

# La surface des sols des régions arides : lien entre l'écologie de terrain et la télédétection

Richard Escadafal \*

\* CESBIO, 18 avenue Edouard Belin, F-31401 Toulouse Cedex 9

## RESUME

Parmi les caractéristiques des sols, la composition et l'organisation de la surface se sont révélées de puissants indicateurs de l'état écologique des milieux arides, en particulier par leur impact sur l'aridité édaphique. Dans cette brève revue, les travaux pionniers de Roger Pontanier sur ce thème sont mis en perspective, tentant de montrer comment ses mesures et ses observations de terrain ont apporté de nouvelles connaissances dans le fonctionnement écologique des milieux arides (particulièrement en Tunisie), mais aussi comment ils ouvraient la voie à l'interprétation et l'utilisation des images satellites pour la surveillance de ces régions.

**Mots clés:** Surface des sols, infiltration, germinations, réflectance, télédétection.

## Soil surface in arid regions: a link between field ecology and remote sensing

## ABSTRACT

Among soil characteristics, the composition and organization of the soil surface have appeared as powerful indicators of the ecological condition of arid lands, particularly through their impact on "edaphic aridity". Through this brief review, pioneering research of Dr. Roger Pontanier in this area is put in perspective, in an attempt to show how his field observations and experiments have brought new knowledge on arid land ecological functioning, particularly in Tunisia. In conclusion we will discuss how his interest in the soil surface has paved the road to the interpretation and use of satellite images to monitor these regions.

**Key words:** Soil surface, infiltration, seedling emergence, surface reflectance, satellites.

## INTRODUCTION

Parmi, les pédologues qui ont travaillé dans les régions arides, Roger Pontanier <sup>†</sup> a été un des pionniers de l'étude de la surface des sols et de son rôle écologique fondamental. Cette brève revue en son hommage, souligne différents aspects que ses travaux ont mis en évidence ou initiés.

La surface des sols a depuis toujours été observée par les spécialistes des milieux naturels arides, de façon plus ou moins explicite. Des observations sur la présence d'écaillés et de fentes de dessiccation, de débris végétaux, de sable mobile, sont classiquement utilisées dans les relevés de terrain des naturalistes. Souvent ces données ont été utilisées comme critère indicatif sur l'état des milieux, par exemple pour déterminer s'il est dégradé ou en cours d'ensablement. Ces points particuliers n'étaient pas groupés en un ensemble structuré de descripteurs de la surface mais plutôt comme compléments d'une description en vue d'un diagnostic écologique général qu'il concerne la végétation (basés par ex. sur le cortège floristique; l'abondance relative des espèces, Godron & al., 1968 ; Long, 1974) et/ou les sols (description des profils de sols : Girard & Viellefon, 1980 ; Maignien, 1980)

Les recherches menées sur la région de Zougrata (Menzel Habib, en Tunisie) ont combiné les études pédologiques sur la distribution des sols dans les paysages avec des mesures du bilan en eau

saisonnier sur plusieurs sites représentatifs des principaux systèmes écologiques. Simultanément un suivi fin de la végétation était réalisé par des mesures phytoécologiques (particulièrement la biomasse) au long de la saison.

Cet ensemble de travaux qui a fait l'objet de nombreuses publications, a été rassemblé en 1982 dans un ouvrage conjoint (Floret et Pontanier, 1982). Parmi les concepts développés, R. Pontanier met en évidence le rôle des sols dans la modulation de l'impact de l'aridité climatique, et développe le concept d'aridité édaphique, en soulignant l'importance de la surface.

## ***SURFACE DES SOLS ET ECOLOGIE***

### **Surface du sol et cycle de l'eau**

L'eau apportée par précipitations souvent violentes et intervenant surtout en hiver dans la région étudiée, est ensuite plus ou moins disponible pour la végétation selon qu'elle a pu s'infiltrer rapidement dans le sol, y être stockée, puis être extraite par les racines des plantes. Les sols les meilleurs de ces points de vue sont les siérozems qui combinent un horizon de surface sableux, et des horizons profonds sablo-limoneux (Floret et al., 1983).

Le recouvrement sableux présente le double avantage de favoriser l'infiltration, et de limiter l'évaporation, comme l'indiquent les mesures de bilan hydrique saisonnier. Ce recouvrement peut être relativement mince, lorsqu'il s'agit de voile éolien plus ou moins stabilisé, c'est donc bien une caractéristique de la surface qui a un fort impact sur le cycle de l'eau, comme l'ont confirmé les mesures d'infiltrabilité sous pluies simulées réalisées ultérieurement (Floret, Mtimet et Pontanier, 1989).

