

GÉOGRAPHIE PAR TÉLÉDÉTECTION D'UN COMPLEXE CÉRÉALIER TROPICAL (NORD CAMEROUN)

Traitements photochimiques d'imagerie Landsat

Jean BOUTRAIS

Géographe O.R.S.T.O.M., 24, rue Bayard, 75008 Paris

avec la collaboration de Bernard LORTIC (1)

Bureau de Télédétection de l'O.R.S.T.O.M., 70, 74, route d'Aulnay, 93140 Bondy

Devant l'accroissement récent et rapide de sa consommation de pain, entraînant une nouvelle dépendance alimentaire, phénomène commun à beaucoup de pays d'Afrique Noire, le Cameroun a décidé de lancer la culture du blé (2).

Des essais préalables se révélant positifs, un grand complexe céréalier est implanté, à partir de 1975, sur le plateau de l'Adamaoua, au centre du pays. La culture du blé tendre panifiable est possible dans ces savanes soudaniennes puisque certains habitants la pratiquent déjà depuis longtemps, en jardins enclos au voisinage des villages.

La SODEBLÉ (Société de développement de la culture et de transformation du blé) s'installe près de l'un de ces villages, Wassandé, situé à l'est de Ngaoundéré (fig. 1).

Cette grande opération agricole se heurte, dès les premières années, à des difficultés qui se traduisent par des rendements bien inférieurs à ceux que permettaient d'espérer les résultats obtenus lors des essais. D'une année sur l'autre, les faits contredisent les prévisions des responsables. De 1975 à 1979, nous avons ainsi vécu la période décisive du lancement d'un complexe agro-industriel. Disposant de statistiques annuelles de surfaces emblavées et de récoltes, nous avons tenté d'analyser les difficultés de l'opération; elles sont tellement graves qu'elles entraînent, très vite, la remise en question presque complète du projet initial.

Une fois achevée l'étude de ces difficultés, nous nous sommes demandés si les images Landsat ne permettent pas de suivre le développement de l'opération agricole. Elle est lancée alors que le satellite fournit déjà des images depuis quelques années. En admettant même que certaines d'entre elles soient prises au bon moment, une prévision de récolte ne devient-elle pas possible? Il est connu que les prévisions des récoltes de céréales de pays étrangers furent l'objet de l'une des premières exploitations des documents transmis par les satellites. Avec une bonne connaissance du terrain et quelques données chiffrées concernant la culture du blé, une analyse des images Landsat promettait d'être une entreprise intéressante.

Il convient de préciser tout de suite que cette entreprise n'a pas bénéficié des gros équipements dont disposent habituellement les spécialistes en télédétection : ordinateurs, terminaux avec écrans, claviers de commande, tables traçantes... L'appareillage mis en œuvre est, au contraire, très modeste. La documentation élaborée consiste en compositions colorées par superposition de trois films dits diazoïques, le procédé le plus économique pour obtenir un document en couleur.

Les moyens mis en œuvre se limitent vraiment à peu de chose : une succession d'agrandissements des documents les plus intéressants, une manipulation de trois films, des mesures de la « densité », c'est-à-dire

(1) P. PELTRE, géographe du Bureau de Télédétection de l'O.R.S.T.O.M., a bien voulu relire ce texte et nous faire part de ses critiques et suggestions : qu'il en soit vivement remercié.

(2) BOUTRAIS (J.), 1982. — Consommation et production de blé au Cameroun ; une difficile indépendance alimentaire. *Rev. de Géogr. du Cameroun*, vol. III, n° 1, pp. 67-80, 3 fig., 2 cart., 3 tabl.

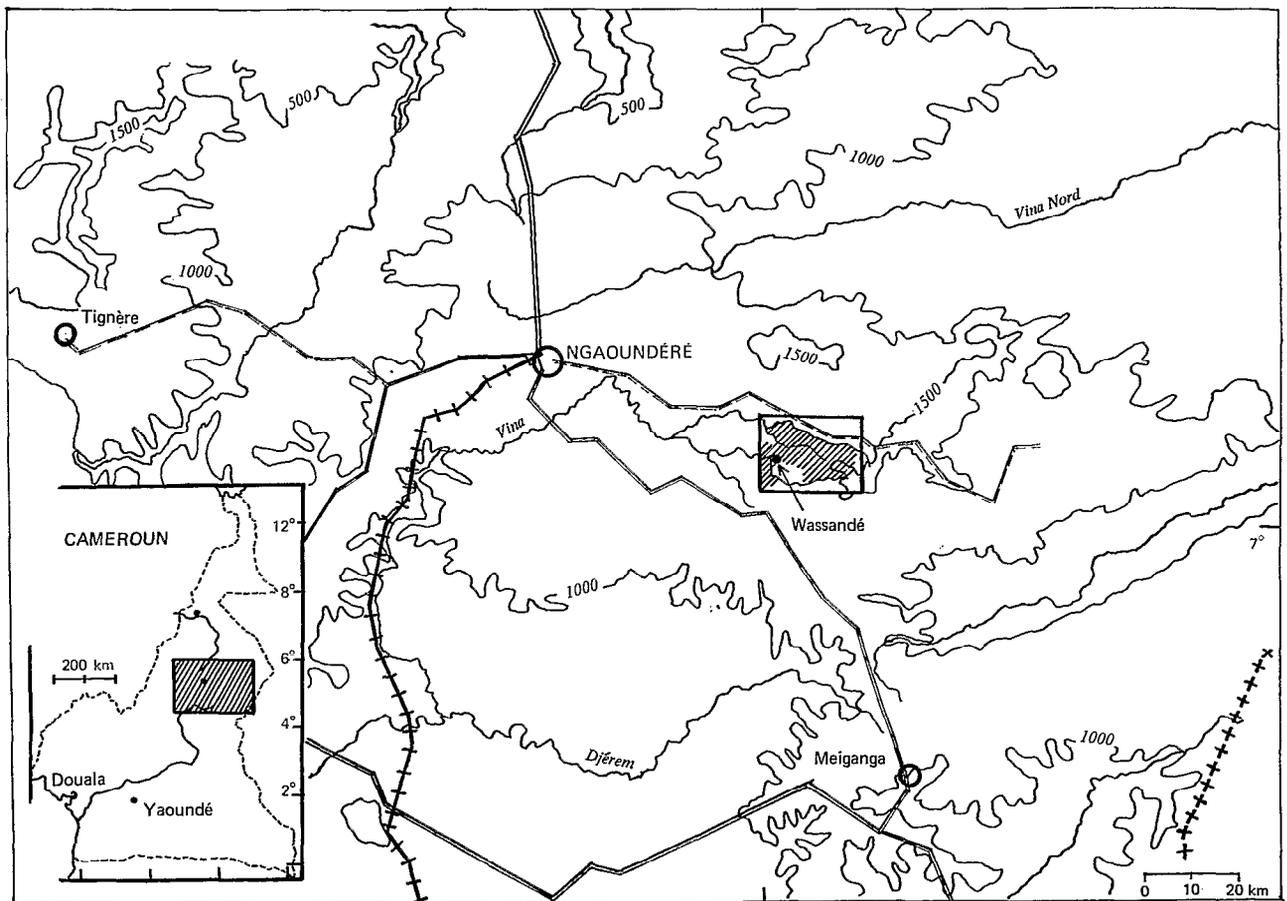


FIG. 1. — Croquis de localisation

du degré de noircissement des positifs. Par contre, le dialogue entre le chercheur et le technicien est permanent.

Le texte retrace la progression, non pas d'une méthode sûre d'elle-même dès le départ, mais d'une suite d'essais et de tâtonnements, aux résultats parfois décevants, parfois plus féconds. C'est le cas, par exemple, pour la combinaison des canaux 5-7, jusque-là peu utilisée en télédétection, du moins en méthode visuelle. Les illustrations présentées au cours du texte montrent l'intérêt de ce traitement photochimique pour l'étude d'une culture annuelle en zone tropicale. Alors que les autres canaux ne permettent pas de séparer nettement la culture du blé de la savane environnante, ce document opère une discrimination claire entre les deux phénomènes. Sa validité s'avère également très probante par la corrélation obtenue entre la densitométrie et la date des semis aussi bien que les rendements.

Le complexe céréalier de Wassandé

Cette partie de l'Adamaoua n'est cartographiée que par une carte provisoire à 1/200 000^e, dressée il y a longtemps par l'IGN. Non révisée depuis 1959, elle ne mentionne pas Wassandé, bien que le village date d'une cinquantaine d'années et qu'il regroupe trois cents habitants. Agrandie à 1/50 000^e, cette carte a quand même procuré un fond topographique pour la cartographie du secteur en 1974 puis en 1979 (fig. 2 et 3). Il existe un plan masse de la SODEBLÉ, levé en 1978 à 1/20 000^e, mais sa précision est assez illusoire, notamment pour les savanes comprises entre les blocs de culture.

La table gauchie du plateau de l'Adamaoua atteint ici une altitude de 1400-1500 mètres. Cette altitude élevée représente un avantage décisif pour la culture du blé en zone tropicale semi-humide : en abaissant les températures, elle restreint d'autant

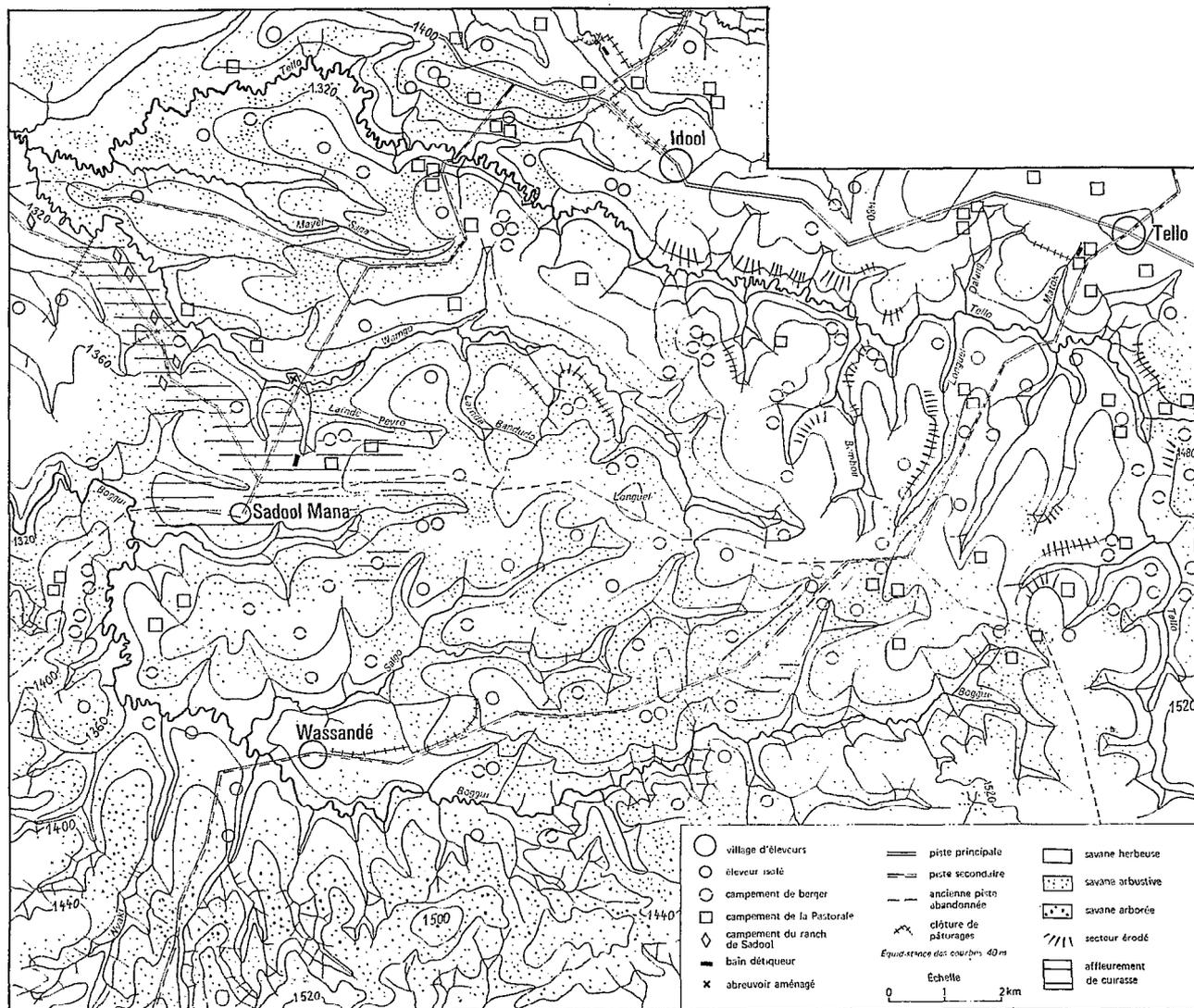


FIG. 2. — Le plateau de Wassandé avant la Sodeblé (1974)

l'incidence des maladies cryptogamiques et le risque de chaulage.

Le soubassement cristallin du plateau est recouvert par une couverture de basaltes, ce qui se traduit par une planité du relief et par une faible densité du réseau hydrographique. Cependant, le recouvrement volcanique étant ancien, une dissection commence à s'exprimer à la surface du plateau : des vallées encaissées de 20 à 50 mètres cloisonnent de longs interfluvés plats, larges de 1 à 2 kilomètres.

Le modelé se reflète en partie dans le couvert végétal : aux savanes arbustives claires des dos d'interfluvés s'opposent les boisements plus fournis des versants de vallées et les liserés des galeries forestières le long des cours d'eau permanents. Les

forêts-galeries à grands *Syzygium* dépassent rarement 30 mètres de large.

Le climat, de type tropical semi-humide, juxtapose une saison sèche de 5 mois et une saison des pluies plus longue (mai-novembre) qui concentre 1.500 mm de précipitations moyennes. Bien que l'altitude provoque un abaissement net des températures lors de l'arrivée de la saison sèche, l'évaporation devient intense (200 à 300 mm par mois) et l'humidité relative passe de 80 % en saison pluvieuse à 30 % en saison sèche.

