

# SAHEL : LA SAISON DES PLUIES 1987 VUE PAR LES OUTILS SATELLITAIRES D'AGRHYMET

par Thierry NEGRE\*

Le Centre Agrhymet est une institution spécialisée du Comité permanent Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse au Sahel (CILSS). En collaboration avec les composantes du Programme Agrhymet dans les neufs Etats membres (1), il assure pendant la saison des pluies le suivi de la campagne agricole au Sahel. Pour cela, il dispose avant tout des données agronomiques, hydrologiques et météorologiques conventionnelles que les composantes nationales lui transmettent.

Mais, depuis 1983 et l'installation d'une unité de réception Météosat APT dans ses murs, le Centre Agrhymet a développé peu à peu un volet télédétection par lequel il entend compléter les observations des réseaux au sol de chacun des pays. Ce point a fait l'objet d'une présentation dans le numéro 16 de la « Veille Climatique Satellitaire », intitulée « Les outils satellitaires et les produits Agrhymet ».

Dans les pays qui suivent, nous nous proposons de présenter une synthèse de la situation agrométéorologique pendant la saison des pluies 1987 au Sahel, à l'aide de cartes issues de certains de ces outils satellitaires : fréquence d'occurrences de nuages précipitants et indice de végétation. Nous laisserons volontairement de côté les analyses de l'évolution des lignes de grains ou de la position du Front Intertropical (FIT) : elles entrent plutôt en jeu dans le suivi au jour le jour du temps sur le Sahel.

---

\* Ingénieur agro-météorologue, chargé de télédétection au Centre Agrhymet, BP 11011 Niamey.

(1) Pays du CILSS : Burkina Faso, Gambie, Guinée Bissau, Iles du Cap Vert, Mali, Mauritanie, Niger, Sénégal, Tchad.

# 1. Nombre de décades consécutives sans nuages précipitants.

## 1.1. Méthodologie.

La pluviométrie de la région ouest-africaine est essentiellement due à des amas nuageux à grand développement vertical qui s'organisent ou non en lignes de grains. Celles-ci traversent l'Afrique sahélienne d'Est en Ouest, de mai à octobre. Des études climatologiques ont permis de montrer qu'elles sont responsables de 75 à 80 % des précipitations enregistrées dans cette zone.

L'antenne ORSTOM installée au CMS (Centre de Météorologie Spatiale) de Lannion (France) où est reçu sous forme digitale le canal infrarouge thermique de METEOSAT 2, envoie à Agrhymet un document synthétique sur l'activité convective pour chaque décade et chaque mois, sous la forme de cartes d'occurrences de nuages précipitants.

A partir de ce document nous effectuons pendant la saison des pluies un suivi qualitatif de la convection, en nous intéressant spécialement aux régions où aucun nuage n'a été détecté, donc où aucune précipitation n'a pu se produire. La carte de synthèse proposée a été élaborée grâce à ces observations. Elle représente le nombre de décades consécutives sans nuages sur l'ensemble du Sahel, entre le 1<sup>er</sup> juin et le 30 septembre.

## 1.2. Un indicateur de stress hydrique pour la végétation.

Le nombre de décades consécutives sans nuages précipitants (donc sans pluies) est un indicateur de sécheresse complémentaire de la pluviométrie cumulée.

En effet, une période de sécheresse entraîne un stress hydrique pour la végétation, qui se répercute sur la production de biomasse finale, même si la pluviométrie cumulée de l'année reste correcte. Le phénomène est particulièrement marquant pour les céréales : en cas de sécheresse en phase épiaison-floraison, le rendement final en grains est fortement affecté.

D'après C. Dancette (Agrhymet), les besoins de survie du mil (durée du cycle : 90 jours) en zone sahélienne seraient, en moyenne, d'environ 2 mm par jour en phase de développement végétatif, 4 mm/jour en phase d'épiaison-floraison, et 3 mm/jour en phase de maturation (les trois phases durant 30 jours chacune).

En début de sécheresse, il faut donc que la plante dispose de réserves d'eau suffisantes dans le sol pour attendre la pluie. Par exemple, ce même mil de 90 jours aura besoin de  $2 \times 20 = 40$  mm de stock d'eau dans le sol pour résister à deux décades sans pluies pendant sa phase végétative et de  $4 \times 20 = 80$  mm pendant sa phase d'épiaison-floraison.

Or ces valeurs de stock d'eau sont assez rarement atteintes dans la zone sahélienne.

Prenons l'exemple de la saison des pluies 1987. Le tableau 1 permet de constater que les 40 mm de stock d'eau dans le sol ont très peu été dépassés en zone sahélienne.

Pendant la phase végétative, en juin et juillet, on obtient des fréquences de dépassement des 40 mm très faibles, de 3 et 5 %. En phase d'épiaison-floraison, le seuil de 40 mm n'est atteint que dans 17 % des décades au maximum (en août) : le seuil de survie à 80 mm sera donc encore moins souvent dépassé. Au Niger, les chiffres sont encore moins bons : 4 %, 12 % et 1 % pour juillet, août et septembre.

