aux résultats de Herbert, nous observons que l'extinction mesurée est beaucoup plus importante. Cette différence est probablement due à la loi de projection de l'objectif interne placé dans le trajet optique (se reporter au f II.1.1.4.) et dont le rôle est de rendre compatible la taille de l'image et celle de la matrice CCD.

QUANTIFICATION DE L'ATTENUATION DU SIGNAL
EN FONCTION DE L'ANGLE DE VISEE

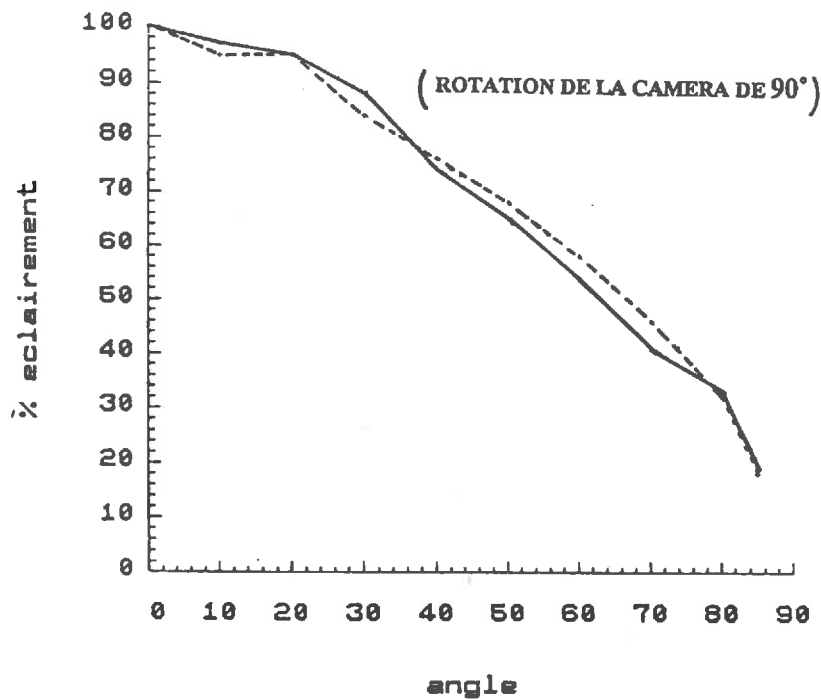
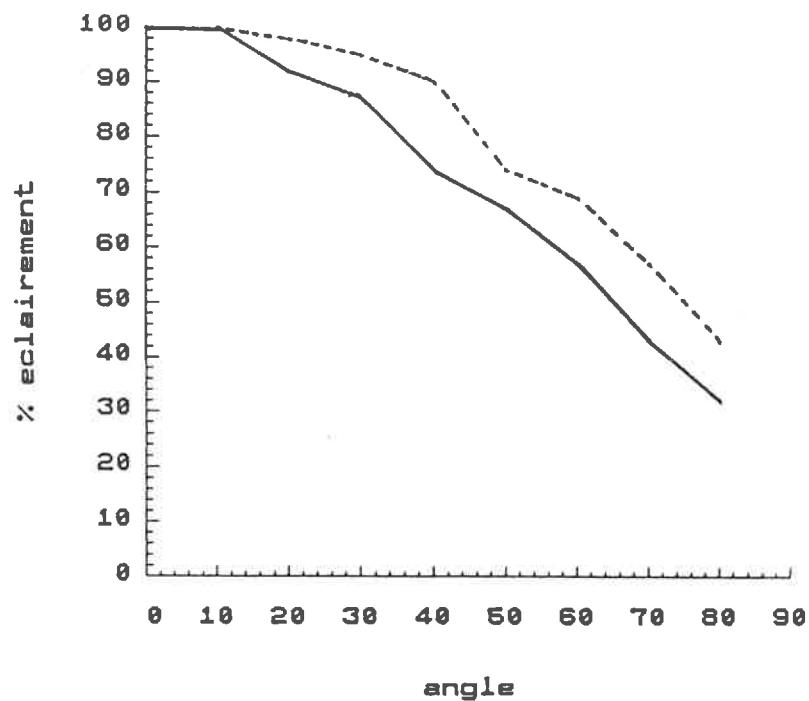


Figure III.4. : Pourcentage d'éclairement en fonction de l'angle θ du rayonnement incident.

III - 2. Comparaison entre les images caméra et les photos.

(ces dernières étant prises comme référence.)

Dans les études de caractérisation des couverts végétaux, la photographie est le seul moyen utilisé pour acquérir des images hémisphériques. Pour tester notre matériel, nous avons choisi de prendre comme référence les résultats obtenus à partir de négatifs photographiques que nous avons analysés au moyen d'un système de traitement d'image DGI II à bonne résolution spatiale. (512 * 512)

Première analyse

Des images réalisées simultanément avec le prototype et avec un appareil photographique nous ont servi de base pour une première comparaison entre notre système et la référence "film photographique". Sur une culture de blé, nous avons observé l'influence d'une diminution progressive de la surface foliaire sur la pénétration du rayonnement incident dans le couvert. Cette expérimentation nous permettait surtout de comparer l'évolution du rapport ciel/végétation des images hémisphériques faites au niveau du sol et donc de tester la sensibilité de la caméra.

Protocole expérimental

Nous avons disposé entre les rangées de blé un cadre métallique enterré servant successivement de logement à la caméra et à l'appareil photographique, de manière à ce que l'objectif soit au niveau du sol. La Fig. III.5. (a,b) illustre l'ensemble du dispositif.

Le blé a été coupé successivement en trois strates correspondant à des hauteurs de végétation choisies arbitrairement, de manière à obtenir une diminution progressive de la végétation vue. H = 80, 62 et 38 cm (Figure III.5 b). Pour extraire la végétation dans chacune des strates, nous avons coupé le blé progressivement en suivant des cercles délimitant des surfaces de plus en plus grandes (Fig. III.5 a). La correspondance entre les surfaces prises en compte et le nombre de rangs de blé est la suivante :

S1 = coupe suivant un cercle comprenant 2 rangs de blé.

S2 = coupe suivant un cercle comprenant 4 rangs de blé.

S3 = coupe suivant un cercle comprenant 6 rangs de blé.

Coupe totale..... = cercle comprenant 12 rangs de blé.

Chaque coupe de blé était suivie de l'enregistrement d'une image hémisphérique au moyen de la caméra et de l'appareil photographique. D'après les histogrammes représentés Fig. III.6 (a,b,c), nous pouvons commenter les résultats.

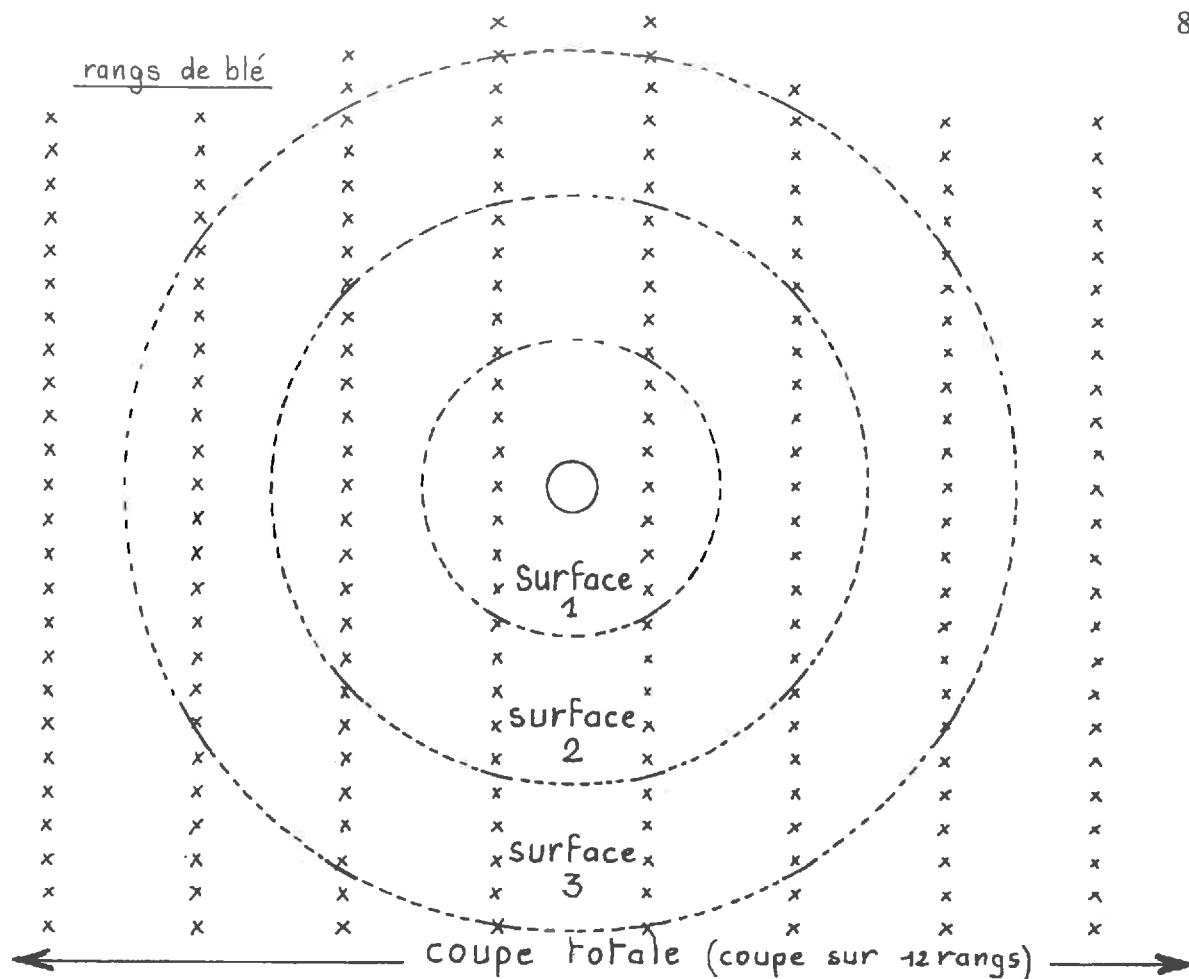


Fig. III. 5 a

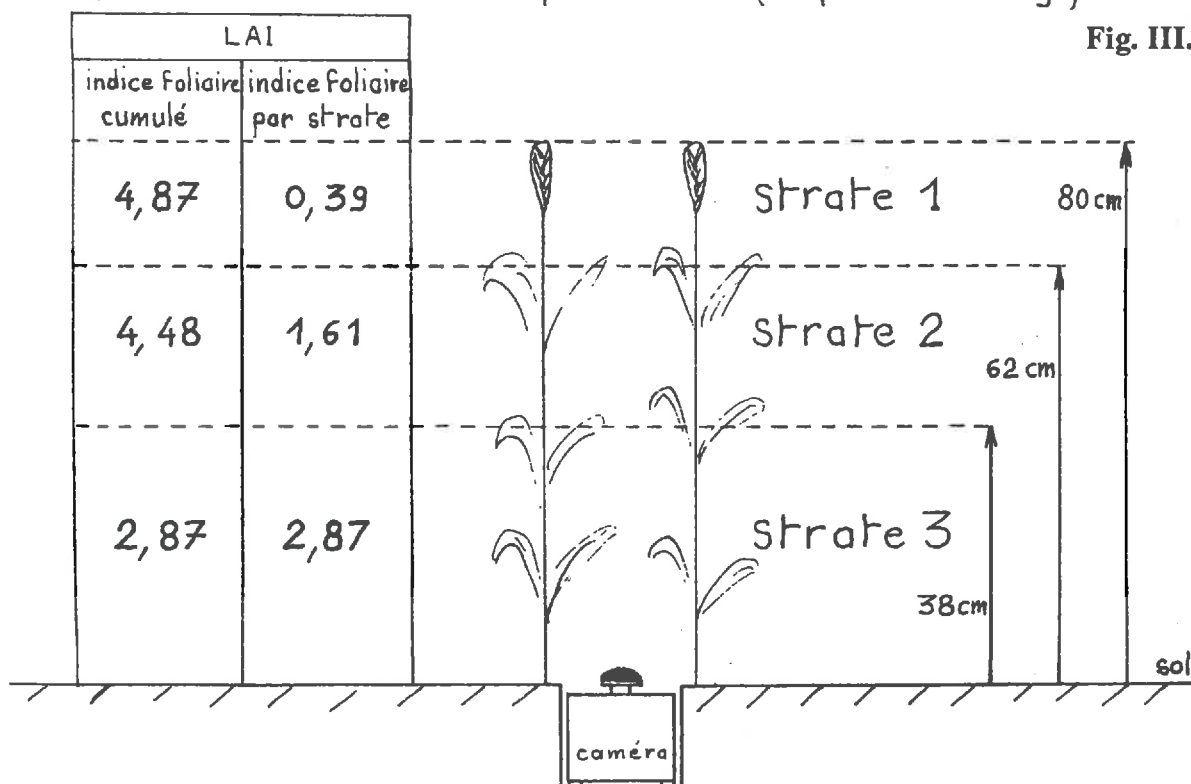


Fig III. 5. b

Représentation des différentes surfaces et des différentes strates prises en compte lors des mesures.

STRATE_1

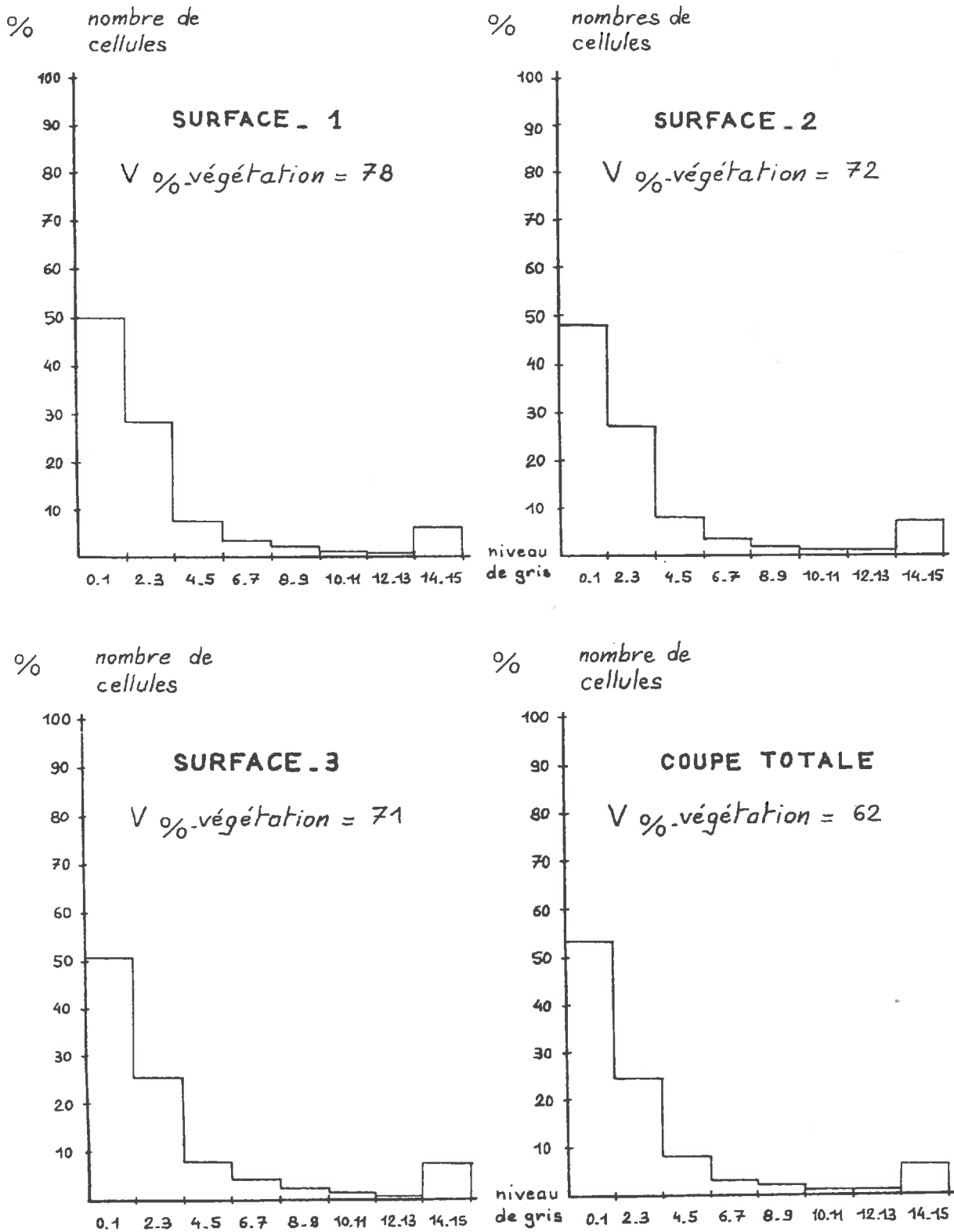


Fig. III. 6 a : Histogrammes de fréquence des niveaux de gris mesurés avec la caméra.
 V % représente la proportion de ciel occultée par la végétation, déterminée à partir de la numérisation des photographies hémisphériques.