Le paysage végétal se modifie dès l'arrêt des pluies : les grandes herbes de la savane jaunissent, se dessèchent puis alimentent des feux de brousse. Mais nombre d'arbustes restent verdoyants ou

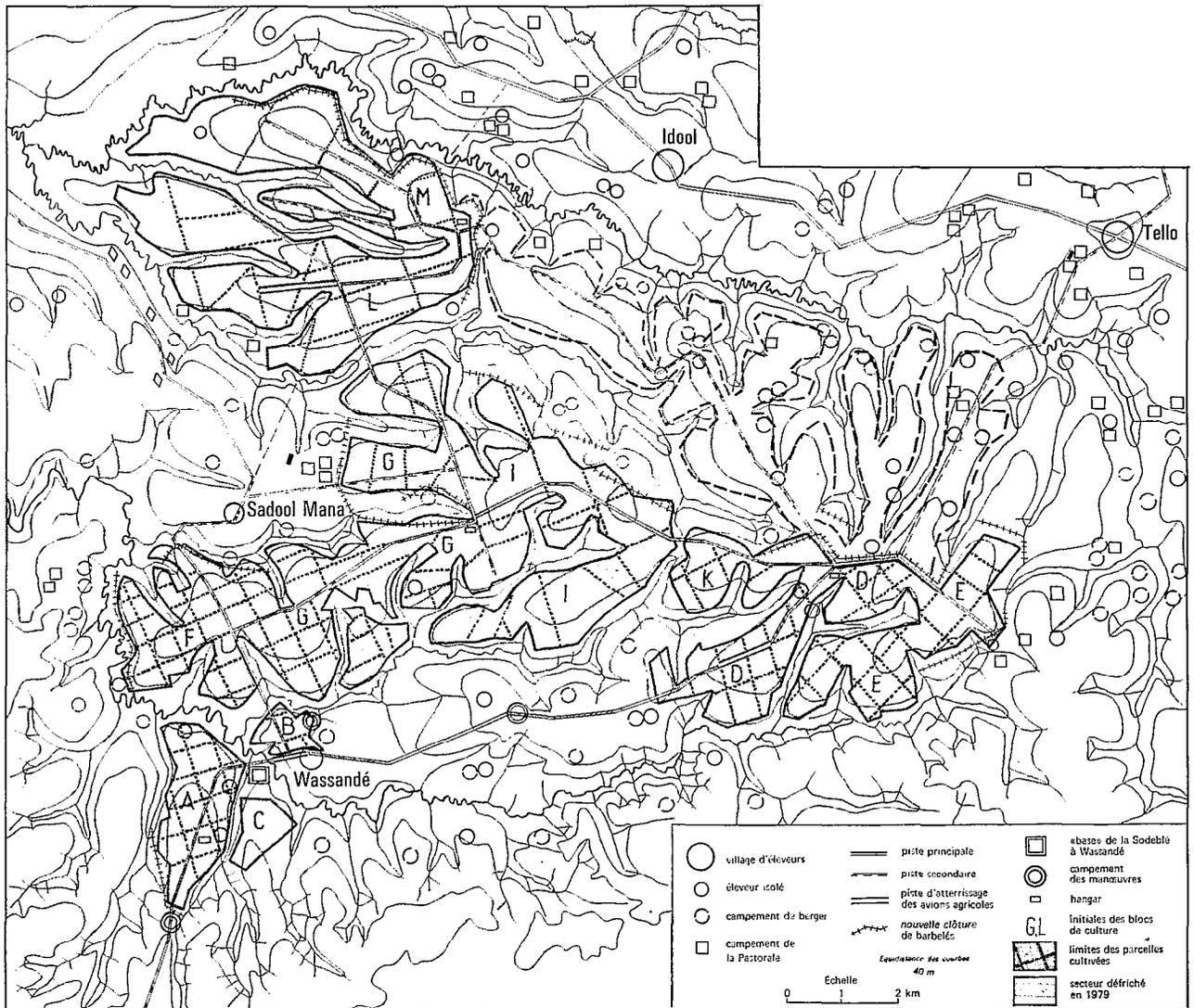


Fig. 3. — Le plateau de Wassandé en 1979

renouvellent leur feuillage après le passage des feux.

La grande culture du blé met à profit le modelé issu des épanchements basaltiques. Les gros engins de culture (tracteurs à chenilles, charrues multisoocs, moissonneuses-batteuses) peuvent évoluer sur les vastes interfluves. La culture du blé s'arrête à la courbure convexe des hauts de versants dont la pente reste modérée. Les premiers défrichements couvraient toutes les pentes jusqu'à 5 % mais les risques d'érosion ont conduit, par la suite, à abandonner les pentes supérieures à 3 %. Tous les dos d'interfluves sont entièrement déboisés pour les besoins de la grande culture. Menée avec de puissants moyens, c'est une opération relativement facile puisque le couvert boisé n'est qu'arbus tif.

Sur les vieux basaltes se sont développés des sols ferrallitiques rouges, argileux et profonds, convenant a priori pour la grande culture. Mais des affleurements de concrétions ferrugineuses, parfois indurées en cuirasses, se localisent au pourtour des versants de vallées et même au milieu de larges interfluves à légère dépression centrale.

La figure 2 donne une idée des paysages avant la création du complexe céréalier. Contrastant avec l'utilisation ancienne surtout pastorale de cette partie de l'Adamaoua, l'extension des cultures et des défrichements est reportée sur la figure 3, en 1979. Commencés en 1975 aux environs de Wassandé, les défrichements mécaniques se sont étendus progressivement à l'est puis au nord du village. Le complexe

agricole se compose de plusieurs blocs, désignés par des lettres ou des toponymes camerounais connus (A : Akwa, B : Buea...). Chaque bloc correspond à une unité d'interfluve ou à une partie de celui-ci, limitée par une piste d'exploitation. Les blocs de culture sont desservis par de larges pistes permanentes, en latérite, souvent rectilignes au milieu des interfluves.

Les premiers blocs étaient quadrillés par un maillage géométrique de parcelles carrées de 500 mètres de côté, donc de 25 ha. Les contours irréguliers de certains blocs ont contraint à la délimitation de quelques parcelles plus petites ou plus grandes. Des chemins d'exploitation, en terre, marquent les limites toutes droites des parcelles.

Puis les blocs suivants sont devenus plus grands, atteignant une moyenne d'un millier d'ha. Les parcelles de ces nouveaux blocs ne dessinent plus un canevas aussi régulier.

Enfin, en 1978 et en 1979, les défrichements respectent des bandes herbeuses suivant les courbes de niveau, à intervalles réguliers. La géométrie des vastes paysages agricoles ainsi créés n'est plus du tout la même. Aux damiers succèdent des courbes et des auréoles.

La succession régulière d'une saison pluvieuse et d'une saison sèche commande le calendrier agricole du blé (fig. 4). Il doit arriver à maturité en début de saison sèche (novembre) : l'air chaud et sec favorise alors l'accumulation du gluten dans les grains. Le cycle végétal doit donc chevaucher les deux saisons. Il accomplit son développement végétal pendant la dernière partie de la saison pluvieuse, achève son épiaison avec les pluies de fin de saison, puis mûrit en début de saison sèche.

Le calendrier agricole du sorgho suit le même schéma mais son cycle végétal s'étale dans la région sur huit mois tandis que les variétés de blé sélectionnées ont un cycle très court, limité à 100 ou 120 jours. Le diagramme ombrothermique de Ngaoundéré, établi d'après les moyennes calculées sur 40 années, montre que les semis de blé doivent se situer entre le 15 août et le 15 septembre : pas avant le 15 août pour éviter que les épis de blé arrivent à maturité sous les pluies, plus après le 15 septembre car la plante n'aurait plus le temps d'achever sa croissance.

Les gros travaux (labours et semis) se situent donc en pleine saison des pluies, marquée par des conditions atmosphériques qui ne sont guère élémentes. Parfois, les pluies continuelles et les sols détremés immobilisent les gros engins de culture.

Si le rythme climatique soudanien autorise la

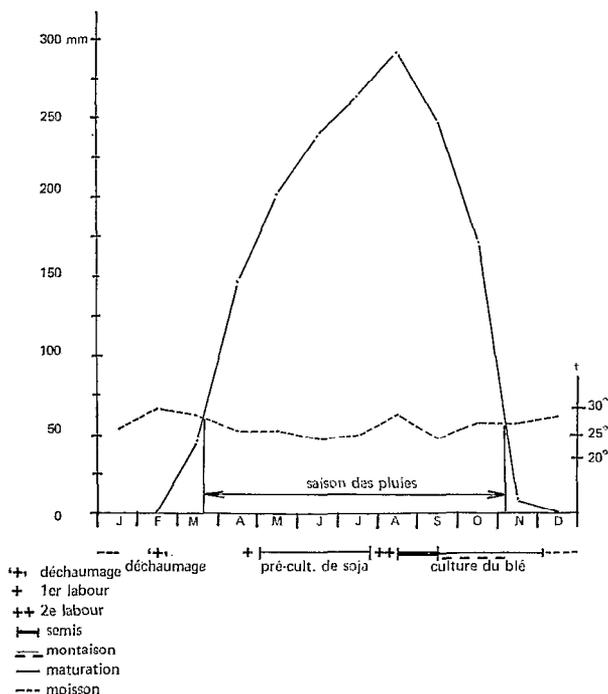


FIG. 4. — Diagramme ombrothermique de Ngaoundéré et calendrier cultural du blé

culture du blé, la durée de la saison des pluies dans l'Adamaoua s'avère, de façon un peu paradoxale, un handicap. Sans doute, d'autres raisons rendent-elles compte des premiers échecs de la grande culture du blé à Wassandé. Mais le calendrier cultural explique déjà bien des déboires : jusqu'ici, le recours aux techniques les plus modernes n'a pas permis d'ensemencer des milliers d'hectares rapidement et dans de bonnes conditions.

Le détail des difficultés et des résultats agricoles de cette opération est analysé dans d'autres textes (1).

La documentation Landsat

L'imagerie Landsat présente un intérêt évident pour l'étude et le suivi de toute opération agricole de cette envergure. De plus, il n'existe pas de couverture aérienne récente de la région, ni a fortiori depuis 1975. L'extension des superficies cultivées est telle que la résolution au sol de Landsat n'est pas un inconvénient mais un avantage. Le décapage intégral de la végétation préexistante facilite la détermination des blocs de culture : la réflectance des cultures est sans doute bien différente de celle des savanes envi-

(1) BOUTRAIS (J.), 1982. — Une agriculture sans paysans : la grande culture du blé au Cameroun. « *Économie rurale* », n°s 147-148, pp. 51-54.

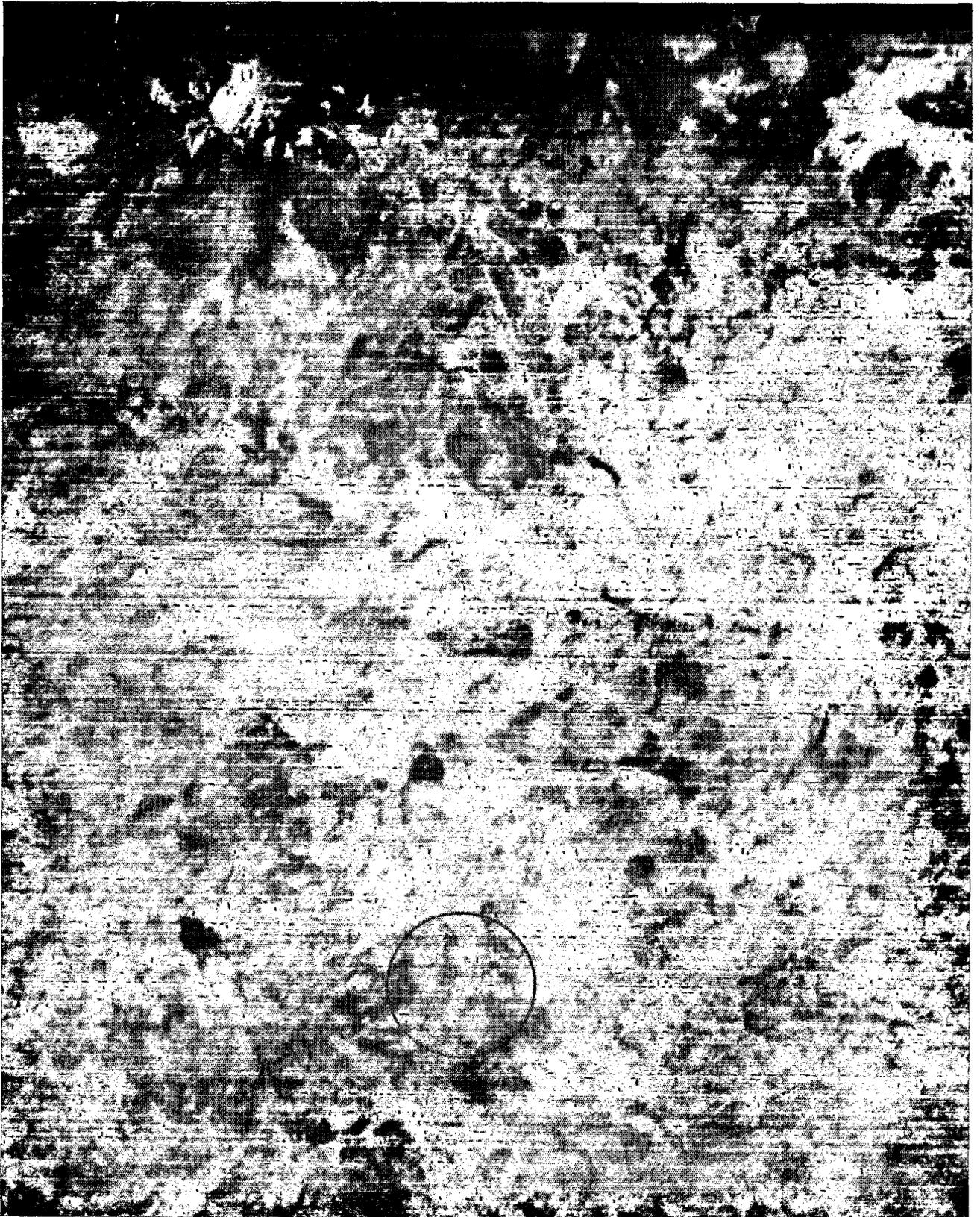


FIG. 5. — En pleine saison sèche (5 janvier 1976) le bloc A (cercle) se distingue à peine des savanes sur un agrandissement au 1/200 000^e du canal 7

ronnantes. La répétition des vues Landsat devrait permettre de suivre le développement de l'opération d'une année sur l'autre, peut-être même l'évolution des cultures au cours d'un cycle agricole.

