

Segmenter les paysages de l'eau : une méthode pour l'interprétation hydrodynamique des paysages (Dorsale tunisienne)

Élise Temple-Boyer¹
Jean-François Richard²
Paul Arnould³

¹ Laboratoire d'étude des interactions entre
sol, agrosystème et hydrosystème (UMR
LISAH),

2, place Viala,
34060 Montpellier
<elise.temple@gmail.com>

² Laboratoire d'étude des interactions
entre sol, agrosystème et hydrosystème
(UMR LISAH),
Institut de recherche pour le développement
(IRD)-Tunis

<richard_vosges@yahoo.fr>

³ Université de Lyon,
UMR 5600 CNRS « Environnement Ville
Société »,
ENS-LSH
69000 Lyon
<parnould@ens-lsh.fr>

Résumé

Le problème de l'eau apparaît comme le fil conducteur essentiel de l'analyse des paysages méditerranéens, particulièrement en Tunisie où ces milieux sont entièrement aménagés dans le sens d'une plus grande maîtrise de l'eau. Cette étude a été réalisée sur deux petits bassins-versants situés dans la Dorsale tunisienne, qui font partie d'un réseau de bassins-versants défini et suivi par l'Institut de recherche pour le développement (IRD)-Tunis dans le cadre du programme AMBRE. L'accent est mis sur l'importance et la complémentarité des techniques de photo-interprétation et de terrain. Cet article cherche à apporter des réponses aux questionnements paysagers abordés sous l'angle de la « Science du paysage » – appliquée ici à la segmentation hydrodynamique des paysages. Cette recherche vise à mieux cerner et comprendre l'organisation des paysages en segments, leurs comportements hydrodynamiques à l'échelle du bassin-versant, ainsi que l'impact global des aménagements sur ces milieux. Comment s'organisent les paysages ? Quels sont les comportements hydrodynamiques de ces derniers ? Quel est l'impact de tous les aménagements réalisés dans ces milieux méditerranéens ? La notion de segmentation du paysage, extraite de la méthode de la « Science du paysage » est-elle pertinente dans la compréhension de ces dynamiques paysagères ?

Mots clés : bassin-versant, dégradation des sols, eau, érosion, hydrogéologie, lutte antiérosive, paysage, Tunisie.

Abstract

Landscape segmentation, a method for hydrodynamic interpretation of landscape ("Tunisian dorsale")

The problem of water appears to be the critical path in the analysis of Mediterranean landscapes, especially in Tunisia, where such regions are developed so as to assure better control of water. This study focused on two small watersheds belonging to a network of watersheds defined and followed by the IRD-Tunis within the framework of the AMBRE program. The importance and complementarity between photo-interpretation and ground techniques are emphasized in this work. This article offers answers to certain questions concerning landscape matters by approaching them from the "Science of the landscape" point of view, here meaning the hydrodynamic segmentation of the landscape. The study aims at delimiting and better understanding the organization of landscapes in segments and their hydrodynamic behaviour at the level of the watersheds, as well as the global impact of development on these surroundings. We ask how the landscapes are organized, what their hydrodynamic behaviours are, the impact of development in these Mediterranean surroundings and whether the notion of landscape segmentation, derived from the method of "Science of the landscape," is pertinent to furthering the understanding of these landscape dynamics.

Key words: erosion, erosion control, hydrogeology, landscape, soil degradation, Tunisia water, watershed.

Tirés à part : E. Temple-Boyer

En Tunisie, la maîtrise de l'eau s'est profondément et durablement inscrite dans les paysages, avec la réalisation de nombreux aménagements hydrauliques [1, 2]. Aussi précieuse que l'eau, les sols sont menacés par une dégradation qui s'accélère du fait d'un intense et ancien déboisement des versants, ainsi que de l'extension des terres de culture et des terrains de parcours. Les aménagements hydrauliques et antiérosifs sont très diversifiés, de la simple citerne enterrée à des ouvrages de conservation des eaux et des sols (CES), tels que les banquettes de terre et les lacs collinaires¹ [3]. L'eau qui tombe et s'écoule jusqu'au thalweg peut ainsi être prise comme clé de lecture des paysages, dans la mesure où elle conditionne l'organisation du milieu physique et la gestion des terroirs [4].