STRATE_2

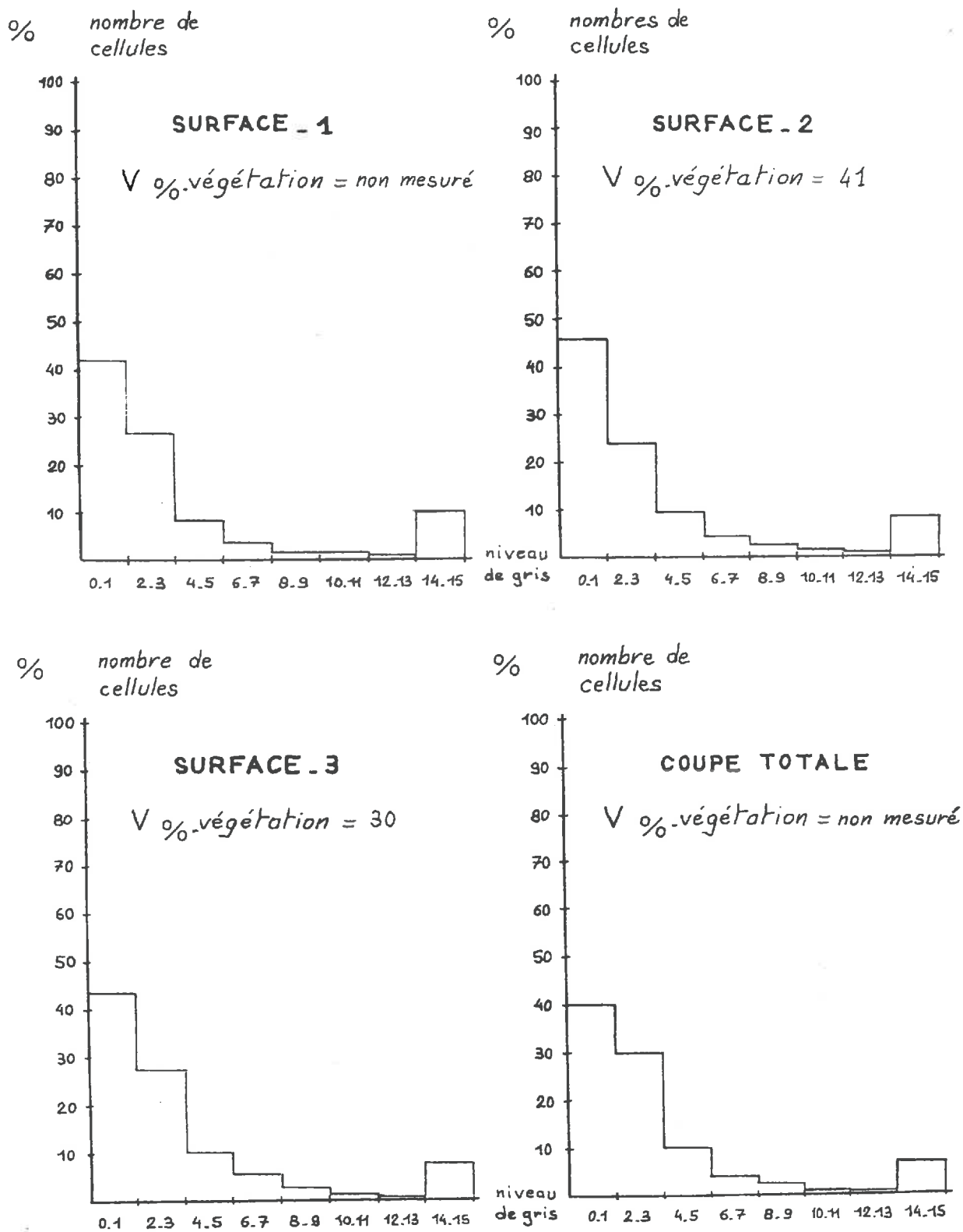


Fig. III. 6 b : Histogrammes de fréquence des niveaux de gris mesurés avec la caméra.
 V % représente la proportion de ciel occultée par la végétation, déterminée à partir de la numérisation des photographies hémisphériques.

STRATE_3

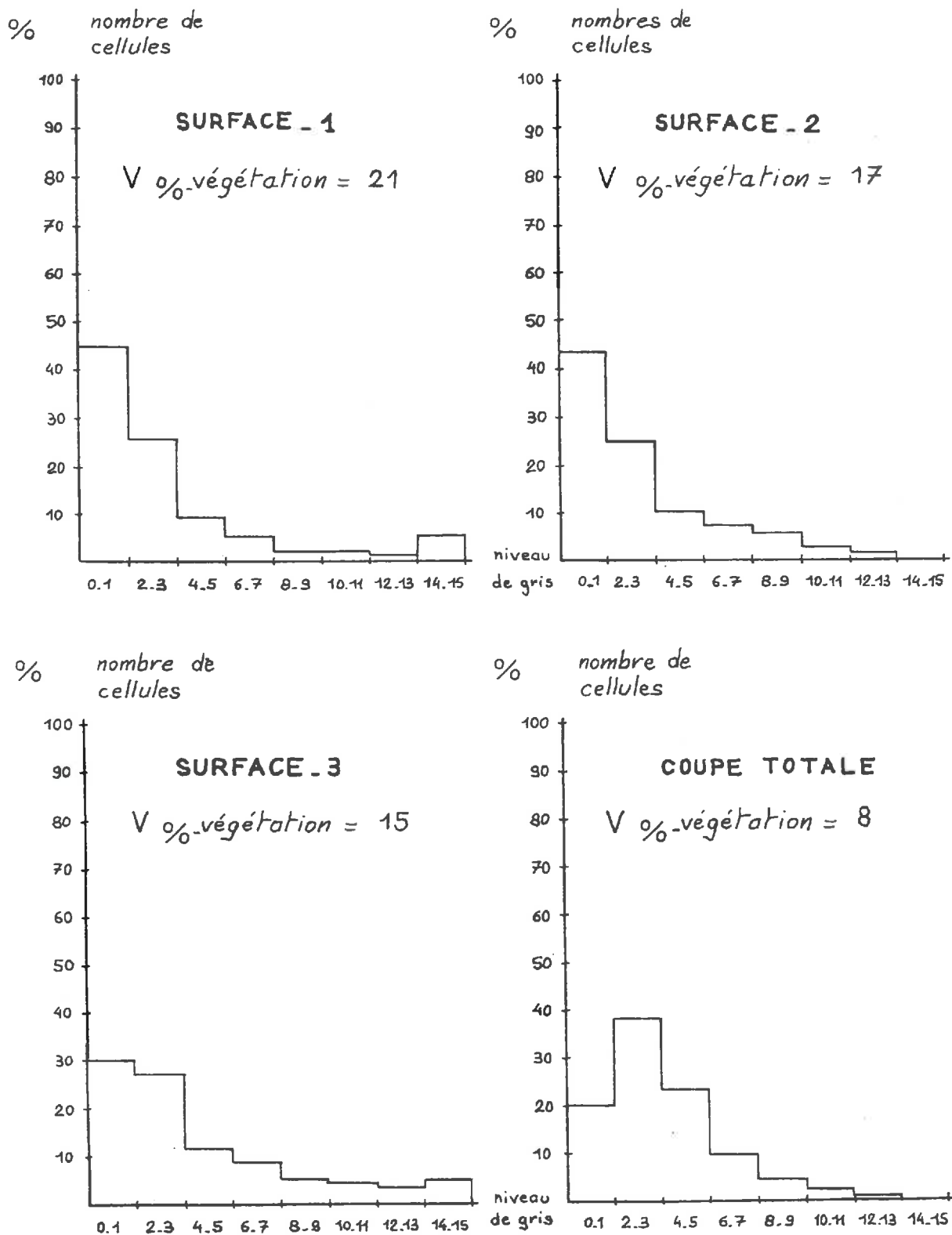


Fig. III. 6 c : Histogrammes de fréquence des niveaux de gris mesurés avec la caméra.
 $V \%$ représente la proportion de ciel occultée par la végétation, déterminée à partir de la numérisation des photographies hémisphériques.

Résultats.

L'allure des histogrammes présents à la Fig. III.6 (a,b,c) montre que la distribution des niveaux de gris quelles que soient les hauteurs de végétation, n'est qu'exceptionnellement bimodale c'est à dire qu'il est difficile de distinguer les zones de ciel des zones de végétation. Le caractère unimodal de cette distribution va nous poser un problème lors du choix du niveau de gris, "seuil" à partir duquel nous séparerons la végétation du ciel.

La Figure III.7. représente deux images prises au même endroit. L'une provient d'un tirage photographique, l'autre a été reproduite par une imprimante d'ordinateur à partir des données numériques de la caméra. Une simple analyse visuelle confirme notre approche théorique. Nous constatons que le contour des organes végétaux reste flou, même dans le cas où des feuilles de grande taille sont situées à la verticale de l'image et bien dégagées par rapport à l'ensemble du couvert.

Ces résultats confirment qu'il y a inadéquation entre la taille des pixels et la taille des éléments végétaux devant être discernés. Notre système comporte donc une majorité de pixels "mixtes" c'est-à-dire composés d'une fraction de ciel et d'une fraction de végétation. La proportion entre les deux parties est variable pour chaque pixel mais n'atteint jamais des niveaux suffisamment importants pour permettre une discrimination entre les éléments végétaux et le ciel.

De plus, l'analyse des images étant faite globalement c'est-à-dire pour une exploration de l'angle de visée comprise entre 0 et 90°, l'atténuation de lumière liée aux caractéristiques de l'objectif diminue encore le contraste. Nous observons d'autre part qu'au fur et à mesure des coupes effectuées dans le couvert (Fig. 6 a,b,c), la fraction de végétation estimée à partir du film photographique diminue; les histogrammes de luminance traduisent au contraire une relative stabilité.

Ce phénomène est lié à l'action du diaphragme automatique qui règle le niveau moyen de lumière de manière à éliminer les problèmes de saturation éventuels de la matrice CCD. Comme le montre la Fig. III.8 , la saturation s'étend en général à la totalité des cellules comprises dans la (ou les) même(s) colonne(s).. (phénomène de blooming causé par un excès de charges électriques). L'image est dans ce cas inexploitable et le sous programme "test de l'image" décrit au f II.4.1.3 en interdit l'enregistrement.

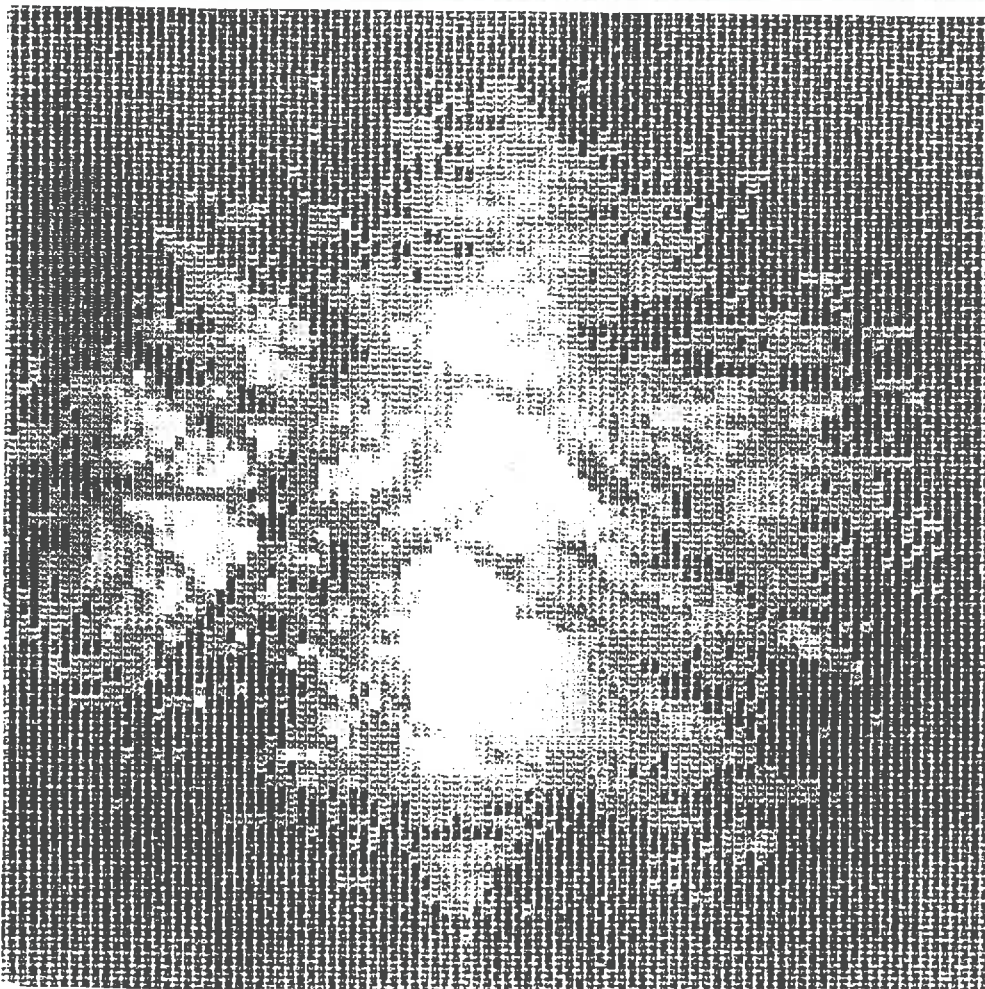


Figure III.7. : images prises au même endroit sous un couvert de maïs
a) tirage photographique,
b) image numérique.