En fait, ces espoirs ont été partiellement déçus. Pour la scène concernée, la téléthèque de l'O.R.S.T.O.M. ne dispose que de trois vues depuis 1975.

Celle du 6 janvier 1976 se situe en dehors du cycle végétal du blé car la moisson est en cours d'achèvement. Comme aucun détail n'apparaît sur l'image standard — échelle 1/1 000 000^e — le recours à un agrandissement à 1/200 000^e s'avère nécessaire. Même à cette échelle, il faut beaucoup d'attention pour repérer le bloc A dont les 280 ha sont mis en culture dès la campagne de 1975. Sur l'image du canal 7, il comporte deux nuances de grisé qui expriment probablement deux stades de flétrissement de la végétation en saison sèche. Un grisé plus clair que celui des savanes voisines identifie la portion cultivée à l'ouest de la piste de Wassandé (fig. 5). Sa réflectance dans ce canal correspond à celle des terroirs qui s'échelonnent, plus au nord, le long de la piste de Ngaoundéré à Tourningal et qui comprennent des champs de sorgho encore sur pied. Il est probable que le blé du bloc A compris à l'ouest de la piste de Wassandé n'est pas encore moissonné à la date de la prise de vue. De l'autre côté de cette piste, un point blanc indique peut-être le grand hangar édifié sur ce bloc de culture (?).

Sur la même image, une partie du bloc B se remarque par un grisé plus sombre que celui des savanes voisines : l'activité chlorophyllienne y est plus faible. Cela se traduit par une teinte bleue sur une composition colorée classique (canal 4 en jaune, 7 en cyan, 5 en magenta). Dès 1975, une partie de ce bloc de culture était attribuée au service d'expérimentation agronomique de la SODEBLÉ pour des essais de variétés de blé, de rotations et de fertilisation des sols. Une partie de ces essais comportait des sols à nu au moment de la prise de vue.

Le bloc C fut également mis en culture en 1975 mais il ne se distingue pas des savanes voisines le 6 janvier 1976, ni sur l'agrandissement-papier du canal 7, ni sur la composition colorée.

Une autre vue disponible est rapprochée puisqu'elle date du 21 janvier 1976. Mais, selon les estimations de la NASA, sa qualité est amoindrie par 10 % de couverture nuageuse. En fait, il s'agit d'une brume de saison sèche, phénomène atmosphérique fréquent dans la région à cette époque de l'année. Il empêche de tirer parti de cette vue.

La vue suivante fut enregistrée presque deux ans plus tard, le 2 novembre 1977. Entre-temps, le complexe céréalier s'est considérablement agrandi. Mais les difficultés d'analyse des vues en 1976 réduisent l'intérêt d'une comparaison d'extension. Le principal avantage de la vue de 1977 tient à ce qu'elle se situe en fin habituelle de saison des pluies, donc au cours du cycle végétal du blé. De plus, elle est notée par la NASA de bonne qualité (8 pour chaque canal).

L'inventaire de la documentation disponible conduit donc à écarter un « suivi » régulier de l'opération et à se reporter à l'analyse d'un « instantané » de bonne qualité.

1. LES IMAGES DU 2 NOVEMBRE 1977

L'image standard, à 1/1 000 000^e, est tirée sur papier dans les canaux 5 et 7. C'est un document facile à consulter à la téléthèque. Il permet déjà de vérifier si le complexe céréalier apparaît d'une façon ou d'une autre.

L'image du canal 5 n'offre aucune indication immédiate mais celle du canal 7 attire l'attention (fig. 6). Elle présente, dans le secteur de Wassandé, une juxtaposition de petites taches blanches ou noires, étalées sur quelques millimètres, contrastant avec la gamme des grisés du reste de l'image. Ces taches correspondent aux blocs du complexe céréalier. Dès cette échelle, la forme de certains d'entre eux est aisément identifiable tandis que d'autres ne se reconnaissent que partiellement ou pratiquement pas.

Dans le canal 7, les taches blanches correspondent probablement à la réflectance très élevée d'une végétation en pleine activité. Les taches noires indiquent, par contre, la faible réflectance d'une végétation sèche ou d'un sol à nu. Mais une partie du complexe agricole reste dans un grisé qui suggère une végétation en cours de flétrissement comparable, par son activité chlorophyllienne, à l'ensemble de la savane (1).

Qu'une même culture soit ainsi exprimée par diverses réflectances semble paradoxal. Cette découverte engage à agrandir l'image standard à 1/200 000^e afin de vérifier ou de compléter ces premières observations.

L'image du canal 5 à 1/200 000^e (fig. 7) ne donne effectivement aucun renseignement relatif au complexe agricole mais elle montre assez nettement le chevelu du réseau hydrographique, grâce aux galeries forestières qui le soulignent en foncé sur le grisé des savanes d'interfluve. Il est probable que l'activité végétale des grands arbres de galeries

(1) Rappelons que la longueur d'onde du faisceau lumineux enregistré par le canal 7 correspond au proche infra-rouge. Il donne une image dans une lumière invisible à l'œil. Il en est de même du canal 6 tandis que le 5 enregistre dans le rouge, donc dans le visible.

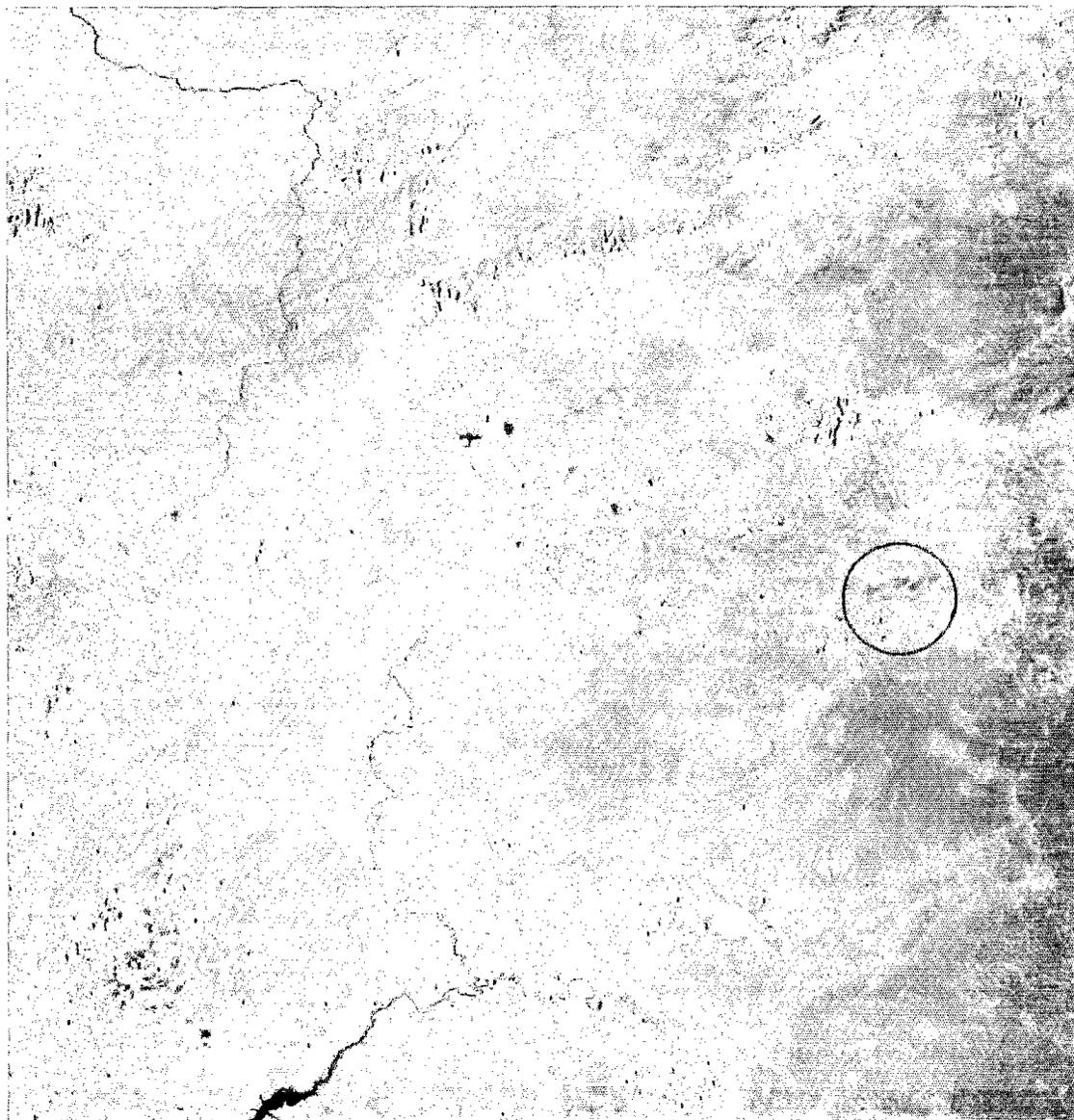


FIG. 6. — Repérage du complexe agricole de Wassandé sur une image standard (canal 7) du 2 novembre 1977

persiste à cette époque de l'année tandis que celle des herbes se ralentit, ce qui se traduit par une réflectance plus élevée dans le canal 5. Quant aux grandes pistes en latérite, dont la largeur n'atteint pourtant pas 60 mètres (1), leur réflectance encore plus forte se traduit par des traînées blanches aisément identifiables, notamment la route de

Ngaoundéré à Meiganga avec son embranchement de Wassandé et celle de Ngaoundéré à Idool en cours d'élargissement en 1977.

Ces informations n'apparaissent pas sur l'image du canal 7 (fig. 8). Par contre, la disposition des taches noires et blanches se précise et correspond bien aux blocs de culture sauf un bloc à l'est dont le grisé se

(1) En effet, les unités de surface enregistrées par chaque « pixel » (point élémentaire) de l'image Landsat ont des côtés de 57 mètres sur le terrain. Ceci laisse supposer que les pistes ne devraient pas être visibles. Cependant, leur largeur est sans doute suffisante pour influencer la numérisation des pixels, même s'ils recouvrent une surface plus grande. D'autre part, le ruban continu des pistes peut influencer deux ou plusieurs pixels adjacents.

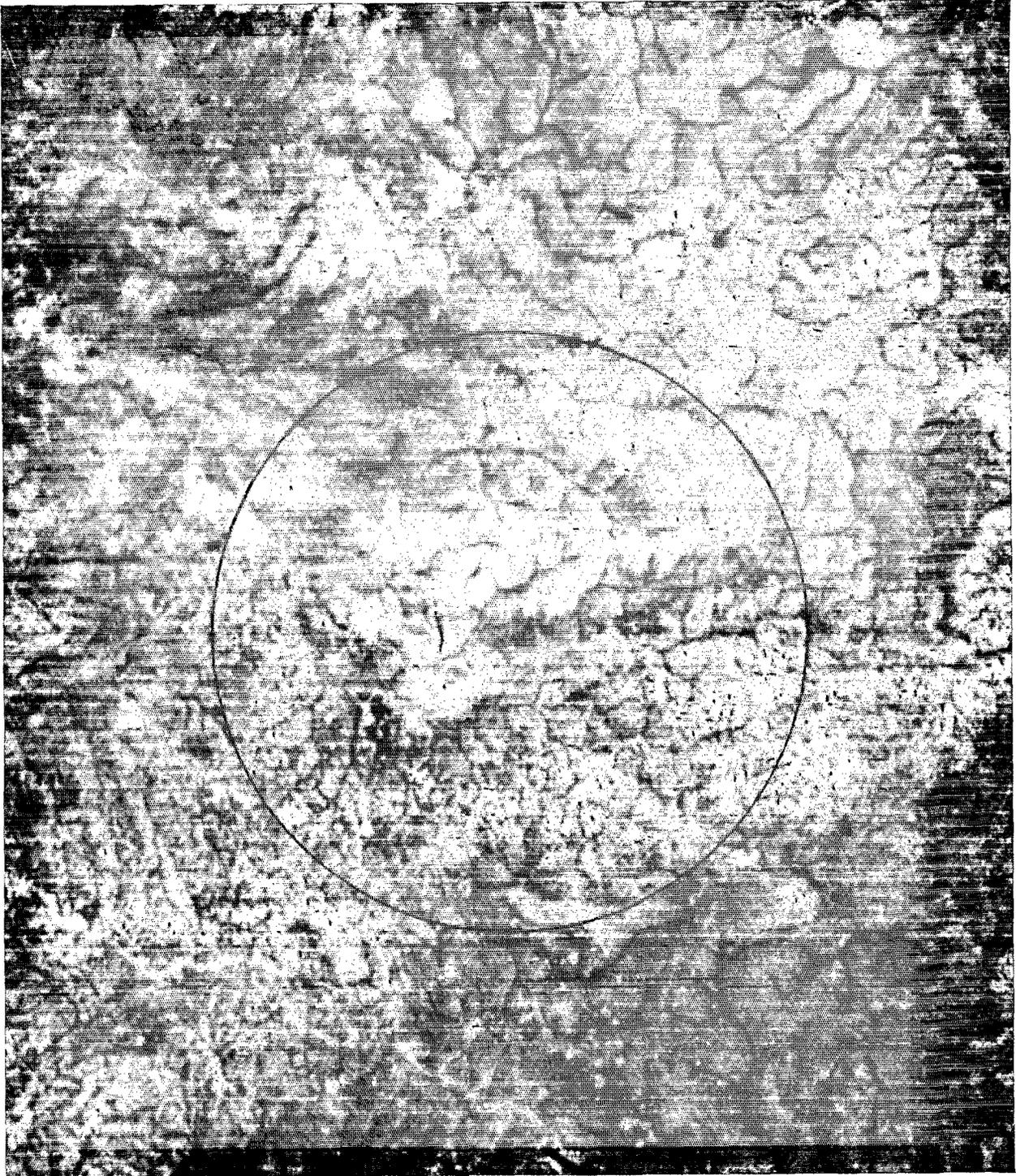


Fig. 7. — Sur l'image au 1/200 000^e du canal 5 quelques secteurs du complexe de Wassandé présentent une forte activité chlorophyllienne, mais ils tendent à se confondre avec les galeries forestières (2 novembre 1977)



