HAL
open science

Expliquer les organisations spatiales et les flux hydriques dans un bassin versant : apports de l'analyse paysagère à la modélisation hydrologique globale

Jean Morschel, Dennis Fox, Jean-François Richard

To cite this version:

Jean Morschel, Dennis Fox, Jean-François Richard. Expliquer les organisations spatiales et les flux hydriques dans un bassin versant : apports de l'analyse paysagère à la modélisation hydrologique globale. GÉOPOINT, Jun 2006, France. pp.319 - 326. hal-00532830

HAL Id: hal-00532830

https://hal.science/hal-00532830v1

Submitted on 4 Nov 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.

Expliquer les organisations spatiales et les flux hydriques dans un bassin versant : apports de l'analyse paysagère à la modélisation hydrologique globale

Morschel J., Fox D. et Richard J-F.

1 - Université de Nice Sophia-Antipolis, 98 boulevard Edouard Herriot, 06204 Nice cedex 3. UMR 6012 ESPACE du CNRS, équipe Gestion et Valorisation de l'Environnement, 98 boulevard Edouard Herriot, 06204 Nice cedex 3.
Email : jmorschel@yahoo.fr ; fox@unice.fr
2 - IRD Tunis, 5 impasse Cherazed, Tunis El Menzah IV. UMR LISAH, 2 place Viala, F-34060 Montpellier cedex 1.
Email : Jean-Francois.Richard@ird.intl.tn

Mots clés : Paysage, segment de paysage, Analyse Transdisciplinaire du Milieu, organisation spatiale, hydrodynamique.

Key words : Landscape, landscape units, Spatial organisation, Natural environnement analysis, hydrological analysis.

Abstract: Several hydrological models are currently in use for predicting floods at the catchment outlet. These vary from lumped rainfall-runoff models which ignore flow processes in the catchment to distributed process-based models which attempt to quantify lateral and vertical fluxes. Few of these models integrate extensive field work and most are based almost entirely on readily available digital data. However, flow processes are strongly affected by linear features (paths, roads, hedges…) which are not easily detectable on most digital supports and by factors such as surface roughness or soil depth for which there is often no real data. In the approach described in this article, the catchment was subdivided into landscape units based on field mapping. These units represent more or less homogeneous morpho-dynamic units that govern vertical and lateral fluxes of water and soil. The article describes the method used for creating the units and landscape segments which will be used for quantifying both runoff and soil erosion.

Résumé : Il existe de nos jours de nombreux modèles hydrologiques capables de prévoir, avec plus ou moins de précision, les crues à l'exutoire d'un bassin versant. Deux grandes catégories de distinguent : les modèles distribués d'un côté et les modèles globaux ou semi distribués de l'autre. Les modèles distribués, très lourds à mettre en oeuvre, intègrent des distinctions relatives à l'organisation du milieu naturel au sein de l'espace étudié et prennent en compte la plupart des processus en jeu lors de la genèse des flux d'eau et de sol. Malheureusement, la complexité de ces modèles est souvent telle qu'ils sont difficiles à appliquer. Les modèles globaux en revanche sont très souvent utilisés car ils sont peu gourmands en données et qu'ils fournissent très rapidement des résultats. Mais ils ne permettent pas comprendre le fonctionnement du milieu naturel sur lequel sont est appliqués. Pourtant, comprendre le milieu naturel étudié est d'une très grande importance puisque son organisation latérale et verticale impose les mécanismes qui dirigent ses flux, hydriques notamment. Il semble donc intéressant de modifier la démarche imposée par l'emploi de ces modèles globaux, essentiellement axée sur la prévision du phénomène, en apportant des éléments d'explication relatifs à l'organisation de l'espace et à la genèse des flux engendrés. Cet article propose de montrer comment cette explication du milieu naturel et des flux qui y transitent peut-être réalisée en se basant sur un découpage spatial en segments de paysages, unités morpho dynamiques propres à chaque paysage et représentatives de ses caractéristiques organisationnelles.

Introduction

Les modèles globaux sont fréquemment utilisés en hydrologie car ils permettent d'obtenir rapidement et avec une relative précision les résultats attendus en matière de simulation de flux à l'exutoire d'un bassin versant. Malheureusement, ces modèles sont fondés la plupart du temps sur des principes qui ne permettent pas de comprendre comment s'organise l'espace sur lequel ils sont appliqués. Dans le meilleur des cas, un découpage "arbitraire" de l'espace est réalisé pour appliquer de manière différenciée les équations du modèle (alors dit semi distribué), mais sans apporter de réelles explications permettant de comprendre comment s'agencent les différentes composantes du milieu naturel.

Un outil d'analyse des paysages, établi dans le cadre de l'Analyse Transdisciplinaire du Milieu (Richard J-F. *& al*., 1977) permet de répondre à cette attente : il s'agit du *segment de paysage*. Cette notion offre en effet la possibilité de découper le milieu naturel en fonction de l'agencement des éléments qui le composent et des diverses limites, transitions et relations qu'ils définissent. De ce fait, les segments de paysage devraient offrir une base spatiale intéressante pour faire fonctionner ces modèles tout en accordant une part importante à l'explication de l'agencement de ce dernier et des flux qui circulent en son sein.

L'idée de cet article est donc de présenter la démarche, qui conduit à la caractérisation de ces unités structurelles et dynamiques explicatives de l'organisation du milieu naturel et de présenter leur utilité du point de vue de l'analyse hydrologique.

I. Considérations épistémologiques et théoriques.

A. Les emboîtements d'échelles de la *Géosphère*.

Le milieu naturel, tel qu'il est entendu dans cette étude correspond à la *Géosphère* (Richard J-F. & *al.* 2005). Cette géosphère représente, sur les continents, l'espace compris entre le sommet des couvertures végétales, dont le contact avec « l'air libre » forme une première limite nommée *acropause*, et le front de pénétration racinaire dont le contact avec la lithosphère saine forme la seconde limite que nous nommerons *catapause*.