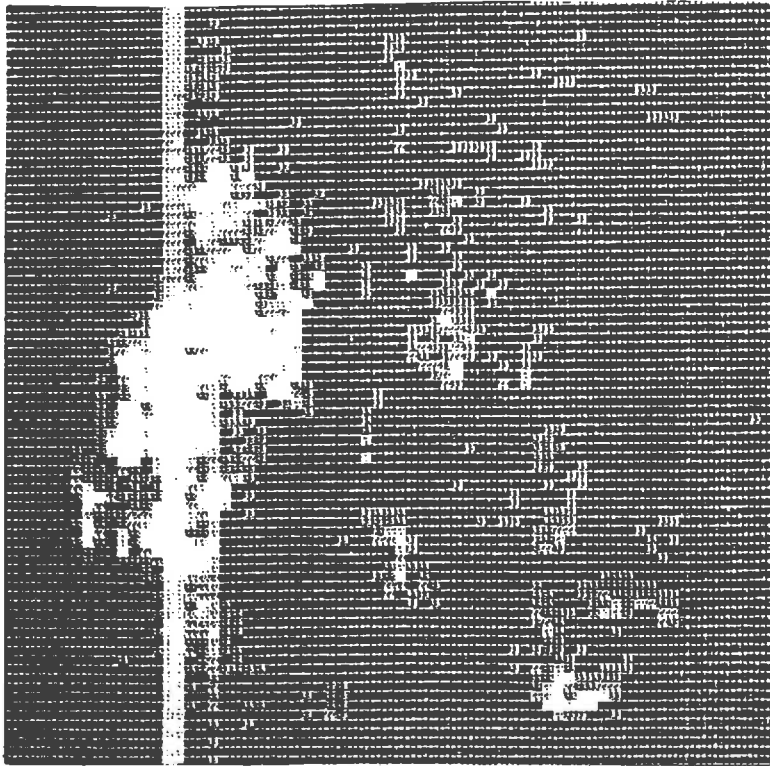


Figure III.8. Effet de saturation.

Compte tenu de ces remarques, il ne nous est pas possible d'utiliser directement les valeurs de luminance enregistrées par notre système prototype. Dans la partie suivante nous essaierons de construire un algorithme qui permette de résoudre cette difficulté. Pour ce faire, nous allons essayer de "calibrer" les données de la caméra hémisphérique en utilisant comme référence le film photographique.

Calibration des mesures "caméra"

La limite incontournable de notre système prototype réside dans la médiocre résolution spatiale engendrant une quantité trop importante de pixels mixtes. Ces pixels mixtes ont des valeurs de gris qui vont dépendre :

- De l'ouverture du diaphragme,
- De la loi d'extinction du fish eye,
- De la proportion relative de ciel et de végétation ainsi que des luminances propres à ces deux éléments.

Pour transformer le niveau de gris d'un pixel donné, en fraction ciel-végétation, il est nécessaire de :

- Connaître l'ouverture du diaphragme ou au moins les valeurs des pixels purs (quand ils existent) de ciel et de végétation.
- D'analyser l'image par angle zénithal afin de prendre en compte l'effet dû à la loi de projection du fish eye.
- De supposer connues ou constantes les luminances du ciel et de la végétation pour un angle zénithal donné.

Dans ce cas, on peut établir une relation linéaire entre le niveau de gris d'un pixel donné et la proportion de végétation correspondante.

$$P = (Ng - Nv)/(Nc - Nv) \quad (1)$$

Avec P = proportion de végétation

Ng = niveau de gris du pixel

Nv = niveau de gris du pixel pur "végétation" pour le même angle zénithal.

Nc = niveau de gris du pixel pur "ciel" pour le même angle zénithal.

L'utilisation de cette relation entre la luminance de la caméra et la proportion de végétation nécessite donc la détermination des deux valeurs de luminances (niveau de gris), des pixels purs (Nv et Nc) pour chaque couronne. Cette technique oblige à reconnaître visuellement pour chaque angle zénithal les valeurs de luminance des pixels purs. Il peut apparaître à ce niveau des difficultés, lorsqu'il n'y a pas de portions pures de ciel ou de végétation.

Nous avons comparé sur un jeu correspondant à différents types de couverts, les valeurs de proportion de végétation estimées à partir de la caméra hémisphérique et l'équation (1), aux valeurs de référence du film photographique.

La Figure III.9., montre que la relation ne semble pas linéaire et qu'il y a une certaine dispersion du nuage de points. La tendance générale de cette relation peut être décrite par une parabole dont l'équation est la suivante :

$$Pr = a Pc^2 + b Pc + c \quad (2)$$

Pr = proportion référence (photo)

Pc = proportion caméra

V. mesurée

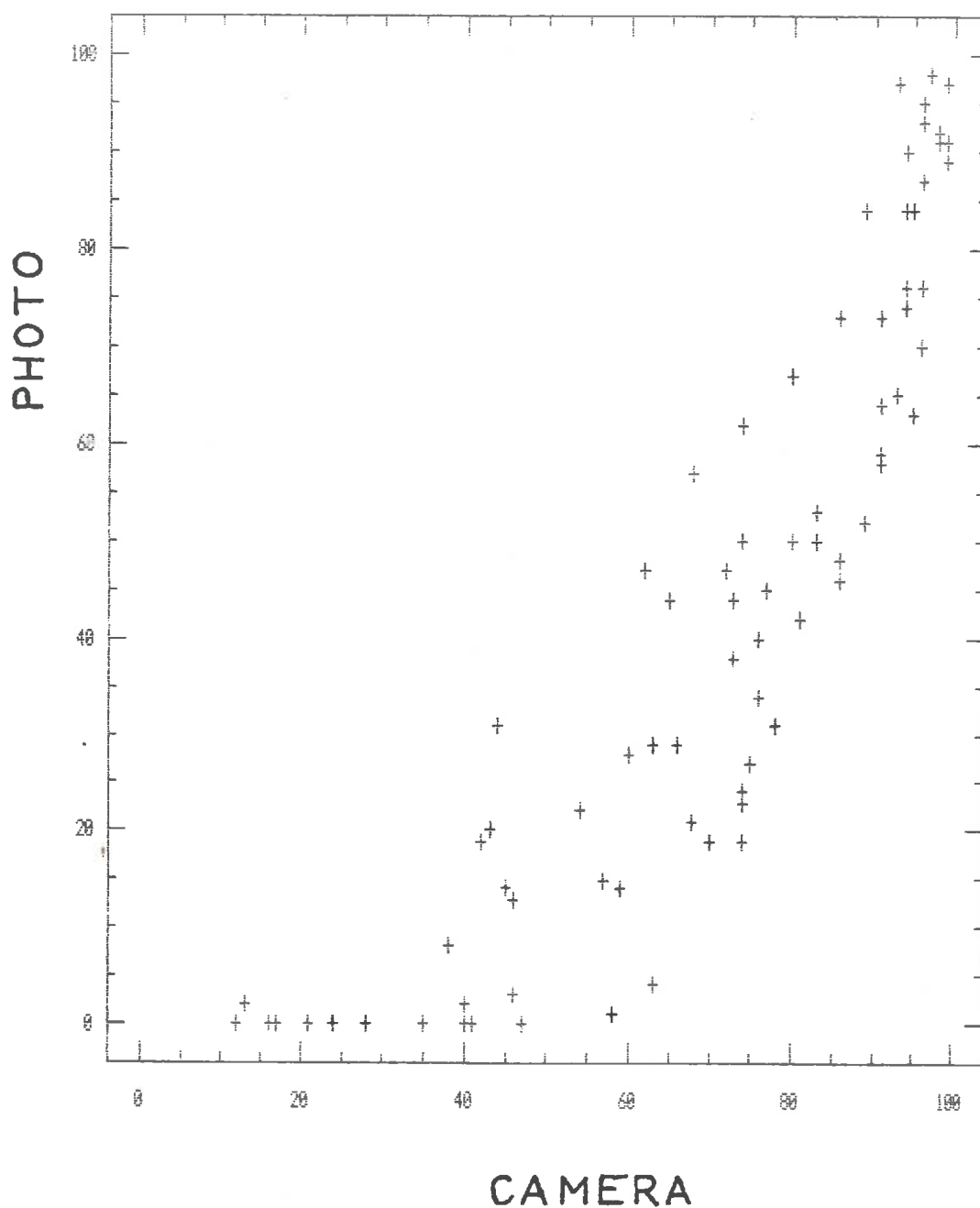


Figure III.9. : Relation entre le pourcentage de végétation estimé à partir des données de la caméra (après pondération linéaire) et celui mesuré à partir des photographies.

On remarque que lorsque la végétation est totalement couvrante ($Pr = 1$), les deux systèmes de mesure sont en accord ($Pc = 1$). Cette contrainte peut être introduite dans l'équation (2) ce qui nous donne :

$$Pr = a Pc^2 + b Pc + (1-a-b) \quad (3)$$

Dans un premier temps, nous rechercherons un couple de paramètres a et b pour chaque traitement et chaque angle zénithal. La Figure III.11, nous montre que l'on a une assez bonne relation de la proportion de végétation entre les deux types de mesure. (écart type résiduel = 0.076).

La Figure III.10., montre la relation forte existant entre les deux paramètres a et b . On remarque que a varie de - 1 à 4, et b de - 4 à 1; cette forte liaison entre a et b peut être avantageusement formulée par :

$$a = -0,076 b^2 - 1,052 b + 0,86 \quad (4)$$

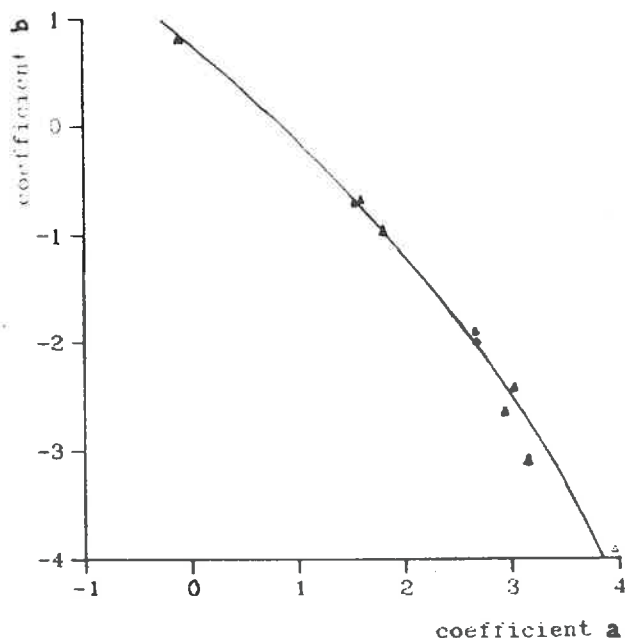
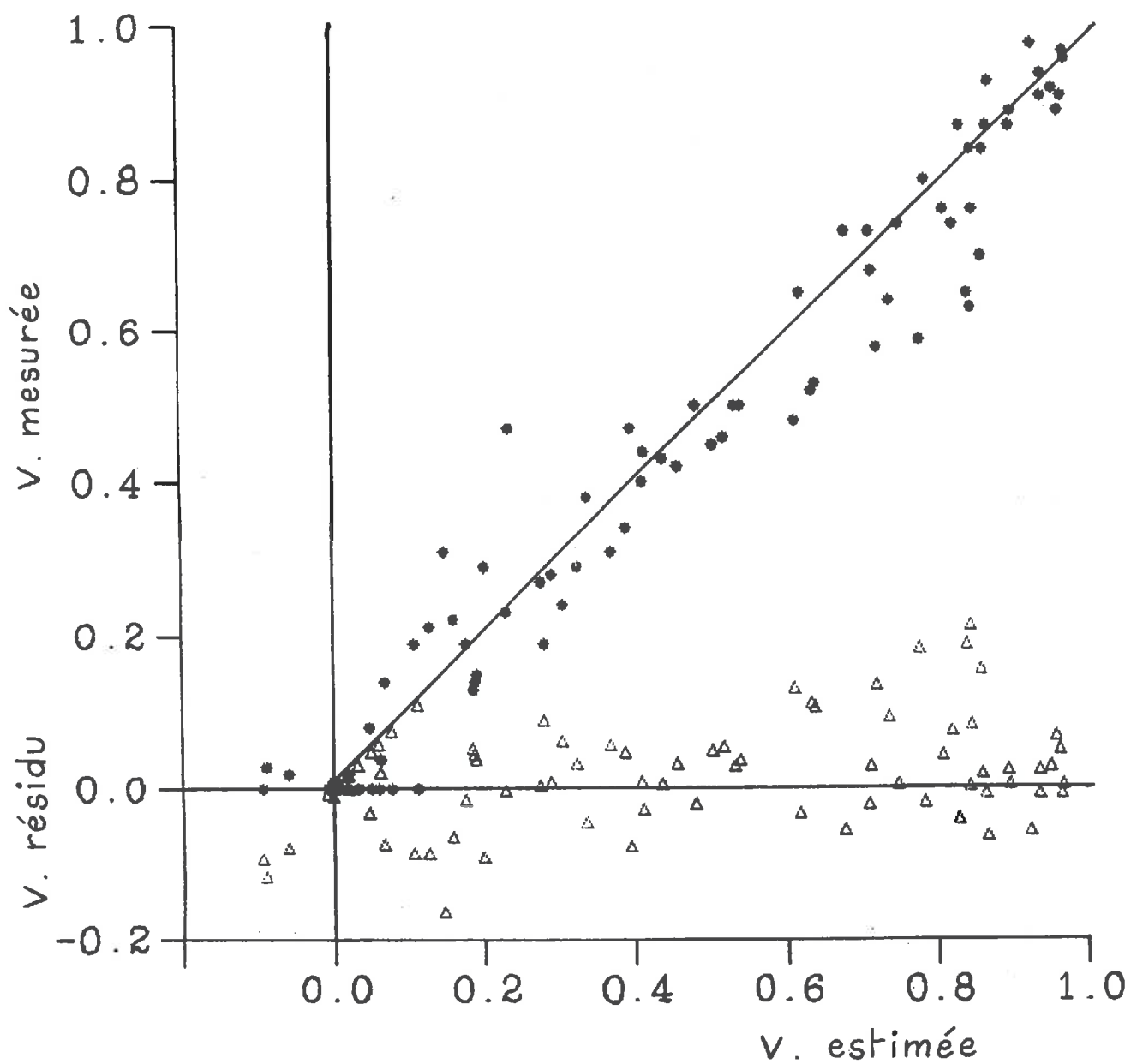