Mois	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre
Sahel (81 stat.)	0	0	3	5	17	11	0
Niger (34 stat.)	0	1	0	4	12	1	0

Tableau 1 : **FRÉQUENCE (% DES DÉCADES) DE DÉPASSEMENT DE 40 MM DE STOCK EN EAU DANS LE SOL.** Année 1987, sur 81 stations du Sahel (au nord de l'isohyète 500 mm). Stocks en eau du sol estimés par le modèle de bilan hydrique FAO.

Cela signifie qu'une sécheresse de deux décades a presque toujours eu en 1987 des conséquences très néfastes pour les cultures en zone sahélienne. **Cela veut dire aussi que le critère de deux décades sans nuages précipitants semble un indicateur pertinent de fort stress hydrique pour les cultures sahéliennes.**

### 1.3. Commentaires sur la situation en 1987.

La figure 1 présentée ci-après concerne les mois de plein développement de la végétation dans la zone sahélienne (juin à septembre), où les sécheresses sont les plus préjudiciables.

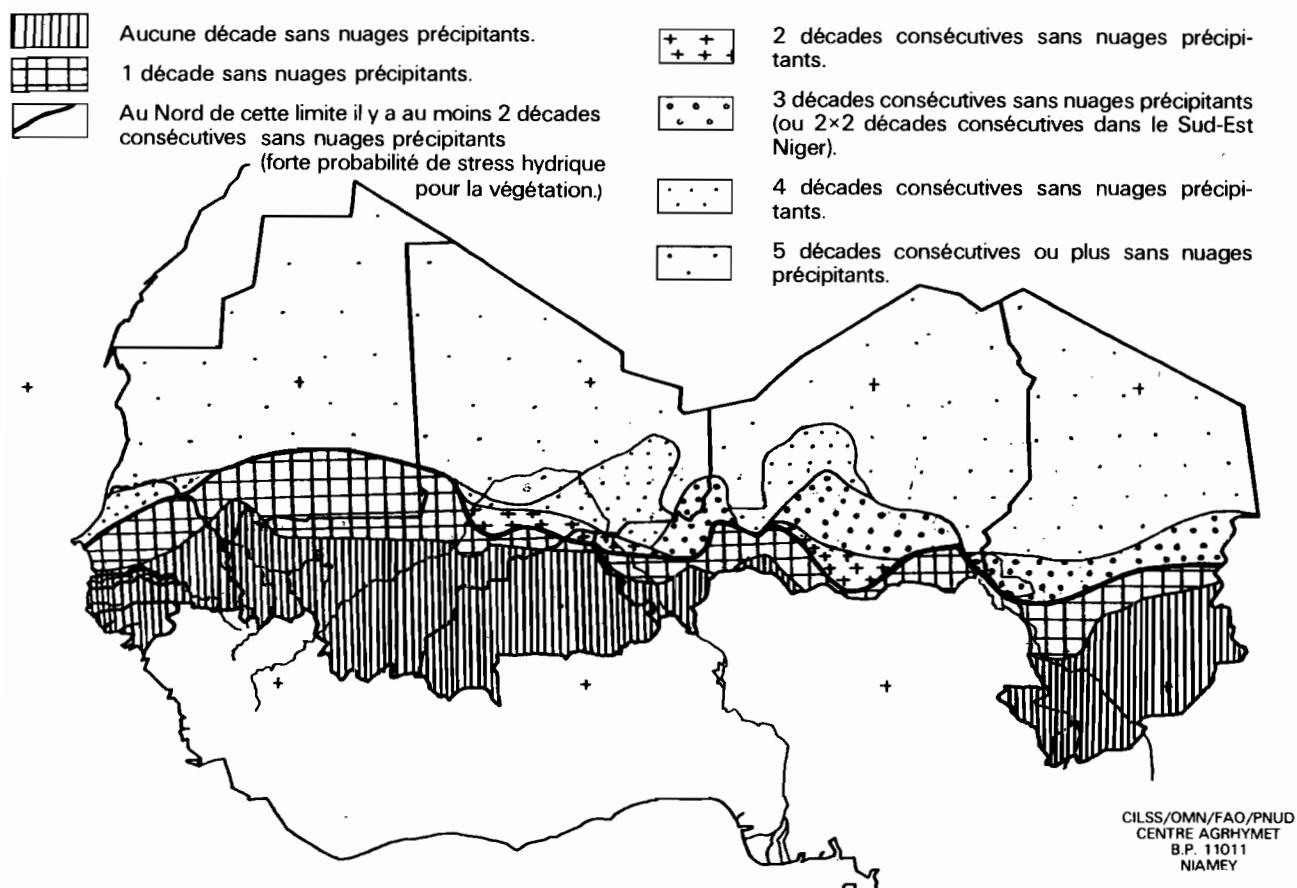


Figure 1. — **NOMBRE DE DECADES CONSECUTIVES SANS NUAGES PRECIPITANTS, DU 1<sup>er</sup> JUIN AU 30 SEPTEMBRE 1987.**

Il convient de noter que la cartographie faite est optimiste car il est possible d'avoir plusieurs décades consécutives sans pluie, mais avec nuages froids (cas des altocumulus non précipitants quelquefois pris en compte par la méthode de seuillage).