La géosphère se découpe suivant deux axes : la verticale qui permet de déterminer son *développement* et sa *complexité* et l'horizontale qui témoigne des *changements* dans le profil vertical et donc de *l'organisation latérale* du milieu naturel.

Selon l'axe vertical, la géosphère est constituée de plusieurs « couches » superposées. En fonction du paysage pris en compte, ces couches ont un développement plus ou moins important et le nombre d'objets qui les composent est plus ou moins variable en qualité et quantité mais elles témoignent toujours d'une organisation qui se répète. Ainsi, depuis l'acropause et jusqu'à la catapause, apparaissent successivement des couches constituées par des fractions variables d'air et de végétation, puis de végétation, d'air et de sols, puis de sols, d'air et d'eau, puis de sols, de roches et d'air… En outre, si l'on ajoute à ces *Matériaux* (au sens de Corps Naturel Localisé – Richard J-F. 1989) les flux exogènes, absorbés ou en transit dans le milieu et les flux endogènes, libérés lors des processus de transformation du milieu, alors chaque couche délimitée par l'observation directe apparaît comme un véritable sous-système physique individualisable (Richard J-F. 2003)… Les couches ainsi définies sont nommées *Hoplexols*.

Les hoplexols se différencient des strates des botanistes et horizons des pédologues pour deux raisons. Tout d'abord car ils existent sur l'ensemble du profil, ensuite car leur délimitation fait intervenir tous les composant structurels et dynamiques du milieu. De ce fait, dans les hoplexols inférieurs, les matériaux visibles tels que la terre, les cailloux ou les racines seront identifiés et quantifiés individuellement. Mais seront aussi relevés des éléments tels que la présence d'air et d'eau, l'activité de la faune, les organisations qui semblent apparaître ou disparaître dans l'hoplexol, autant de témoins du changement ou de l'évolution de l'hoplexol qui traduisent sa dynamique à plus ou moins long terme.

La figure 1 met en avant des éléments de réflexion sur les propriétés et sur l'organisation du milieu naturel. Trois propriétés fondamentales apparaissent :

La première de ces propriétés est que la nature des matériaux change d'un hoplexol à l'autre, parfois de manière infime, mais parfois aussi de manière singulière. Ces modifications radicales conduisent à un découpage du profil en cinq sous-ensembles, nommés *Hoplexions* : le *Supraplexion* tout d'abord « S », partie supérieure du milieu naturel, il regroupe généralement les formes d'expansion et de conduction végétales ligneuses ; le *Métaplexion supérieur* « U », correspondant aux formes d'expansion végétales sous-ligneuses et herbacées ; le *Métaplexion strict* « T », caractérisé par la « surface du sol » ; le *Métaplexion inférieur* « F », rassemblant les structures pédologiques minérales et organo-minérales, ainsi que les systèmes racinaires… ; et enfin l'*Infraplexion* « I » est la partie inférieure du milieu, elle regroupe les formations géologiques superficielles altérées ou non. Il semble important de noter que ces cinq sous-ensembles ne sont pas nécessairement présents dans tous les milieux naturels du globe.

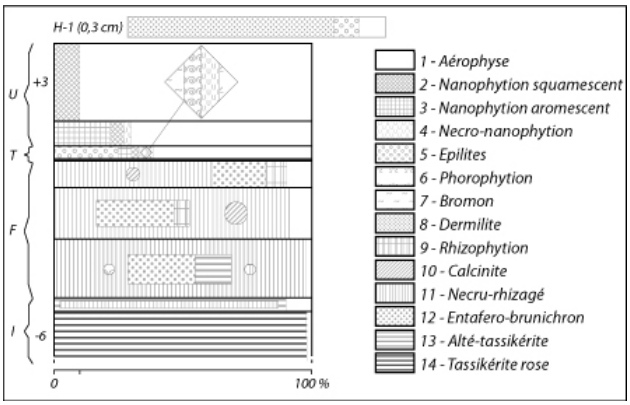


Figure 1 : Relevé de milieu, hoplexions, hoplexols et matériaux.

La seconde propriété concerne l'*Hétérogénéité* et le l'*Epaisseur* des hoplexols : le milieu naturel est, en général, plus simple à ses extrémités. A mesure que l'on s'approche de la surface du sol, les hoplexols gagnent en complexité. Ainsi, les hoplexols du supraplexion ou de l'infraplexion comportent rarement plus de deux ou trois matériaux alors que dans le métaplexion il n'est par rare de voir apparaître dix à quinze matériaux différents. C'est aussi dans le métaplexion que les témoins de la dynamique sont le plus présents. A l'inverse de l'hétérogénéité, l'épaisseur du milieu augmente à mesure que l'on s'éloigne de la surface du sol. Les hoplexols gagnent en épaisseur, le plus souvent suivant une échelle géométrique…

Enfin, la troisième propriété concerne la part d'air contenue dans le milieu naturel. Celle-ci décroît régulièrement à mesure que l'on s'éloigne de l'acropause pour aller vers la catapause. Ce fait témoigne d'une fermeture « progressive » du milieu naturel, qui va bien entendu avoir des conséquences importantes sur les flux, qu'il s'agisse de flux d'eau ou d'énergie. La rupture la plus nette apparaît dans le métaplexion strict et même, plus précisément, au niveau de « H-1 » c'est-à-dire au niveau de l'hoplexol qui correspond à l'*épipause* (la « surface du sol »). Le changement est si brutal qu'il est aisé de comprendre, simplement en observant la géosphère, les implications que cet hoplexol va avoir sur

les flux. En revanche, estimer dans quelle mesure ces flux seront bloqués est loin d'être une évidence, d'une part car la variabilité spatiale de la surface du sol est grande et d'autre part car c'est aussi l'hoplexol qui connaît, au cours du temps, les changements les plus fréquents et les plus radicaux.

