



HAL
open science

Cartographie et utilisation de l'indice foliaire du blé à partir de données radiométriques acquises par des capteurs embarqués sur tracteur

P. Boissard, D. Boffety, J.F. Devaux, P. Zwaenepoel, P. Huet, J.M. Gilliot, J. Heurtaux, J. Troizier

► To cite this version:

P. Boissard, D. Boffety, J.F. Devaux, P. Zwaenepoel, P. Huet, et al.. Cartographie et utilisation de l'indice foliaire du blé à partir de données radiométriques acquises par des capteurs embarqués sur tracteur. *Ingénieries eau-agriculture-territoires*, 2003, 33, p. 67 - p. 74. hal-00466029

HAL Id: hal-00466029

<https://hal.science/hal-00466029>

Submitted on 22 Mar 2010

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.

Cartographie et utilisation de l'indice foliaire du blé à partir de données radiométriques acquises par des capteurs embarqués sur tracteur

Paul Boissard^a, Daniel Boffety^b, Jean-François Devaux^b, Philippe Zwaenepoel^b, Philippe Huet^c, Jean-Marc Gilliot^c, Jeanne Heurtaux^c, Jacques Troizier^c

Cet article est issu d'une communication présentée en 2001 à Montpellier, en anglais, lors de la Conférence européenne sur l'agriculture de précision : Third European Conference on Precision Agriculture, G. Grenier and S. Blackmore ed., Montpellier June 18-20, 2001, Agro Montpellier, 157-162.

Tout au long du cycle végétal, les agriculteurs ont besoin d'informations spatialisées intraparcellaires pour établir le diagnostic de l'état des cultures et moduler les apports d'intrants. Dans cet article, les auteurs décrivent un dispositif et une méthodologie permettant de cartographier l'indice foliaire vert de la culture d'une parcelle, à partir de capteurs radiométriques embarqués mesurant le rayonnement réfléchi par le couvert végétal. De façon générale, la méthode montre son intérêt pour fournir une information spatiale et temporelle pertinente sur l'état de croissance ou l'état de sénescence de la culture.

Les pratiques agricoles s'adaptent face aux contraintes économiques et environnementales. Les firmes d'agro-équipements ont déjà mis au point des systèmes permettant de moduler spatialement les applications de fertilisants et de pesticides. Par exemple, des capteurs radiométriques ont été développés pour ajuster empiriquement en temps réel l'épandage d'engrais azoté au vu de l'état des céréales (état de croissance et état azoté du peuplement) ou encore pour localiser la pulvérisation d'herbicide sur les seules zones infestées. On peut dire que la modulation des apports d'engrais azoté pendant la phase végétative du blé a été bien étudiée (Akkal, 1998). Cependant, tout au long du cycle, les agriculteurs ont besoin d'informations spatialisées sur l'état des cultures pour mettre en œuvre les outils d'aide à la décision à l'échelle intraparcellaire. Ces avancées doivent permettre d'économiser les intrants en modulant les apports, et de limiter les impacts environnementaux.

De nombreux travaux ont montré que la réflectance spectrale visible-proche infrarouge était liée aux paramètres physiologiques et en particulier à l'indice foliaire (LAI)¹ qui est une variable difficilement mesurable (Baret et Guyot, 1991 ;

Fernandez *et al.*, 1994 ; Peñuelas et Filella, 1998) et au taux de couverture du sol (Boissard *et al.*, 1992). En ce qui concerne l'indice foliaire, parmi les indices de végétation calculés à partir des réflectances rouge-proche infrarouge, le TSAVI² et le NDVI³ sont plus pertinents pendant la phase de croissance végétative, tandis que le simple ratio SR⁴ est un meilleur indicateur pour les valeurs élevées du LAI.

SR est bien adapté pour le diagnostic, en revanche il est insuffisamment sensible pour le pilotage des derniers apports azotés, puisqu'il ne détecte les stress que trop tardivement (Vouillot *et al.*, 1998 ; Serrano *et al.*, 2000).

Des travaux antérieurs font état de capteurs radiométriques embarqués (Le Bars *et al.*, 1997) ; Stafford *et al.* (1999) ont caractérisé l'hétérogénéité spatiale d'un champ par radiométrie visible-proche infrarouge en cartographiant l'indice de végétation normalisé (NDVI).