Pour saisir les interrelations qui existent au sein d'un paysage, et pour tenter plus particulièrement d'extraire les caractères hydrodynamiques propres aux paysages de la Dorsale tunisienne, une méthode spécifique a été retenue. Dans son principe, cette démarche cherche à respecter l'organisation de l'espace géographique [5]. Donnant sa cohérence à l'enchaînement des dynamiques en jeu dans un paysage, les unités spatiales s'emboîtent les unes dans les autres. Aux échelles d'analyse locale, au sein d'un paysage donné, on découvre ainsi quatre séries d'unités emboîtées les unes dans les autres : le « paysage » ; les « segments de paysage » ; les géons ; et les géotopes [6].

Comprendre comment s'organise et fonctionne un paysage, revient, en premier lieu, à effectuer un découpage de l'espace aussi précis que possible en identifiant et en hiérarchisant ces unités spatiales. En second lieu, c'est rattacher chacune des unités spatiales à des processus et à des bilans quantifiés par des spécialistes tels que des hydrologues, des pédologues ou des agronomes.

Cette recherche vise plus particulièrement à analyser un paysage en vue de son interprétation hydrodynamique. Elle a été réalisée sur deux petits bassins-versants de la Dorsale tunisienne, localisés dans le centre de la Tunisie (gouvernorat de Siliana) : Abdessadok, près de la ville de Makthar et El Hnach, près de la ville de Siliana, respectivement numéros 10 et 9 sur la figure 1).

¹ Ce sont des retenues créées par une digue de terre formant un « lac » qui contient de quelques dizaines de milliers à 1 million de mètres cubes d'eau recueillis sur des bassins-versants d'une superficie de quelques hectares à quelques kilomètres carrés.