Le *Relevé de Milieu* (profil vertical) tel qu'il vient d'être présenté est sans dimensions spatiales et temporelles. Il ne représente qu'un état ponctuel et instantané du milieu naturel. Or, la géosphère change en permanence à la fois dans le temps et dans l'espace et il est impératif d'appréhender ces changements pour comprendre son organisation et expliquer son « fonctionnement ». En cela, le relevé du milieu et la *toposéquence* (succession de relevés le long d'un transect) sont les outils nécessaires pour analyser précisément et objectivement le milieu mais ne sont jamais dotés d'une réelle existence spatiale. Ce sont les points d'entrée nécessaires de l'analyse. Ils permettent, par « extrapolation », de définir les extensions latérales et temporelles d'un profil particulier de la géosphère.

Si l'on considère justement les extensions latérales de la géosphère (et nous nous limiterons à celles-ci, délaissant pour l'instant les aspects saisonniers), trois échelles emboîtées apparaissent. Ainsi, du niveau élémentaire au niveau général, le milieu naturel s'organise en trois entités remarquables :

Si l'on considère tout d'abord l'extension latérale d'un profil particulier de la géosphère, deux sortes de changements latéraux, relatifs à l'organisation des hoplexols, peuvent intervenir : si les changements interviennent dans S ou I, l'unité spatiale délimitée correspondra à un *Géon*. En revanche, si seuls les hoplexols appartenant à U, T ou F changent, alors l'unité spatiale définie correspond à un *Géotope*. En règle générale, les géotopes sont des éléments constitutifs des géons, si bien que leur extension maximale ne pourra en aucun cas excéder celle du géon auxquels ils appartiennent. Hormis cette règle, il n'y a pas de loi particulière régissant les géotopes à l'intérieur des géons. Un géon correspond donc à un, ou quelques relevés de milieu. Il défini « *l'Unité Paysagère Elémentaire* » (Richard J-F. 1989).

La seconde maille paysagère à considérer est le *Segment de paysage*. Filleron J-C. (1995) définit un segment de paysage comme une « facette topographique à laquelle est associée un contenu mésologique ». Les segments de paysage sont des unités qui s'inscrivent généralement entre deux ruptures de pente. Leur caractérisation ne se limite cependant pas à cette seule contrainte topographique : elle fait aussi intervenir l'inclinaison et la longueur de sa pente, sa forme, sa position relative dans le versant ou dans le *Paysage*. Mais la définition finale du segment de paysage renvoie aussi à son « contenu » et à ses dynamiques. La délimitation du segment de paysage doit aussi tenir compte de la fréquence et du mode d'association des géons, des dynamiques hydriques, érosives, anthropiques (Richard J-F. & *al*. 2005)… En cela, le segment de paysage apparaît comme l'unité la plus appropriée pour discrétiser un espace tout en tenant compte de l'ensemble de ses caractéristiques.

Enfin, les organisations les plus vastes et les plus complexes que l'on est amené à concevoir sont les *Paysages*. Le paysage est une séquence du milieu naturel qui se répète toujours à l'identique, dans ses organisations latérales et verticales, dans ses segments et dans leur répartition, dans ses transitions. Caractériser un paysage ne se résume donc pas à coller des segments les uns aux autres, mais plutôt à comprendre comment ces segments se disposent, s'organisent et s'imbriquent pour former le paysage. Observer un paysage puis élever ces observations au rang de modèle présente un intérêt évident.

B. Note sur le vocabulaire employé.

Une terminologie particulière est employée par la science du paysage. Méconnue des géographes français, elle se heurte souvent à de sévères critiques. Il semble donc important de justifier son utilisation et de définir précisément les termes employés afin de montrer qu'il ne s'agit pas d'un langage obscure ou loufoque, mais que les termes employés sont définis, cohérents et accessibles à condition de faire l'effort... Il est vrai que parler d'un hoplexol composé *d'allotérite gréseux (63 %) pardi-réductique nébuloïde (20 %) à phase calcinique nodulaire ou mycéloïde fistulaire (5 %) et à stigme brunichrome (1 %) et gravolique (2 %), dans lequel figurent, dans une moindre mesure, des meso-gravelon gréseux amblymorphe (6 %), des rhizophyses (1 %) et une part très faible d'aérophyse (2 %)* peut surprendre au premier abord. Ce vocabulaire, basé sur des règles de partage sémantique (proposées pour la première fois en 1977 par Richard J-F. & *al*., Richard J-F. 1978) est indispensable à la science du paysage. Rougerie G. & Beroutchachvili N. (1991) précisent que chaque matériau rencontré lors d'une analyse du milieu naturel est désigné par une série de mots (substantifs et adjectifs) dont chacun correspond à un niveau de diagnostic morphologique de l'objet qu'il représente : depuis l'élément identifié en tant que tel, jusqu'à la structure qui organise les divers éléments entre eux. La terminologie représente une combinatoire qui permet de passer la simple description qualitative et statique à une diagnose quantitative et dynamique du milieu naturel.

Suivant ce principe, il est possible de traduire la composition de l'hoplexol proposé plus haut dans le paragraphe. Il s'agit en fait d'une roche gréseuse en place très fortement altérée dont les structures originelles ne sont plus visibles. Dans cet ensemble s'insèrent des marbrures de couleur grises, de texture argilo-sableuses, et jaunes de texture plus argileuse. Il comprend également, dans une moindre proportion, des traces de sols bruns, de concentration du calcaire sous la forme d'amas cohérents ou de pseudo-mycélium et des éléments ferrugineux grossiers de la taille de graviers. Ces matériaux cohabitent, en outre avec des graviers gréseux de taille inférieure au centimètre aux arêtes émoussées, un

chevelu racinaire d'expansion et d'exploitation du milieu souterrain ainsi qu'une très faible part d'air traduisant la compaction générale de cet hoplexol.