Dans cet article nous proposons de cartographier l'indice foliaire vert de la culture à partir de la floraison, et d'en analyser la variabilité spatiale et temporelle en fonction des types de sol et des facteurs culturaux mis en jeu. On peut signaler que

1. LAI (*Leaf Area Index*) : indice foliaire ou surface cumulée des feuilles d'une culture, rapportée à l'unité de surface de sol considérée (nombre adimensionné).

2. TSAVI = $[a (PIR - aR - b)] / [R + PIR - ab + 0.08 (1+a^2)]$.

a et b : constantes.
R : bande spectrale du rouge.
PIR : bande spectrale du proche infrarouge.

3. NDVI = $[PIR - R] / [PIR + R]$.

4. SR = PIR / R .

Contact

a. INRA-URIH, Sophia-Antipolis, 06410 Biot.

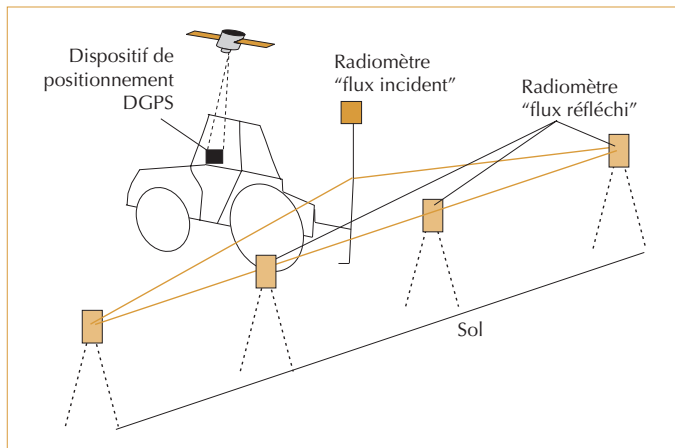
b. Cemagref, UR Technologies, Systèmes d'information et procédés pour l'agriculture et l'agroalimentaire, Les Palaquins, Montoldre, 03150 Varennes-sur-Allier.

c. INA Paris-Grignon, département Agro-nomie-Environnement, 78850 Thiverval-Grignon.

► Photo 1 – Vue de la rampe et du dispositif de mesure de rayonnement.



▼ Figure 1 – Principe du dispositif de radiométrie et de positionnement DGPS.



dans un deuxième temps, ces données d'indice foliaire ont été utilisées sur la même parcelle comme variables de forçage pour simuler la variabilité intraparcellaire du rendement au moyen du modèle CÉRÉS-blé (Gabrielle *et al.*, 2001).

5. DGPS : *Differential Global Positioning System.*

6. DAP : *Data Acquisition Processor board.*

Matériels et méthodes

Description du système de mesure radiométrique

Une rampe de 9 mètres de large et une nacelle ont été fixées sur l'attelage trois points d'un tracteur (figure 1 et photo 1). À partir de cette nacelle, un opérateur procède à l'acquisition des données. Quatre luminancemètres sont fixés le long de la rampe pour mesurer en visée verticale le rayonnement réfléchi par le couvert. Ces capteurs sont connectés à un module convertisseur électronique analogique/digital. Un cinquième luminancemètre mesure le rayonnement incident ; il est placé au sommet du châssis et maintenu en visée verticale vers le ciel grâce à un système pendulaire amorti.

Les mesures de rayonnement incident sont utilisées pour calculer la réflectance du couvert, une variable peu sensible à la variation des conditions d'éclaircissement (Le Bars *et al.*, 1997).

Dans les conditions de mesure (vers 12 h, heure solaire), il n'y a pas d'interférence entre le champ de mesure des luminancemètres et les ombres portées de la rampe et du tracteur.

L'ensemble des capteurs permet de « scanner » quatre bandes parallèles de chaque côté du tracteur. La hauteur de la rampe est réglée au moyen d'une crémaillère. Cette solution permet d'ajuster la distance entre les radiomètres et la cible (sol ou culture), et par conséquent, le champ de mesure des capteurs (60 cm de diamètre pour une hauteur de 2 m).

Les radiomètres SKYE 1800

Les cinq capteurs SKYE utilisés (modèle SKR 1800) présentent les caractéristiques suivantes :

- bande rouge centrée sur 660 nm, largeur 12 nm ;
- bande proche infrarouge centrée sur 780 nm, largeur 15 nm.

Les capteurs ont un champ angulaire de 17°. En fonction de leur sensibilité ces capteurs fournissent un signal analogique (courant) propre à chacun des deux canaux (de 94,776 $\mu\text{mol}/\text{mA}$ à 113,24 $\mu\text{mol}/\text{mA}$ pour le canal 660 nm et de 84,849 $\mu\text{mol}/\text{mA}$ à 90,589 $\mu\text{mol}/\text{mA}$ pour le canal 780 nm). Pour l'acquisition, un module électronique d'interface spécifique convertit et amplifie le signal analogique en tension (0 à 10 V).