Au nord de la limite figurée par le trait plein gras, s'étendent les régions ayant connu au moins deux décades sans nuages, donc sans pluies.

La limite tracée peut être considérée comme une limite de stress hydrique en cours de végétation, dans la mesure où cette dernière était déjà apparue.

On s'aperçoit que, parmi les zones agricoles, le centre du Mali, le Niger dans certaines localités du sud-est et le centre du Tchad, ont été particulièrement touchés en juin et juillet. Au centre du Tchad, il s'est produit une sécheresse de trois semaines, de la troisième décade de juin à la deuxième de juillet.

Au sud-est du Niger, l'absence de nuages n'a duré que deux décades, en juin, mais la zone concernée descend très au sud, jusqu'à la frontière du Nigéria. Au nord de Zinder, il y a eu, en plus, deux décades sans pluie en juillet.

A l'ouest du Niger, dans la région de Tillabery et Ouallam, la situation est critique : deux à quatre décades consécutives sans pluie entre juin et juillet.

## 2. Evolution des indices de végétation sur le Sahel en 1987.

### 2.1. Méthodologie de suivi de la campagne agricole.

Le suivi de la biomasse observée par satellite s'est fait à partir de l'indice de végétation normalisé.

Nous avons reçu chaque semaine les indices de végétation pour l'ensemble des pays du CILSS. Ces indices de végétation sont intégrés sur une semaine et sur des surfaces (appelées cellules de grille) de 1° de longitude par

1/2° de latitude (soit 111 km par 55 km ou encore 6.175 km<sup>2</sup>). Une telle surface de résolution, très grossière, permet de diminuer le volume de données à transmettre par voie télégraphique depuis la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) aux Etats-Unis, ce qui était nécessaire pour travailler en temps réel.

Dans notre analyse des indices de végétation, nous avons privilégié le suivi du démarrage de la végétation et les comparaisons interannuelles des séries chronologiques (valeurs des indices de végétation en fonction du temps pour chaque cellule de grille).

### **2.1.1. Suivi du démarrage de la végétation.**

Le suivi du démarrage de la végétation s'est fait en repérant la date à partir de laquelle l'indice de végétation a dépassé le seuil de 5. Un tel seuil est justifié de la manière suivante : en période sèche on constate que l'indice de végétation oscille entre 0 à 5. Ces oscillations ne sont pas significatives, puisque l'on se trouve hors du domaine de validité de l'indice de végétation normalisé. Elle peuvent donc être considérées comme un bruit du signal. Au début de la saison des pluies, tant que le seuil n'est pas dépassé, nous ne pouvons pas savoir si une variation de l'indice dépend de la seule évolution de la biomasse ou s'il ne s'agit que des oscillations observées en saison sèche. On conclut dans ce cas que la végétation n'est pas suffisamment développée pour faire varier de manière significative l'indice de végétation.

### **2.1.2. Suivi des séries chronologiques.**

L'analyse des séries chronologiques a été menée en comparant l'évolution de la biomasse en 1987 avec celle de 1986, **cellule de grille par cellule de grille.**

En effet, lorsque l'on passe d'une cellule à une autre, la nature des sols, l'organisation du paysage, le type de formation végétale en place, peuvent changer et donc entraîner des variations de l'indice indépendantes des conditions de développement de la végétation. En faisant nos analyses cellule par cellule, nous nous affranchissons, dans la limite des transformations historiques du paysage à l'intérieur de cette cellule, de ces variations « parasites ».

Nous avons pris en compte les indicateurs suivants :

- date de démarrage de la végétation,
- durée de la phase de développement de la biomasse,
- valeur moyenne atteinte par l'indice de végétation pendant sa phase de développement,
- accidents en cours de développement (stagnation ou décroissance de l'indice).

Ces indicateurs ont ensuite fait l'objet d'une analyse subjective, permettant de porter un diagnostic sur le développement de la végétation en 1987 par rapport à l'année 1986, illustré sous forme de cartes synthétiques (*figures 2a et 2b*).

## **2.2. Résultats : Suivi de la campagne 1987.**

L'analyse des indices a été menée sur l'ensemble de la saison des pluies, jusqu'au 20 septembre. Elle est illustrée par trois figures. Une carte de l'évolution de la biomasse jusqu'au 28 juillet nous renseigne sur les conditions de démarrage de la végétation. Une deuxième carte, au 20 septembre, permet de porter un jugement sur l'ensemble de la saison en distinguant zones critiques et zones favorables. Enfin, la *figure 2c* présente l'évolution de l'indice de végétation en 1986 et 1987 en rapport avec la pluviométrie décadaire, pour quatre cellules de grille typiques.