FIG. 8. — Sur l'image au 1/200 000^e du canal 7, certains blocs de culture de Wassandé apparaissent soit en noir, soit en blanc (198.55 du 2.11.77)

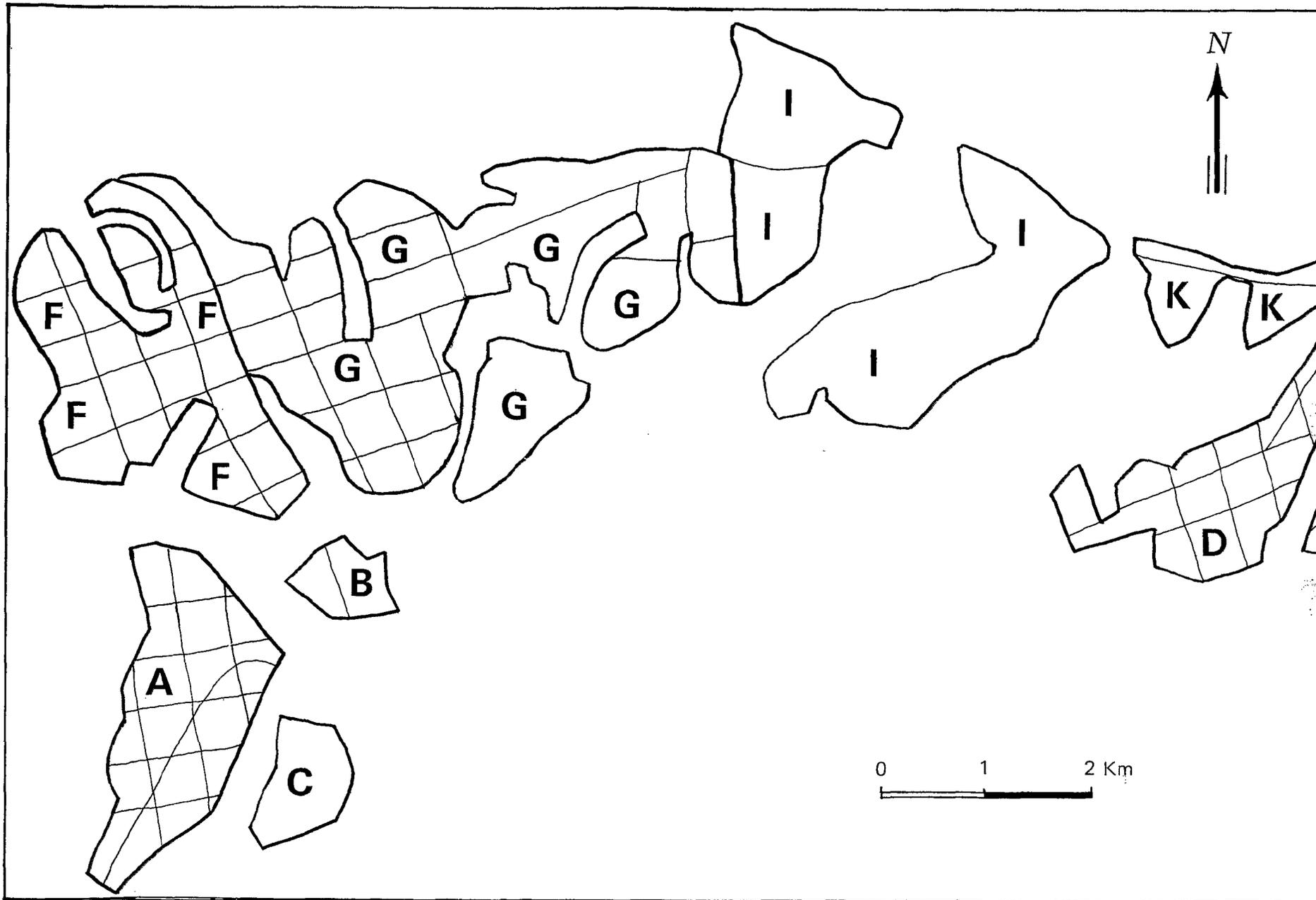


FIG. 9. — Croquis de repérage des blocs de culture (1/50 000)

confond toujours avec celui des savanes environnantes. D'autres petites taches noires, aux contours plus irréguliers, se dispersent sur l'image. La faible réflectance dans le canal 7 traduit probablement soit des pâturages très érodés, aux sols rouges mis à nu, soit des affleurements de cuirasse ferrugineuse, soit des feux de brousse précoces et d'extension encore limitée. Ces petites taches noires ne se confondent pas avec les formes compactes des blocs du complexe céréalière.

Les images fournies par les canaux 5 et 7 offrent donc des renseignements différents et assez complémentaires. Il est intéressant d'analyser ces images l'une après l'autre mais un document combinant leurs données serait bien plus satisfaisant.

Il est possible d'obtenir un tel document en superposant trois films monochromes, chacun dans une couleur complémentaire : le jaune, le magenta, le cyan. La superposition des films sur une table lumineuse permet la lecture instantanée de leurs informations en une synthèse : une composition colorée.

Le passage à un document synthétique s'est accompagné d'un changement dans l'échelle : à des images au 1/200 000^e se substituent des agrandissements au 1/50 000^e du secteur étudié.

Malheureusement, des difficultés de repérage se sont posées au photographe lors de l'agrandissement. La grande ressemblance du bloc E avec les savanes voisines l'a entraîné à le soustraire presque entièrement à la droite du document agrandi, de même qu'une partie du bloc D. Par suite de cet incident lors du traitement, il ne sera plus question du bloc E — malgré l'intérêt qu'il présentait — et il ne sera fait allusion qu'à la partie agrandie du bloc D, désignée par la formule : 1/2 D (se reporter au croquis de repérage des blocs de culture, à la figure 9).

2. LES COMPOSITIONS COLORÉES

La planche en couleur des figures 10, 11 et 12 reproduit, en réduction, trois essais de composition colorée recouvrant la plus grande partie du complexe agricole. Des diapositives sont prises de la superposition des films, puis tirées sur papier couleur. Ces traitements photographiques successifs ne manquent pas d'altérer les couleurs du document original, si bien que quelques décalages s'interposent entre le texte et l'illustration présentée.

La première composition (fig. 10) provient de la superposition des images de trois canaux : le 6 en jaune, le 7 en cyan et le 5 en magenta. Le canal 4, habituellement utilisé dans les compositions colorées, est très peu expressif dans cette vue. Il est donc remplacé par le canal 6, bien que sa longueur d'onde soit très proche de celle du canal 7.

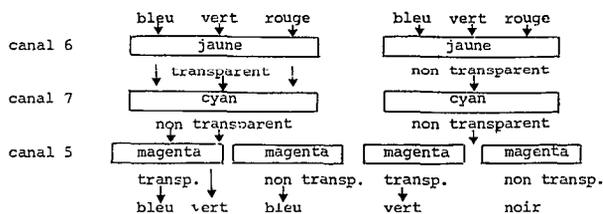
Il résulte de cette combinaison un document assez confus, bien moins suggestif que l'image du seul canal 7. Les blocs A, C et 1/2 D ressortent quand même en magenta. Les blocs G, I et K apparaissent en vert et en bleu mais « encrassés » de nombreuses taches sombres (1).

Le résultat est assez décevant. Quel canal parmi les trois est à incriminer ? Incontestablement, c'est le canal 5. La reproduction au 1/50 000^e du film positif montre que cette image ne dissocie pas la culture du blé des savanes environnantes (fig. 13). Cette mauvaise discrimination se répercute dans la combinaison finale.

Afin d'obtenir une meilleure composition colorée, le photographe entreprend alors une « manipulation ». Il décide de remplacer l'image du canal 5 par une autre qui ne résulte pas d'un enregistrement dans un canal mais de la superposition d'un négatif du canal 5 et d'un positif du canal 7. Ainsi, cette image, appelée 5-7, est-elle déjà une combinaison de deux enregistrements (2).

(1) Compte tenu des lois définissant les couleurs complémentaires (synthèse soustractive) dans le procédé diazoïque, les couleurs bleu, vert et noir de cette composition s'expliquent par le schéma suivant.

TABLEAU I
Schéma des couleurs des blocs G, I, K dans la 1^{re} composition colorée



(2) Ce traitement permet de mieux faire apparaître l'information en termes de rapports de réflectance entre canal 5 et canal 7, alors qu'une composition colorée classique 5/7 privilégie le niveau de réflectance général. La couleur est donc mieux perçue par ce traitement, au détriment de la brillance.

Le magenta des blocs A, C, 1/2 D provient simplement de leur faible réflectance dans le canal 5, qui se traduit par une densité soutenue dans ce canal, alors que celle des autres canaux est presque nulle.

La diapositive de cette composition ajoute un effet d'optique bien connu des photographes : le magenta apparaît en relief ; le bleu et le vert, en creux.

légende commune aux tableaux :

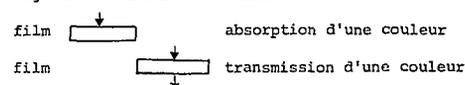


FIG. 10. — Le premier essai de composition colorée ne permet qu'une médiocre identification du complexe céréalier par rapport aux savanes.

C6 = jaune
C5 = magenta
C7 = cyan



FIG. 11. — La seconde composition colorée met en évidence les deux séries de blocs de cultures.

6 = jaune
5-7 = magenta
C7 = cyan



FIG. 12. — Un résultat comparable peut être obtenu par un spectre plus réduit de couleurs.