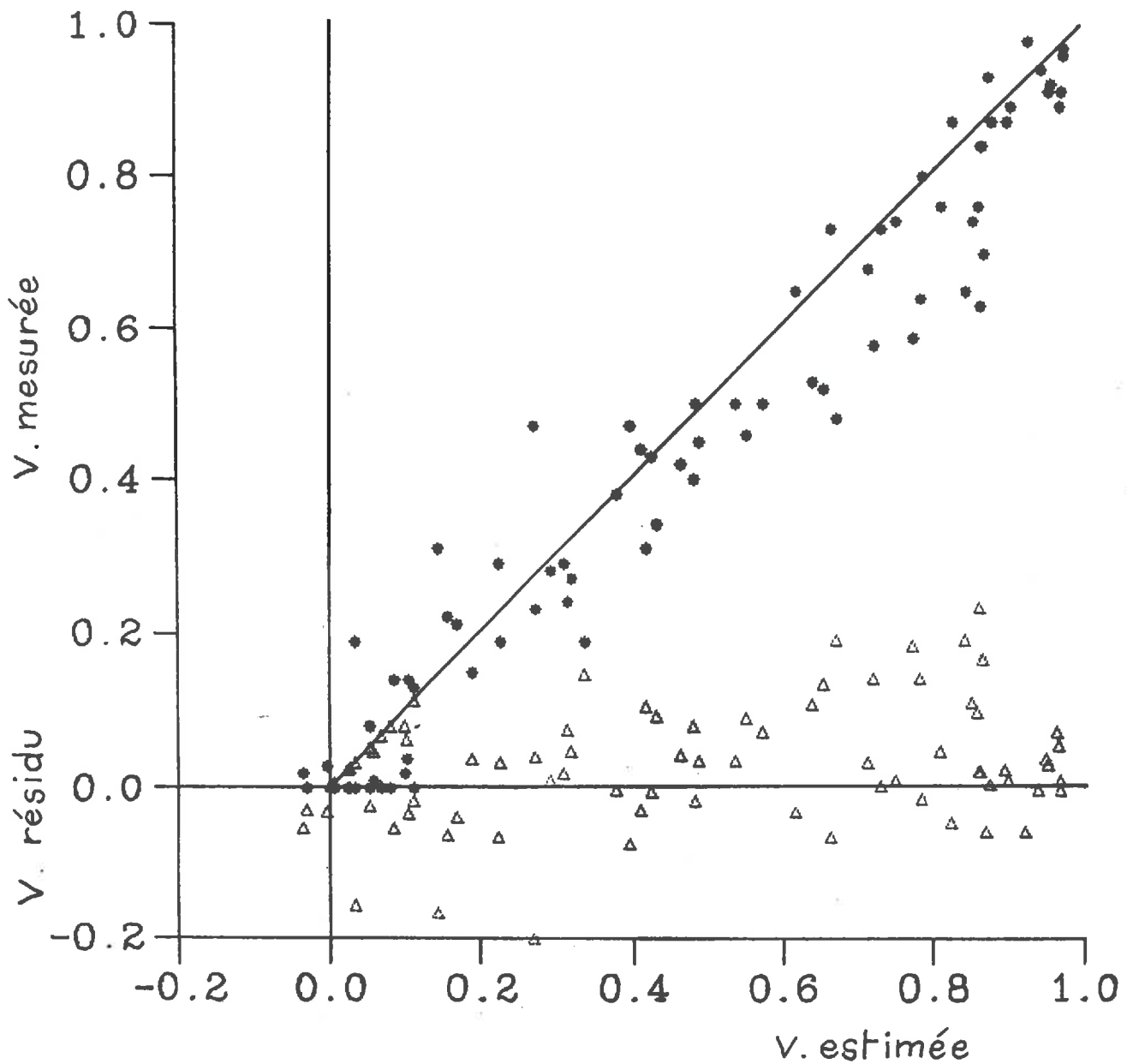
Figure III.10. : relation entre les paramètres a et b .

L'introduction de l'équation (4) dans l'équation (3) aboutit à des résultats non significativement différents de l'ajustement précédent. Figure III.12. (écart type résiduel = 0,088).



MODELE 1

Figure III.11. : Relation entre la proportion de végétation mesuré (référence photographique) et la proportion de végétation estimée à partir de l'équation (3). a et b sont dépendants de chaque traitement.



MODELE 2

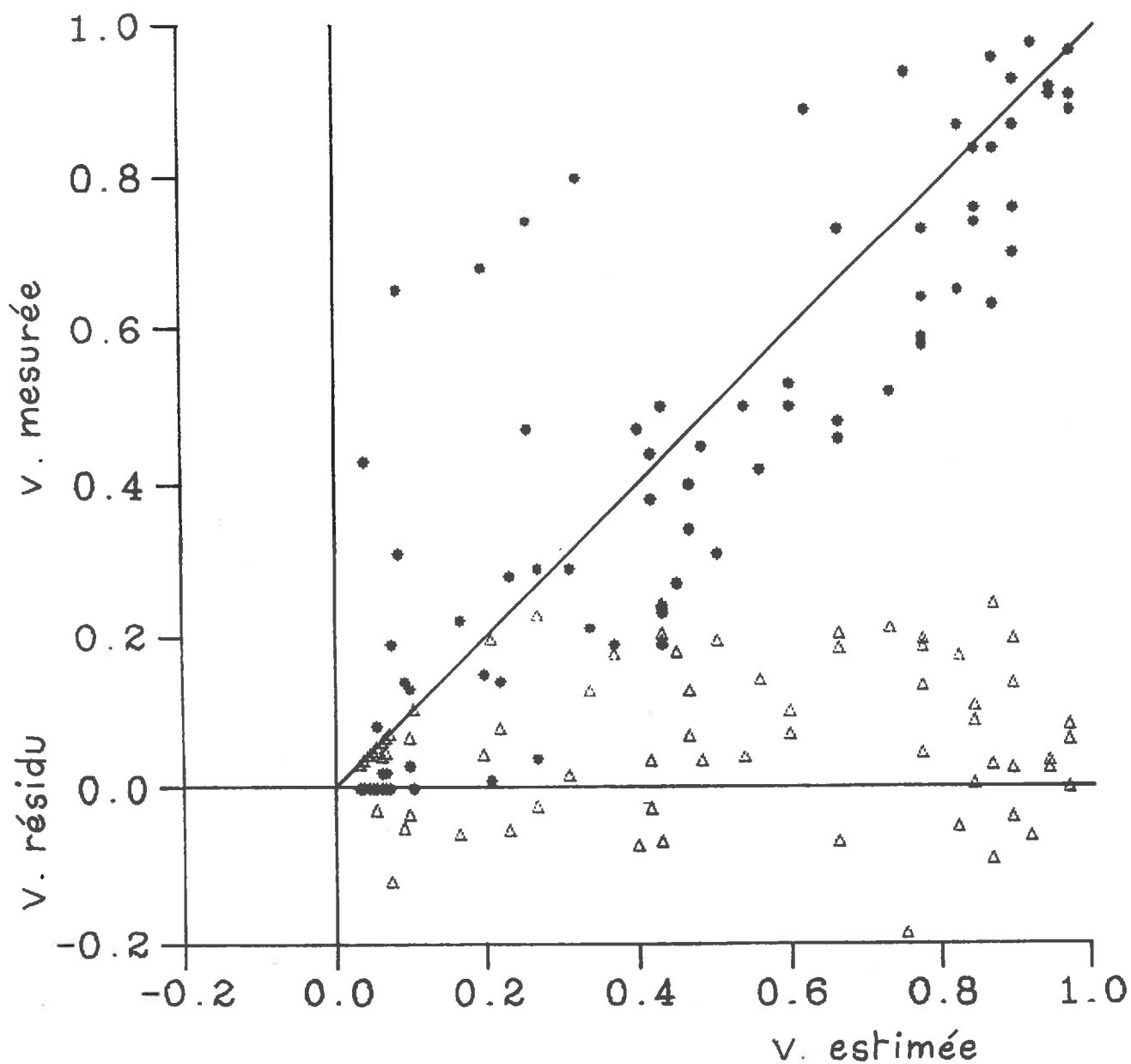
Figure III.12. : Relation entre la proportion de végétation mesurée (référence photographique) et la proportion de végétation estimée à partir de l'équation (3) : b est dépendant de chaque traitement, a calculé à partir de b .

Cet ajustement bien que satisfaisant, nécessite encore la connaissance du paramètre b qui varie suivant les traitements et les angles zénithaux de -3 à 1 . Ce paramètre b est défini par la valeur de la proportion caméra (P_c) quand il n'y a pas de végétation ($P_r = 0$). Ce paramètre n'est pas très facile à évaluer a priori; nous allons donc examiner les conséquences sur la qualité de l'ajustement $P_r = f(P_c)$, si l'on fixe b à une valeur constante indépendante du traitement et de l'angle de visée. La Fig. III.13., montre que dans ce cas, les résidus sont parfois très importants pour la valeur connue optimale de $b = -0,98$: l'écart type résiduel passe à $0,169$ soit le double de celui de l'ajustement précédent.

Une expérimentation complémentaire pour laquelle nous avons pris une série d'images à différentes heures de la journée, mais en restant au même endroit sous la végétation, montre clairement l'impossibilité de fixer le paramètre b à une valeur indépendante du traitement. En effet la Figure III.14., montre une dispersion forte des valeurs "caméra" liée aux conditions d'éclairément, comparée aux valeurs de référence du film photographique représentant la structure inchangée du couvert.

CONCLUSION

Les tentatives de calibration des valeurs de luminance du système prototype en prenant comme référence le film photographique montrent que la caméra est bien sensible à la proportion de végétation vue. Par contre, l'utilisation du système prototype nécessite de connaître les valeurs de pixels purs (ciel ou végétation), qui sont quelquefois difficiles à appréhender. Ce handicap ne nous permet pas de produire une fonction de calibration unique. Il ne semble donc pas y avoir de solution opérationnelle satisfaisante à l'utilisation de ce dispositif pour estimer la fraction de végétation vue. Pour résoudre ce problème, il faudrait impérativement améliorer de beaucoup la résolution spatiale du détecteur CCD, afin de limiter au maximum le problème principal lié à l'importance des pixels mixtes.



MODELE 3

Figure III.13. : Relation entre la proportion de végétation mesurée (référence photographique) et la proportion de végétation estimée à partir de l'équation (3). Les paramètres sont indépendants du traitement.

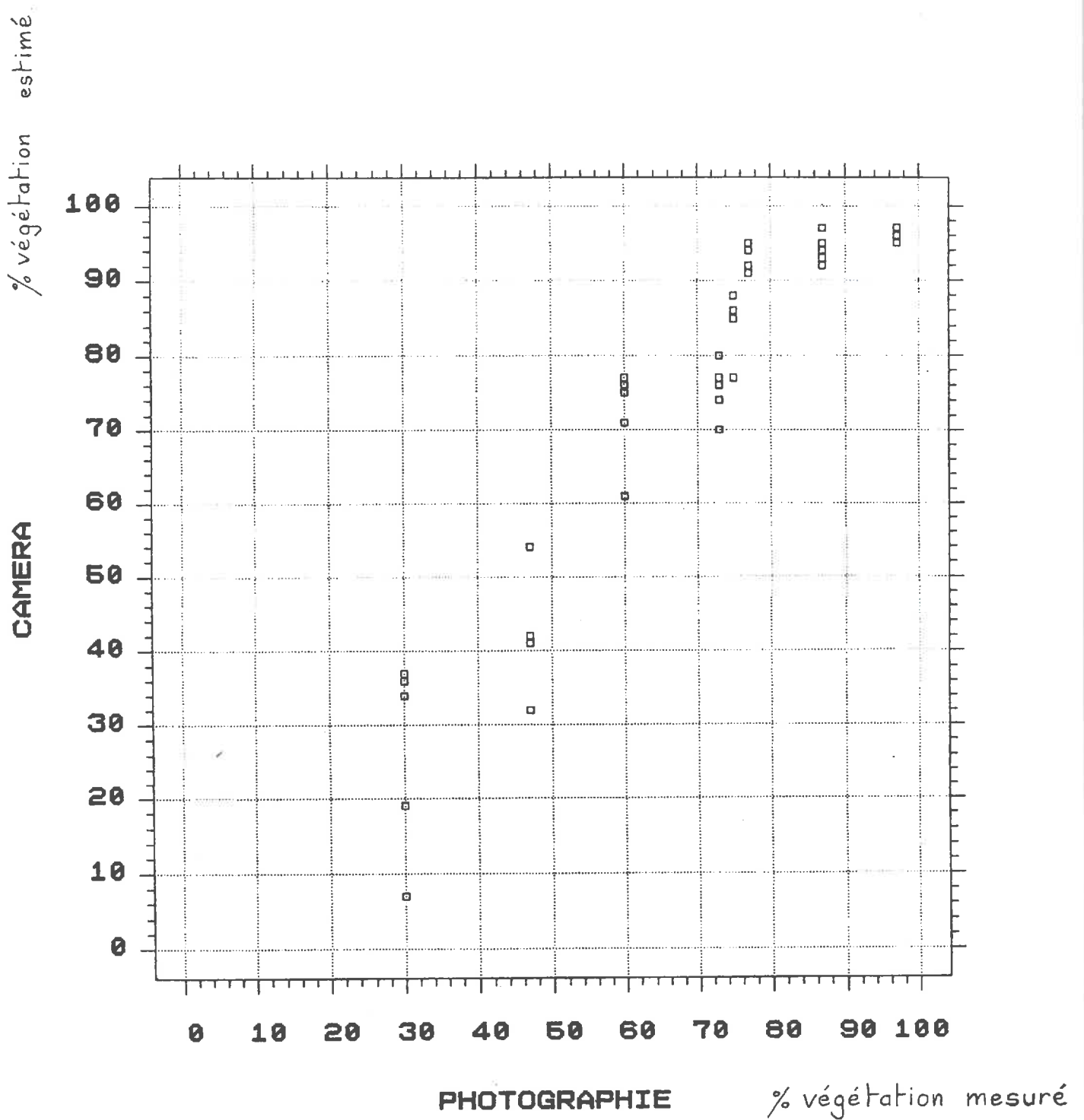


Figure III.14. : Relation entre la proportion de végétation mesurée et la proportion de végétation estimée à partir de la caméra et de l'équation (3). Paramètres indépendants du traitement.
 Ces données sont issues d'images prises sous la végétation à différentes heures de la journée.

CONCLUSION GENERALE

L'appareillage que nous venons de décrire répond aux objectifs que nous nous étions fixés au départ : estimation de la fréquence de trous dans un couvert végétal. Il met en oeuvre des solutions techniques originales liées à l'utilisation des éléments qui le composent et qui concernent :

La caméra, équipée de sa matrice CCD dont la technologie offre de nombreux avantages.... Analyse discrète de l'image, faible encombrement permettant de placer l'objectif verticalement près du sol, immunité du détecteur au rayonnement direct du soleil. Il est également important de souligner que la matrice CCD a des caractéristiques qui restent stables dans le temps

L'étage de numérisation que nous avons intégré à la caméra est un élément indispensable pour obtenir un gain de temps entre l'acquisition et le traitement des données. Sa fonction est essentielle pour rendre l'information directement compatible avec les matériels informatiques.

L'utilisation du micro-processeur pour assurer la gestion des données était à priori le meilleur choix en raison de son faible coût, son faible encombrement et la possibilité de programmer ses fonctions. Cependant, nous avons montré qu'à l'origine, ses caractéristiques ne permettaient pas de prendre en compte en temps réel les informations issues de la caméra. Pour que cette fonction soit possible, nous avons été amenés à augmenter la capacité des mémoires du micro-processeur et à maîtriser l'utilisation d'un circuit annexe (DMA) permettant d'acquérir les données sans limitation de leur fréquence d'émission.

Les tests réalisés in situ montrent l'avantage du remplacement du support photographique par l'acquisition directe des données sur support informatique. On peut citer en particulier la visualisation in situ des images ainsi que la possibilité de sortir en temps réel les informations d'où une réduction importante des opérations intermédiaires liées à l'emploi de la photographie.