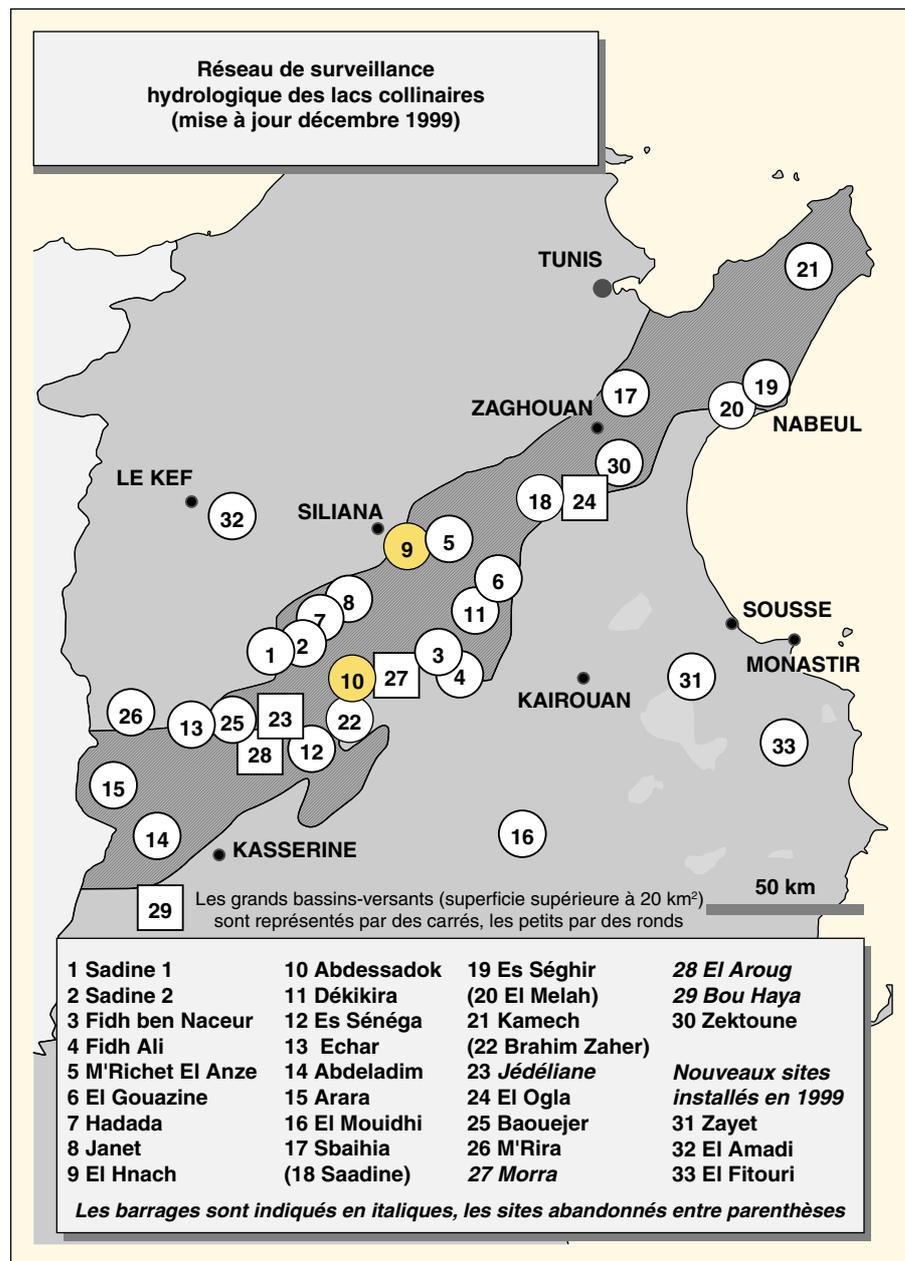


Figure 1. Réseau de surveillance des lacs collinaires dans la Dorsale tunisienne.

La lutte contre la dégradation des terres dans la Dorsale tunisienne

La Dorsale tunisienne

La Dorsale tunisienne se présente comme une succession d'alignements montagneux remarquables, des *jebels*, qui s'étend du nord-est au sud-ouest, du cap Bon jusqu'à la frontière algérienne (figure 2). Cette « Dorsale » est donc assimilée, ici, à « une région naturelle » plus ou moins individualisée entre les plateaux,

plaines, bassins et glaciers voisins [7]. Cette région se définit surtout par la topographie et le relief montagnard, en situation d'interface entre la région du Tell au nord, caractérisée essentiellement par la nature des sols « noirs » et la région des steppes au sud, dont la principale caractéristique est la couverture végétale.

L'étude des paysages de cette unité montagneuse s'est faite à travers un choix de petits bassins-versants représentatifs, limités à l'exutoire par des « lacs collinaires », actuellement suivis par la direction de la Conservation des Eaux et des Sols