Mais l'interprétation va bien au delà de la simple description qui vient d'être réalisée, elle suggère une connotation relative aux dynamiques qui ont conduit à la différenciation de cet hoplexol et aux processus qui sont encore en cours actuellement au sein de cette entité. Du point de vue dynamique de la pédogenèse, cela indique que l'on se situe dans un ensemble qui n'est plus constitué de roches mais que l'on ne peut pas encore qualifier de sols. Le ciment qui liait les grains de quartz à totalement disparu, du mois sous sa forme d'origine. A la place existe désormais un banc de sable sans cohésion à l'intérieur duquel apparaissent des concentrations d'argiles provenant de l'altération chimique de la roche mère et de la restructuration du ciment qui la caractérisait. Compte tenu du fait que de tels processus ne peuvent se réaliser qu'en présence d'eau et que la couche sableuse ne semble pas avoir subit de transport hydrique, il est possible d'affirmer que cet hoplexol s'est développé sur place, en profondeur et qu'il a subit des phases d'hydromorphie, au moins temporaires, lors de sa formation.

Si l'on continue ce raisonnement, les processus de mobilisation et de concentration des oxydes de fer à ce niveau du relevé traduisent eux aussi ces phénomènes. Il est donc très fortement probable qu'au cours de la période hivernale une nappe perchée se forme à cet endroit et que la période d'anaérobiose qui la caractérise aboutisse à la solubilisation des oxydes de fer contenus dans les argiles et à leur migration sur de courtes distances. L'assèchement de la nappe au cours de la période estivale conduit à la réoxydation complète du fer et sa précipitation soit sous la forme de tâches diffuses dans le milieu soit sous la forme de concrétions plus solides. Ce processus mène progressivement à la formation d'un pseudogley dans lequel s'individualisent des tâches gris clair ne contenant qu'une quantité limitée de fer ferreux et des tâches jaunes enrichies en fer oxydé qui figurent sous le vocable de pardi-réducton nébuloïde. Ces propos sont en outre confirmés par la faible expansion racinaire tout à fait caractéristique de ce type de matériau. Le raisonnement peut-être poussé encore plus loin par l'analyse des concentrations de calcaires (*calcinite*) par exemple… Procédant ainsi, matériau par matériau, hoplexol par hoplexol, relevé par relevé, il est possible d'obtenir une identification précise des objets qui composent le milieu naturel, puis de comprendre les organisations de ces matériaux entre eux et d'obtenir une explication précise sur les dynamiques du milieu, qu'il s'agisse des dynamiques évolutives (donc sur le long terme), ou des comportements saisonniers, journaliers…

C. Quelques mots sur la notion de segment de paysage…

Sans revenir sur la genèse complète du segment de paysage, il est important de préciser quelques points pour bien comprendre de quoi il retourne. La notion de segment de paysage s'est construite au fil du temps, ajoutant au découpage topographique originel l'idée d'associer le contenu, les dynamiques hydriques et érosives ou encore les perceptions anthropiques lors de leur détermination (Morschel J. & *al.* 2005). Ceci étant, depuis la création du modèle à quatre facettes topographiques (Filleron J-C, 1978), jusqu'au modèle à sept segments de paysages (Filleron J-C. 1995 ; Richard J-F. & *al.* 2005), l'idée directrice était de créer une méthode de discrétisation spatiale et un langage commun aux diverses disciplines qui traitent du milieu naturel et qui en soit le plus représentatif possible. La figure 2 montre la version la plus élaborée du modèle. Chaque *orthotype* (type de segment) associe à la fois système de pente, organisation des géons et dynamiques du milieu. Il est nécessaire de connaitre au moins ces trois informations lors le leur délimitation. En outre, les règles de partage sémantique utiles à l'analyse de la structure verticale du milieu s'appliquent aussi. Il est donc possible, en combinant les différents orthotypes selon leur degré d'appartenance à chacun des types décrit par le modèle, de caractériser un très grand nombre de segments de paysages.

	Système de pente	Principales organisations	Bilans de l'eau et de la matière
Acroèdre	Pentes convexes divergentes	Structures en mosaïques souvent très diversifiées et très contrastées	***Erosif à très érosif***
Supraèdre	Pentes subaplanies faibles	Structures centrales uniformes ou en marqueteries	***Autonome à faiblement érosif vers les bordures***
Ectaèdre	Pentes convexo-concaves étroites fortes à très fortes :	Différenciations latérales en "chevrons" triangulaires	***Erosif (en surface)***
Métaèdre	Pentes subrectilignes élargies faibles à fortes	Structures en "écailles"	***Trans-érosif puis trans-accumulatif***
Cataèdre	Pentes fortes (en réseau arborescent)	Structures homogènes	***Erosif à très érosif***
Infraèdre	Pentes très faibles à nulles (en réseau arborescent)	Structures en franges souvent très diversifiées et très contrastées	***Accumulatif***
Endoèdre	Pentes convergentes très faibles à nulles	Structures en auréoles souvent très diversifiées	***Fortement accumulatif***

Figure 2 : le modèle à sept segments de paysage proposé par Filleron J-C (1995, in Richard J-F. & *al.* 2005).

La caractérisation des segments de paysage se fait le plus souvent en laboratoire car de nombreux traitements statistiques sont nécessaires (analyses factorielles et classifications hiérarchiques), mais elle nécessite en amont un double travail de terrain qui vise à délimiter les facettes topographiques et à caractériser les géons.

Une facette apparait dès lors que les conditions topographiques changent. Elles s'inscrivent généralement entre deux ruptures de pente (amont/aval) ou lorsqu'il y a un changement significatif d'orientation. Leur taille peut-

être variable, d'une dizaine de mètres au minimum à quelques centaines de mètres pour les plus longues. Chacune d'entre elle est renseignée par son inclinaison de pente, son altitude moyenne et son orientation. Ces données sont indispensables à la typologie. En outre, des informations sur l'occupation du sol, les techniques culturales, ou l'état de surface du sol peuvent s'avérer utiles à la différenciation. Une fois délimitées sur le terrain, le travail consiste à extraire quelques types de facettes qui serviront de base topographique au découpage de l'espace en segments de paysages.