De façon opposée, les surfaces de sols battantes caractérisées par le glaçage de la surface, la fermeture de la porosité et souvent la formation de croûtes se sont révélées responsables d'une très forte limitation de l'infiltration et donc d'une augmentation du ruissellement. De l'autre côté du Sahara, les recherches de même nature, basées sur des pluies simulées ont abouti à une typologie de ces croûtes permettant d'établir une nomenclature et les propriétés hydrologiques associées (Casenave et Valentin, 1989)

Ainsi des milieux dont les sols ont des caractéristiques générales similaires (profondeur, texture, composition, structure interne) vont présenter une aridité édaphique variable selon l'état de la surface, dont l'observation devient donc clairement un critère important pour le diagnostic écologique.

### **Surface du sol et biologie**

La texture et la cohérence des matériaux pédologiques de surface ont aussi un impact connu sur le développement des plantes, particulièrement des annuelles. Cela affecte aussi bien le stockage des graines, leur humectation et que l'émergence des plantules. Là encore on peut souligner l'effet positif de la présence d'un voile sableux en surface, qui va permettre aux graines de s'enfoncer dans le sol, puis de germer et émerger dans un matériau meuble.

Cependant, ce recouvrement sableux n'est bénéfique que s'il est fixé, stabilisé, sinon les jeunes plantules seront déchaussées dès le prochain épisode venteux et criblées par le sable ne mouvement au raz du sol.

C'est ici qu'interviennent d'autres êtres vivants à la surface, particulièrement les cyanophycées, mousses et champignons formant les « croûtes biologiques » qui sont devenues ces dernières années des indicateurs très utilisés dans le diagnostic écologique des régions arides et semi-arides (notamment dans les terres de parcours d'Amérique du nord et d'Australie, voir Belnap & Lange, 2001).

## Surface du sol et désertification

Le suivi de la désertification et de l'impact des méthodes de prévention et des programmes de lutte est devenu une préoccupation majeure en matière de gestion des milieux arides et semi-arides (UNEP, 1992). Il s'agit de diagnostiquer l'état de dégradation d'un milieu et son évolution positive ou négative par rapport à un état précédent (ou de référence), c'est un diagnostic écologique élargi, qui prend clairement en compte l'état des sols. Ainsi ce diagnostic est certainement amélioré par une approche intégrée considérant l'ensemble sol+végétation que constitue la surface des sols.

## La surface des sols objet d'étude

Ainsi en prenant l'exemple de l'écosystème à *Rhantherium suaveolens* typique des steppes sableuses de la région de Menzel Habib, selon que le sable est stable avec un couvert en bon état, ou mobile parce que la végétation est peu couvrante ou absente, ou encore a été érodé par déflation au point que le matériau sablo-limoneux sous-jacent affleure, cela correspond à des états différents d'un même système sol-végétation, selon la séquence de dégradation décrite par Floret & Pontanier (fig.1). L'aspect général de la surface, sa composition et son organisation sont donc bien des éléments très utilisés pour le diagnostic de l'état du milieu, la conséquence logique a été de proposer que la caractérisation écologique sur le terrain comprenne désormais une description complète de la surface.

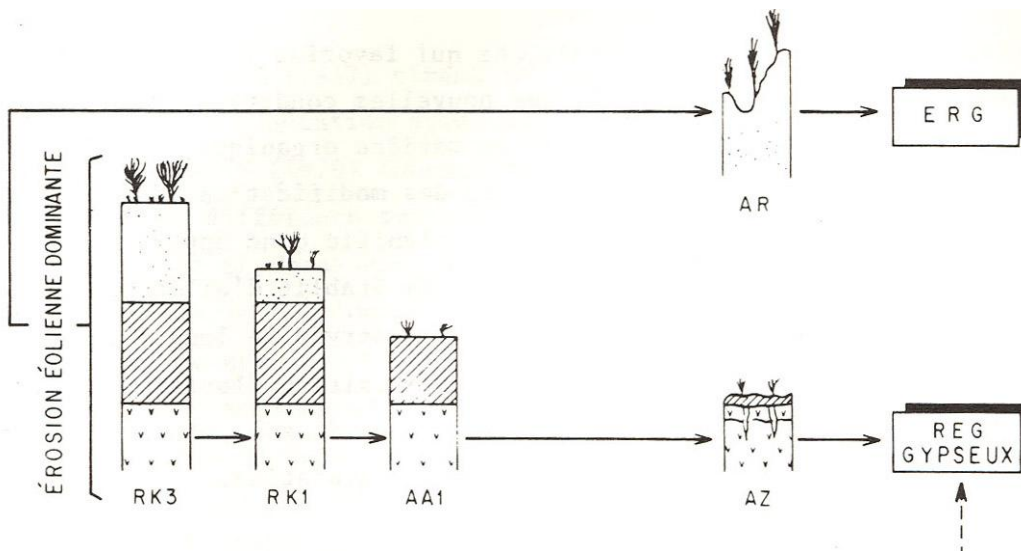


Figure 1. Dégradation des systèmes écologiques de Menzel Habib sous l'effet de l'érosion éolienne (extrait de Floret et Pontanier, 1982)