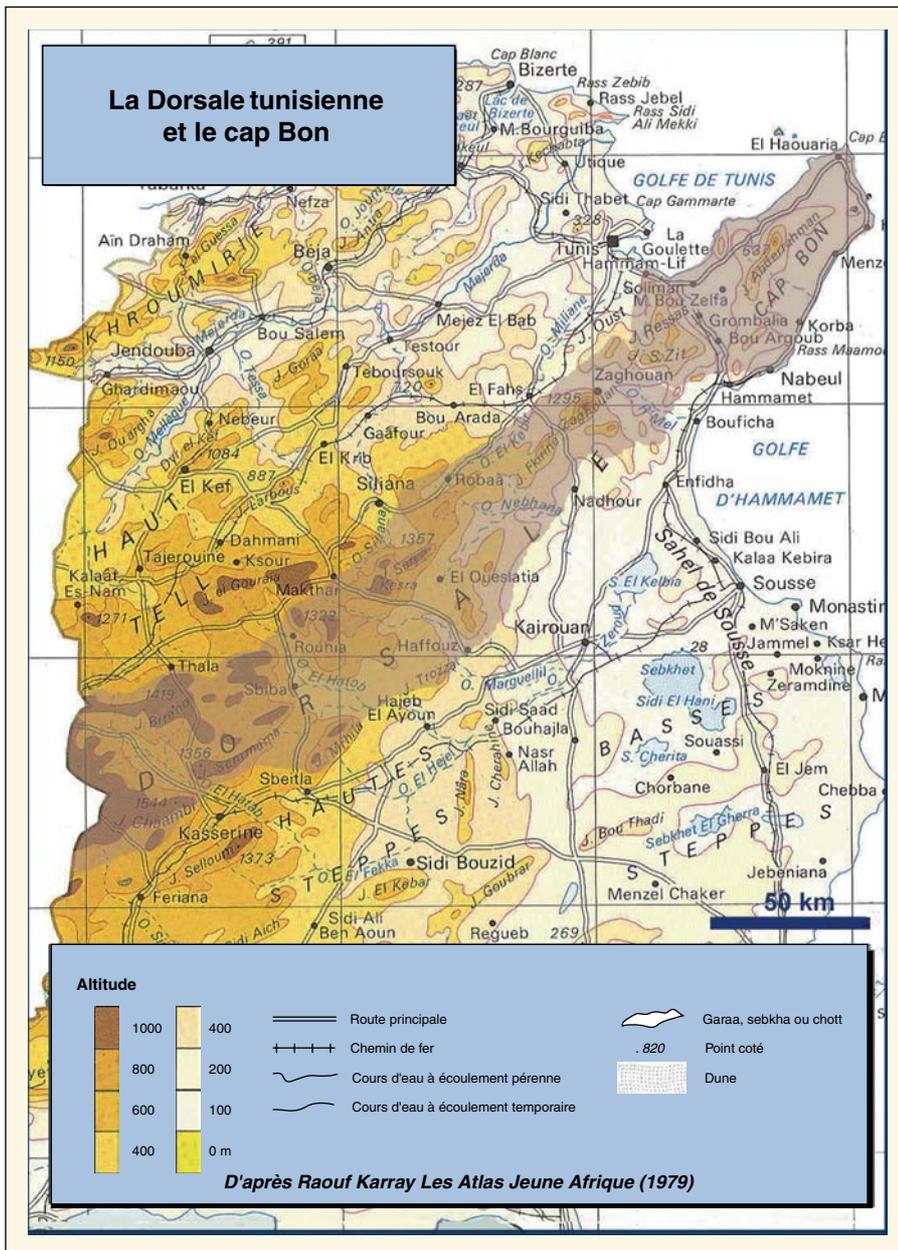


Figure 2. La Dorsale tunisienne entre Tell et Steppe.

(D/CES, devenue DG ACTA² depuis 2002) et l'Institut de recherche pour le développement (IRD) [8], à travers le programme AMBRE³ (figure 1). Localisés sur les piémonts nord et sud de la Dorsale, ces bassins-versants sont des espaces de tran-

² DG/ACTA : direction générale de l'Amélioration et de la Conservation des Terres agricoles.

³ Le programme AMBRE « Analyse, Modélisation dans les Bassins méditerranéens anthropisés du Ruissellement et de l'Erosion » s'inscrit dans le cadre de l'unité de recherche R096 de l'IRD et fait suite au programme HYDROMED « projet de recherche sur les lacs collinaires dans la zone semi-aride du pourtour méditerranéen », plus précisément dans son opération

sition entre les terres des sommets à fortes pentes et les plaines de grande culture situées en aval.