C6 = jaune
C6 = cyan
5-7 = magenta



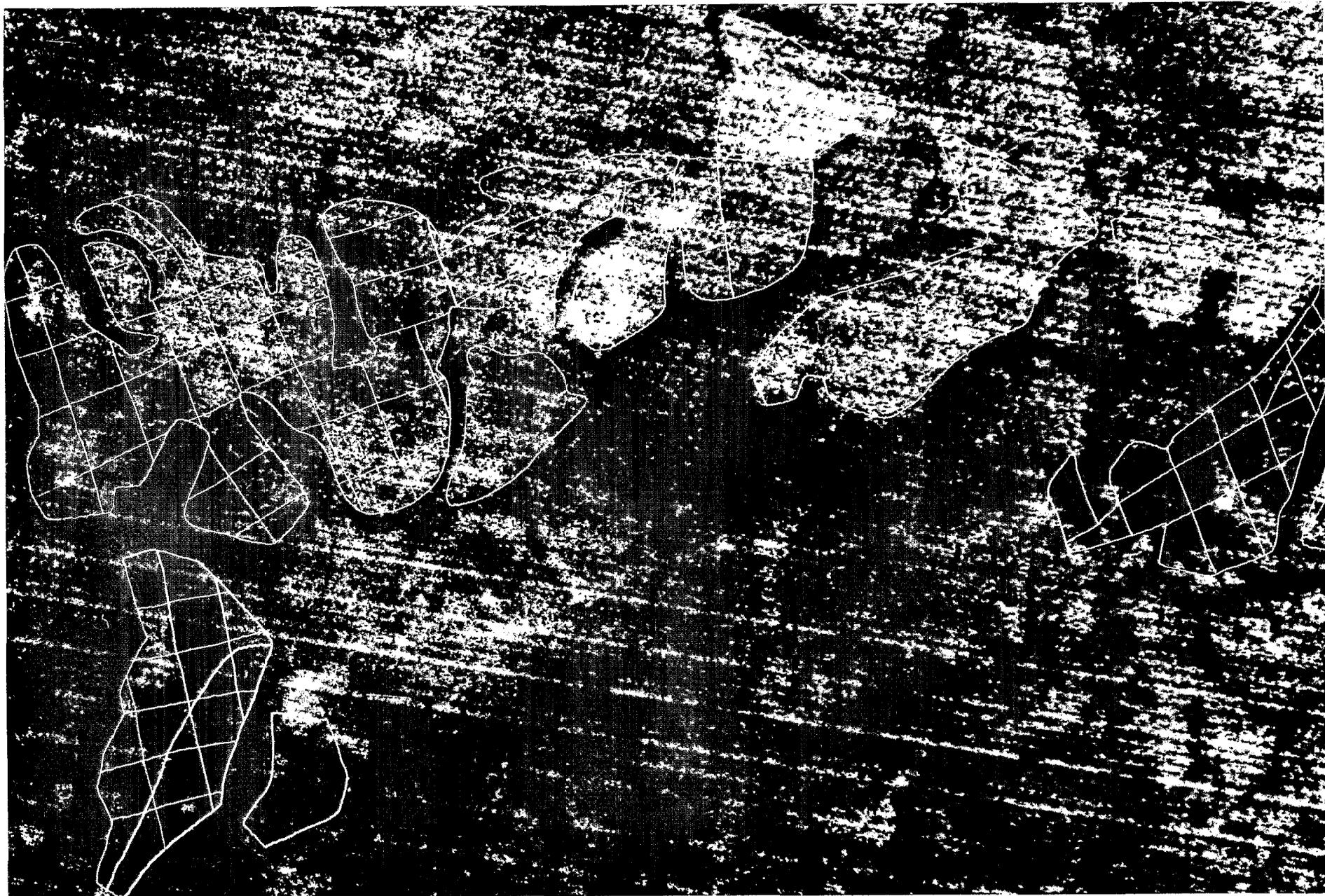
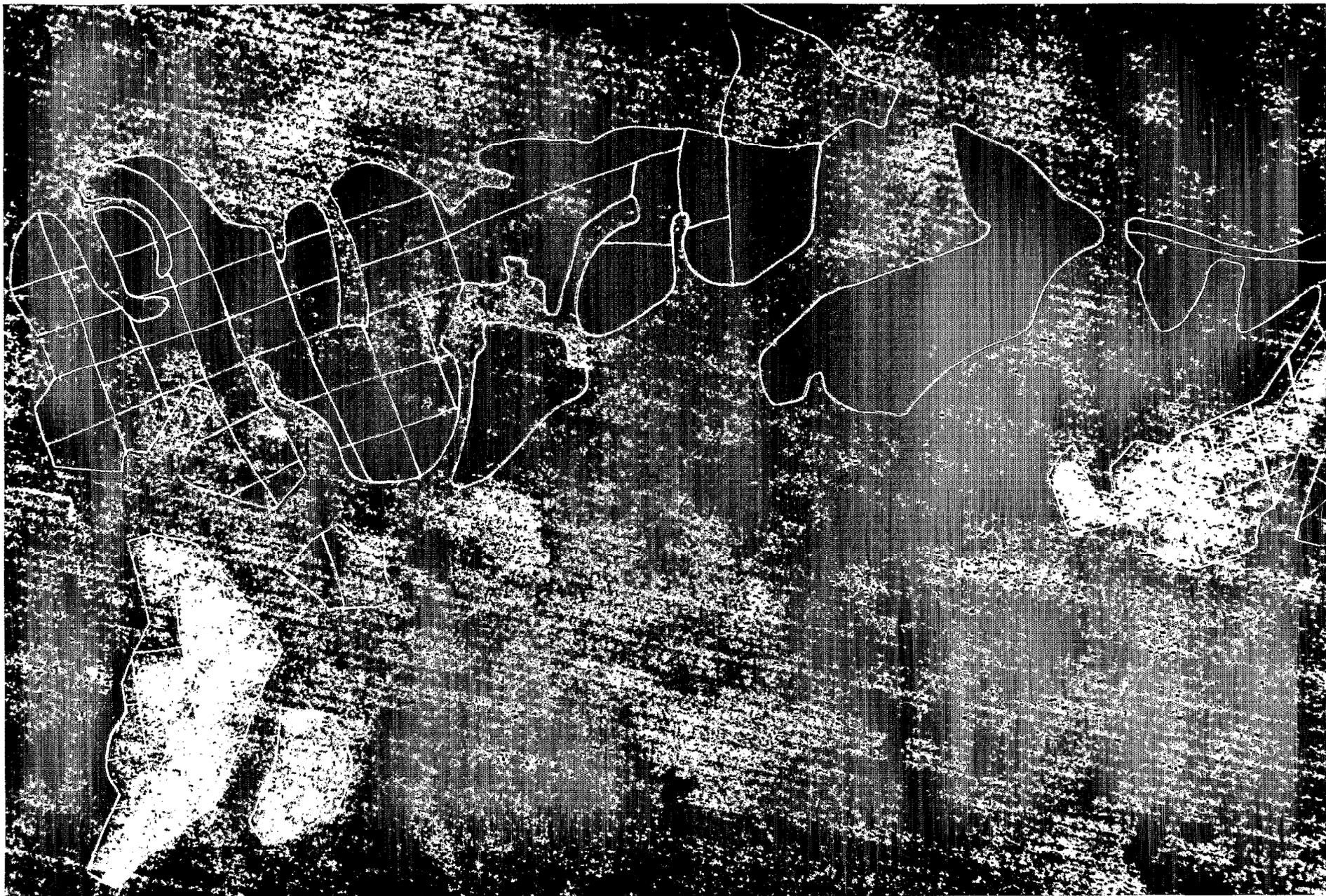


FIG. 13. — Positif du canal 5 (1/50 000^e). En début de saison sèche, la végétation commence à flétrir, sauf les galeries forestières dont le chevelu apparaît en noir. Les blocs de culture du complexe céréalier ne se distinguent pas des savanes



8
FIG. 14. — Positif du canal 7 (1/50 000^e). L'opposition de couvert végétal entre deux séries de blocs de cultures est très nette. La différence entre cultures et savanes permet de reporter les limites de certains blocs

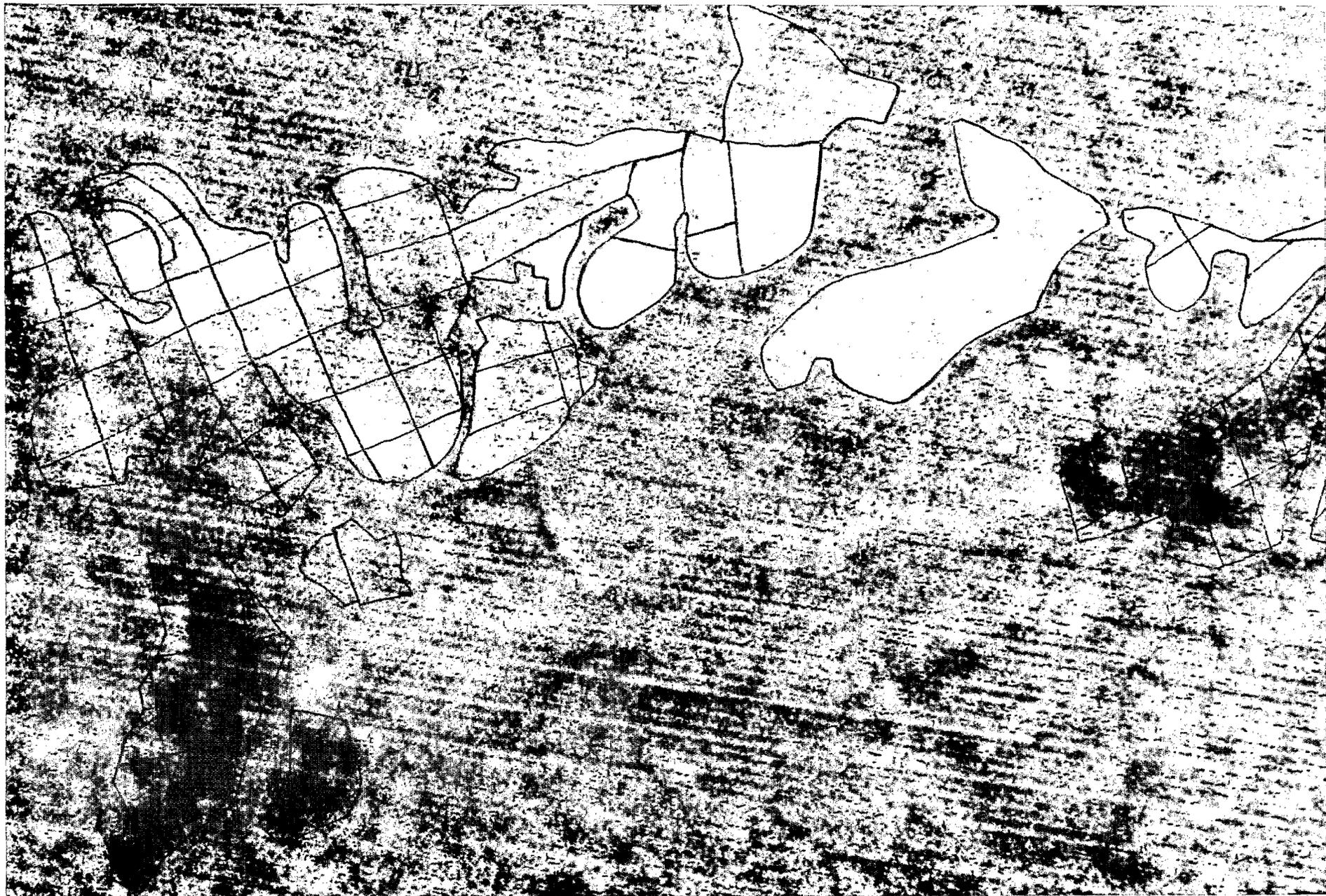


FIG. 15. — L'image 5-7 intègre les informations de deux images précédentes. La végétation active (en noir) de certains blocs de culture s'oppose à la rareté de la végétation d'autres étendues cultivées (en blanc). Quelques galeries forestières sont repérables

Les différences entre les images 7 et 5-7 apparaissent aussi dans la reproduction de leurs films positifs au 1/50 000^e (fig. 14 et 15). L'image du canal 7 oppose de manière complète des blocs de culture en noir et d'autres en blanc. L'image 5-7 maintient à peu près cette discrimination, en l'inversant, mais la texture des blocs n'est pas aussi homogène.

Une nouvelle composition colorée (fig. 11) résulte donc de la superposition des films suivants : le canal 6 en jaune, le 7 en cyan et l'image 5-7 en magenta. Cette combinaison donne effectivement un résultat bien plus suggestif que la précédente. Les traces qui encombraient les grands blocs au nord du complexe disparaissent au profit d'une association plus uniforme de bleu et de vert. Les contours des blocs de culture et l'opposition avec les savanes sont nets. Au sud, les blocs déjà en magenta se maintiennent dans cette couleur (1).

Un nouvel essai de composition colorée fait se superposer une autre série de films diazoïques. Comme l'image 5-7 intègre les principales données du canal 7, n'est-il pas possible de supprimer l'image de ce canal ?

L'image du canal 4 n'étant pas disponible, la nouvelle combinaison va faire intervenir deux fois l'image du canal 6, une fois en jaune et l'autre fois en cyan. A ces deux traitements de l'image du canal 6 se superpose l'image 5-7.

Il en résulte une composition colorée (fig. 12) qui réduit le spectre des couleurs, en faisant disparaître le bleu. Mais l'acquis de la composition précédente n'est presque pas perdu : la délimitation des blocs de culture reste aussi nette, de même que leur oppo-

sition de couleur. La dominante bleue de la composition précédente disparaît et fait mieux ressortir le vert, couleur spécifique d'une série de blocs. Les blocs A, C, 1/2 D restent en magenta tandis que G, I, K deviennent verts, avec quelques blancs (2).

Une « manipulation » — au sens laboratoire du terme — intervient donc dans la superposition des films diazoïques en vue d'obtenir une composition colorée. Les combinaisons lentées sont plus ou moins satisfaisantes. La démarche comporte ainsi une suite de tâtonnements.

Le traitement décisif a consisté à introduire une image provenant de l'association de deux canaux et à l'utiliser pour de nouvelles combinaisons. Le technicien est venu au secours du chercheur, resté dans l'embarras. Il lui a montré que, pour son étude, l'image la plus précieuse est une composition dite 5-7, que Landsat ne fournit pas directement.

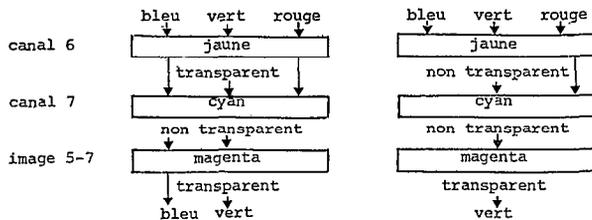
Les deux dernières compositions colorées mettent donc en évidence une nette opposition entre deux séries de blocs de culture : les uns au couvert végétal très actif par rapport aux savanes voisines et les autres caractérisés par une absence presque complète d'activité végétale, ce qui paraît étonnant pour une culture de blé à cette époque de l'année.

Toutefois, la partie du bloc D représentée n'apparaît pas aussi homogène que les blocs A et C : la plage de magenta y présente de nombreuses solutions de continuité. Le bloc F est encore plus composite, avec des juxtapositions de magenta et de vert-bleu qui s'étalent par plages. Dans ce bloc coexistent donc des secteurs sans végétation active et d'autres, à couvert végétal en activité, sans que celle-ci égale toutefois celle de A et de C. Il est probable qu'à l'est

(1) Les couleurs des premiers blocs s'expliquent ainsi :

TABLEAU II

Schéma des couleurs des blocs G, I, K dans la 2^e composition colorée



L'image 5-7 étant parfaitement transparente pour ces blocs, le noir est éliminé. L'explication du magenta des blocs A, C, 1/2 D est identique à celle de la composition précédente.

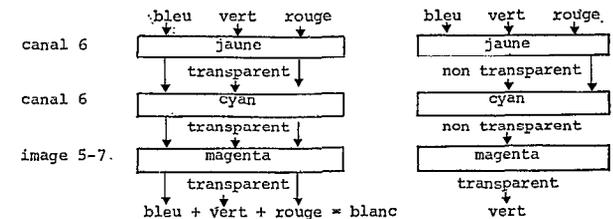
Sur la diapositive, le vert n'apparaît presque pas mais la séparation des couleurs « en relief » s'accroît. Le magenta,

correspondant à la végétation active, « s'élève » par rapport au reste de l'image. Cet effet optique devient saisissant.

(2) Cette distribution chromatique s'analyse ainsi :

TABLEAU III

Schéma des couleurs des blocs G, I, K dans la 3^e composition colorée



Les blocs A, C, 1/2 D demeurent en magenta, les films jaune et cyan étant transparents à leur niveau.

du complexe agricole, le bloc E présenterait une situation également intermédiaire.