Acquisition du signal radiométrique et du positionnement DGPS⁵

Deux unités d'acquisition sont embarquées dans la nacelle, l'une pour les signaux radiométriques (PC 486), l'autre, un système Agrom terminal (ACT) du constructeur de moissonneuses-batteuses CLAAS, pour le géoréférencement.

L'unité ACT intègre le DGPS Racal et le module LEM qui sont utilisés sur la moissonneuse-batteuse pour la cartographie du rendement. Le logiciel « Agroline » enregistre les trajectoires du tracteur dans le champ. Les points DGPS sont enregistrés à 5 secondes d'intervalle dans les fichiers de données DGPS. Ces fichiers sont sauvegardés sur une carte PCMCIA. Une carte électronique Microstar Laboratories DAP 2416⁶ complète l'unité d'acquisition pour la radiométrie.

Avec un microprocesseur et un convertisseur analogique/digital 16 bits, ce système mesure les signaux radiométriques avec une période de 100 ms pour les 10 canaux. Un logiciel DasyLab version 6 sous Windows est utilisé pour gérer la carte DAP, pour sauvegarder les données à une fréquence de 6 hz et pour afficher les résultats de mesure sur l'écran du moniteur. Les fichiers de radiométrie et DGPS sont enregistrés séparément et leurs informations sont recombinaées *a posteriori*.

Traitement des données

Le traitement des données est réalisé avec le logiciel Excel, il consiste d'abord à associer les fichiers de radiométrie et DGPS en utilisant une base de temps commune ; on obtient donc un fichier radiométrique géoréférencé.

Différentes opérations mathématiques peuvent être effectuées sur ces valeurs pour les convertir en indice foliaire (Baret *et al.*, 1991). Le rapport de réflectance « proche infrarouge/rouge » (Fernandez *et al.*, 1994) s'avère être le plus sensible. Il s'exprime ainsi :

$$SR = RFL_{780} / RFL_{660}$$

où RFL indique la réflectance et l'indice indique la longueur d'onde (nm). Le résultat obtenu est alors importé dans un système d'information géographique (SIG ArcView) pour y établir les cartes de GLAI⁷.

Étalonnage de la méthode de calcul du GLAI

Pour des raisons pratiques, le GLAI a été estimé indirectement en utilisant un radiomètre de référence CIMEL CE-313. Un modèle permettant d'estimer le GLAI à partir du SR fourni par cet

appareil avait été établi sur des données acquises en parcelles expérimentales en 1994 et 1995, lors de la phase de remplissage du blé avec plusieurs facteurs de variation (variété, date de semis et état azoté).

Grâce à ce modèle, on a estimé le GLAI à partir de mesures de SR effectuées au moyen du radiomètre CIMEL sur 80 placettes (figure 2). Ces placettes de 0,6 m de diamètre, jalonnées en leur centre, étaient réparties entre les trois types de sol de la parcelle agricole présentée ci-après, et entre les trois dates de mesure. Enfin des mesures effectuées à poste fixe avec les radiomètres Skye de la rampe ont permis d'établir la relation suivante, qui fut utilisée pour convertir les valeurs de SR en valeurs de GLAI :

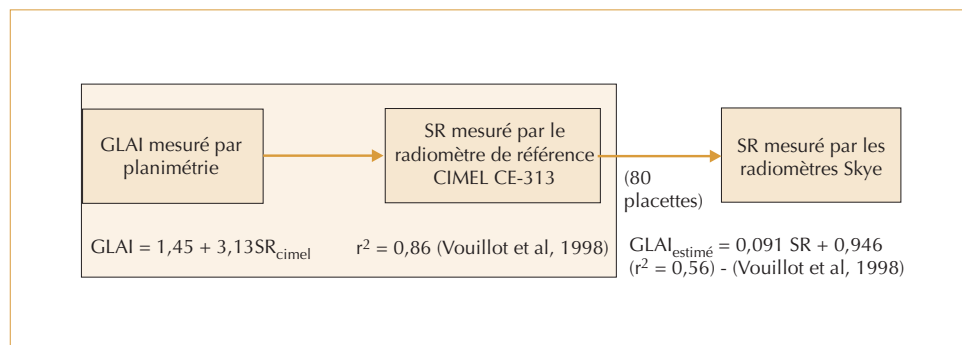
$$GLAI_{\text{estimé}} = 0,091 SR + 0,946 \quad (r^2 = 0,56)$$

Les mesures radiométriques ont été faites en continu sur l'ensemble du champ en empruntant les passages de roues séparant les traitements expérimentaux (écartement de 24 m entre les passages). Elles ont été réalisées à trois dates (facteur DATE) : les 24 mai (floraison), 8 et 22 juin.