### **2.2.1. Zones critiques.**

Dès le mois de juillet s'étaient dessinées grossièrement les **trois zones critiques** que l'on retrouve en fin de saison : **Niger, centre Tchad, Sud Mali.**

Ensuite, la situation au **Niger** s'est révélée particulièrement mauvaise, excepté dans l'extrême sud du pays. Après une émergence de la végétation nettement plus tardive qu'en 1986, la croissance de l'indice est restée modérée. La phase de développement des cultures et des pâturages a donc été plus courte et moins active qu'en 1986.

Au **centre du Tchad**, après un début de saison plutôt positif, un net déficit hydrique pendant la seconde moitié du mois de juin et pendant le mois de juillet s'est traduit par une stagnation et parfois même une baisse de l'indice pendant la deuxième quinzaine de juillet. Ayant eu lieu au début ou pendant la période d'épiaison-floraison d'une grande partie des cultures, cet accident a certainement eu des conséquences néfastes sur la production finale, malgré la reprise de croissance de l'indice observée par la suite.

Au **sud du Mali**, la situation est moins critique que dans les deux zones précédentes, mais tout de même plus défavorable qu'en 1986. Le démarrage de la végétation s'est fait avec 2 à 4 semaines de retard par rapport à 1986 et la croissance modérée de l'indice de végétation n'a pas permis de compenser ce retard.

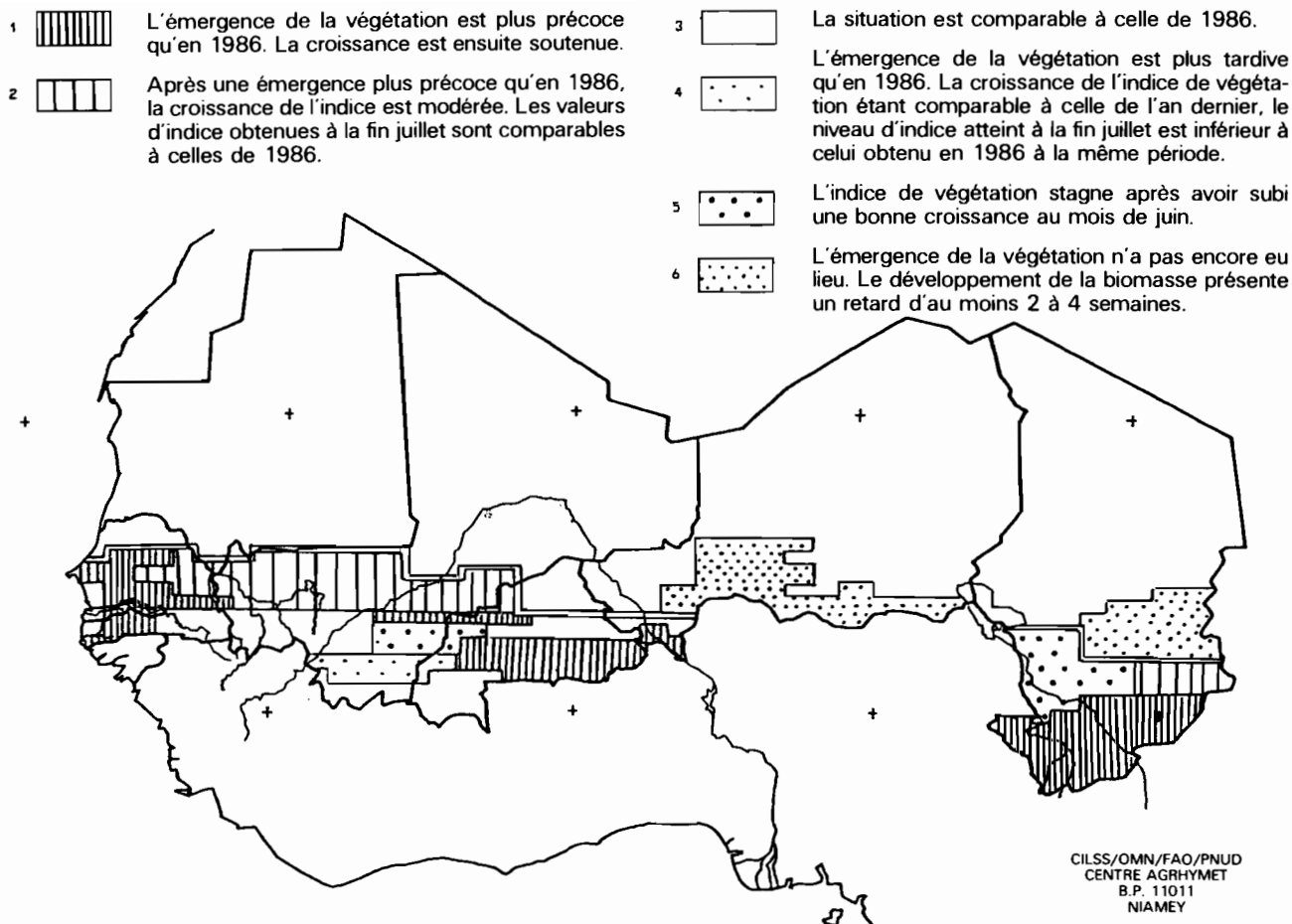


Figure 2a. — **EVOLUTION DE LA BIOMASSE VEGETALE OBSERVEE PAR SATELLITE.**  
**Situation au 28 juillet 1987.**