Il s'agit par ailleurs d'analyser les composantes verticales et horizontales de la géosphère. Pour cela, il est nécessaire de définir des toposéquences *les plus représentatives* du paysage, le long desquelles seront réalisés les relevés de milieu utiles à la caractérisation des géons et des géotopes. Tout ceci est repris plus en détail dans la seconde partie de l'article.

II. Du terrain vers un modèle spatial d'organisation des paysages.

Le Bassin-versant de Kamech (figure 3), sur lequel s'appuie cette partie de l'analyse, se situe au pied du djebel Sidi Abderrahmane au centre de la péninsule du Cap Bon (Tunisie). Ce petit bassin-versant de forme rectangulaire occupe une superficie de 245 hectares environ. Le bassin-versant de Kamech est un exemple typique de relief appalachien, caractérisé par une série de d'épaisses couches de marnes alternant avec des affleurements de grès de moindre importance. Cette partie de correspond pas à l'analyse complète du bassin versant mais s'appuie sur quelques descriptions sommaires pour expliquer la méthode permettant d'aboutir à la caractérisation des segments de paysage.

A. Les éléments indispensables à la détermination des segments de paysage.

Sur ce bassin-versant, un premier travail de terrain a permis de définir environ 1300 facettes topographiques, qui après traitements statistiques, peuvent être réparties en 8 types (figure 3) en fonction de l'orientation, de la pente et de l'altitude moyenne.

Les deux premiers types apparaissent d'eux-mêmes puisqu'il s'agit soit d'équipements anthropiques (habitations notamment), soit des lits mineurs des oueds. Ces deux premiers types s'inscrits d'ailleurs dans n'importe quel autre type présent sur la figure 3. En ce qui concerne le reste de la typologie, tout ne sera pas détaillé. Des éléments intéressants sont tout de même à noter. Les types 1 et 6 correspondent à des facettes de versants, peu pentus (bien que plus marqué pour le type 1) et relativement élevés en altitude (le type 6 correspond aux facettes topographiques *les plus élevées*). Ils s'opposent essentiellement au niveau des orientations moyennes. Concernant les informations secondaires, ces deux types sont caractérisés par une importante mise en valeur pour l'agriculture, mais qui se distinguent en fonction du sens du labour, perpendiculaires à la pente dans la majorité du type 6 et parallèle pour le type 1. Le type 2 est représentatif de facettes de taille plus restreinte et très pentues, la plus part du temps soumises à une forte érosion et sur les quelles s'inscrivent de nombreuses entailles où les marnes affleurent. Le type 3 apparaît essentiellement sur le revers des couches géologiques, en rive gauche ; les facettes qui s'inscrivent dans ce type sont moyennement pentues et assurent la transition entre le versant amont et l'oued. Les orientations moyennes indiquent une opposition assez forte d'une facette à l'autre, comportement typique d'un ensemble de collines. De nombreuses entailles très marquées dans le paysage viennent quelque peu disséquer cette organisation.

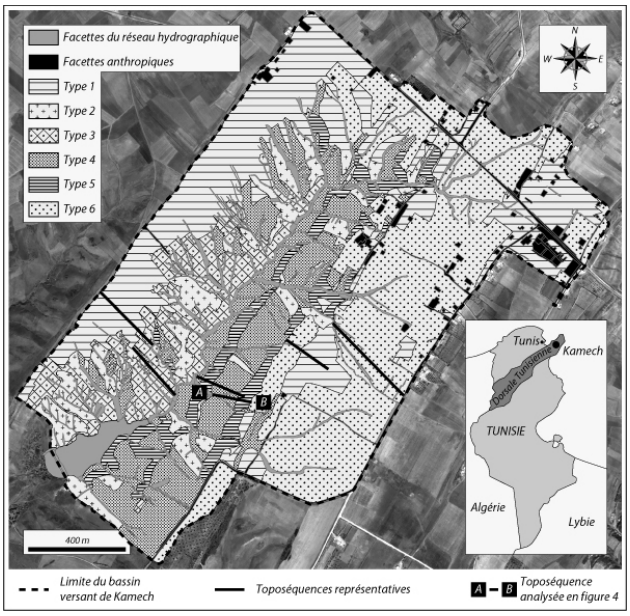


Figure 3 : le petit bassin-versant de Kamech (Cap Bon, Tunisie), Localisation, emplacement des toposéquences représentatives du milieu naturel et typologie des facettes topographiques. La coupe A-B est détaillée en figure 4.

Le quatrième type présente à peu près les mêmes caractéristiques que les facettes du type 3. Il correspond là aussi à un ensemble de croupes, plus arrondies et moins disséquées que dans le type précédent. Les orientations moyennes sont aussi un critère important de distinctions entre les types 3 et 4, relativement similaires en ce qui concerne les pentes et les altitudes (et les formes observées). Le type 5 enfin est caractérisé par les plus fortes pentes qui s'inscrivent dans une même orientation. Il représente en fait un ensemble de talus fortement végétalisé qui prend place dès qu'un banc de grès affleure.

Cette première approche fixe donc le cadre topographique indispensable à la détermination des segments de paysage. Les types proposés ne sont cependant pas encore des segments à part entière. Certains remaniements sont réalisés à partir de l'analyse des géons de la géosphère.

De part la nature du relief, deux séquences théoriques permettent de caractériser l'ensemble du paysage de Kamech : l'une située en rive droite, qui correspond au front des couches géologiques et l'autre située sur la rive gauche, qui s'établit sur leur revers. Cependant, compte tenu de l'importance de la mise en valeur agricole il est nécessaire de sectionner ces séquences afin de limiter au maximum l'ouverture de fosses pédologiques sur des parcelles cultivées. Des relevés secondaires sont toutefois réalisés dans les parcelles bordant les toposéquences afin de compléter les observations en milieu « spontané » par des données de végétation anthropique. Ainsi, ce sont 6 portions de toposéquences (figure 3) qui sont définies. La figure 4 présente la toposéquence notée A-B sur la figure 3.