Si le principe de ce type de fonctionnement apparaît satisfaisant, il faut néanmoins constater quelques graves problèmes d'interprétation des données. L'analyse détaillée des tests effectués dans différentes conditions montre la limite liée à un défaut de résolution spatiale. La définition insuffisante de la matrice CCD employée rend difficile la discrimination entre les végétaux et le ciel, du fait de la présence en quantité trop importante des pixels mixtes. Le travail relatif à ce prototype a servi de base pour établir un nouveau cahier des charges nous permettant de rendre ce type de système véritablement opérationnel.

Les progrès technologiques récents apportent maintenant une solution aux différents problèmes exposés précédemment. En électronique, ce progrès s'est traduit par des possibilités de plus en plus grandes d'intégration des semi-conducteurs donc de l'augmentation de leur densité. Ceci a permis la miniaturisation des matériels tout en améliorant leurs caractéristiques et leurs performances.

En ce qui concerne les matrices CCD qui équipent les caméras d'instrumentation, la résolution courante est de $580 * 500$, soit une résolution trente fois plus grande que celle de notre prototype. Leur surface sensible est seulement multipliée par cinq; nous pouvons en déduire que l'intervalle entre chaque cellule de la matrice a été considérablement réduit d'où un meilleur échantillonnage des images.

Les caractéristiques électriques sont elles aussi améliorées. Dans le cadre de notre expérimentation, elles offrent l'avantage de consommer peu d'énergie, d'avoir une grande stabilité en fonction de la température ambiante et surtout, d'être pourvue d'un dispositif anti-éblouissement qui évite les effets de saturation.

Ces modèles récents de caméra n'ont pas de système de numérisation intégré. Il nous faudra donc définir une chaîne instrumentale utilisant les acquis de cette nouvelle technologie et respectant les contraintes expérimentales mises en évidence au cours des tests précédemment effectués.

PROPOSITIONS POUR UN NOUVEAU MATERIEL

Plusieurs configurations permettent de numériser, traiter, stocker les images provenant de la caméra. Nous avons retenu les deux suivantes.

PREMIERE CONFIGURATION

Elle se compose:

Sur le terrain, d'un magnétoscope et d'un moniteur portables, destinés à enregistrer les images et les visualiser soit en temps réel (cadrage), soit en temps différé (vérification des enregistrements).

Au laboratoire, d'un microordinateur et de ses périphériques, équipé d'une carte de numérisation.

Nous observons que cette configuration est très différente de celle de notre prototype du fait que le signal vidéo est enregistré sous forme analogique. Il est donc souhaitable d'utiliser un magnétoscope de type semi-professionnel qui garantira un bon rapport signal/bruit (> 45 dB). La carte de numérisation permet de discriminer 256 niveaux de gris avec une résolution de 512*512, soit une résolution très proche de celle de la caméra CCD. Cette configuration est actuellement en cours d'expérimentation au service de bioclimatologie de l'INRA d'Avignon. Un logiciel a été spécialement développé pour piloter les phases successives qui constituent un traitement.

L'ensemble de mesure ainsi constitué ne nécessite pas de mise au point. Il est par conséquent rapidement opérationnel et nous pensons qu'il résoud en grande partie les problèmes de résolution spatiale que nous avons évoqués. Il faut cependant noter que l'emploi du magnétoscope est, là encore, un support intermédiaire qui n'est pas dénué d'inconvénients. Les modèles de type semi-professionnels sont relativement lourds et leur maniement dans la culture est assez délicat. L'inconvénient majeur est lié à leur définition horizontale (nombre de point par ligne) qui est fixé par construction et qui est inférieure à celle des caméras CCD actuelles.

Cette limitation nous amène à proposer la configuration suivante.

DEUXIEME CONFIGURATION

Le principe de mesure et de traitement est similaire à la première configuration mais sans l'emploi du magnétoscope. Nous pensons le remplacer avantageusement par un couple émetteur-récepteur fonctionnant dans les canaux standards d'émission réservés à la télévision. Leur portée étant relativement limitée, le récepteur doit être placé dans un rayon de 300 à 400 mètres.

Compte tenu de cette contrainte, l'ensemble instrumental que nous proposons serait constitué:

-- D'une part, d'un ensemble modulaire comprenant la caméra, l'émetteur et un bloc d'alimentation.

-- D'autre part, d'un récepteur relié à un micro-ordinateur portable équipé d'une carte de numérisation.

L'originalité de cet ensemble serait de rassembler sur le site de mesure le matériel de prise de vue et de traitement. Le matériel de prise de vue offrirait l'avantage de ne pas avoir de liaison câblée et permettrait une grande aisance quel que soit le type de couvert végétal. Le matériel informatique, obligatoirement proche du lieu de mesure, permettrait de numériser et stocker instantanément des images sans support intermédiaire. Il serait ainsi permis au futur utilisateur d'envisager un prétraitement ou même un traitement de l'image in situ.

Tout le matériel nécessaire pour réaliser cette chaîne instrumentale, est commercialisé et peut être testé sans mise au point importante.

BIBLIOGRAPHIE

ARIES F, MONESTIEZ P, de REFFYE P, PREVOT L., 1987.

Modélisation de la géométrie d'un couvert végétal : cas du maïs. MARI 87. Image électronique, Paris-La Villette, 18-22 Mai, 197-202.

BALDY Ch., 1973

Contribution à l'étude de l'extinction de l'énergie d'origine solaire dans des peuplements de blé tendre. (*triticum aestivum* L.EM.Thiell). Annales agronomiques. 24, 5, 507-532.

BARET F, GUYOT G., 1988

Crop biomass evaluation using radiometric measurements. Photogrammetria, 43, 241-256.

BOISSARD P, VALERY P. , 1981.

Analyse de photographies hémisphériques sur une unité de traitement d'images à microprocesseur. INRA. Bioclimatologie-téledétection, Grignon, (note interne).

BONHOMME R, CHARTIER P., 1972

The interpretation and automatic measurement of hemispherical photographs to obtain sunlit foliage area and gap frequency. Israel J. Agric Res 22, 2, 53-61.

BONHOMME R., 1974

Détermination des profils d'indice foliaire et de rayonnement dans un couvert végétal à l'aide de photographies hémisphériques faites in situ. Thèse de docteur-ingénieur. 05.04. Université de Luminy.

BONHOMME R, VARLET GRANCHER C., 1978

Estimation of gramineous crop geometry by plant profiles including leaf with variations. Photosynthetical 12, 2, 193-196.

CHARTIER P., 1966

Etude du microclimat lumineux dans la végétation. Annales agronomiques. 17, 5, 571-602.

DAUZAT J., 1985

Modélisation des transferts radiatifs au sein des couverts végétaux sur la base de données obtenues par un système opto-électronique de points quadrats. Thèse 02.07 Université des sciences et techniques du Languedoc.

De REFFYE PH, EDELIN C, JAEGER M., 1989

La modélisation de la croissance des plantes. *La Recherche*, 20, 207, 158-168.

DUCREY M., 1975

Utilisation des photographies hémisphériques pour le calcul de la perméabilité des couverts forestiers au rayonnement solaire. *Ann. sci. forest.* 32, 2, 73-92.

FARQUHAR GD, SHARLEY., 1982

Stomatal conductance and photosynthesis. *Ann, Rev, plant physiol*, 33,. 317-345.

GOSSE G, VARLET GRANCHER C, BONHOMME R, CHARTIER M, ALLIRANT JM, LEMAIRE G., 1986.

Production maximale de matière sèche et rayonnement solaire intercepté par un couvert végétal. *Agronomie*, 6, 1, 47-56.

GUYOT G., 1984

Caractérisation spectrale des couverts végétaux dans le visible et le proche infrarouge. Application à la télédétection. *Bul S.F.P.T*, 95, 3, 5-22.

GUYOT G., 1989

Signatures spectrales des surfaces naturelles. *Télédétection satellitaire, Paradigme, CAEN*, 150 p.

GREEN C.F., 1987

Nitrogen nutrition and wheat growth in relation to absorbed solar radiation. *Agric. Forest. Meteorol.* 41, 207-248.

HERBERT T., 1987

Area projections of fisheye photographic lenses. *Agric. Forest. Meteorol.*, 39, 215-223.

HILL R., 1924

A lens for whole sky photographs. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 50, 227-235.

JARVIS P.G., 1976

The interpretation of the variations in leaf water potential and stomatal conductance found in canopies in the field. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. Ser B*, 273, 593-610.

MONTEITH J.L., 1977

Climate and the efficiency of crop production in Britain *Philos. Trans. R. Soc. London. Ser B*, 281, 277-294.

PREVOT L., 1985

Modélisation des échanges radiatifs au sein des couverts végétaux; application à la télédétection, validation sur un couvert de maïs. Thèse 28 - 09. Université Paris 6.

SUITS G.H., 1972

The calculation of the directional reflectance of a vegetative canopy. *Remote Sens Environ*, 2, 117-125

THOMSON - CSF., 1982

Division tubes électroniques NTV 6255 (03).

VANDERBILT V.C, BAUER M.E, SILVA L.F., 1979

Prediction of solar irradiance distribution in a wheat canopy using a laser technique. *Agricultural Meteorology*, 20, 147-160.

VERBRUGGHE M., 1989

Contribution à l'analyse des microclimats au niveau de l'arbre, de couverts forestiers et de parcelles agricoles entourées de brise-vent. Thèse 26.04. Université d'Aix - Marseille II.

VERHOEF W, BUNNIK N.J., 1981

Influence of crop geometry on multispectral reflectance determined by the use of canopy reflectance models. In C.R. colloque int. Signatures spectrales d'objets en télédétection. Avignon, les colloques de l'INRA n°5 273-290.

WARREN WILSON J., 1960

Inclined point quadrat. *New Phytol*, 58, 92-101.