## Proposition de définition de la surface

Dès lors que la nécessité de prendre en compte la surface s'est imposée, la surface des sols est devenu un objet d'étude en soi qu'il a fallu circonscrire. Pour ce qui concerne les régions arides où la végétation est peu couvrante, celle-ci forme un couvert très discontinu et il a été proposé de l'intégrer dans la notion de surface qui est alors simplement le volume de transition entre la géosphère et l'atmosphère (Escadafal, 1981). Cette définition peut-être précisée en ajoutant que la surface diffère du sol lui-même et particulièrement de son premier horizon par sa composition et/ou son organisation particulière, mais aussi et surtout par sa variabilité spatiale et temporelle nettement plus élevée.

## Méthodes d'observation

Il s'agit maintenant de décrire les différents composants de la surface de façon aussi systématique et exhaustive que possible, au lieu de ne repérer que ceux qui semblent donner une information de diagnostic.

Pour l'appréhender dans ses différentes dimensions, les approches classiques peuvent être adaptées. Ainsi la surface du sol peut être décrite dans sa **dimension verticale** dans la logique de la description d'un profil de sol. En se focalisant sur la nature et l'organisation verticale des quelques millimètres ou centimètre à la surface des sols, on peut y décrire des micro-horizons plus ou moins continus (organisations pelliculaires, voiles sableux,...), les matériaux biologiques de surface (litière, croûtes algales, coprolithes..) et les végétaux supérieurs.

Cependant, la **distribution horizontale** des éléments de la surface est apparue comme un critère important spécifique à la surface méritant d'être décrit et caractérisé. Pour cela les différentes configurations que peut prendre la surface des sols arides ont été abordées comme des assemblages d'éléments plus simples, des *états de surface élémentaires* (tels que sol nu, butte sableuse, dépression à écailles argileuses, plage de gravillons,...). Leur distribution peut être caractérisée horizontalement, par exemple le long de transects selon la méthode des lignes intercepts (fig.2).

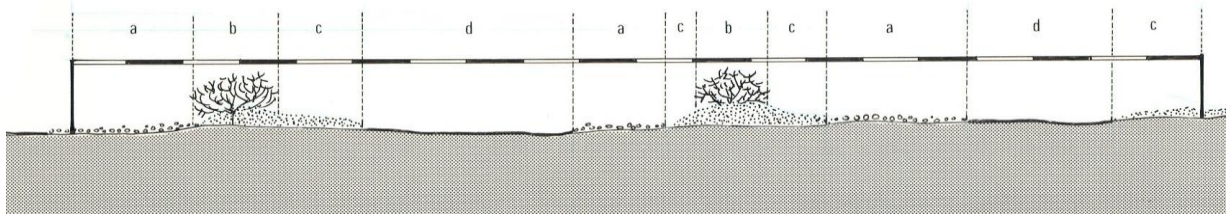


Figure 2. Quantification de la distribution des différents états de surface élémentaires par la méthode de la ligne intercept (extrait de Escadafal, 1987)

a) surface gravillonnaire, b) touffe d'*Arthrophytum*, c) sable fin (micronebka), d) sol nu battant

Mieux, l'organisation latérale en **deux dimensions** peut-être abordée par la cartographie des états de surface élémentaires d'un échantillon représentatif d'une surface donnée, aidée et/ou complétée par des photographies en visée verticale (Voir Photo couleur 1).

De ces description et photographies on peut déduire des informations quantitatives, telles le nombre d'états de surface élémentaires différents composant la surface, leur abondance relative et même des critères de distribution ( la taille moyenne de chaque état élémentaire, par ex.) ou de forme (périmètre, élongation, orientation, connexité).

Nous allons voir que cette façon de caractériser et quantifier la composition et l'organisation des surfaces s'est avérée très pertinente au delà du seul champs scientifique des études écologiques.