Les bassins-versants illustrent de manière exemplaire la variété hydrologique et géopédologique, propre aux milieux semi-arides [9], à savoir, d'une part un déficit hydrique chronique (avec des périodes de sécheresse), une forte évaporation potentielle et des averses violentes, d'autre part une forte érosion différentielle, des matériaux meubles souvent riches en argiles

« Eau, Sol et Environnement », terminée en avril 2001.

gonflantes et des encroûtements calcaires par l'affleurement des matériaux indurés.

Des milieux très sensibles à l'érosion

L'action de l'érosion en milieu méditerranéen est directement commandée par la vulnérabilité d'une topographie exposée à un climat très contrasté, facteur agressif accentué par les travaux de l'homme, fragilisant le couvert végétal et détruisant les sols [10]. Les dynamiques érosives se caractérisent essentiellement par des phénomènes de ruissellement et des mouvements de masse.

Une étude faite dans le gouvernorat de Siliana (centre de la Tunisie) souligne que l'érosion est, dans cette région, particulièrement préoccupante (figures 3 et 4). Cette situation s'explique par un relief accidenté : les pentes supérieures à 5 %, sujettes à l'érosion, représentent 60 % de l'espace régional. L'érosion touche actuellement 80 % des terres agricoles de cette région [11]. Situés dans cette région, les bassins-versants de El Hnach et de Abdessadock (n° 9 et n° 10 sur la figure 1) ont plus de la moitié de leur surface soumise à une érosion intense.

Une fièvre d'aménagements récents et multiformes

Le caractère exemplaire de la région vient de l'emprise des activités humaines, aussi bien pour l'utilisation du sol que pour les aménagements antiérosifs. Ainsi, les terres agricoles de Siliana représentent environ 90 % de la superficie du gouvernorat et elles font presque toutes l'objet d'aménagements pour la conservation des eaux et des sols mis en place par l'Administration locale depuis les années 1980 [12, 13].

Les modes de mise en valeur jouent un rôle déterminant dans l'hydrodynamique des paysages. La mosaïque de l'occupation des terres influe sur la dynamique de l'eau (taille et forme du parcellaire en fonction de la pente et de la forme des versants, paysage agricole ouvert ou enclos). Les cultures extensives céréalières concurrencent les couvertures végétales naturelles ; elles-mêmes sont fortement exploitées par l'élevage.

Les aménagements de conservation des eaux et des sols sont très importants dans ces espaces ruraux ; ils représentent 40 % de la surface du bassin-versant de El Hnach et 45 % de celle de Abdessadock. Ils ont pour objectifs la protection des sols, l'augmentation de la production agricole, l'amélioration de la fertilité des terres et finalement l'amélioration du niveau de vie de la population rurale.

Les parties amont du bassin-versant font souvent l'objet de reboisement, essentiellement de pin d'Alep, ainsi que d'aménage-



Figure 3. Érosion des sols par ravinement jusqu'à l'apparition de la surface structurale calcaire (El Hnach, juillet 2001, cliché E. Temple-Boyer).

ments sylvo-pastoraux et antiérosifs. Les aménagements de versants consistent essentiellement dans l'édification de cordons en pierres sèches, plus ou moins consolidés par des cactus en lignes (*figure 5*) et par des reboisements arbustifs (acacia, eucalyptus). Ces derniers jouent, en plus de leur action stabilisante, le rôle de complément de fourrage pour le bétail. À cela s'ajoutent, sur les terres agricoles, d'importants aménagements en banquettes de terre (*figure 6*) qui représentent 24 % de la surface du bassin-versant de El Hnach et 29 % de Abdessadock. Le

réseau hydrographique est souvent corrigé par la construction de divers ouvrages hydrauliques [14] : seuils en pierre sèche, gabions, petits barrages...

Les travaux d'aménagement sont ainsi particulièrement diversifiés, dans la mesure où ils sont installés sur tous les segments du paysage, de l'amont à l'aval : aménagement des versants, des parcelles de culture et des cours d'eau [15]. Mais les aménagements les plus significatifs dans les deux bassins-versants étudiés restent la présence des lacs collinaires et l'abondance des banquettes de terre.