Dispositif expérimental

Une expérimentation au champ a été réalisée sur blé en 1999-2000 à la ferme expérimentale de l'Institut national agronomique Paris-Grignon, Thiverval-Grignon, France (48,9° N, 1,9° E). L'objectif initial de l'essai, portant sur une parcelle de 15 ha était d'étudier différents facteurs influençant la maladie du piétin-échaudage (*Gaeumannomyces graminis var tritici*). Deux dates de semis (facteur DS), deux cultivars (facteur C) et deux densités de semis (facteur D) ont été combinés afin de créer une gamme de variabilité du couvert et de la maladie.

7. GLAI (Green Leaf Area Index) : concept identique au LAI mais en se limitant aux feuilles chlorophylliennes.



◀ Figure 2 – Principe de l'estimation du GLAI.

► Tableau 1 – Description de l'expérience.

Conditions expérimentales	Détails							
Culture précédente	Blé							
Fertilisation azotée	06/03 (stade 21*) – 60 kg ha ⁻¹ & 08/04 (stade 30) : 60 kg ha ⁻¹							
Traitements fongicides	29/04 – Sponsor 2 l ha ⁻¹ ; 29/05 – Amistar 0,5 l ha ⁻¹							
Traitements herbicides	07/03 – Isoproturon 2 l ha ⁻¹ + Harmonie 50 g ha ⁻¹							
Régulateur de croissance	29/04 – Moddus 0,5 l ha ⁻¹							
Traitement (facteur TRAIT)	A	B	D	C	F	E	H	G
Dates de semis (DS)	14/10/99				04/11/99			
Cultivars (C)	Isengrain		Soissons		Isengrain		Soissons	
Densités de semis (D) (pl m ⁻²)	200	320	200	320	200	320	200	320
Facteur SOL	1		2		3			
Topographie	Bas de pente		Mi-pente		Rebord de plateau			
Sol	Sol limoneux épais		Sol sableux calcaire superficiel		Limon sur calcaire			
Profondeur de sol (cm)	80-150		35-50		40-60			

* Stade de développement (Zadoks *et al.*, 1974).

Analyse statistique des résultats

La variable GLAI estimée à partir des mesures radiométriques en continu a fait l'objet d'une analyse de variance (*Statistical Analysis System, SAS Institute Inc*, 1989). Un modèle linéaire décrivant les variations observées du GLAI comme une somme des effets des facteurs DATE, SOL, TRAIT et de leurs interactions, a été calculé. Notons que les estimations des différents effets et de la variance résiduelle comportent un biais dû à l'absence de randomisation au sein du dispositif expérimental.