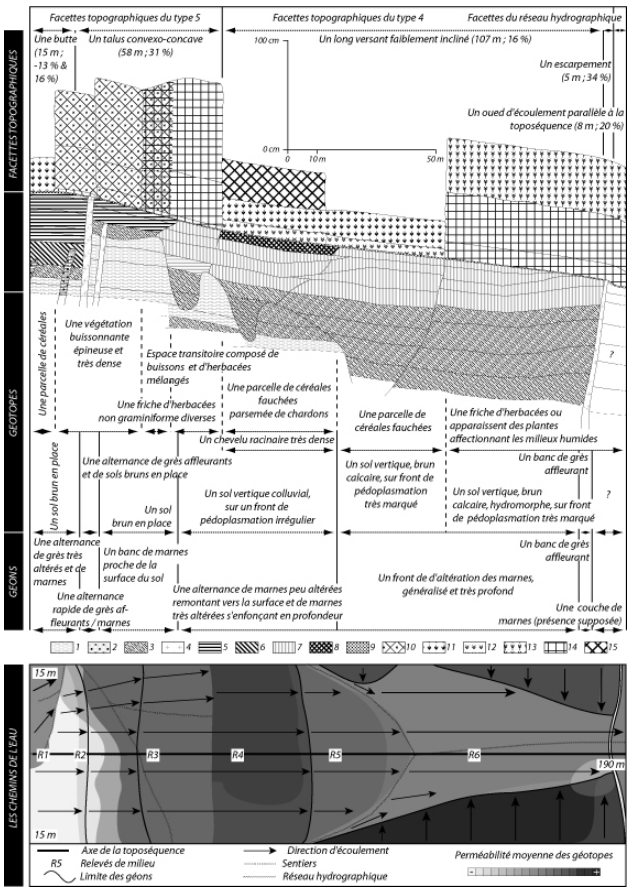


Figure 4 : caractéristiques et répartition des géons et géotopes le long d'une toposéquence. Légende : 1 – alté-tanolite ; 2 – isaltérite gréseux, 3 – isaltérite marneux, 3 – alté-régolite, 5 – brunichron, 6 – isa-brunichron, 7 – entaféro-vertichron, 8 – grumorhize, 9 – dermilite, 10 – nanophytion, 11 – nécro-gramen, 12 – gramen, 13 – kortode spinescent, 14 – kortodes, 15 – nanophyto-gramen.

La première partie de la figure 4 montre comment se répartissent les géons, les géotopes et les facettes topographiques le long de cette séquence. Il s'agit du document de base, indispensable pour analyser et expliquer les organisations du milieu naturel puisqu'il tente de le représenter le plus fidèlement possible. Sa construction nécessite de connaître l'état des géons au temps T, connaissance apportée par six relevés de milieu ainsi que leur extension latérales, apport fourni par le « suivi des hoplexols » (représentant, dans ce cas, une trentaine de forages à la tarière). Sur ce document apparaissent donc les changements de nature et de structure du milieu naturel, représentés par les modifications de développement, de positionnement et de constitution des hoplexols qui le composent… et cela suivant la verticale. Ainsi, 7 géons et une dizaine de géotopes se différencient de l'amont vers l'aval, en fonction de la nature du substrat rocheux et des contraintes topographiques.

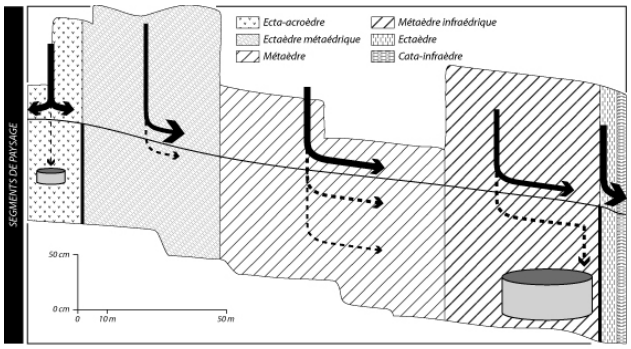
La seconde partie de la figure est déjà plus interprétative. Elle présente les extensions latérales des géons et des géotopes de part et d'autre du transect A-B au travers de la part moyenne pondérée d'air qu'ils contiennent. Cette information est importante car cette quantité d'air conditionne, au moins en partie, les flux d'eau et les dynamiques qu'ils engendrent.

A l'amont, inclus dans la première facette topographique les géons et géotopes ont exclusivement une dynamique autonome. Ce premier géon, malgré une perméabilité apparente réduite ne semble pas subir une érosion importante comme en témoigne l'épaisseur relative des sols en place. En outre, l'altération chimique subie par les matériaux rocheux de l'infraplexion indique une probable « nappe d'eau » temporaire très réduite spatialement. Dans sa partie intermédiaire, qui correspond à la facette « talus », les sols peu épais et les marnes de l'infraplexion en position quasi-affleurant traduisent une dynamique fortement érosive et ceux malgré une dense couverture végétale. Vers l'aval, la perméabilité accrue du milieu et la forme concave du versant conduisent d'une part à une accumulation de sols et d'autre part à la formation progressive d'un nouveau sol en profondeur. Sur la troisième facette topographique, le milieu devient encore plus profond avec un épaississement conséquent du front d'altération et un probable remaniement des sols colluviaux superficiels. Une double dynamique est à l'œuvre : celle liée à l'accumulation des matériaux pédiques provenant du talus et des versants latéraux et celle liée à l'altération et au remaniement des matériaux de l'infraplexion et du métaplexion inférieur. La partie superficielle de ces géons est uniquement composée de sols colluviaux vertiques ayant une forte capacité d'infiltration. Les chemins de l'eau présentent ici des caractéristiques très particulières avec la présence d'eau en quantité non négligeable dans le dernier géon. Celle-ci est liée à blocage des écoulements hypodermiques par l'affleurement gréseux qui occupe et définit la facette topographique suivante et une accumulation de l'eau (et des sols) en amont de ce dernier. Ce géon n'est d'ailleurs jamais cultivé et la végétation qui l'occupe se compose en grande majorité de plantes des milieux humides…

Toutes les caractéristiques mises en avant par l'analyse de ces documents permettent ensuite de définir et de caractériser les segments de paysage qui s'inscrivent dans cet espace.