Finalement, l'interprétation visuelle des compositions colorées aboutit à l'identification de trois stades culturaux : une végétation très active et uniforme (A et G), une végétation à peu près inactive (G, I, K) et un stade intermédiaire qui juxtapose des plages de végétation active et d'autres à végétation inerte (F).

Des mesures de densité de chaque image, donc de radiométrie des situations culturales, permettront de compléter les observations précédentes par des données chiffrées.

Densitométrie des images et stade végétal des cultures

Toutes les statistiques agricoles étant fournies par parcelles ou groupes de parcelles, la radiométrie des images est calculée selon le même canevas spatial. La méthode consiste donc à évaluer, au moyen d'un densitomètre, la densité de chaque parcelle de culture sur des films noir et blanc, à 1/50 000^e, des canaux 5 et 7 ou de l'image 5-7 (1).

Les calculs ne sont pas effectués directement sur les films mais après calage d'un fond topographique qui indique les limites de toutes les parcelles. Certaines limites se repèrent déjà sur les films mais ce n'est pas toujours le cas. D'autre part, des densités varient parfois à l'intérieur de grandes parcelles, ce qui contraint à établir des moyennes. Le fond topographique n'est pas excellent : le calage avec le film, une fois réussi pour les blocs à l'ouest du complexe, doit être adapté lorsque les mesures concernent les blocs situés à l'est.

Malgré le tracé géométrique des parcelles, toutes n'ont pas la même superficie. Certaines statistiques agricoles furent relevées en 1977 par bloc entier (G) ou par moitié de bloc (A). Pour ces raisons, les graphiques suivants de corrélation tiennent compte de la superficie des unités de mesure. Au lieu d'une série de points, la traduction graphique consiste en cercles de surface proportionnelle à celles des unités emblavées. Ce procédé graphique permet de respecter la dominance visuelle des grandes parcelles sur les images Landsat. Les courbes médianes ne tiennent pas seulement compte de la concentration des cercles en « nuages » mais aussi de leur taille inégale.

Une première approche quantitative consiste à mettre en rapport les densités de parcelles sur une image Landsat avec la date des semis de blé lors de

la campagne céréalière en 1977. Les dates des semis de blé donnent en effet une autre indication probable du stade végétal atteint par le blé lors du passage du satellite. Ce stade correspond-il aux densités de grisés transmises par les canaux de Landsat ?

La figure 16 confronte les dates de semis avec les densités de l'image 5-7, celle qui paraît indiquer le plus nettement les différences d'activité végétale.

Les parcelles de chaque bloc s'y disposent en ensembles plutôt verticaux : à des dates de semis rapprochées peuvent correspondre des densités inégales de l'image, donc une activité végétale différenciée. Cependant, en moyenne, les densités deviennent plus faibles à mesure que les semis furent plus tardifs. Les ensembles de cercles, surtout les plus grands d'entre eux, s'ordonnent selon une droite qui rejoint les blocs C et A, en pleine activité végétale, aux blocs K et I qui n'ont alors pratiquement pas d'activité chlorophyllienne.

Une grande solution de continuité dans le graphique provient du fait que les blocs D et E n'apparaissent qu'en partie ou presque pas sur l'agrandissement à 1/50 000^e : leurs semis furent effectués à la fin d'août et au début de septembre. D'autre part, une interruption des semis s'est produite pendant une semaine du 1^{er} au 8 septembre (2). Malgré ce blanc, l'intensité de l'action chlorophyllienne dépend bien, dans l'ensemble, de la date des semis.

Un décalage de 15 jours dans les semis suffit donc pour réduire l'activité végétale à peu de chose. A des densités inférieures à 0,50, il est vraisemblable que correspond un couvert végétal presque inexistant. Bien qu'il s'agisse de blés à cycle court, peu recouvrants, et que l'image soit prise 35 jours après les derniers semis, ceux-ci ne « donnent » encore presque rien. Parvenus à leur 2^e ou 3^e feuille, ils sont au début de leur cycle végétal.

Il est curieux que les semis de plusieurs blocs soient postérieurs au 15 septembre. Cette date marque théoriquement la limite la plus tardive des semis dans l'Adamaoua. Les blés semés après cette date auront-ils le temps d'achever leur cycle végétal ? D'après les indications de l'image Landsat, environ un mois plus tard, il est déjà permis d'en douter.

Densitométrie des images et rendements en blé

Un peu plus d'un mois après l'enregistrement de la vue Landsat, les moissonneuses-batteuses entrent en action à Wassandé pour la récolte du blé.

(1) Nous remercions B. LORTIC d'avoir accepté de collaborer à ce travail fastidieux.

(2) SODEBLE, 1978. — Rapport annuel 1977. Ngaoundéré, *multigr.*

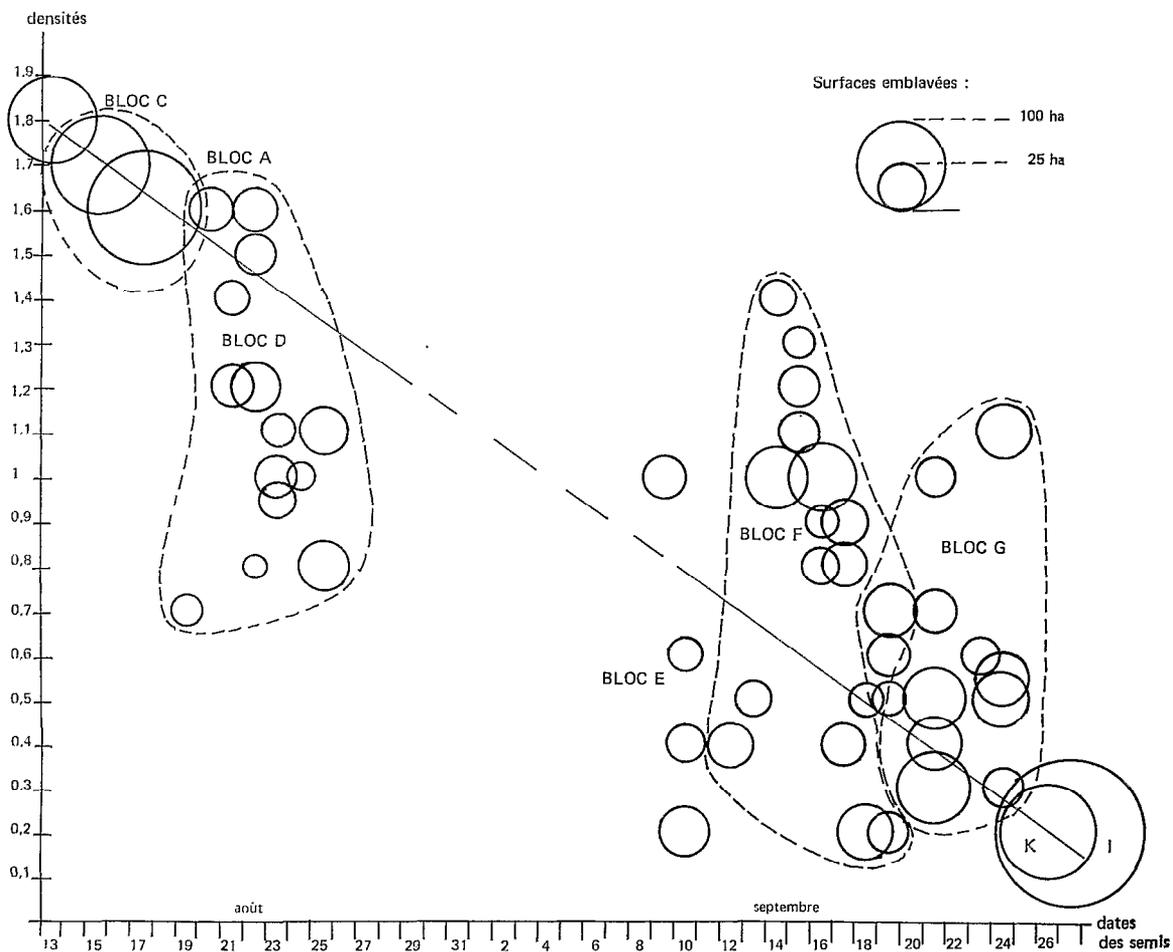


Fig. 16. — Densité de l'image 5-7 et date des semis de blé

Celle-ci n'a donné que des rendements médiocres et inégaux en 1977. Était-il possible de les prévoir d'après la vue Landsat ? Pour le vérifier, les densités des images sont confrontées aux rendements obtenus par parcelles ou par blocs de culture.

Il convient naturellement de se demander quelle est la valeur des chiffres de rendement fournis par la SODEBLÉ : le caractère souvent fantaisiste des statistiques agricoles en Afrique Noire est suffisamment connu pour qu'une attitude critique s'impose en la matière.

Cependant, l'avantage d'une étude des complexes agro-industriels par rapport aux cultures traditionnelles tient à une plus grande validité de leurs statistiques. Grâce aux activités industrielles de stockage, de manutention ou de traitement qui accompagnent l'activité agricole de ces organismes, ils tiennent une comptabilité de leur production agricole.

Les chiffres de production de blé, évacué par camions des moissonneuses-batteuses vers les silos, ne semblent pas erronés. En 1977, les rendements par parcelles varient de 0 à 20 quintaux/ha, ce qui correspond aux estimations préalables des responsables. Plusieurs blocs et parcelles, totalisant près de mille hectares, ne furent pas récoltés cette année-là, le blé n'ayant pas achevé son cycle végétal. De ce point de vue, il est aisé de confronter les statistiques agricoles aux données de l'image Landsat.

De fait, la figure 17 présente une disposition assez inattendue des rendements par rapport à la végétation des surfaces occupées par le blé un mois auparavant.

Alors qu'ils devraient être d'autant plus élevés que la densité de l'image 5-7 s'accroît, ce n'est pas toujours le cas. Certes, les rendements confirment à peu près les données Landsat lorsque les densités de l'image sont comprises entre 0,20 et 1,20. Ils varient

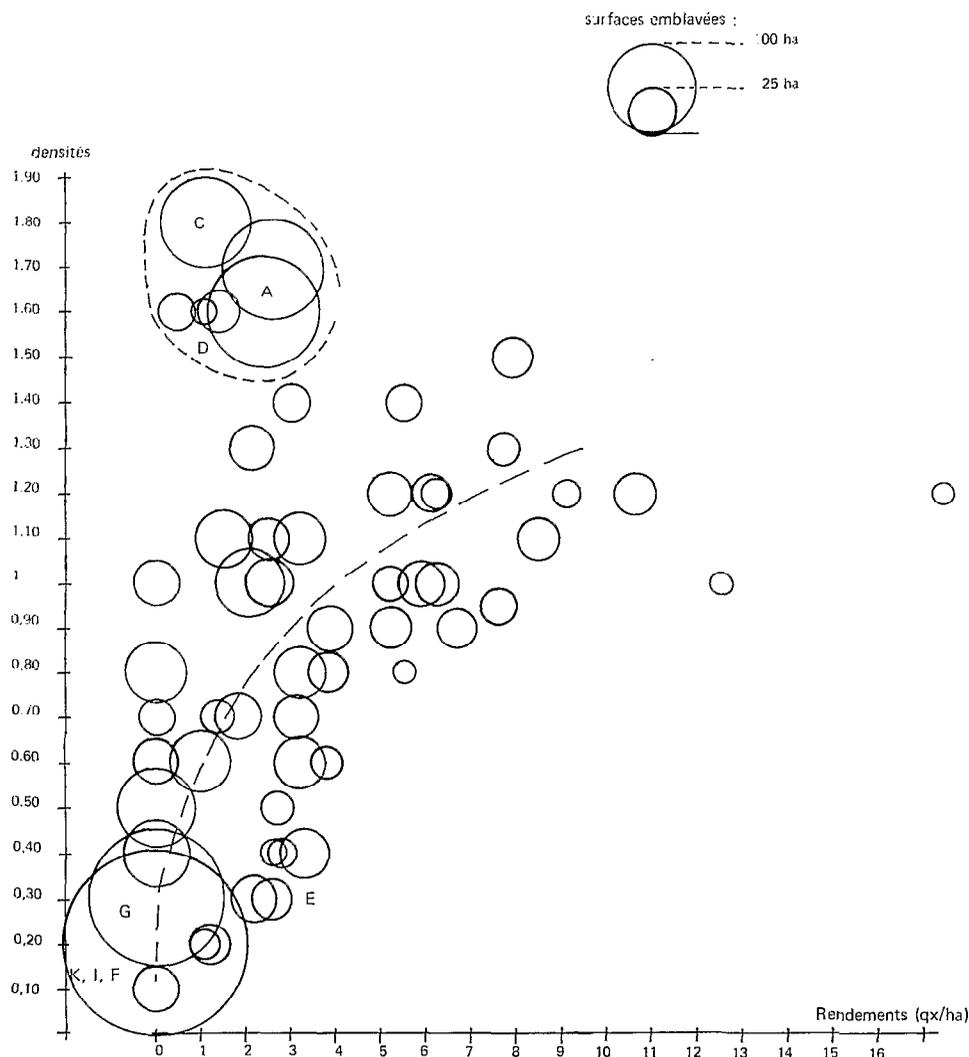


FIG. 17. — Densités de l'image 5-7 et rendements en blé

dans le même sens, bien que l'écart des rendements obtenus s'élargisse à mesure que la densité devient plus forte. Il est quand même possible de tracer une médiane à cet ensemble.

Par contre, les cercles qui représentent les résultats des blocs A, C et de quelques parcelles de D, contredisent les indications antérieures du satellite : à des densités élevées de l'image ($> 1,50$) ne correspondent, en fait, que des rendements très faibles.

L'absence de récolte sur la plus grande partie des parcelles tardivement emblavées était déjà prévisible d'après l'image Landsat, plus d'un mois avant la moisson. Par contre, la médiocrité des rendements ($< 3 \text{ qx/ha}$) sur de grandes surfaces portant la végétation la plus active au moment de la vue

Landsat, était totalement imprévisible et semble paradoxale.