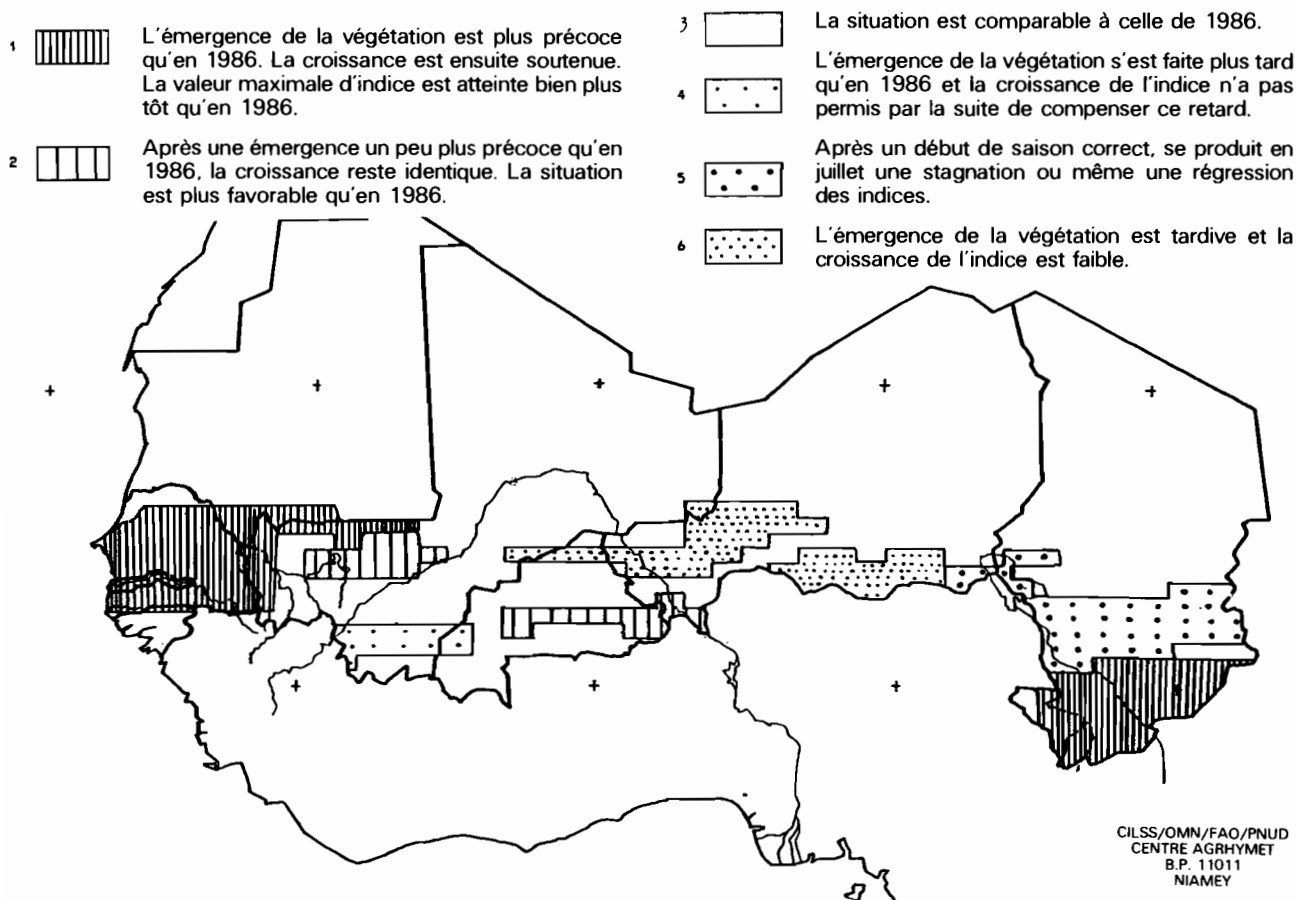


Figure 2b. — **EVOLUTION DE LA BIOMASSE VEGETALE OBSERVEE PAR SATELLITE.**  
**Situation au 20 septembre 1987.**

### 2.2.2. Zones favorables.

La situation au 28 juillet faisait déjà apparaître trois zones où l'émergence précoce de la végétation conduisait à un diagnostic positif par rapport à 1986 ; une bande allant du Sénégal au centre du Mali, le Sud Tchad et le centre-est du Burkina Faso.