ANNEXES

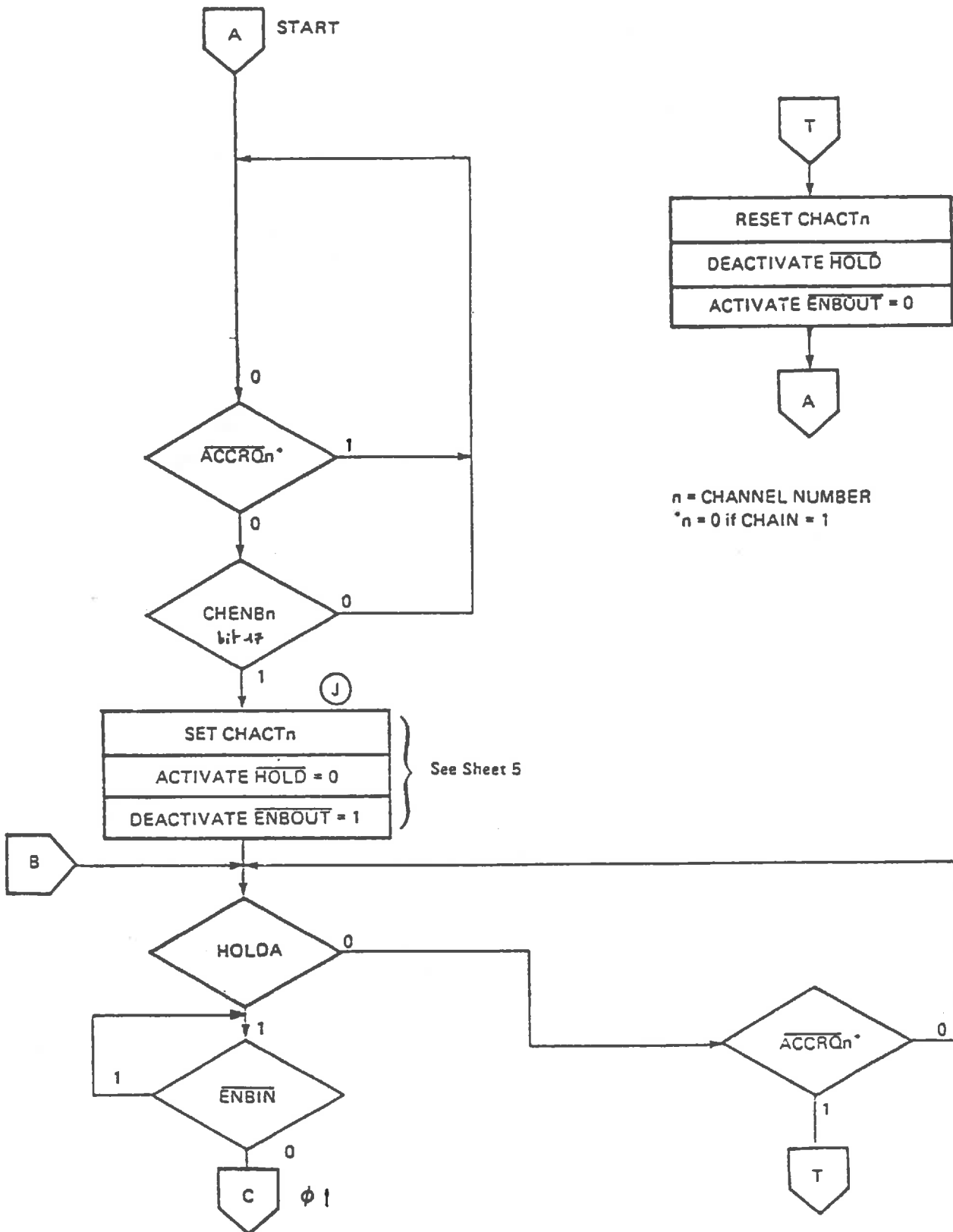


FIGURE 5 (SHEET 1 OF 5) - DMAC CONTROL FLOW

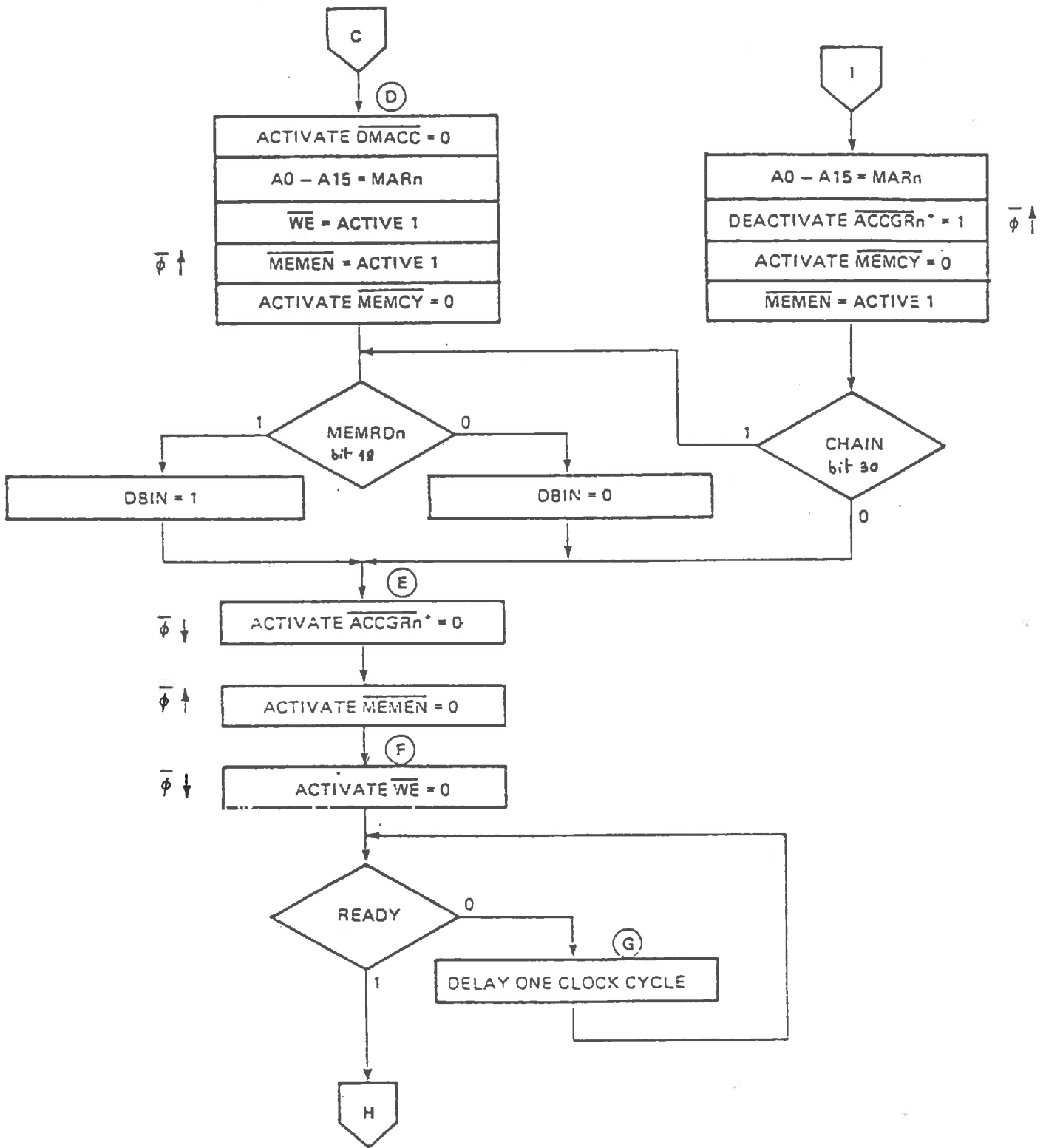


FIGURE 5 (SHEET 2 OF 5) - DMAC CONTROL FLOW

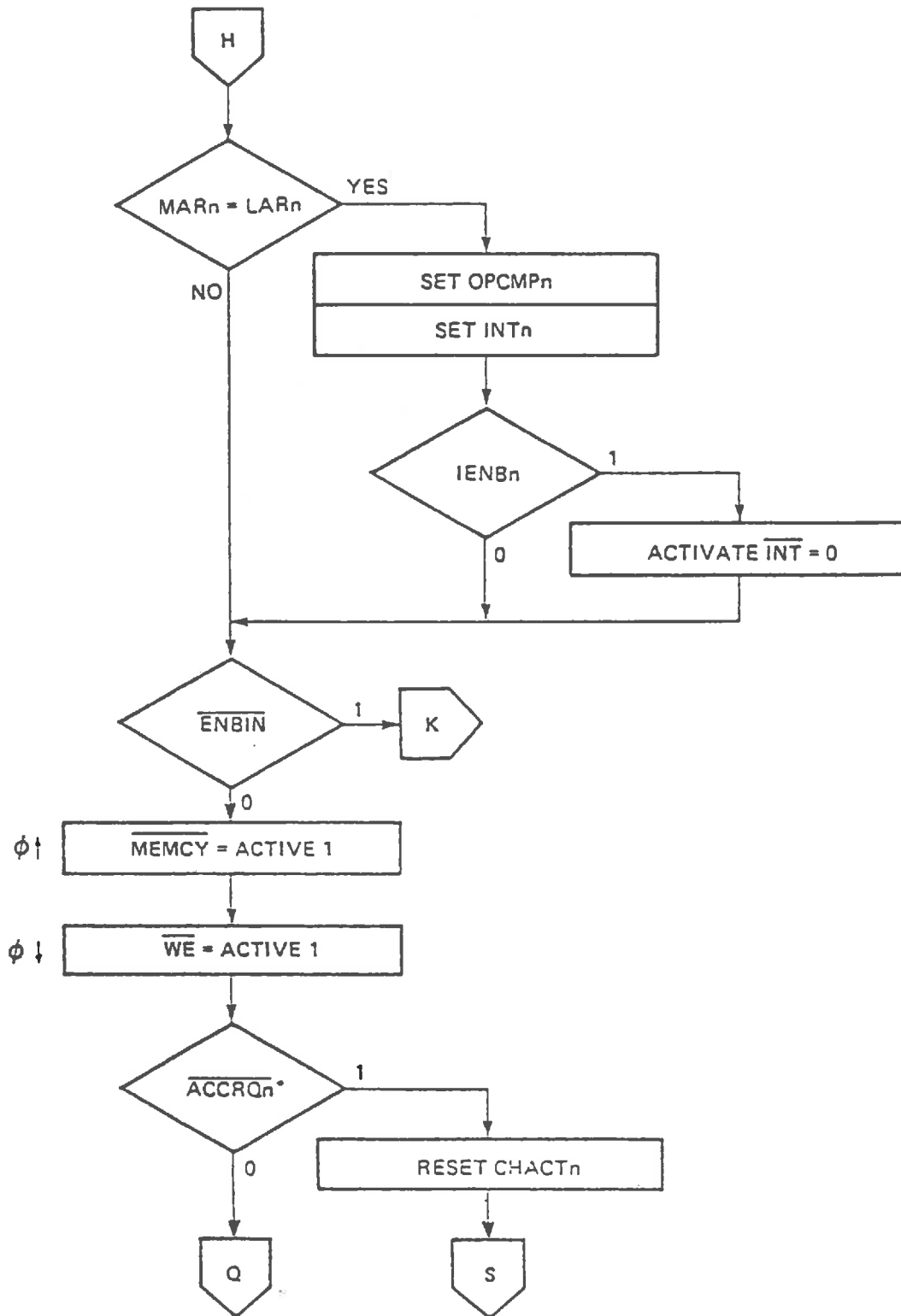


FIGURE 5 (SHEET 3 OF 5) - DMAC CONTROL FLOW

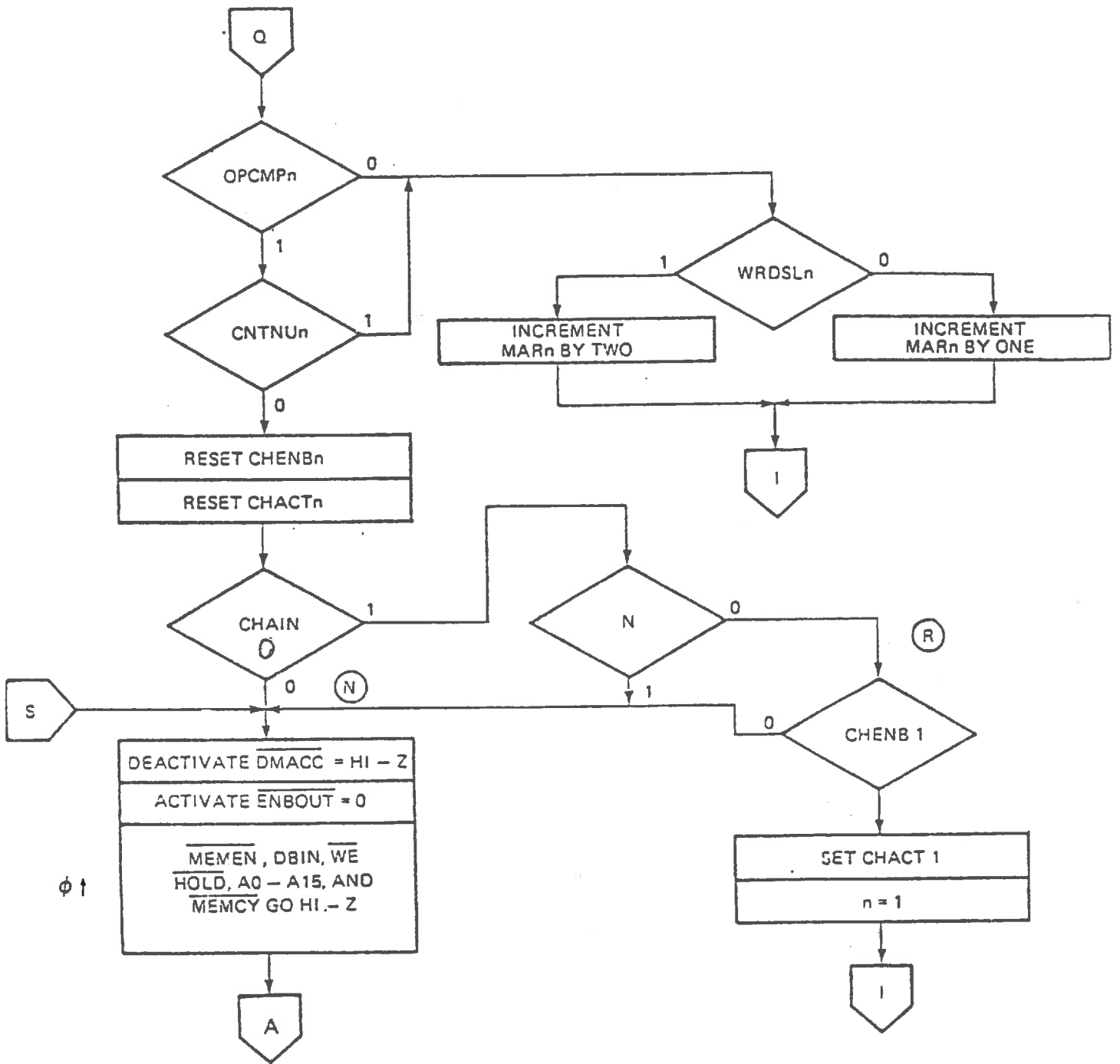


FIGURE 5 (SHEET 4 OF 5) - DMAC CONTROL FLOW

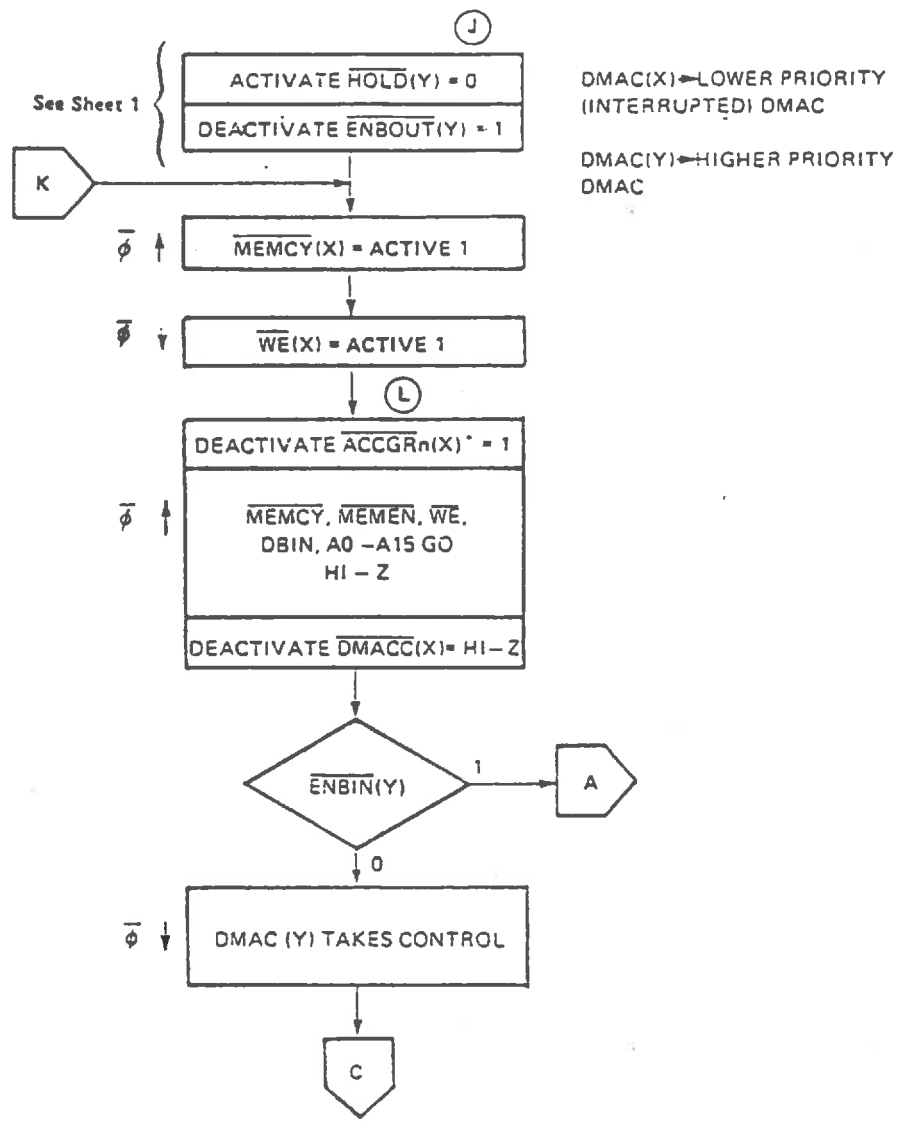


FIGURE 5 (SHEET 5 OF 5) - DMAC CONTROL FLOW

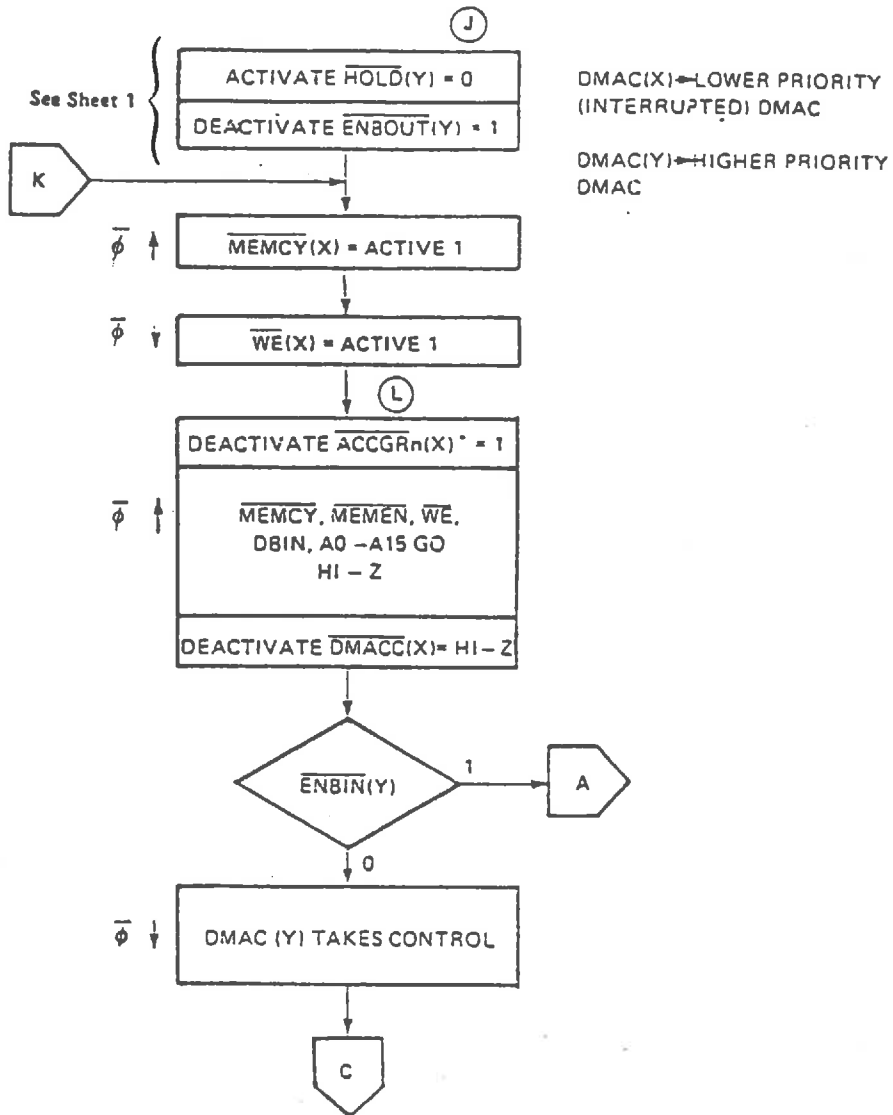
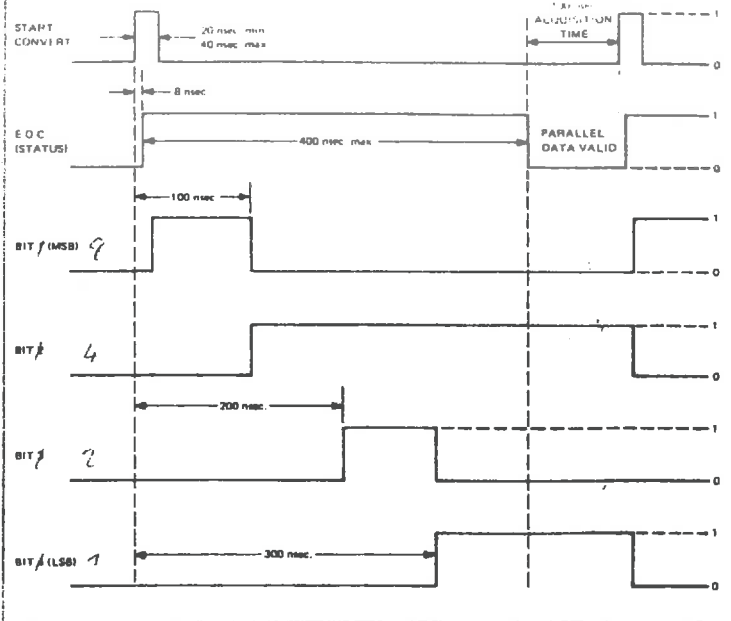