La figure 18 est, comme on peut s'y attendre, l'inverse de la précédente : les rendements en blé augmentent à mesure que la densité de l'image du canal 7 est plus faible. Cette corrélation logique est contredite à nouveau par les mêmes blocs et les mêmes parcelles de culture que précédemment.

Il est dommage que le bloc E n'apparaisse presque pas sur l'agrandissement des images Landsat à $1/50\,000^{\text{e}}$ car les rendements les plus élevés (20 qx/ha) furent obtenus en 1977 sur ses parcelles. La radiométrie de ces parcelles aurait permis de compléter ou de rectifier les courbes médianes dans les figures 17 et 18.

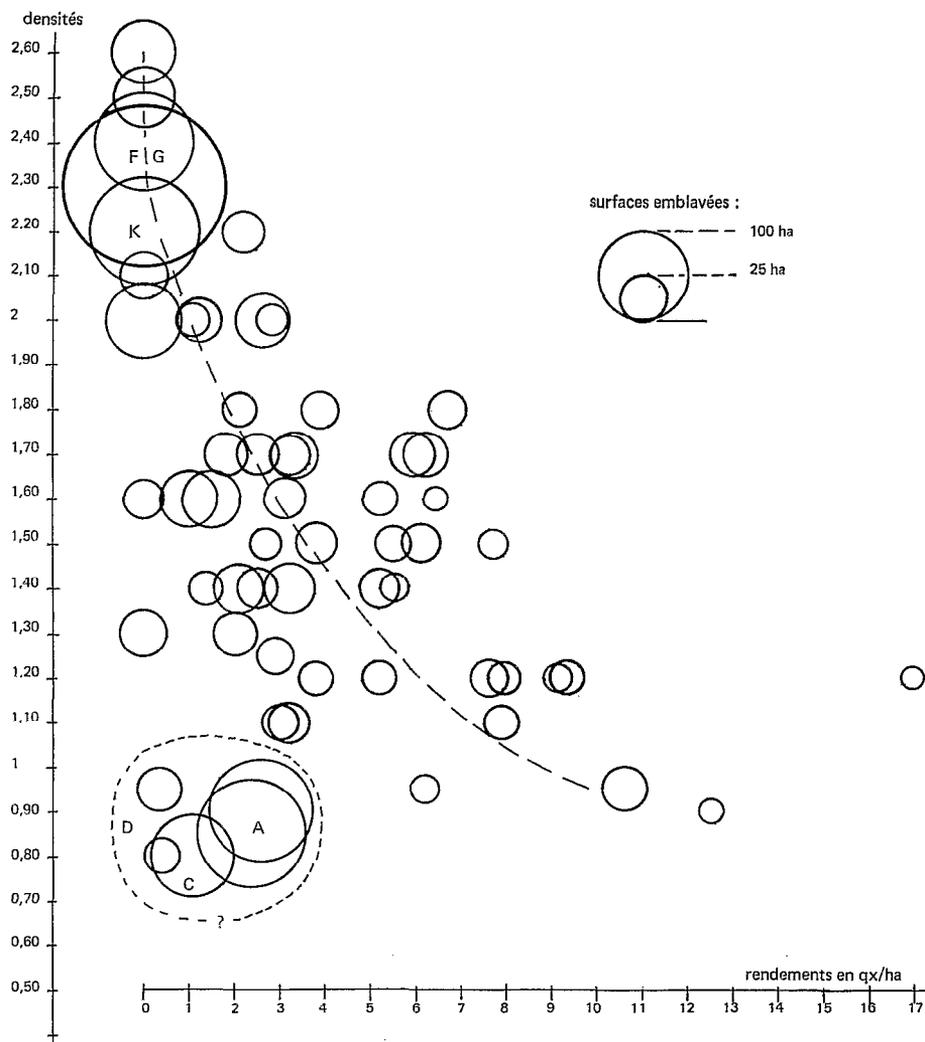


FIG. 18. — Densités de l'image 7 et rendements en blé

Comment rendre compte de l'anomalie entre la vigueur végétale de certaines étendues cultivées et la médiocrité de leurs rendements quelques semaines plus tard ?

Interprétation des résultats

Un nouveau graphique (fig. 19), mettant directement en relation les dates de semis et les rendements du blé en 1977, permet de résumer les constatations précédentes : les semis précoces (mi-août) se traduisent par une belle végétation début novembre mais n'aboutissent qu'à de mauvais rendements en décembre ; les semis tardifs (fin septembre) ne

donnent presque pas de végétation début novembre et la plus grande partie de ces blés n'est pas moissonnée ; les rendements les plus honorables correspondent à des conditions comprises entre ces deux extrêmes.

L'échec des semis tardifs est compréhensible. Cela n'évite pas de se demander à nouveau pour quelle raison ils furent effectués. A ce sujet, il convient de préciser le régime climatique de la région, notamment son irrégularité.

L'établissement et la fin de la saison pluvieuse se produisent rarement aux mêmes dates d'une année sur l'autre. Cette irrégularité est d'autant plus accentuée que le climat tropical devient plus sec et la pluviométrie moins abondante. Bien que l'Adamaoua

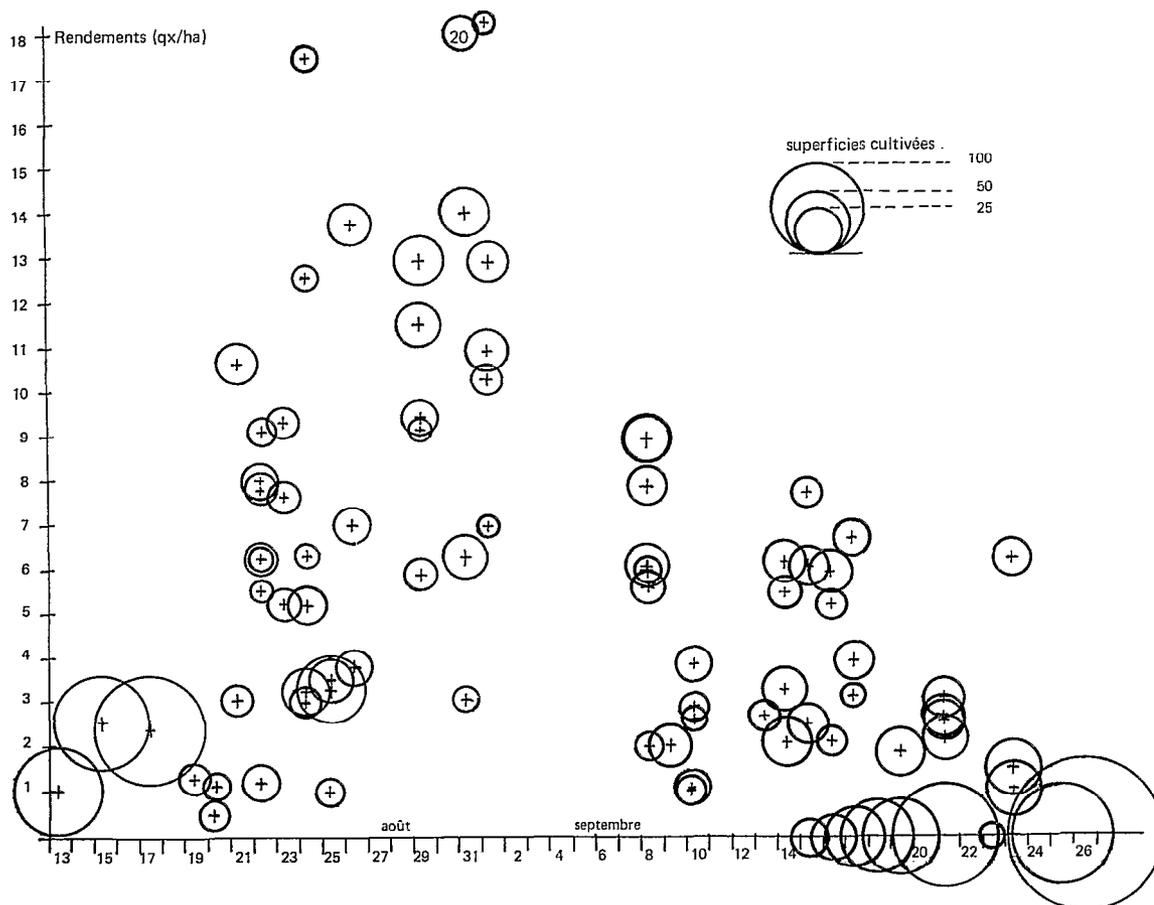


FIG. 19. — Rendements en blé d'après la date des semis en 1977

bénéficie d'un climat semi-humide (1), l'irrégularité du passage d'une saison à l'autre ne s'efface pas entièrement.

Pour l'élevage, le retour des pluies après la saison sèche est une période cruciale. Par contre, pour la culture du blé, c'est la fin de la saison des pluies qui compte. Elle se produit habituellement au cours de la première quinzaine de novembre. Mais les relevés pluviométriques à Ngaoundéré pendant 40 années (2) indiquent, à 10 reprises, un mois d'octobre peu humide (moins de 100 mm de pluies au lieu de 207 mm en moyenne). Les pluies utiles, réduites par une évaporation croissante, ne suffisent plus alors pour assurer une pleine croissance végétale.

C'est précisément ce qui se passe en 1977. Les pluies d'octobre atteignent 119 mm à Wassandé mais elles se concentrent toutes au début du mois. Elles cessent dès le 8 octobre, soit une dizaine de jours après les derniers semis. Fin octobre et début novembre, les pluies sont totalement absentes : les plantules de blé se dessèchent et périssent. Résultat : près de 1 000 ha ensemencés ne valent pas la peine d'être récoltés.

L'année précédente, la situation climatique était entièrement différente. Octobre 1976 reçut 271 mm de pluies à Wassandé et novembre, 34 mm. Les semis se poursuivirent jusqu'à la fin du mois de septembre. Les pluies ne cessant que début novembre, la plupart des parcelles furent récoltées.

(1) Le climat est semi-humide car les pluies sont abondantes (plus de 1.500 mm en moyenne) mais réparties en une seule saison des pluies et interrompues par une saison sèche sévère et continue pendant 4 à 5 mois.

(2) D'après les relevés pluviométriques de la station de Ngaoundéré, de 1932 à 1970.

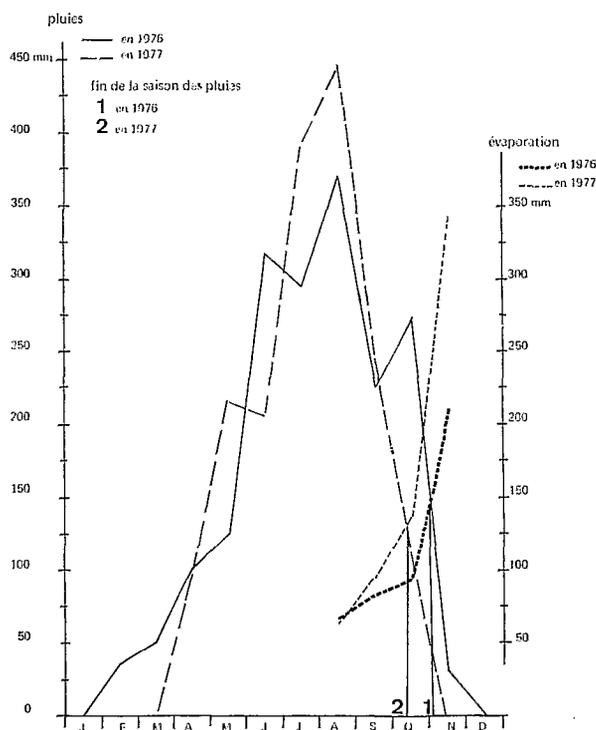


FIG. 20. -- Variation de la fin de la saison des pluies à Wassandé

Sur la figure 20, les courbes des pluies et de l'évaporation montrent que la saison pluvieuse s'achève début novembre en 1976 et avant la mi-octobre en 1977, soit avec trois semaines d'écart. Les semis tardifs de blé deviennent alors un véritable pari sur l'irrégularité climatique. Si la fin des pluies est tardive, il est gagné (1976); si elle est précoce, il est perdu (1977). Dès le 2 novembre 1977, l'image Landsat montre qu'il est perdu. A cette date, les pluies ont déjà cessé depuis trois semaines dans l'Adamaoua.

Quant aux mauvais rendements des semis précoces, ils ne proviennent pas des conditions climatiques. Une saison des pluies normale aurait peut-être entravé la maturation de leurs épis. Mais l'arrêt prématuré des pluies en 1977 aurait dû, au contraire, lui être favorable. D'après une hypothèse envisagée au début de ce travail, l'arrêt brusque des pluies n'aurait pas été bénéfique parce que survenant avant la fin de l'épiaison, brutalement interrompue. Mais pourquoi des blés semés plus tard donnent-ils, malgré tout, de meilleurs rendements ?

L'échec de ces semis ne tient pas tant à leur date qu'aux techniques culturales adoptées, à cette époque, par les responsables du complexe céréalier. Les semis de 1977 marquent la seconde ou la troisième année

de culture continue du blé : les rendements s'en ressentent directement. Devant cet échec, les responsables ont abandonné la culture continue du blé en 1978. Ils ont introduit une rotation avec le soja ou le maïs, ou adopté une jachère de repos.

Cette explication fut avancée en 1977 pour rendre compte des mauvais rendements obtenus sur les blocs A et C. Je l'ai moi-même reprise dans une étude des difficultés du complexe céréalier, étude achevée avant l'analyse des documents satellites. La vue Landsat utilisée ici apporte cependant un témoignage en contradiction avec les explications précédentes : l'activité chlorophyllienne était intense dans ces blocs un mois avant la récolte, alors que la saison sèche s'était déjà établie.