Résultats

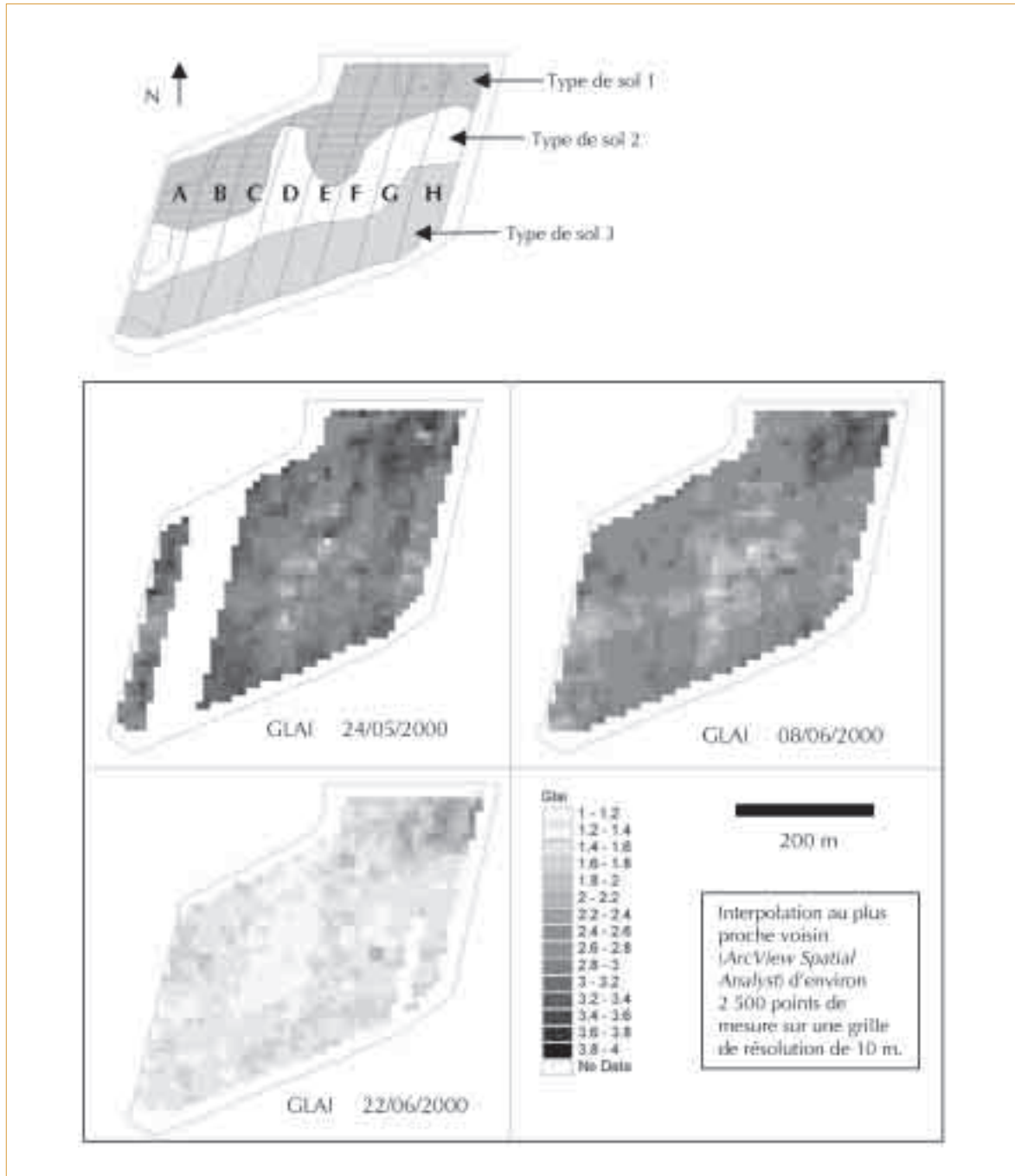
Le modèle d'analyse du GLAI est de bonne qualité ($r^2 = 0,87$). Au vu de la signification des tests le facteur DATE s'avère prépondérant, suivi par les effets du SOL et du TRAIT (figure 3). Les interactions entre facteurs sont aussi significatives.

Les résultats présentés dans le tableau 3 (p. 72) montrent que les variations les plus systématiques et les plus accentuées du GLAI correspondent aux différents types de sol (facteur SOL) et à leur réserve utile en eau. Ainsi le GLAI moyen de la zone en bas

► Tableau 2 – Analyse de variance pour l'indice foliaire vert (GLAI).

8. SC Type III et moyennes ajustées (« lsmeans ») sont des termes correspondant à des estimations par la méthode des moindres carrés utilisées dans le cas des plans expérimentaux non-orthogonaux (SAS).

Source	Degrés de liberté	Somme de carrés	Carré moyen	F	Pr > F
Modèle	38	2159,893	56,839	1022,03	0,0001
Résiduelle	5 718	318,002	0,055		
Total	5 756	2477,895			
	r ²	C.V.	Écart-type résiduel	GLAI Moyen	
	0,871	9,932	0,235	2,374	
Source	DL	SC type III ^a	Carré moyen	F	Pr > F
DATE	2	1887,591	943,795	16970,36	0,0001
SOL	2	60,129	30,064	540,59	0,0001
TRAIT	6	51,894	8,649	155,52	0,0001
DATE x SOL	4	3,338	0,834	15,01	0,0001
DATE x TRAIT	12	55,221	4,601	82,75	0,0001
SOL x TRAIT	12	39,423	3,285	59,07	0,0001



▲ Figure 3 – Traitements disposés en bandes (de A à H, de la gauche [O] vers la droite[E]) superposés à la carte des sols montrant les types 1, 2, 3 du bas de pente au nord (gris foncé) au rebord de plateau au sud (gris clair). En dessous les trois cartes multitudes de l'indice foliaire vert (GLAI) sont présentées avec la même échelle de gris.

de pente (limon colluvionné) est significativement supérieur à celui des zones en bord de plateau (limon sur calcaire) et en mi-pente (sol superficiel sur faluns). Les effets des facteurs date de semis, cultivar et densité de semis sont moins nets en raison des interactions mises en évidence. Par exemple, l'interaction DATE x TRAIT traduit la supériorité initiale du GLAI moyen du semis précoce sur celui du semis tardif à la floraison, et l'inversion du classement lors des mesures ultérieures du fait d'une sénescence accélérée (résultats non montrés).