## ***SURFACE DES SOLS ET OBSERVATION DE LA TERRE***

### **Premiers pas de l'utilisation de la télédétection en zone aride**

Dès l'apparition des premières images des satellites civils d'observation de la Terre, l'intérêt de leurs images pour les études écologiques, et particulièrement le suivi de la végétation a été rapidement mis en évidence dans les régions tempérées et humides. Pourtant lorsqu'on s'est intéressé à l'application de la télédétection aux études écologiques en zones arides, des difficultés à identifier les formations végétales et leur degré de développement sont apparues (Long et al., 1978) Les images satellites et les indices de végétation qui en sont habituellement dérivés (ex. NDVI) se sont révélés inadaptés à l'étude des formations végétales steppiques qui ont un recouvrement faible et ne sont vertes (photosynthétiquement active et présentant une réponse spectrale typique correspondante) que pendant une courte période de l'année.

Pourtant de nombreux travaux continuent à proposer le NDVI et ses fluctuations comme indice de désertification. En réalité cela ne fonctionne bien que dans les milieux arides où les plantes herbacées sont dominantes, comme le Sahel africain (Milich and Weiss, 1997) où des liens ont été recherchés entre désertification et variations du couvert végétal (Nicholson et al., 1998)

### **La surface des sols observée par les satellites**

De fait, les capteurs des satellites mesurent le rayonnement réfléchi par la surface terrestre, et dans les zones arides étudiées **les composants dominants sont les sols**. Ce sont en fin de compte les caractéristiques d'ensemble de la surface du sol que mesurent les satellites, incluant les plantes, le sol et les matériaux superficiels. Finalement, les satellites peuvent nous renseigner non pas tant sur la végétation seule, mais sur l'état de la surface dans son ensemble, selon un point de vue qui est commun avec l'écologie de terrain telle que discutée ci-dessus.

Cette convergence a été mise à profit pour établir les bases rigoureuses des relations entre les observations de terrain et par satellite. Mais elle est aussi un obstacle pour un diagnostic plus profond sur les sols et la végétation, dont les propriétés ne sont pas toujours bien corrélées avec l'état de surface (ex. : un sol paraissant sableux en surface peut être profond ou très superficiel). De plus ; certains états de la surface sont temporaires, voire fugaces (efflorescences salines).

Cependant ces mesures instantanées nous donnent une vision compatible avec celle des photographies aériennes ou des photographies de terrain en visée nadirale (voir fig.3).

C'est particulièrement flagrant dans le cas des images de satellite à haute résolution, tels que Quickbird, comme l'illustre la Photo couleur 2 qui représente un échantillon de surface des piémonts de l'Atlas marocain ; les différents composants, arbres, buissons, sol nu, ravines y apparaissent clairement (la piste donne l'échelle).

### **La surveillance écologique depuis l'espace**

Même si à ce jour il n'existe pas encore d'indice de désertification obtenu directement par satellites, ceux-ci ont permis de constituer au fur et à mesure de leur déploiement des collections d'images qui apportent des mesures régulières et spatialisées de l'état de la surface des régions arides. Depuis les premières images des satellites civils (Landsat 1 en 1972), il a été ainsi possible de constituer des séries temporelles, qui sous réserve de prétraitements appropriés (correction géométrique, intercalibration radiométrique) donnent pour chaque pixel (équivalent d'un échantillon de surface) une mesure des fluctuations de son état : couleur, albédo, taux de couverture végétale, composition minéralogique.

La puissance des relations entre images satellite et état de la surface des sols apparaît lorsqu'on s'intéresse à l'évolution des milieux, particulièrement pour déterminer si elle est négative (dégradation, désertification,...) ou positive (amélioration, restauration,...).

Il faut en effet un suivi régulier pour détecter ces tendances, et si les observations de terrain permettent de diagnostiquer les changements, dont ceux affectant le taux de couverture végétale, ou la nature des matériaux pédologiques de surface (Jauffret, 2001), seuls les satellites permettent de le faire sur de grandes surfaces et de manière régulière, voire rétrospective (Escadafal et al. 2005).

## **CONCLUSION :**

### **UNE INTERFACE AU SENS ECOLOGIQUE ET EPISTEMOLOGIQUE**

L'intérêt de Roger Pontanier envers la surface des sols arides s'est donc révélé une idée scientifique particulièrement féconde, qui est à la base d'une vision dynamique des ces milieux, et d'un meilleur diagnostic de leur état, de leur résilience et de la durabilité de leurs usages.

La surface des sols, interface entre l'atmosphère et la géosphère, porte les traces des phénomènes en cours dans les écosystèmes observés, elle subit des modifications saisonnières mais aussi à plus long terme, traduisant les grandes tendances, notamment l'état général des milieux (stabilité, désertification ou restauration). Cette interface, au sens physique du terme est également l'objet dont les satellites d'observations de la Terre mesurent les propriétés optiques depuis l'Espace. Plus que la mesure instantanée, c'est leur capacité à assurer un suivi régulier dans le temps qui constitue leur apport essentiel à la surveillance écologique.