Il est improbable que, par la suite, leur couvert végétal ait davantage souffert de la sécheresse que les blocs de culture voisins. Quelle est alors l'explication à cette contradiction apparente entre deux témoignages : celui de la vue satellite et celui des rendements ?

La solution est à rechercher dans l'image en dehors du complexe céréalier. Quelques pâturages voisins en bas-fonds et surtout, ceux de ranchs situés plus au nord, présentent des réflectances analogues à celles des blocs A et C. Il est donc tout à fait vraisemblable qu'à cette époque de l'année, un couvert herbacé dense et faiblement pâturé se caractérise encore par une radiométrie indicatrice de forte activité chlorophyllienne.

Un autre fait vient confirmer cette interprétation. Les responsables de Wassandé ont expliqué que l'abandon de la culture en continu du blé ne provenait pas seulement des mauvais rendements obtenus mais aussi de la prolifération des plantes adventices que cette pratique culturale semblait favoriser.

Les adventices du blé à Wassandé comprennent à la fois des Graminées (des *Pennisetum*, *Digilaria*, *Chloris*), des Solanées (*Datura*, *Solanum indicum*) et des Rubiacées (*Borreria*). A cette liste, il faut ajouter de grandes étendues de *Carex* et de *Cyperus* observées au milieu du bloc A. Sur les anciens champs, ces adventices finissent par former un tapis végétal continu et par étouffer les tiges de blé.

La végétation active signalée par la vue Landsat ne concerne donc pas le blé mais l'abondant cortège d'adventices qui ont envahi certains blocs de culture. Le blé ne développe probablement pas un couvert végétal suffisant pour entraîner une telle activité chlorophyllienne, d'autant plus que les blés sélectionnés à Wassandé sont des variétés mexicaines à petite taille.

La multiplication des adventices devient telle dès la seconde année de blé à Wassandé qu'elle exige l'épandage régulier d'herbicides. Pour être efficace, cet épandage doit se produire dès la pousse du blé. Or, en 1977, le désherbage n'a été que partiel et

tardif : au stade de la 3^e feuille, ou après le tallage et même à la montaison (1). Les mauvaises herbes n'ont donc presque pas été éliminées. Cette carence a facilité leur propagation et le phénomène s'est aggravé l'année suivante. Dès les premières pluies de 1978, les herbes envahissent toutes les étendues déchaumées et nécessitent deux labours au lieu d'un pour nettoyer le sol. L'envahissement des parcelles de précédent cultural devient alors l'une des principales préoccupations de l'équipe chargée du labour (2). Elle multiplie les superficies totales labourées pour une surface finale, disponible aux semis, moindre que celle prévue.

A partir de 1979, les chaumes de blé sont ouverts à la pâture du bétail, de façon à réduire l'emprise des adventices. Ce pâturage est si abondant que, dès la saison sèche, les troupeaux s'y rassemblent en grand nombre. Certains éleveurs voisins retardent, d'autres suppriment les déplacements habituels de leurs troupeaux en saison sèche.

Le témoignage des images Landsat confirme qu'une observation souvent faite en agriculture traditionnelle reste valable pour une agriculture moderne disposant de moyens techniques puissants : très souvent, le retour à la jachère des terres cultivées tient moins à un épuisement des sols qu'à un envahissement des vieilles parcelles par les mauvaises herbes. Sans doute, les deux phénomènes sont-ils étroitement liés. Cependant, plutôt qu'une baisse des rendements, c'est l'exigence de sarclages répétés qui décourage avant tout le cultivateur et le décide à laisser sa parcelle en jachère. Sans la quantité croissante de travail exigée par les sarclages, les cultivateurs prolongeraient sans doute autant que possible la mise en culture des mêmes parcelles, quitte à récolter un peu moins chaque année. L'investissement en travail nécessaire pour le défrichage les inciterait aussi à cette prolongation du cycle cultural.

A Wassandé, les blocs envahis en 1977 par les adventices du blé furent les premiers mis en culture. Les responsables de la grande culture en régie se trouvent très vite confrontés aux mêmes difficultés que les cultivateurs traditionnels : dès la seconde ou la troisième année de culture continue du blé. Les agronomes ignorent largement le problème des adventices pour privilégier celui de la fertilité des sols : ils ne pensent qu'engrais et chaulage.

Devant l'envahissement par les adventices, les responsables du complexe agricole se trouvent désarmés : la multiplication des déchaumages et des labours s'avère une solution onéreuse. A présent, ils admettent la vaine pâture, alors qu'ils l'interdisaient

lors des premières années du complexe, enfermé par des clôtures de fils de fer barbelés.

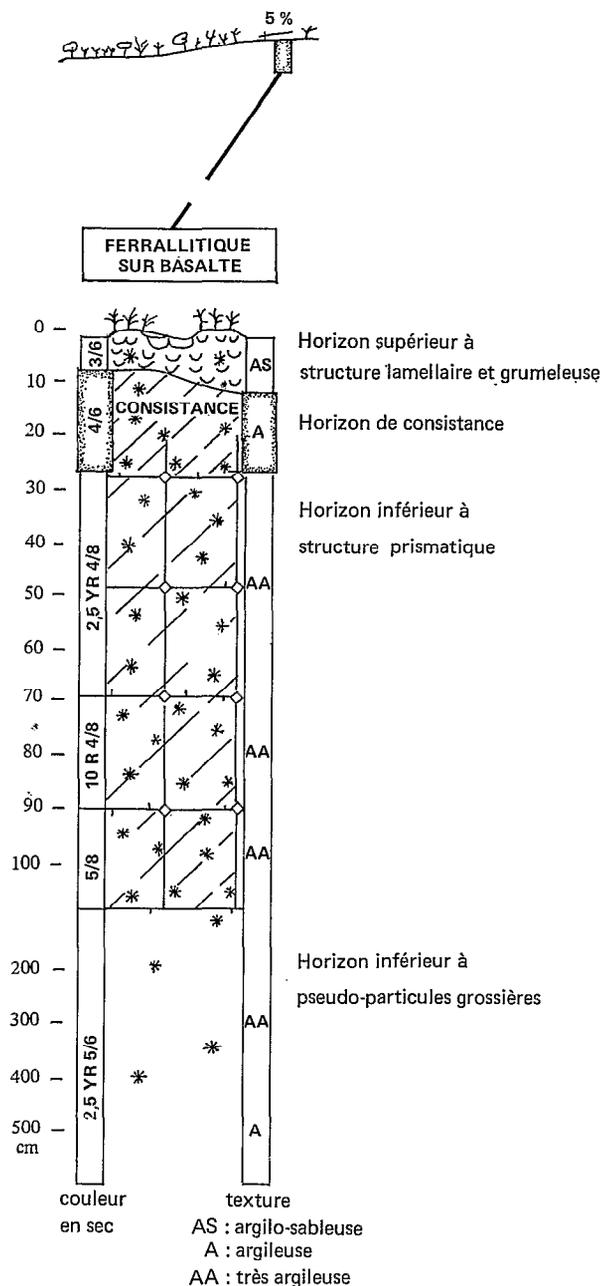


FIG. 21. — Profil des sols ferrallitiques sur basaltes des environs de Ngaoundéré (d'après HUMBEL, 1967)

(1) SODEBLE, 1978. — Rapport annuel 1977.

(2) SODEBLE, 1979. — Rapport annuel 1978, 1 vol. *mulligr.*

Finalement, ils recourent à la même solution que les cultivateurs traditionnels : la vaine pâture, donc l'association de l'élevage à l'agriculture dont les avantages semblent toujours oubliés dans les grandes opérations agricoles en Afrique Noire.

Autre problème : la présence de carex sert habituellement d'indicateur d'un milieu humide, de fond de vallée, alors qu'ici, il se développe en dos d'interfluvés cultivés. Les sols ferrallitiques sur basaltes de Wassandé comportent, à faible profondeur, un horizon argileux consistant. HUMBEL a dessiné et décrit un profil de sols comparables à l'ouest de Ngaoundéré (fig. 21). Il mentionne la présence de cet horizon compact « un peu élastique et sonore, qui ralentit l'infiltration de l'eau » (1). Sa compacité tranche avec l'horizon meuble superficiel. « Sa surface supérieure apparaît brutalement; elle est irrégulière et durcie; c'est pour l'écoulement de l'eau un niveau imperméable et gondolé qui 'fuit' de part en part » (1).

Les labours réalisés par de puissantes charrues multisoies, en terrain non parfaitement aplani, ne travaillent que l'horizon superficiel entre 5 et 20 cm de profondeur. Le plan de travail racle le sommet de l'horizon consistant mais le pénètre peu. Les passages répétés des lourds engins de culture tassent davantage cet horizon et obstruent les fissures où l'eau percolait lentement entre les noyaux argileux. L'horizon compacté devient encore plus imperméable : l'eau stagne sous la portion de sol labouré.

Ce niveau engorgé d'eau en saison pluvieuse asphyxie les racines de blé qui butent contre la surface lisse et compacte du plan argileux. En début de saison sèche, les réserves d'eau stagnant à ce niveau favorisent, au contraire, pendant quelques semaines, la prolifération des plantes adventices du blé. Elles manifestent une vive activité végétale alors que les savanes voisines commencent déjà à se flétrir.

Fermeture du profil pédagogique, engorgement d'eau à faible profondeur, multiplication des mauvaises herbes en même temps que mauvais développement du blé, correspondent à la fois au témoignage de l'image Landsat et aux rendements en blé obtenus plus tard.

Conclusion

« L'imagerie » Landsat peut apporter une documentation précieuse concernant le couvert végétal

des cultures annuelles aussi bien en zone tropicale qu'en zone tempérée, pourvu que leur extension excède la dizaine d'hectares.

L'analyse du complexe céréalier de Wassandé ne s'est appuyée que sur des traitements photochimiques des données Landsat. Il est vraisemblable qu'un traitement numérique aurait permis une corrélation plus rigoureuse entre les réflectances des cultures et leurs dates de semis ou leurs rendements.

L'exemple des nombreux déboires subis par la culture du blé à Wassandé en 1977 démontre, s'il en était encore besoin, qu'une bonne connaissance de terrain doit guider l'interprétation de l'image Landsat.

Il s'avère, en particulier, très délicat de relier la radiométrie aux rendements d'une culture annuelle comme le blé : c'est une culture peu couvrante et à cycle végétal court, du moins au Cameroun. Sa végétation évolue très vite.

Cependant, il importe de souligner que la difficulté éprouvée dans l'utilisation de l'imagerie Landsat pour étudier une culture annuelle tient ici à ce qu'une seule vue était utilisable.

Avec un intervalle d'un mois entre l'enregistrement satellite et le relevé des rendements au sol, le raccord entre les deux données commence à devenir hasardeux. Il est certain qu'un diachronisme des vues réduirait ce handicap. Une succession de vues couvrant la même campagne céréalière donnerait la possibilité de réaliser un « suivi » de la végétation du blé jusqu'à sa récolte et de confronter, dans de meilleures conditions, radiométrie et rendements. Des vues enregistrées après la récolte permettraient peut-être d'évaluer plus sûrement l'emprise des adventices, bien qu'elles soient, elles aussi, fauchées lors de la récolte du blé.

Pourtant un diachronisme « serré » sur une saison agricole soulève sans doute d'autres difficultés, notamment celles de corrélation des radiométries d'une vue à l'autre. Le diachronisme des vues disponibles en Afrique Noire est souvent plus lâche que celui évoqué ci-dessus. Il peut être intéressant de comparer une culture de blé à celle de l'année suivante, à date équivalente. Mais l'irrégularité des pluies entraîne alors des inégalités de croissance végétale qui s'ajoutent aux difficultés de corrélations radiométriques pour rendre toute interprétation encore plus délicate.

Le principal intérêt d'appliquer les techniques de télédétection à l'étude des complexes agro-industriels tient à ce qu'ils pratiquent, le plus souvent, une

(1) HUMBEL (F. X.), 1967. — Notice explicative, carte pédologique Ngaoundéré 1 d à 1/50 000^e. O.R.S.T.O.M., 118 p. *multigr.*, tabl. annexes, 2 cart. h.-t. + 5 cart. en coul.

culture pure, ce qui simplifie le couvert végétal étagé ou complexe des cultures traditionnelles. Cependant, l'exemple de Wassandé démontre que l'activité chlorophyllienne des plantes adventices interfère plus ou moins avec celle des cultures.

Les grands complexes agricoles assurent des relevés climatiques réguliers sur place, ce qui permet d'appréhender la situation du couvert végétal à la date des vues satellites. Enfin, des séries statistiques annuelles de production agricole et de rendement constituent des données de référence qu'il serait possible de confronter de manière systématique à des jeux de vues satellite. Ce travail de mise en corrélation devrait déboucher, avec un maximum de vraisemblance, sur une utilisation prospective des vues satellite.

Le présent essai, limité à quelques blocs de culture d'un complexe céréalier en cours de lancement, pourrait s'élargir à des dimensions beaucoup plus vastes dans les années à venir. En effet, les états sahéliens ont l'intention de se lancer, à leur tour,

dans la grande culture du blé, mais en culture irriguée. Celle-ci, pratiquement nulle actuellement, devrait produire 500 000 tonnes chaque année d'ici l'an 2000, ce qui donne une idée de ces ambitions agricoles (1). Or la qualité des images Landsat en zone tropicale sèche est bien supérieure à celles couvrant les Tropiques semi-humides ou humides. Cependant, la faible couverture végétale des blés courts, sélectionnés en Afrique, paraît un inconvénient pour une analyse fine des réflectances par une imagerie de type Landsat. Il est probable que la grande culture de la canne à sucre, également en pleine extension en zone sahélienne, donnerait de meilleurs résultats.

Jean BOUTRAIS
janvier 1982

*Manuscrit reçu au Service des Éditions de l'O.R.S.T.O.M.
le 16 mars 1983*

(1) Club du Sahel, OCDE, janv. 1977, cité par BERNUS E., 1981 : Touaregs nigériens.