Discussion – Conclusion

En ce qui concerne la qualité de l'indicateur radiométrique SR, des travaux antérieurs portant sur plusieurs années et réalisés sur le site expérimental de Grignon ont montré qu'il est sensible, qu'il ne sature pas et qu'il est corrélé au GLAI de la floraison jusqu'à la sénescence.

La procédure d'étalonnage de la chaîne de mesure du GLAI (passage par le radiomètre CIMEL) a vraisemblablement introduit une erreur expérimentale supplémentaire due à la coïncidence imparfaite des axes et des champs de mesure des radiomètres. Il faut souligner à ce sujet que compte tenu du mode de fixation des radiomètres SKYE sur la rampe, la visée verticale n'est pas assurée sur les zones pentues.

Pour améliorer la cartographie de la surface foliaire, il est prévu de simplifier la procédure d'étalonnage de la chaîne de mesure du LAI, à savoir d'établir (i) une relation directe entre la mesure SR fournie par les radiomètres SKYE et le GLAI et (ii) un modèle

permettant de corriger le biais résultant de la non-verticalité de la mesure à partir des valeurs locales de la pente du terrain extraites d'un modèle numérique d'altitude.

En ce qui concerne la pertinence du SR, indépendamment, cet indicateur paraît être bien adapté pour le diagnostic du fonctionnement de la culture ou pour la prévision du rendement, si l'on considère la phase post-floraison. S'il s'agissait de moduler les apports d'engrais azoté, il serait nécessaire d'utiliser un autre indicateur tel que le TSAVI, adapté à des mesures réalisées à des stades plus précoces, lorsque la culture ne couvre pas complètement le sol.

Notons qu'en raison de la méthode d'échantillonnage utilisée (espacement de 24 mètres entre les passages de tracteur), les données collectées sont très représentatives de la variabilité correspondant à la direction du déplacement du tracteur, mais plus faiblement représentatives dans la direction transversale (le champ de mesure des radiomètres représente 22 % de la largeur de la rampe).

Finalement la méthode propose d'utiliser les techniques radiométriques existantes, basées sur des capteurs classiques et disponibles, en les associant à une électronique appropriée. La cartographie du GLAI s'avère utile pour caractériser le comportement de la culture en cours de végétation ; réalisée dans notre étude depuis la floraison, elle a permis de rendre compte des effets des principaux facteurs de variation (sol, date et densité de semis, cultivar). L'acquisition de données radiométriques multitudes couvrant l'ensemble du

► Tableau 3 – Moyennes de l'indice foliaire vert (GLAI) pour les différents traitements et les différents types de sol. Les valeurs présentées sont les moyennes ajustées calculées sur les trois dates.

	Traitement			Sol			Moyennes ajustées
	Date de semis	Cultivar	Densité pl.m ²	1 bas de pente	2 mi-pente	3 rebord de plateau	
A	14-10	Isengrain	200	2,50	2,32	2,30	2,37
B	14-10	Isengrain	320	*	*	*	*
D	14-10	Soissons	200	2,30	2,17	2,37	2,28
C	14-10	Soissons	320	2,39	2,15	2,33	2,29
E	04-11	Isengrain	320	2,38	2,18	2,39	2,32
F	04-11	Isengrain	200	2,34	2,11	2,27	2,24
H	04-11	Soissons	200	2,77	2,34	2,25	2,45
G	04-11	Soissons	320	2,84	2,38	2,42	2,55
Moyennes ajustées				2,50	2,23	2,33	

(*) Données manquantes.

cycle de la culture et l'utilisation des indices de végétation appropriés doit fournir des informations pertinentes pour la modulation de la fertilisation azotée et pour la prévision du rendement.