FIGURE 5 (SHEET 5 OF 5) - OMAC CONTROL FLOW

TIMING DIAGRAM FOR ADC-SH4B
OUTPUT: 0101



INPUTS
Analog Input Range ... 0V to +1V Full Scale
Input Impedance 50 ohms
Input Overvoltage ±4V, no damage
Start Conversion +2V min. to +5.5V max. positive pulse with duration of 20 nsec. min. to 40 nsec. max.
 Logic "1" resets converter
 Logic "0" initiates conversion.
 Loading: must sink 5.2mA at 0V.

OUTPUTS
Parallel Output Data .. 4 parallel lines of data held until next conversion command.
 $V_{OUT} ("0") \leq +0.4V$
 $V_{OUT} ("1") \geq +2.4V$
 Each output capable of driving up to 6 TTL loads.
Coding Straight Binary, positive true.
End of Conversion (EOC) ... Conversion Status Signal.
 $V_{OUT} ("0") \leq +0.4V$ indicates conversion complete
 $V_{OUT} ("1") \geq +2.4V$ during reset and conversion periods.
 After EOC output goes low, a min. 100 nsec period should be allowed for the sample-hold to acquire the next analog input level before the next start convert pulse is applied.
 Loading: 6 TTL loads.

PERFORMANCE
Resolution 4 Bits (1 part in 16)
F.S. Error ±1% max.
Nonlinearity ±2% max.
Temp. Coefficient ±200 ppm/°C max.
Acquisition Time 100 nsec. max.
Conversion Time 400 nsec. max.
Conversion Rate 2MHz max.
Aperture Delay 10 nsec. max.
Aperture Uncertainty . 5 nsec. max.

POWER REQUIREMENT
 +15VDC ± 0.5V at 45mA
 -15VDC ± 0.5V at 20mA
 +5VDC ± 0.25 at 150mA

PHYSICAL-ENVIRONMENTAL
Operating Temp. Range 0°C to 70°C
Storage Temp. Range .. -55°C to +85°C
Relative Humidity Up to 100% non-condensing
Case Size 2 X 2 X 0.375 inches (50, 8 X 50, 8 X 9, 5 mm)
Case Material Black Diallyl Phthalate per MIL-M-14.
Pins020" round, gold plated, .250" lg. min.
Weight 2 oz. max. (57g)

OUTPUT CODING

SCALE	INPUT VOLTAGE	STRAIGHT BINARY	
15/16 FS	+0.937V	384	1111
7/8 FS	+0.875V	344	1110
13/16 FS	+0.812V	846	1101
3/4 FS	+0.750V	776	1100
11/16 FS	+0.687V	716	1011
5/8 FS	+0.625V	646	1010
9/16 FS	+0.562V	586	1001
1/2 FS	+0.500V	516	1000
7/16 FS	+0.437V	446	0111
3/8 FS	+0.375V	376	0110
5/16 FS	+0.312V	306	0101
1/4 FS	+0.250V	236	0100
3/16 FS	+0.187V	166	0011
1/8 FS	+0.125V	96	0010
1/16 FS	+0.062V	26	0001
0	+0.000V	000	0000

ORDERING INFORMATION

Price (1-9)
ADC-SH4B \$79.00
Mating Sockets:
DILS-2 (2/Module) \$5.00/Pair

For extended temperature range operation, the following suffix is added to the model number. Consult factory for pricing.
 -EX -25°C to +85°C operation

THE ADC-SH4B CONVERTER IS COVERED BY GSA CONTRACT.

PRICES AND SPECIFICATIONS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE

DATTEL
 SYSTEMS, INC. 1020 TURNPIKE STREET, CANTON, MASS. 02021

Tel. (617) 828-8000 TWX: 710-348-0135 TELEX: 924461
 (714) 835-2751
 (408) 733-2424 3/76 BULLETIN ASH-N05604
 (213) 933-7256
 (301) 840-9490

DC CHARACTERISTICS: $T_A = 25^\circ\text{C}$

SYMBOL	PARAMETER	RANGE			UNITS	CONDITIONS
		MIN	TYP	MAX		
V_{RD}	Reset Drain Voltage	5.0	10	15.5	V	
V_{DD}	Output Drain D.C. Supply	14.5	15	15.5	V	
V_{OG}	Output Gate Voltage	-1.0	0	+1.0	V	Note 1
V_{SS}	Substrate Ground		0		V	Clock Return Line
V_{GG}	Signal Ground		0		V	Signal Return Line
TP1	Test Point 1	10	15	15.5	V	Can be Tied to V_{DD}
TP2	Test Point 2		0		V	Ground to V_{SS}
TP3	Test Point 3					Connect to ϕ_{H2}
TP4	Test Point 4					Connect to ϕ_{H1}
$C_{\phi P}$	Photogate Clock Capacitance		1500		pF	With respect to V_{SS} . All Other Terminals Gnd.
$C_{\phi V1}, C_{\phi V2}$	Vertical Clocks Capacitance		1000		pF	With respect to V_{SS} . All Other Terminals Gnd.
$C_{\phi H1}, C_{\phi H2}$	Horizontal Clocks Capacitance		35		pF	With respect to V_{SS} . All Other Terminals Gnd.
$C_{\phi R}$	Reset Clock Capacitance		5.0		pF	With respect to V_{SS} . All Other Terminals Gnd.
R_{OUT}	Output Resistance		700		Ω	

CLOCK CHARACTERISTICS: $T_A = 25^\circ\text{C}$

SYMBOL	PARAMETER	RANGE			UNITS	CONDITIONS
		MIN	TYP	MAX		
$V_{\phi PL}$	Photogate Clock LOW		0		V	
$V_{\phi PH}$	Photogate Clock HIGH	4.0	6.0	12	V	Note 2
$V_{\phi RL}$	Reset Clock LOW		0.0		V	
$V_{\phi RH}$	Reset Clock HIGH	4.0	10	12	V	Note 2
$V_{\phi H1L}, V_{\phi H2L}$	Horizontal Analog Transport Register Clock LOW		0		V	
$V_{\phi H1H}, V_{\phi H2H}$	Horizontal Analog Transport Register Clock HIGH	4.0	9.0	12	V	Note 2
$V_{\phi V1L}, V_{\phi V2L}$	Vertical Analog Transport Register Clock LOW		0		V	
$V_{\phi V1H}, V_{\phi V2H}$	Vertical Analog Transport Register Clock HIGH	4.0	6.0	12	V	Note 2
$f_{\phi H1}, f_{\phi H2}$	Horizontal Analog Transport Register Clock Frequency	0.1	2.0	6.0	MHz	
$f_{\phi V1}, f_{\phi V2}$	Vertical Analog Transport Register Clock Frequency	0.001	0.02	0.06	MHz	
$f_{\phi R}$	Reset Clock Frequency (Video Data Rate)	0.1	2.0	6.0	MHz	

AC CHARACTERISTICS: $T_A = 25^\circ\text{C}$, $f_{\phi H1} = f_{\phi H2} = 2 \text{ MHz}$, $t_{INT} = 6.6 \text{ ms}$ (see Note 8); Light source is 2854°K Tungsten illumination with a Corning 1-75 I.R. cutoff filter.

SYMBOL	PARAMETER	RANGE			UNITS	CONDITIONS
		MIN	TYP	MAX		
DR	Dynamic Range	200	300			Note 3
SE	Saturation Exposure	0.3	0.4		$\mu\text{J}/\text{cm}^2$	Note 4
V_{sat}	Saturation Output Voltage	0.8	1.6		V	Note 5
R	Responsivity		4.0		$\text{V}/\mu\text{J cm}^{-2}$	
S	Shading		± 2.0	± 10	% of V_{sat}	Note 6
V_D	Average Peak Dark Voltage		0.08		V	Note 7

ESSAIS 4

ESSAIS

4

I.N.R.A.

AIM ASM-TMS 9900

CE	CG	LIG	INS	OPERANDES	COM
		1			*****
		2	**	ETIQUETTES	ZONE RAM
		3			*****
0200		4	ORG	>200	
0200		5	NV	DCN	2
0202		6	DEPAS	DCN	2
0204		7	PARC	DCN	2
0206		8	DATE	DCN	2
0208		9	W7	DCN	32
0220		10	WI	DCN	32
0240		11	WT	DCN	32
0260		12	WS	DCN	32
		13			WORK K7
		14			WORK T1
		15			WORK INT
		16			WORK PROG PRINC
		17	**	PROGRAMME PRINCIPAL	*****
0000		18	ORG	>800	
0000	02E0	19	LWPI	WS	
0002	0260	20			RESERVE ZONE DE TRAVAIL
0004	0400	21	CLR	12]
0006	1000	22	SBO	0]
0008	100F	23	SBZ	15]
		24	**	INIT TAD	**
000A	0200	25	LI	(2,>20	@ P0 IN R12
000C	0020	26	SBO	0	DE -1
000E	1000	27	SBO	9	E.O.F. -1
0010	1009	28	**	VECTEUR INTERRUPTION	**
0012	0200	29	LI	0,WT	
0014	0240	30	MOV	0,@>0000	@ ZONE TRAVAIL
0016	0000	31	LI	0,INT	
0018	0000	32	MOV	0,@>000A	@ PROG. INT.
001A	0200	33	**	-----**	
001C	092E	34	BL	@PDATE	B CHARGE DATE
001E	0000	35	P	@PPARC	B CHARGE NO PARCELLE
0020	0000	36	CLR	0	
0022	0200	37	MOV	0,@NV	INIT NV=0
0024	0000	38	PVUE	LI	0,>1
0026	0001	39	A	0,@NV	INC NO VUE
0028	A000	40	CI	@NV,>9	NV<9?
002A	0200	41	JLE	PAFFI	
002C	0260	42	B	@PAFFI	
002E	0009	43	P	P	
0030	1202	44	P	P	
0032	0400	45	P	P	
0034	0009	46	P	P	
0036	1202	47	P	P	
0038	0400	48	P	P	
003A	0042	49	P	P	
003C	0600	50	P	P	
003E	0000	51	P	P	
0040	0000	52	P	P	
0042	0000	53	P	P	
0044	0000	54	P	P	
0046	0200	55	P	P	
0048	0000	56	P	P	
004A	0000	57	P	P	
004C	0000	58	P	P	
004E	0000	59	P	P	
0050	0000	60	P	P	
0052	0000	61	P	P	
0054	0000	62	P	P	
0056	0000	63	P	P	
0058	0000	64	P	P	
005A	0000	65	P	P	
005C	0000	66	P	P	
005E	0000	67	P	P	
0060	0000	68	P	P	
0062	0000	69	P	P	
0064	0000	70	P	P	
0066	0000	71	P	P	
0068	0000	72	P	P	
006A	0000	73	P	P	
006C	0000	74	P	P	
006E	0000	75	P	P	
0070	0000	76	P	P	
0072	0000	77	P	P	
0074	0000	78	P	P	
0076	0000	79	P	P	
0078	0000	80	P	P	
007A	0000	81	P	P	
007C	0000	82	P	P	
007E	0000	83	P	P	
0080	0000	84	P	P	
0082	0000	85	P	P	
0084	0000	86	P	P	
0086	0000	87	P	P	
0088	0000	88	P	P	
008A	0000	89	P	P	
008C	0000	90	P	P	
008E	0000	91	P	P	
0090	0000	92	P	P	
0092	0000	93	P	P	
0094	0000	94	P	P	
0096	0000	95	P	P	
0098	0000	96	P	P	
009A	0000	97	P	P	
009C	0000	98	P	P	
009E	0000	99	P	P	
00A0	0000	100	P	P	

ESSAIS 4

ESSAIS

0002

I.N.R.A.

AIM ASM-TMS 9900

CE	CG	LIG	INS	OPERANDES	COM
004A	101F	43	380	31	
004C	1E19	44	38Z	25	INIT LOGICIEL
004E	1E1E	45	38Z	38	CHOIX DU CANAL
0050	1015	46	380	21	CANAUX SEPARES
0052	1E14	47	38Z	28	NO EFFECT ON INT
0054	1E13	48	38Z	19	INCREMENT BY ONE
0056	1E12	49	38Z	18	MEMORY WRITE
0058	1E18	50	38Z	24	(MAR) - (LAR)
005A	0200	51	LI	0, >2404	
005C	2404	51			
005E	1E10	52			
0060	3000	53	38Z	16	SELECT LAR
0062	0200	54	LDCR	0,0	CHARGE LAR
0064	1004	54	LI	0, >1004	
0066	1010	55			
0068	3000	56	380	16	SELECT MAR
006A	1011	57	LDCR	0,0	CHARGE MAR
006C	1016	58	380	17	VALID CANAL 0
		58	380	22	VALID INT
		59	*****		
		60	*****VALIDATION INT*****		
006E	0400	61	CLR	12	
0070	1E00	62	38Z	0	
0072	1004	63	380	4	
0074	0300	64	LIMI	4	
0076	0004	64			
		65	*****ATTENTE INT*****		
0078	0400	66	B	@ATOMA	ATTENTE INT
007A	00A0	66			
007C	0420	67	RETINT	BLWP	@TIMAG
007E	0A04	67	R		B TEST IMAGE
0080	0420	68			
0082	0A00	68	BLWP	@PTAD	CHARGE CASSETTE
		69	**** NEW PARCELLE ? ****		
0084	2FA0	70	NPARC	XOP	@MMSG6,14
0086	0A50	70	N		AFF. NEW PARC.
0088	2E00	71			
008A	0200	72	XOP	0,11	ACQUI. CARACTERE ASCII
008C	4E00	72	CI	0, >4E00	N ?
008E	1602	73			
0090	0460	74	JNE	NO	
0092	0030	74	B	@PVUE	
0094	0200	75	NO		
0096	4F00	75	N	CI	0, >4F00
0098	16F5	76			
009A	0400	76	JNE	NPARC	
009C	C800	77	CLR	0	(R0) -0
009E	0200	78	MOV	0, @NV	REINIT
00A0	C800	78			
00A2	0204	79	MOV	0, @PARC	REINIT
00A4	0460	80			
00A6	0026	80	B	@PCPAR	CHARGE NEW PARC.
		81	*****		
		82	** ATTENTE DBAC **		
		83	*****		
00A8	0400	84	ATOMA	CLR	12
00AA	1E10	85			U 10
00AC	0200	86	38Z	16	
		86	LI	0, >8000	

ESSAIS

0003

ESSAIS 1

I.N.R.A.