Une analyse paysagère fondée sur la méthode de segmentation du paysage

Méthode de segmentation du paysage

L'analyse cherche à appréhender, directement, les facteurs susceptibles d'intervenir sur les dynamiques et les organisations paysagères. D'une part, le « facteur topographique » est à la fois le plus constant et le plus universel. Ce sont les systèmes de pentes qui déterminent la plupart des changements d'état spatiaux du milieu. En effet, les lignes de rupture ou d'inflexion de pente constituent les principales discontinuités paysagères. D'autre part, le facteur anthropique est à la fois moins généralisé et plus aléatoire. Les effets de ce facteur se combinent avec ceux du facteur topographique et, selon les lieux et les périodes, ils viennent accentuer, perturber ou remplacer les changements précédents.

Si l'on considère un paysage dans son ensemble, de premières unités s'individualisent d'une manière très globale : les segments du paysage. Entre deux ruptures ou inflexions de pente, l'identification d'un segment de paysage suit les différentes étapes d'une caractérisation méthodique. C'est le travail de segmentation du paysage [16].

- Le segment, facette topographique

Dans un premier temps, il s'agit de délimiter des facettes topographiques. Cette première étape dans la définition repose sur la prise en compte du système de pentes. À ce premier degré d'analyse, strictement descriptif, le segment est défini comme une « facette topographique » isomorphe (*figure 7*).

Celle-ci est caractérisée sur le plan physiographique par sa situation relative dans le paysage (sommet, amont, aval...), par les variations de valeur et de longueur de ses pentes, ses formes en plan et en profil (convexe, concave...), par ses limites et leur netteté (inflexion ou rupture de pente), limites qu'il ne faut pas confondre avec les seules courbes de niveau.

Au terme de cette première étape apparaissent des sortes de « supports » ou de « contenant » un peu vides, dont il reste à donner les « contenus ». Ce passage du contenant au contenu est donné par la deuxième étape de la segmentation.

- Le segment, facette naturelle et humanisée

Dans un deuxième temps, il s'agit d'identifier les différents types de milieux situés sur ces facettes, milieux plus ou moins étendus et se présentant sous des états souvent très changeants. À cette deuxième étape de la



Figure 4. Sédimentation d'un petit lac collinaire causée principalement par le ravinement d'un glacis encroûté sur marnes situé en amont (El Hnach, juillet 2001, cliché E. Temple-Boyer).

définition, le segment se caractérise par l'agencement de différentes unités paysagères élémentaires estimées dans l'espace (extensions relatives) et dans le temps (variations annuelles et interannuelles). Ces unités élémentaires sont des géons qui se présentent sous plusieurs états saisonniers ou pluriannuels. L'importance, l'extension et l'association des géons commandent directement les processus hydro-

dynamique et érosif du segment [17]. Concernant le « profil » vertical des géons, il s'agit de délimiter et de caractériser des « compartiments hydrodynamiques » tels qu'on les trouve dans certains modèles hydrologiques : des volumes végétaux ligneux ou herbacés caractérisés par leur recouvrement et leur pérennité, des « surfaces de sol » caractérisées par leur perméabilité, des sols caractérisés par



Figure 5. Cordons de pierres sèches en premier plan, plantation de lignes de cactus en second plan et banquettes de terre en arrière-plan (Abdessadock, juillet 2001, cliché E. Temple-Boyer).

leur porosité. Dans la mesure où l'hydrodynamique des milieux méditerranéens est en grande partie liée au ruissellement, l'identification des géons s'est focalisée sur leurs « états de surface ».