La situation finale, au **20 septembre**, est la suivante :

Sur la **plus grande partie du Sénégal, à l'extrême ouest du Mali sur une bande frontalière Mali-Mauritanie**, l'évolution des indices de végétation s'est révélée très positive par rapport à 1986. Un démarrage nettement plus précoce (mais il est vrai que celui de 1986 fut particulièrement tardif dans cette région) et une croissance soutenue de l'indice caractérisent ces régions. Le centre ouest du Mali a lui aussi connu un démarrage rapide de sa végétation, mais le développement de celle-ci fut ensuite nettement plus limité.

Au **Sud du Tchad**, l'émergence de la végétation s'est produit 2 à 4 semaines plus tôt qu'en 1986 et la croissance de l'indice a été meilleure par la suite : le bilan est donc largement positif dans cette région.

Sur une bande axée ouest-centre-est du Burkina Faso, le démarrage précoce de la végétation a permis l'obtention tout au long de l'hivernage de valeurs d'indice légèrement plus élevées qu'en 1986.

### 2.2.3. Illustration : Evolution de l'indice de végétation sur quatre cellules de grille sélectionnées (figure 2c).

La figure 2c présente quatre graphiques illustrant l'évolution de l'indice pendant la saison des pluies 1987, en comparaison avec l'évolution suivie en 1986. Un histogramme de pluviométrie décadaire (1987) a été superposé. Les quatre cellules de grille retenues soulignent quatre situations marquées : le Sénégal (Bakel), le Niger (Tahoua, Keita), l'Est-Burkina Faso (Fada), et le Centre-Tchad (N'Djamena).

A Bakel, l'émergence de la végétation a eu lieu à la 29<sup>e</sup> semaine (début juillet) avec deux semaines d'avance par rapport à l'année dernière. La croissance est ensuite plus soutenue qu'en 1986. Le plateau a été atteint avec quatre semaines d'avance.

On peut remarquer que le déficit pluviométrique de la première décade d'août ne s'est pas traduit par un ralentissement de la croissance de l'indice, les réserves en eau du sol ayant dû être suffisantes pour alimenter la végétation.

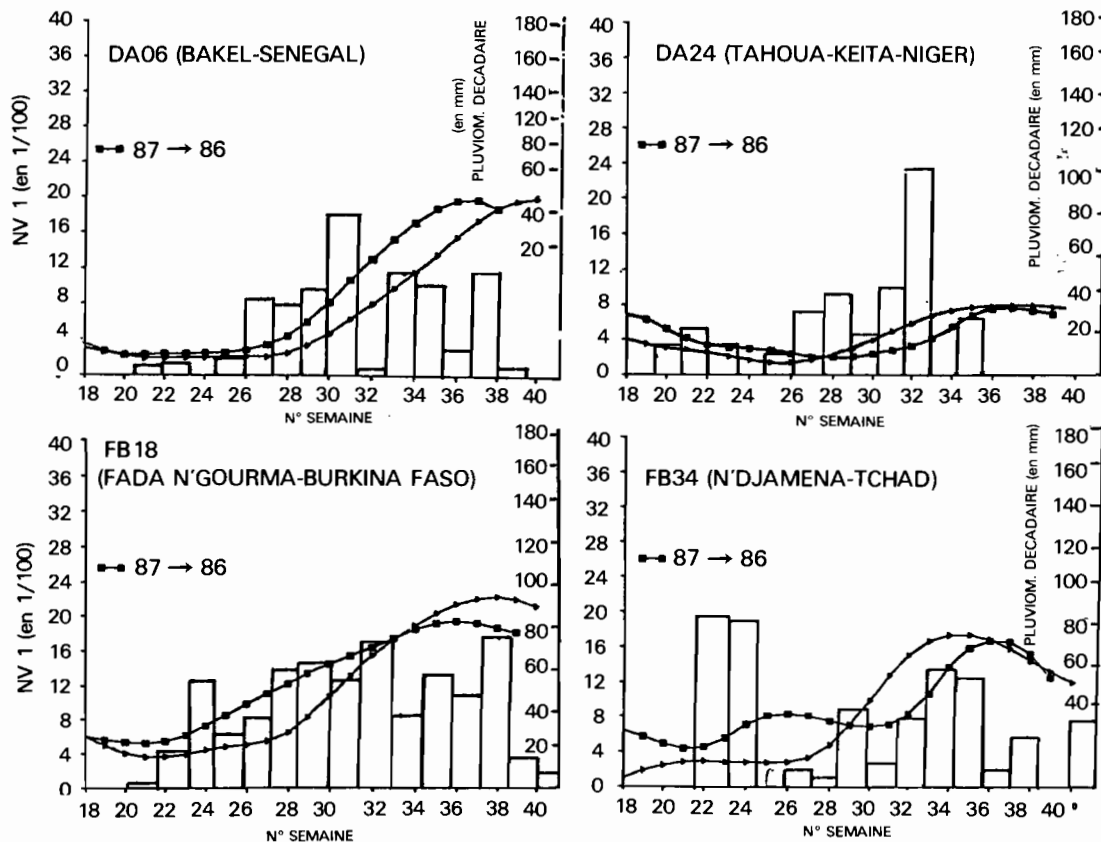


Figure 2c. — EVOLUTION DE L'INDICE DE VEGETATION EN 1987 ET 1986 ET PLUVIOMETRIE DECADEAIRE 1987 SUR QUATRE CELLULES DE GRILLE SELECTIONNEES.