AIM ASM-TMS 9900

CE	CG	LIG	INS	OPERANDES	COM
08AE	0888	86			
08B0	0600	87	AT1	DEC 0	
08B2	16FE	88		JNE AT1	
08B4	1D10	89		SBO 16	
08B6	0200	90		LI 0,16888	
08B8	0888	90			
08BA	0600	91	AT2	DEC 0	
08BC	16FE	92		JNE AT2	
08BE	10F4	93		JMP ATDMA	
		94	*****		
		95	**	CHARGEMENT DATE	**
		96	*****		
08C0	C088	97	PDATE	MOV 11,2	SAUVE RETOUR
08C2	2FA0	98	PDA0	XOP @MES01,14	AFF. DATE
08C4	0A10	98	P		
08C6	2E40	99		XOP 0,9	ACQUI. VALEUR
08C8	08C2	100	DC2	PDA0	ATTENTE CARACTERE
08CA	0A00	101	DC2	ERR1	ERREUR
08CC	C800	102	MOV	@DATE	TRANSFERT @ DATE
08CE	0206	102			
08D0	0452	103	B	*2	RETURN
		104	*****		
		105	**	CHARGEMENT NO PARCELLE	**
		106	*****		
08D2	C888	107	PPARC	MOV 11,2	SAUVE RETOUR
08D4	2FA0	108	PPA0	XOP @MES02,14	AFF NO PARCELLE
08D6	0A20	108	P		
08D8	2E40	109		XOP 0,9	ACQUI VALEUR
08DA	08D4	110	DC2	PPA0	ATTENTE CARACTERE
08DC	0A14	111	DC2	ERR2	ERREUR
08DE	0203	112	LI	3,1FF00	MASQUE
08E0	FF00	112			
08E2	4003	113	SZC	3,0	MASQUAGE
08E4	C800	114	MOV	@PARC	TRANSFERT @PARC
08E6	0204	114			
08E8	0452	115	B	*2	RETURN
		116	*****		
		117	**	AFFICHAGE PARCELLE/VUE	**
		118	*****		
08EA	C860	119	AFNPV	MOV @PARC,1	@PARC IN R1
08EC	0204	119	A		
08EE	06C1	120	SWPB	1	CHANGE BYTE
08F0	C0A0	121	MOV	@NV,2	(R2)-NO VUE
08F2	0200	121			
08F4	C120	122	MOV	@DATE,4	CHARGE DATE IN R4 0
08F6	0206	122			
08F8	A081	123	A	1,2	(R2)-(R1)+(R2)
08FA	2FA0	124	XOP	@MES07,14	
08FC	0A64	124			
08FE	2E02	125	XOP	2,10	AFF. (R2)
0900	2F49	126	XOP	9,13	
0902	C8E0	127	MOV	@DEBCH,3	CHARGE @ DEBUT CHARG.
0904	0A70	127			
0906	C0C4	128	MOV	4,*3+	TRANSFERT DATE
0908	C4C2	129	MOV	2,*3	TRANSFERT (R2)
090A	0458	130	B	*11	
		131	*****		

ESSAIS 4

ESSAIS

0004

I.N.R.A.

AIM ASM-TMS 9900

CE	CG	LIG	INS	OPERANDES	COM
		132	**	TEST IMAGE	**
		133	*****	*****	*****
0900	0404	134	TI	CLR 4	RAZ R4
090E	02A0	135		MOV @DBIMA, 10	CHARG. @ DEBUT IMAGE
0910	0A74	135			
0912	007A	136	IB	MOV *10+, 1	TRANFERT MOT
0914	0203	137		LI 3, >FFFF	CHARGE MASQUE
0916	FFFF	137			
0918	0081	138	IC	MOV 1, 2	GARDE (R1)
091A	4003	139		SZC 3, 2	MASQUAGE
091C	0202	140		CI 2, >E	(R2)->E ?
091E	000E	140			
0920	1201	141		JLE 10	
0922	0504	142		INC 4	+1 BAD CELLULE
0924	0941	143	ID	SRL 1, 4	DEPLACEMENT (R1), 4
0926	16F8	144		JNE IC	
0928	00FA	145		C 10, @FINA	FIN IMAGE ?
092A	0A76	145			
092C	11F2	146		JLT IB	
092E	0604	147		C 4, @DEPAS	SATURATION ?
0930	0202	147			
0932	1404	148		JHE IE	
0934	0300	149		RTWP RETURN P.P.	
0936	0400	150	IE	B @SON1	AVERTISSEUR !
0938	093A	150	I		
		151	*****	*****	*****
		152	**	SON TEST IMAGE	**
		153	*****	*****	*****
093A	0420	154	SON1	BLWP @>3000	BEEP
093C	3000	154	S		
093E	0200	155		LI 0, >4FFA	
0940	4FFA	155			
0942	0600	156	S1	DEC 0	DELAY
0944	16FE	157		JNE S1	
0946	020C	158		LI 12, >420	
0948	0420	158			
094A	0400	159		CLR 0]]
094C	3100	160		LDCR 0, 4] RETURN ?
094E	020C	161		LI 12, >400]]
0950	0400	161]]
0952	1F03	162		TB 3]]
0954	13F2	163		JEQ SON1]]
0956	0400	164		B @PAFFI]]
0958	0042	164]]
		165	*****	*****	*****
		166	**	ERREUR	**
		167	*****	*****	*****
095A	0040	168	ERROR	MOV 11, 1	SAUVE @ RETOUR
095C	0420	169	E1	BLWP @>3000	BEEP
095E	3000	169	E		
0960	2FA0	170		XOP @MMSG4, 14	AFF. ERROR
0962	0A40	170			
0964	2F40	171		XOP 0, 13	
0966	020C	172		LI 12, >420]]
0968	0420	172]]
096A	0400	173		CLR 0]]
096C	3100	174		LDCR 0, 4]]

ESSAIS 4

ESSAIS

0005

I.N.R.A.

AIM ASM-TMS 9900

CE	CG	LIG	INS	OPERANDES	COM	
096E	0200	175	LI	12, >400] RETURN ?	
0970	0400	175				
0972	1F03	176	TB	3]]	
0974	13F3	177	JEQ	E4]]	
0976	0454	178	B	*4	RETURN	
0978	10F4	179	JMF	E4		
		180	*****			
		181	**	GESTION DU TAD (CASSETTE)	**	
		182	*****			
097A	020A	183	K7	LI	10, >1A2C]	
097C	1A2C	183	K			
097E	0209	184	LI	9, >1AAC]		
0980	1AAC	184				
0982	0200	185	LI	0, >544]	SUPPRESSION	
0984	0544	185				
0986	0EB9	186	KK	MOV	*9+, *10+] DONNEES	
0988	0600	187		DEC	0] MAUVAISES	
098A	16FD	188		JNE	KK]	
098C	0200	189	LI	12, >20	@ P0 IN R12	
098E	0020	189				
0990	1F00	190	TB	12		
0992	1302	191	JEQ	KC	PRET -4 ?	
0994	0460	192	B	0KM	POSITIONNER K7	
0996	09E0	192				
0998	02A0	193	KC	MOV	@DEBCH, 10 CHARGE @ DEB. CHARGE.	
099A	0A70	193	K			
099C	0060	194	KD	MOV	@NB0CT, 4 NOBRE MOTS/BLOC	
099E	0A70	194	K			
09A0	1E00	195	SBZ	0	DE -0	
09A2	00BA	196	KE	MOV	*10+, 2 CHARGE MOT	
09A4	0203	197	LI	3, >2	REPERAGE OCTETS	
09A6	0002	197				
09A8	3202	198	KF	LDCR	2, 0 SORTIES	
09AA	0400	199		CLR	0 DELAY	
09AC	1F0A	200	K4	TB	10 DM-0 ?	
09AE	13FE	201	JEQ	K4		
09B0	1F0A	202	K2	TB	10 DM-1 ?	
09B2	16FE	203	JNE	K2		
09B4	0602	204	SWPB	2	CHANGE OCTET	
09B6	0603	205	DEC	3		
09B8	16F7	206	JNE	KF		
09BA	0604	207	DEC	4	FIN BLOC ?	
09BC	16F2	208	JNE	KE		
09BE	1000	209	SBO	0	DE -4	
09C0	000A	210	C	10, @FINCH		
09C2	0A72	210				
09C4	4406	211	JLT	KJ	FIN IMAGE ?	
09C6	1F0B	212	K5	TB	44 SE -4 ?	
09C8	16FE	213	JNE	K5		
09CA	4E09	214	SBZ	9	E.O.F. -0	
09CC	0039	215	SRC	9, 3	DELAY	
09CE	1009	216	SBO	9	E.O.F. -4	
09D0	0300	217	RTWP	RETURN		
09D2	0200	218	KJ	LI	0, >FFF	
09D4	0FFF	218	K			
09D6	0600	219	K3	DEC	0 DELAY	
09D8	16FE	220	JMF	K3		

ESSAIS 4

ESSAIS

0006

I.N.R.A.

AIM ASM-TMS 9900

CE	LIG	INS	OPERANDES	COM
09DA F0B	221 K4	TB	11	SE -1 ?
09DC 16FE	222	JNE	K4	
09DE 10DE	223	JMP	KD	CHARGE NEW BLOC
	224	*****		
	225 **	POSITIONNER CASSETTE		**
09E0 0420	226 KM	BLWP	@73000	BEEP
09E1 3000	226	K		
09E2 2FA0	227	XOP	@MESG5, 14	AFF. POS. K7
09E3 0A4C	227			
09E4 2F40	228	XOP	@, 13	
09E5 0460	229	B	@K7	RETURN DEBUT
09E6 097A	229			
	230	*****		
	231 **	GESTION INTERRUPTION		**
	232	*****		
0 5 0420	233 INT	BLWP	@73000	BEEP
0 0 3000	233	I		
2 2FA0	234	XOP	@MESG3, 14	
7F4 0A34	234			
09F6 2F40	235	XOP	@, 13	
09F8 0400	236	CLR	12	
09FA 1E00	237	SBZ	0	
09FC 1E04	238	SBZ	4	
09FE 020E	239	LI	14, RETINT	
0A00 007C	239			
0A02 0300	240	RTWP	RETURN	
	241	*****		
	242 **	VECTEURS DE BRANCHEMENT		**
	243	*****		
0A04 0220	244 TIMAG	DC2	W1	@ ZONE TRAVAIL
0A06 0700	245	DC2	TI	@ PROGRAMME
0A08 0200	246 FTAD	DC2	W7	
0A0A 097A	247	DC2	K7	
0A0C 06A0	248 ERR1	BL	@ERROR	SS PROG. ERREUR
0A0E 095A	248	E		
0A10 0460	249	B	@PDA0	@ DE RETOUR
0A12 00C2	249			
0A14 06A0	250 ERR2	BL	@ERROR	SS PROG. ERREUR
0A16 095A	250	E		
0A18 0460	251	B	@PPA0	@ DE RETOUR
0A1A 00D4	251			
	252	*****		
	253 **	MESSAGES		**
	254	*****		
0A1C 0A00	255 MESG1	DC2	>0A00	
0A1E 202044	256	DCK	-@ DATE @ ->	
0A20 0000	257	DC2	@	
0A22 0A00	258 MESG2	DC2	>0A00	FIN LIGNE
0A24 204E4F	259	DCK	@ NO PARCE	
0A26 0000	260	DC2	@	
0A28 0A00	261 MESG3	DC2	>0A00	
0A2A 46494E	262	DCK	@FIN CHARG	
0A2C 0000	263	DC2	@	
0A2E 0A00	264 MESG4	DC2	>0A00	
0A30 455252	265	DCK	@ERROR @	
0A32 0000	266	DC2	@	
0A34 0A00	267 MESG5	DC2	>0A00	

ESSAIS

0007

ESSAIS 1

I.N.R.A.

AIM ASM-TMS 9900

CE	CG	LIG	INS	OPERANDES	COM
0A4E	463720	268	DCK	@K7 POSITE -	
0A56	0000	269	DC2	@	
0A58	0A00	270	MSG6	>0A00	
0A5A	4E4557	271	DCK	@NEW PARC@	
0A62	0000	272	DC2	@	
0A64	0A00	273	MSG7	>0A00	
0A66	202020	274	DCK	@ CODE @	
0A6E	0000	275	DC2	@	
		276	*****		
		277	**	ETIQUETTES EPROM	**
		278	*****		
0A70	1000	279	DEBCH	DC2	>1000 @ DEBUT CHARGE
0A72	2454	280	FINCH	DC2	>2454 @ FIN CHARGE
0A74	1004	281	DBIMA	DC2	>1004 @ DEBUT IMAGE
0A76	2404	282	FIHA	DC2	>2404 @ FIN IMAGE
0A78	0080	283	NBOCT	DC2	>80 NBRE MOTS/BLOCS
0A7A		284			
NB D'ERREURS0000					

RESUME

La structure d'un couvert végétal détermine les transferts de masse et d'énergie à l'intérieur du couvert. L'objet de ce travail est de développer une méthodologie simple à mettre en oeuvre, permettant de décrire précisément la structure du couvert végétal.

Nous définissons tout d'abord les paramètres caractéristiques de la structure d'un couvert. Nous montrons l'intérêt de la photographie hémisphérique fournissant directement la fréquence directionnelle de "trous" dans le couvert. Cette information permet d'appréhender les principales caractéristiques de la structure du couvert au travers de modèles théoriques. L'utilisation opérationnelle de cette méthode était jusqu'à présent limitée par la lourdeur du traitement des clichés photographiques.

Nous proposons un système qui offre l'avantage de conserver la même méthodologie de mesure sans l'emploi du support photographique. Son originalité réside dans l'utilisation d'une caméra à matrice CCD.

Nous comparons les résultats obtenus avec notre système à ceux obtenus par la méthode photographique prise comme référence. Les tests effectués montrent que le principe de fonctionnement adopté est satisfaisant. Il est par contre apparu une limite importante de ce matériel liée à un défaut de résolution spatiale. Il est possible d'y remédier en améliorant la résolution de la caméra CCD.

Mots clés : Couvert végétal, photographies hémisphériques, structure du couvert, interception directionnelle, caméra CCD, analyse d'images.