B. Les segments de paysage et hydrodynamique du milieu.

Les segments de paysage (figure 5 et 6) sont le résultat de l'analyse approfondie des diverses composantes de la géosphère. Le découpage obtenu repose à la fois sur l'exploration des données brutes, recueillies sur le terrain et sur l'interprétation des statistiques qu'elles permettent de réaliser. Les unités ainsi décrites ne sont pas de simples ensembles sans dimensions spatiales, mais de véritables entités représentatives des caractéristiques du milieu naturel. Elles permettent par là même de le représenter sous la forme d'un modèle spatial permettant de comprendre et d'expliquer son organisation tout en tenant compte de toutes ses spécificités.



SYNTHESE

	Systèmes de pente	Organisation des géons	Interprétations dynamiques
Acro-métaèdre	Ligne de crête intermédiaire, pentes convexes, moyennement inclinées et divergentes	Alternance de grès et de marnes très altérées, sols bruns en place moyennement profond et peu preméable	Autonome à érosif sur les marges, fort potentiel au ruissellement et probable nappe temporaire en profondeur
Ectaèdre métaèdrique	Talus convexo-concave, très forte pente	Alternance de géons endogènes à l'amont puis géon sur marnes et front d'altération "oscillant", sols en place puis colluviaux dans la concavité	Erosif à très érosif, moyennement perméable et très ruisselant
Métaèdre	Versant subrectiligne à concave en amont, pente moyenne	Sols colluviaux vertiques, très épais, sur front d'altération très marqué. Marnes sous-jacentes non visibles	Trans-érosif (amont) à trans-accumulatif (aval), perméabilité moyenne à forte
Métaèdre infraédrique	Versant subrectiligne à convexe vers l'aval, pente moyenne	Sols colluviaux hydromorphes épais sur front d'altération très marqué. Marnes sous jacentes non visibles. Nappe d'eau constatée en profondeur	Très accumulatif, perméabilité moyenne. Interactions avec l'ectaèdre pour former une nappe d'eau probablement temporaire
Ectaèdre	Escarpement rectiligne, très forte pente	Banc de grès en affleurement, absence de sol et de végétation	Erosif et ruisselant en surface, barrière imperméable en profondeur
Cata-infraèdre	"Lit majeur d'oued", forte pente	Milieu non relevé, présence de marnes supposée	Très érosif (selon période) dans le "lit mineur", accumulatif sur les marges. Ecoulements concentrés à diffus

Figure 5 : les segments de paysage déduits de l'analyse. Terminologie : Filleron J-C. 1978, Filleron J-C. 1995, Rambaud D. & Waechter F. 2001.

En outre, les connaissances apportées par l'analyse permettent aussi de déduire les comportements hydrodynamiques internes à chaque segment ainsi que les interactions entre les différents segments qui composent la toposéquence puis le paysage. Sont ainsi mis en évidence sur la figure 5 les lieux où l'eau va ruisseler en grande quantité (ectaèdre métaédrique), les secteurs d'infiltration préférentiels (métaèdre), les espaces de stockage des flux dans le sol (acro-métaèdre et métaèdre infraédrique) ou encore les secteurs où ils seront bloqués (ectaèdre)… La mise en évidence des chemins de l'eau dans le milieu naturel apporte la part d'explication souvent délaissée dans les analyses hydrologiques globales qui sont, pour la plupart, uniquement axées vers la simulation du ruissellement. Bien entendu le modèle proposé est encore incomplet puisqu'il ne permet pas de quantifier précisément ces flux, mais sa mise en relation avec des données issues de campagnes de simulation de pluie pourrait palier à ce manque.

L'étape ultime de l'analyse consiste passer de la toposéquence à la carte. Il s'agit donc d'extrapoler à partir ces analyses linéaires pour caractériser l'ensemble du paysage et de les inscrire dans les types de facettes topographiques définis au préalable. Bien entendu, chaque point de l'espace présente des caractéristiques particulières qui ne se retrouvent en aucun autre, mais la multiplication des relevés de milieu le long de plusieurs toposéquences permet de caractériser au mieux cette diversité. L'édification statistique des types de relevés puis de types de segments est de ce fait indispensable pour définir un nombre minimum de types de segments représentatifs de la plus grande partie du paysage. Même si de nombreux détails disparaissent à ce stade, les organisations les plus fréquentes ou les plus représentatives d'un type particulier restent. Ainsi, sur la figure 6, apparaissent à la fois les segments les plus communs (métaèdre type 1 et 2, ectaèdre métaédrique) qui occupent la majeure partie de l'espace et les segments les plus rares, très limités spatialement mais qui apportent des éléments importants à l'explication des flux hydriques (supraèdre, acro-métaèdre, ectaèdres…).