• Le segment, facette hydrodynamique

Dans un troisième temps, il s'agit de porter des diagnostics interprétatifs sur ces segments, en particulier ici, des diagnostics rendant compte de leur hydrodynamique. Synthèse des observations précédentes, cette définition dynamique se base aussi et surtout sur un examen attentif de la surface du sol. A ce stade de la définition, le segment ne correspond plus strictement à une facette topographique ou à une organisation en géons. L'organisation naturelle dépend d'une véritable cinématique orientée des parties hautes vers les parties basses de l'interfluve. Les diagnostics consistent alors à évaluer les transferts d'eau et de matière s'effectuant à l'arrivée et au départ de chaque segment : certains seront dits alors « autonomes », d'autres « érosifs », d'autres encore « trans-accumulatifs », etc. Cette dernière étape de la définition du segment relève plus de l'interprétation (tableau 1).

Des segments au paysage...

Ainsi, le segment de paysage est une notion polysémique qui présente plusieurs degrés de définition et de compréhension. La notion s'enrichit au fur et à mesure que l'analyse progresse, de la description à l'interprétation. La notion de segment peut alors s'apparenter à deux notions plus spécialisées. La première est celle de *facette écologique* définie par Blanc-Pamard [18], qui repose sur un découpage spatial analogue à celui de la segmentation. Elle correspond à des surfaces d'*isopotentialités* naturelles pour les activités humaines. À l'échelle de ces facettes écologiques, une « moyenne » des comportements humains peut être définie, un équilibre s'établit, alors qu'à plus grande échelle ces comportements pourront parfois paraître totalement incompréhensibles. La deuxième notion est celle de *zones actives et contributives* définie par Ambroise [19] dans le domaine de l'écoulement de l'eau. Cette notion caractérise des « zones », d'extension généralement variable au cours du temps (à l'échelle tant de l'année que de l'événement), où au moins un processus donné est actif et contribue au flux global du bassin. A chaque période, toute « zone » active pour l'un ou l'autre des processus générateurs n'est contributive que si elle est connectée au cours d'eau.

La définition finale du segment de paysage revient à un diagnostic portant sur sa dynamique globale (tableau 1). Testé



Figure 6. Versant aménagé avec des banquettes de terre consolidées par des plantations d'acacias (El Hnach, juillet 2001, cliché E. Temple-Boyer).

dans de nombreuses régions du globe, un modèle à « sept unités », a été retenu pour l'étude des paysages méditerranéens et subarides [20].

A partir de cette segmentation, on peut concevoir des organisations naturelles encore plus vastes et plus complexes : les paysages. Appliquée à l'étude du milieu biophysique, la notion de « paysage » (« étendue de pays que la nature offre à la vue d'un observateur... » [22]) doit non seulement faire référence à l'extension latérale de ces organisations mais aussi à leurs dimensions verticales. Ici, les paysages ont une « épaisseur ». D'une manière générale, les paysages se définissent donc

comme des suites de segments paysagers, suites toujours identiques à elles-mêmes.

La restitution cartographique, base de l'interprétation des segments paysagers

« Tableau de paysage » et légende cartographique

Les segments sont avant tout classés selon leur ordre topographique dans le paysage, c'est-à-dire de l'amont vers l'aval, suivant en cela l'essentiel des transferts