Cependant, il faut souligner que la généralisation de la méthode exposée ici à d'autres parcelles et d'autres conditions de milieu reste à faire à partir des enseignements du présent travail. □

Remerciements

Cette étude a été financée par Aventis Crop Science France et par la Direction générale de l'Enseignement et de la Recherche (ministère de l'Agriculture et de la Pêche). Les auteurs remercient CLAAS France S.A. pour la fourniture des logiciels Agro Map.

Résumé

L'estimation de l'indice foliaire (LAI) du blé sur une parcelle donnée au cours du cycle de développement répond à deux objectifs importants : (i) permettre de prédire les besoins en azote de la culture grâce à des mesures réalisées dès les stades précoces ; (ii) utiliser des mesures de l'indice foliaire vert tout au long du cycle pour établir, en combinaison avec les cartes de sol et de rendement des années précédentes, un diagnostic sur l'état de la culture à partir de l'hétérogénéité intraparcellaire observée. Un système d'acquisition de données radiométriques géoréférencées, embarqué sur tracteur, a été mis au point et il a été testé et validé pour répondre à l'objectif (ii) énoncé ci-dessus. Les données géoréférencées ont été acquises à 3 dates sur un champ de 15 ha où différents traitements agronomiques ont été appliqués. Les données ont été utilisées pour cartographier l'indice foliaire vert (GLAI) à partir de la floraison. Un modèle linéaire a été établi pour expliquer les variations spatio-temporelles du GLAI ($r^2 = 0,87$). Le facteur sol en est le principal facteur explicatif. De façon générale la méthode montre son intérêt pour fournir une information spatiale et temporelle pertinente sur l'état de croissance ou l'état de sénescence de la culture.

Abstract

To know precisely the leaf area index of wheat along the crop cycle allows to answer two important purposes : (i) to be able to predict the crop nitrogen needs by using measurements from early stages; (ii) to use the green leaf area along the whole cycle in order to establish, by means of previous soil and yield maps, a diagnosis on the state of the crop from the intrafield heterogeneity observed. With this aim in view, a georeferenced radiometrical data system, mounted on a tractor was finalized. The system is made up of (i) four twin-channels radiometers (red and near infrared), mounted on a 9m-long boom and measuring the reflected light by the canopy, plus an hemisphere viewing radiometer measuring the incident light, (ii) an electronic interface, and (iii) a computer for data acquisition and storage. Geopositioned data were acquired at 3 dates over a 15 ha field where non uniform agronomical factors were applied. The data were used to cartography the multirate GLAI after anthesis. A linear model explaining the GLAI was tested ($r^2=0.87$). The soil factor was found as having the most important contribution to the data variance. Globally the acquisition and processing methodology proved its ability to deliver pertinent spatial and temporal information on crop in order to control the growth or post-anthesis vegetation status.

Bibliographie

- AKKAL, N., 1998, *Pilotage de la fertilisation azotée du blé d'hiver sur la base d'une évaluation précoce de la réflectance radiométrique ou du taux de couverture du sol, en vue d'une application à l'agriculture de précision*, thèse INA-PG, 198 p. + annexes.
- BARET, F., GUYOT, G., 1991, Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment, *Remote Sens. Environ.*, 35, 2-3, p. 161-173.
- BOISSARD, P., POINTEL, J.-G., TRANCHEFORT, J., 1992, Estimation of the ground cover ratio of a wheat canopy using radiometry, *International Journal of Remote Sensing*, 13, 9, p. 1681-1692.
- FERNANDEZ, S., VIDA, D., SIMÓN, E., 1994, Radiometric characteristics of *Triticum aestivum* cv Astral under water and N stress, *Int. J. Remote Sens.*, 15, p. 1867-1884.
- GABRIELLE, B., HUET, P., GILLIOT, J.-M., BOISSARD, P., BOFFETY, D., ZWAENPOEL, P., 2001, *Prediction of a wheat crop yield map by using post-anthesis radiometrical data*, 3th ECPA Conference, Montpellier, June 18-20, 2001, France, p. 187-192.
- LE BARS, BOFFETY, D., 1997, Qualification du couvert par radiométrie, In *Rap. Programme d'Intérêt National « Structure du couvert et Gestion des Intrants »*, Cemagref, Division Capteurs et procédés pour l'agriculture l'agroalimentaire et l'environnement, groupement de Clermont-Ferrand.
- PEÑUELAS, J., FILELLA, I., 1998, Visible and near-infrared reflectance techniques for diagnosing plant physiological status, *Trends Plant Sci.*, 3, p. 151-156.
- SERRANO, L., FILELLA, I., PEÑUELAS, J., 2000, Remote sensing of biomass and yield of winter wheat under different nitrogen supplies, *Crop Sci.*, 40, p. 723-731.
- STAFFORD, J.-V., BOLAM, H.-C., 1999, Spatial variability in crop condition, *Proc. Fourth Int. Conf. on Precision Agriculture*, Minnesota University, p. 291-302.
- VOUILLOT, M.-O., HUET, P., BOISSARD, P., 1998, Early detection of N deficiency in a wheat crop using physiological and radiometric methods, *Agronomie*, 18, p. 117-130.
- ZADOKS, J.-C., CHANG, T.-T., KONZAK, C.-F., 1974, A decimal code for the growth stages of cereals, *Weed Res.*, 14, p. 415-421.