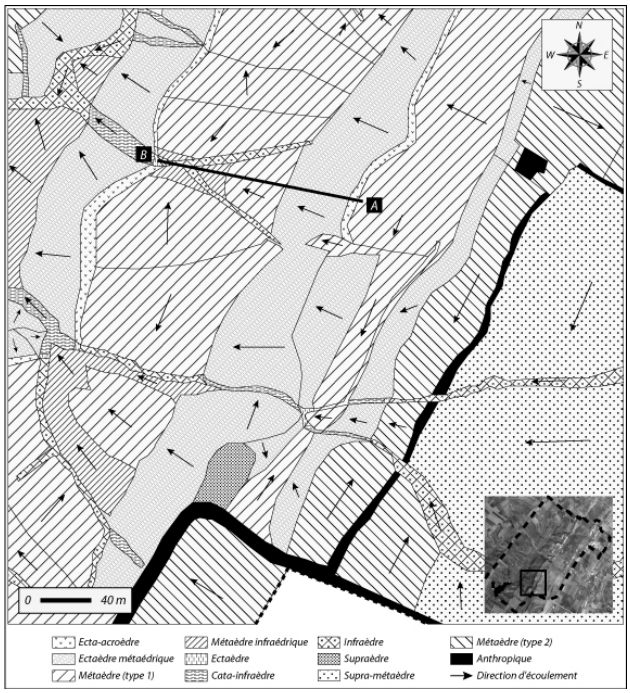


Figure 6 : Extrait de la carte des segments de paysage et des écoulements de surface à Kamech.

La carte des segments de paysage n'est donc pas un simple découpage spatial, mais un véritable outil d'analyse du milieu naturel qui permet de connaître, pour chacune des unités définies, ses caractéristiques propres. Chaque segment de paysage renvoie une organisation particulière de la géosphère et aux dynamiques qui lui sont associées. En cela, la carte des segments de paysages semble être un élément clé sur lequel il est possible de

s'appuyer pour faire fonctionner un modèle de simulation semi distribué du ruissellement et de l'érosion hydrique car elle apporte une base spatiale pertinente et une somme de connaissances qu'il n'aurait pas été possible d'obtenir en faisant simplement tourner ce type de modèle.

Le couplage de la carte des segments de paysage avec un modèle semi distribué n'est pas encore réalisé à ce jour, mais les informations transmises par l'application de cette méthode sont dors et déjà de précieux éléments qui viendrons compléter et renforcer l'analyse qui pourra être faite à partir des simulations des flux en apportant des éclairages utiles à la compréhension de leur genèse et de leur cheminement dans un milieu naturel donné.

Conclusion.

La notion de segment de paysage présenté dans cet article apparaît comme un élément clé dans l'analyse spatiale du milieu naturel. Le découpage de l'espace qu'elle propose ne est pas basé sur des considérations arbitraires mais tient compte des limites imposées directement par le milieu naturel. De ce fait, cette notion permet de mieux saisir son organisation, de comprendre son fonctionnement et d'interpréter ses dynamiques. En outre cette notion répond aux besoins d'intégration des diverses disciplines scientifiques qui s'intéressent au milieu naturel. En effet, par son caractère global et intégrateur, elle offre la possibilité de nommer précisément et sans équivoque les unités déduites en fonction de ce qu'elles représentent, ce qui facilite le compréhension et la communication au sein d'équipes pluridisciplinaires et qui pourrait permettre, a terme, de réaliser des études du milieu naturel qui soient réellement transdisciplinaires.

Références :

Filleron J-C. 1978 - Eléments pour une diagnose des formes du relief. .In. Beaudou A.G. *& al.* 1978 - *Recherche d'un langage transdisciplinaire pour l'étude du milieu naturel (tropiques humides)*. Travaux et documents de l'ORSTOM numéro 91, pp 103 – 116.

Filleron J-C. 1995 - *Essais de géographie systématique : les paysages du nord-ouest de la Côte d'Ivoire*. Thèse de Doctorat d'Etat ès Géographie, Université de Toulouse-Le Mirail, 2 volumes, 1547 p + annexes.

Morschel J., Temple-Boyer E., Allouch-Khébour F., Labiadh M. & Richard J-F. 2005 - Les segments et les saisons de paysage : exemple d'un paysage aride de la Dorsale Tunisienne. *Revue Caucasienne de Géographie*, Société Géographique de Géorgie (Union Géographique Internationale), Tbilissi, 5, pp 3 – 14.

Rambaud D. & Waechter F. 2001 - *diagnostics pour l'étude du milieu, mise à jour et compléments*. Note technique interne. Montpellier, 90 p.

Richard J-F., Kahn F. & Chatelin Y. 1977 - Vocabulaire pour l'étude du milieu naturel (tropiques humides). *Cahiers de l'ORSTOM, série Pédologie*, Volume XV, numéro 1, pp 43-62.

Richard J-F. 1978 - La constitution d'un schéma intégrateur transdisciplinaire. . In. Beaudou A.G. *& al.* 1978 - *Recherche d'un langage transdisciplinaire pour l'étude du milieu naturel (tropiques humides)*. Travaux et documents de l'ORSTOM numéro 91, pp 55 – 72.

Richard J-F. 1989 - *Le paysage, un nouveau langage pour l'étude des milieux tropicaux*. Thèse de doctorat d'état ès Lettres et Sciences Humaines. Editions de l'ORSTOM, collection Initiations – Documentations techniques n° 72, Paris. 209 p.

Richard J-F. 2003 – *Notes sur l'étude globale du milieu physique, la géosphère en particulier dans ses rapports avec le cycle de l'eau et de la matière.* Note technique interne, UMR LISAH, Institut de Recherche pour le Développement Tunis, mars 2003, 11 p.

Richard J-F., Allouch-Khébour F., Labiadh M., Morschel J., Riahi O., Temple-Boyer E. 2005 - *L'eau et le paysage dans la Dorsale Tunisienne*. Institut de Recherche pour le Développement, UMR LISAH. IRD Tunis, Juillet 2005, DVD-Rom. 870 p (textes et figures), 500 dessins, 790 pages interactives 300 cartogrammes et 625 photos.

Rougerie G. et Beroutchachvili N. 1991 - *Géosystèmes et Paysages, bilan et méthodes*. Armand Colin Editeur, collection U géographie, Paris. 302 p.