Ainsi la surface des sols est aussi une interface au sens épistémologique du terme, en établissant un pont conceptuel entre écologique et technologies spatiales, entre physique de l'interaction du rayonnement solaire avec la surface terrestre et écologie de biomes arides dont la fragilité recommande une surveillance étroite.

## **BIBLIOGRAPHIE**

Belnap, J., and O.L. Lange, eds. 2001. *Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management*, Vol. 150. Springer-Verlag, Berlin, 503 p.

Casenave A. & Valentin C. 1989 – *Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration*. Orstom, Paris, 229 p.

Chaïeb M, C Floret, E Le Floch & R Pontanier 1991 - Life history strategies and water resource allocation in five pasture species of the Tunisian arid zone. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 6 : 1-10.

Escadafal R, Albinet F, Simonneaux V. 2005. Arid Land cover change trend analysis with series of satellite images for desertification monitoring in Northern Africa. *Proc. 31st Ints Symp.Rem.Sens.Env.* June 2005. St Petersburg (Russia).

Escadafal R. 1989 – *Caractérisation de la surface des sols arides par observations de terrain et par télédétection. Applications : exemple de la région de Tataouine (Tunisie)*. Etudes et Thèses. Edition ORSTOM, Paris.

Escadafal R. 1994 – Soil spectral properties and their relationships with environmental parameters – Examples from arid regions. In : Hill J. & Mégier J. (Eds), *Imaging spectrometry – a tool for environmental observations*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 71-87.

- Escadafal R., 1981. Une méthode nouvelle de description de la surface des sols dans les régions arides, Actes du colloque 'Informatique et traitement des données de sols, Paris, 1981, in : *Sols*, n 5, p. 21-27.
- Floret C. & Pontanier R. 1982 – *L'aridité en Tunisie présaharienne. Climat, sol, végétation et aménagement*. Travaux et documents de l'ORSTOM n°150, Paris. p. 544.
- Floret C., Le Floc'h E. & Pontanier R. 1983 – Phytomasse et production végétale en Tunisie présaharienne. *Acta Oecologica / Oecologia Plantarum*, 4 (18) : 133-152
- Floret C., Mtimet A. & Pontanier R. 1989 – Régime hydrique et sensibilité à l'érosion de systèmes écologiques de la zone aride (Tunisie). *Cahier ORSTOM, série Pédologie*, XXV, 1-2 :53-69.
- Girard M.C., Viellefont J. et coll. 1980 – *Glossaire pour la description des sols de Tunisie et de leur environnement*. Ministère de l'Agriculture de Tunisie, ORSTOM, Informatique et Biosphère,
- Godron M., Daget PH., Emberger L., Le Floc'h E., Long G., Poissonet J., Sauvage CH. & Wacquart J.P. 1968 – *Code pour le relevé méthodique de la végétation et du milieu*, CNRS, Paris 292 p.
- Jauffret, S. 2001. *Validation et comparaison de divers indicateurs des changements à long terme dans les écosystèmes méditerranéens arides : Application au suivi de la désertification dans le Sud tunisien*. Thèse univ.Aix Marseille, 372 p.
- Long G. 1974 - *Diagnostic phyto-écologique et aménagement du territoire*. Tome premier : principes généraux et méthodes. Masson et Cie, Paris, 232 p.
- Long G., Le Floc'h E., Pontanier R., Debussche G. & Lacaze B. 1978 - *Contribution à l'analyse écologique des zones arides de Tunisie avec l'aide des données de la télédétection spatiale. Expérience ARZOTU*, rapport final 1975-1978. CEPE/CNRS Montpellier, CNES, INRAT Tunis et ORSTOM – Paris, 222 p.
- Maignien R. 1980 – *Manuel pour la description des sols sur le terrain*. ORSTOM, Paris, 112 p.
- Milich, L. and E. WEISS, 1997. Characterization of the Sahel: Implications of correctly calculating interannual Coefficients of Variation (CoVs) from GAC NDVI values. *International Journal of Remote Sensing* 18:18, 3749-3759.
- Nicholson, S.E., C.J. Tucker and M.B. Ba 1998. Desertification, drought and surface vegetation: an example from the West African Sahel. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 79, 815-29
- UNEP, 1992. *World Atlas of Desertification*. Edward Arnold Publishers, London, U.K., 69 pp.