Guide pratique de l'agent préleveur chargé de la police des milieux aquatiques

Coordonnateur : Paul Le Pimpec
2002, 160 p. – 19,5 x 27 – € 27,44
ISBN 2-85326-554-0

Ce guide est destiné aux agents chargés de la police de l'eau et de la pêche en eau douce, ainsi qu'à tous ceux qui s'intéressent au fonctionnement et à la protection des milieux aquatiques. Outre les aspects réglementaires et les procédures à respecter, il apporte de nombreuses informations utiles en chimie des eaux et en hydroécologie ainsi que des valeurs guides concernant des composantes physico-chimiques et des références de toxicité. Enfin, le principe des stations d'épuration et les indices de mauvais fonctionnement sont rappelés.



**Qualité et gestion des sédiments d'eau douce
Éléments physico-chimiques et biologiques**

Coordonnateur : Bernard Montuelle
Collection Études du Cemagref, n°17, série Gestion des milieux aquatiques
2003, 332 p. – 17 x 24 – € 38,00
ISBN 2-85362-607-5 – ISSN 1272-4661

Cet ouvrage rassemble les connaissances récentes dans le domaine de la dynamique physico-chimique des sédiments et de leurs effets biologiques sur les milieux aquatiques : transport, processus de nitrification et de dénitrification, rétention et transfert des polluants, évaluation de la toxicité, biosurveillance, stratégies de qualité... Un ouvrage de référence pour tous les acteurs impliqués dans la gestion équilibrée des milieux aquatiques, le développement durable, la préservation et la qualité de la ressource en eau.



**Épandage des boues résiduelles et effluents organiques
Matériels et pratiques**

François Thirion, Frédéric Chabot
2003, 192 p. – 16 x 24 – € 30,00
ISBN 2-85362-608-3

Comment bien épandre les boues d'épuration ou les effluents agricoles ? Après un rappel des différents types de produits à épandre et de leurs propriétés physiques, cet ouvrage dresse la panoplie des matériels et solutions techniques pour bien épandre tout en respectant l'environnement en s'appuyant sur des mesures et des chantiers réels. Un inventaire des progrès nécessaires aux différents niveaux de la chaîne est proposé. Ce document aidera de nombreux acteurs de la filière épandage : techniciens, conseillers, ingénieurs, logisticiens, qualitatifs, bureaux d'études, CUMA, ETA, etc.



Vente par correspondance : Publitrans, ZI Marinière 2, rue Désir Prévost, 91080 Bondoufle – tél. 01 69 10 85 85.
Diffusion aux libraires : Tec et Doc, 14, rue de Provigny, 94236 Cachan Cedex, tél. 01 47 40 67 00.

ABONNEZ-VOUS À INGÉNIERIES – EAT

Organisme

Nom Prénom

Adresse complète
.....

Je souscris : abonnement(s) annuel(s), TVA : 2,1 %

Ingénieries - Eau - Agriculture - Territoires : France, 62,50 euros TTC

Étranger, 74,70 euros

Les abonnements sont annuels et partent d'un début de trimestre.

Je verse la somme de Euros par chèque bancaire à l'ordre de :

Lavoisier - Abonnements, 14 rue de Provigny, 94236 Cachan Cedex, France

Date .../.../...

Signature



ABONNEZ-VOUS À INGÉNIERIES – EAT

Organisme

Nom Prénom

Adresse complète
.....

Je souscris : abonnement(s) annuel(s), TVA : 2,1 %

Ingénieries - Eau - Agriculture - Territoires : France, 62,50 euros TTC

Étranger, 74,70 euros

Les abonnements sont annuels et partent d'un début de trimestre.

Je verse la somme de Euros par chèque bancaire à l'ordre de :

Lavoisier - Abonnements, 14 rue de Provigny, 94236 Cachan Cedex, France

Date .../.../...

Signature