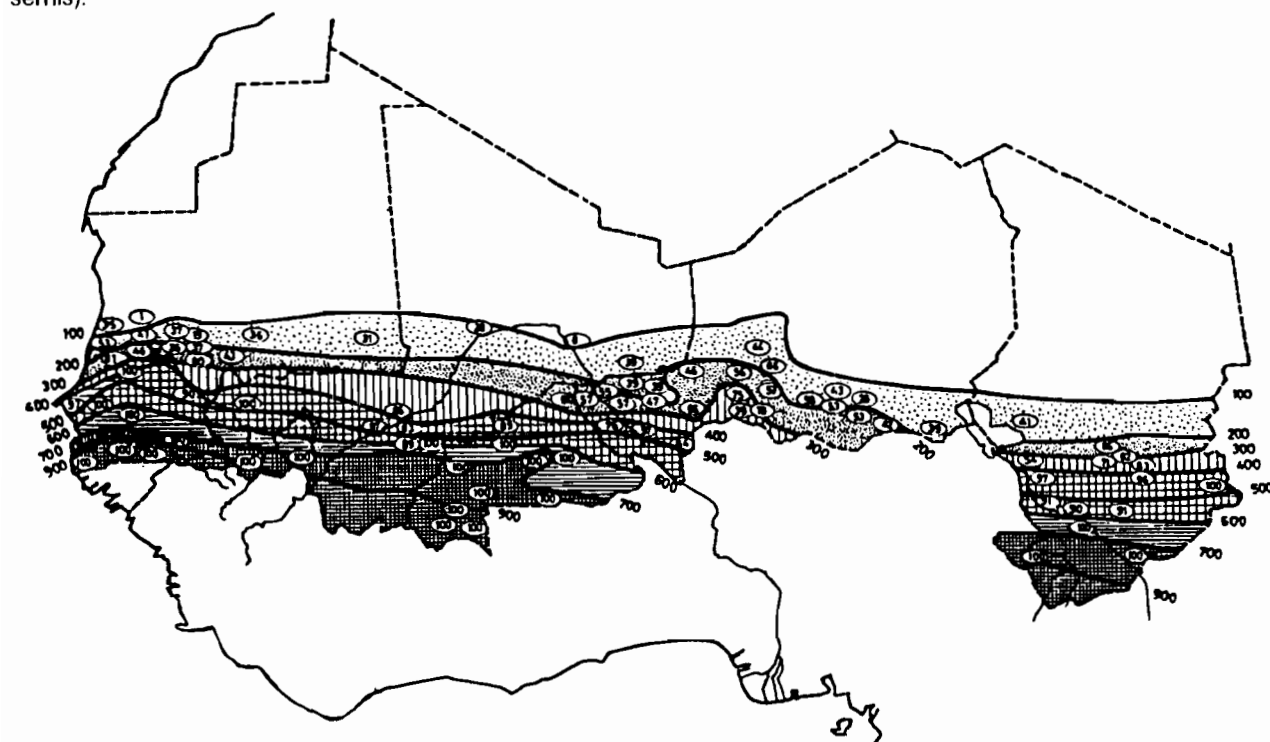
A Tahoua-Keita, l'émergence de la végétation s'est faite tardivement à la 34<sup>e</sup> semaine (fin juillet, début août), avec 3 à 4 semaines de retard par rapport à 1986. Les valeurs d'indice atteintes par la suite ont été faibles et inférieures à celles de l'année dernière. La situation est très critique.

A Fada N'Gourma, on a constaté une bonne pluviométrie sur toute la saison. Les 80 mm des deux dernières décades de mai ont permis à l'indice de démarrer tôt (fin mai). La croissance a été ensuite régulière. Même si la valeur atteinte en plateau a été inférieure à celle de 1986, on peut établir pour 1987 un diagnostic plus favorable à cause du démarrage précoce de la végétation.

A N'Djamema, la situation décrite a caractérisé le centre Tchad cette année : démarrage rapide puis décroissance de l'indice causée par trois décades de sécheresse sévère en juin-juillet. Pour les semis de céréales précoces effectués en 22 ou 23<sup>e</sup> semaine, après les premières pluies, le stress hydrique s'est produit environ 45-50 jours après, pendant une durée de quatre semaines, en pleine phase critique d'épiaison-floraison.

### 3. Conclusion : comparaison à la situation agricole.

La figure 3 permet d'illustrer l'état de la situation agricole dans le Sahel à la fin de la saison des pluies 1987, pour le mil et le sorgho. Les rendements estimés sont cartographiés et les indices finaux de satisfaction en eau (ISE) sont pointés pour 86 stations du Sahel (méthode du bilan hydrique FAO de Frère et Popov avec la meilleure date de semis).



Isohyètes mm-1987	Variétés	Appréciation sur l'état des cultures et l'alimentation hydrique : estimation des rendements en grain.
moins de 200	90 jours	Très mauvais : de 1 à 4 décades bien alimentées en eau : rendements quasi nuls.
200 à 300	90 jours	Très médiocre : en moyenne 4 décades bien alimentées en eau : moins de 300 kg/ha.
300 à 400	90 jours	Moyen à satisfaisant : en moyenne 6 décades bien alimentées en eau : 300 à 600 kg/ha.
400 à 600	90 à 120 jours	Bon pour variétés mil 90 j : 600 à 1.000 kg/ha. Moyen pour variétés mil 120 j : 600 à 800 kg/ha.
600 à 700		Zone choix possible entre variétés 90 et 120 jours : 800 à 1.000 kg/ha.
+ de 700	120 jours	Bon à très bon : en moyenne 11 décades de bonne alimentation en eau : jusqu'à 1.000 kg/ha.

CENTRE AGRHYMET  
NIAMEY

Figure 3. — ISOHYETES ET SITUATION DU MIL ET DU SORGHO (VARIETES DE 90 ET 120 JOURS) A LA FIN DE LA SAISON DES PLUIES 1987 DANS LES PAYS DU CILSS.

Les chiffres encadrés correspondent aux indices FAO finaux obtenus avec la meilleure date de semis.

Comparons ce document, issu des données météorologiques et agronomiques de terrain, et les cartes d'origine satellitaire déjà présentées (*figures 1, 2a et 2b*).

**L'examen des indices de satisfaction en eau en fin de campagne fait ressortir les régions critiques déjà identifiées à l'aide de l'imagerie satellitaire.**

Parmi les zones les plus touchées ( $28 < ISE < 60$ ), on retrouve le nord est du Burkina Faso et l'ensemble du Niger hormis l'extrême sud.

De la même façon, le Sénégal, le sud-ouest Mali et le centre du Burkina Faso, ainsi que le sud du Tchad, s'avèrent être en situation favorable ( $90 < ISE < 100$ ).

Seule l'analyse faite pour le centre du Tchad semble devoir différer un peu. Le diagnostic issu des indices de satisfaction en eau serait moyen :  $54 < ISE < 90$ . Celui porté à partir de nos observations satellitaires est plutôt défavorable (*figures 1 et 2b*). Cette différence tient à l'importance que nous avons attachée à la sécheresse de juin, juillet (début de phase de floraison), alors que le modèle de simulation de bilan hydrique utilisé confère un poids identique à chaque phase de développement.

**A la lumière de ces résultats, il apparaît clairement que l'outil satellitaire est d'ores et déjà utilisable et utile pour le suivi de la campagne agricole dans les pays sahéliens. Avec l'installation en 1988 d'une station de réception NOAA-AVHRR (2) au centre Agrhymet de Niamey, un nouveau pas sera franchi dans le domaine du suivi puisque des données NOAA en pleine résolution seront disponibles en temps réel.**

Un effort de mise au point méthodologique subsistera bien évidemment, auquel le Centre Agrhymet entend participer en relation avec les équipes de recherche travaillant dans le domaine de la télédétection satellitaire en milieu sahélien.

## BIBLIOGRAPHIE SUCCINCTE

- CARN M., DAGORNE D., GUILLOT B., LAHUEC J.P., 1987 — Estimation des précipitations par satellite au Sahel pour la période de mai à septembre 1987. *Veille Climatique Satellitaire*, 20, p. 26-30.
- DANCETTE C. — Estimation des besoins en eau des principales cultures pluviales en zone soudano-sahélienne. *Agronomie Tropicale* 38-4-1982.
- FRERE M. — Le suivi agrométéorologique opérationnel des cultures pour la prévision des récoltes. Symposium sur l'agrométéorologie de l'arachide OMM-ICRISAT-FAO Niamey 21-26 août 1985.
- LAHUEC J.P., CARN M., GUILLOT B., 1986. — Convection et pluviométrie en Afrique de l'Ouest. Bilan provisoire pour la saison 1986 : 1<sup>er</sup> mai-31 octobre. *Veille Climatique Satellitaire*, 15, p. 19-25.
- NEGRE T., IMBERNON J., GUINOT J.P., CARN M., 1987. — Estimation de la pluviométrie au Sénégal en 1984, 1985, 1986 par cumul des synthèses thermiques Météosat. *Veille Climatique Satellitaire*, 20 et 21, p. 62-69.
- Synthèse régionale des situations agrométéorologiques de la saison des pluies 1987 dans les pays du CILSS. Centre Agrhymet. CILSS/PNUD/OMM/FAO. Publication n° 198 - Avril 1988.

---

(2) *Advanced Very High Resolution Radiometer*



Nègre T. (1988)

Sahel : la saison des pluies 1987 vue par les outils  
satellites d'Agrhymet

Veille Climatique Satellitaire, (23), 29-36

ISSN 1144-2026