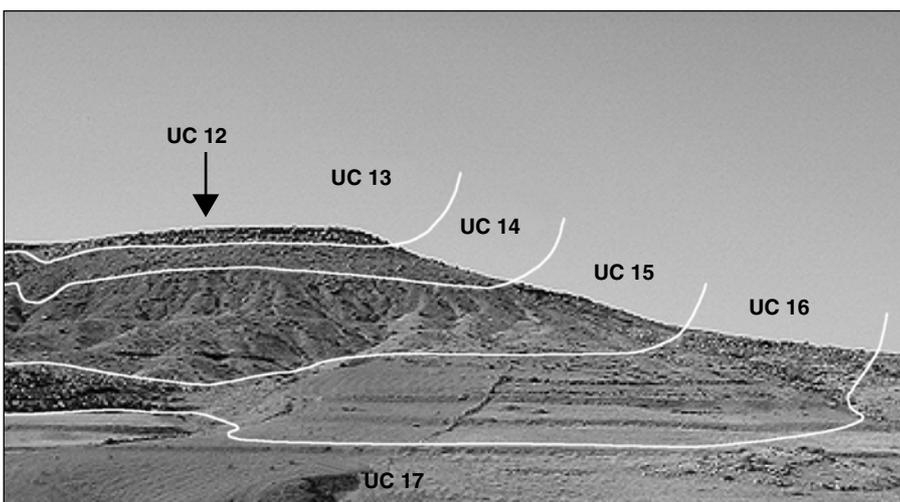


Figure 7. Qu'est-ce qu'un segment de paysage ? (extrait topographique au nord-est du bassin-versant de Abdessadock, cliché E. Temple-Boyer).
UC : unité cartographique

hydrodynamiques. Puis est effectuée une typologie des segments, toujours des sommets vers les bas-fonds, en fonction des altitudes, de leur orientation, de leur forme et de leur état de dégradation ou d'aménagement, identifiés aussi bien sur le terrain que par l'interprétation des photographies aériennes. L'ensemble des informations concernant les segments est ensuite introduit et structuré dans un tableau de segmentation du paysage (tableau 2).

Ce tableau du paysage est structuré en trois grandes unités emboîtées : le segment, le géon et l'état temporel observé. Les unités cartographiques sont de nature différente, plus formelle que réelle.

Une fois toutes les informations rassemblées et ordonnées dans ce tableau de segmentation du paysage, il est possible de procéder à l'élaboration de la légende de la carte. Celle-ci est délicate à rédiger car les segments empruntent dans leur définition à de nombreuses connaissances scientifiques. Cette légende doit rendre compte de la multiplicité des éléments de définitions des segments, sans réduire le segment à un seul type de critère, et sans perdre en précision ni en rigueur. Toute l'originalité de la notion de segment réside à ne se réduire à aucune spécialité. La définition du segment se situe ainsi au carrefour de toutes les sciences, ce qui implique des difficultés quant au choix du vocabulaire de la légende (figure 8). Pour répondre à cette complexité, le vocabulaire utilisé est mixte, avec une dominante des termes topographiques, mais intégrant aussi des termes issus d'autres disciplines, telles que la géologie, la géomorphologie, l'agronomie.

Toposéquence paysagère

La cartographie des segments associe les informations tirées de la photo-interprétation et celles relevées sur le terrain. Mais avant d'être représenté sur une carte usuelle, chaque paysage sera d'abord caractérisé par une coupe établie selon un transect recoupant les segments définis précédemment (figure 9). Cette démarche permet de prendre en compte l'emprise verticale de certains segments, tels qu'une corniche. Elle se justifie en outre par le fait que les rapports entre dénivelées et développements du relief des interfluves constituent le meilleur critère de classement et le facteur d'organisation le plus significatif des paysages. En d'autres termes, sur le terrain et les photographies aériennes, sont tracées des toposéquences reliant les points hauts aux points bas du relief. Le paysage apparaît alors à travers une succession de segments perçus dans leur dimension verticale.

La cartographie des segments n'est donc pas la simple restitution d'une image en

Tableau I. Segments de paysage déduits de l'analyse (terminologie des types de segments empruntée à Beaudou [16], Filleron [20], Rambaud et Waechter [21], Richard [17]).

Segment de paysage (du grec <i>edra</i> , face)	Systèmes de pente Exemples	Principales organisations spatiales Géons (et géotopes)	Bilans potentiels de l'eau et de la matière Interprétations
1) Acroèdre (comp. du gr. <i>akros</i> , à l'extrémité)	Pentes convexes divergentes fortes ou très fortes : <i>sommets rocheux isolés...</i>	Structures en mosaïques souvent très diversifiées et très contrastées	Ablatif à très ablatif
2) Supraèdre (dér. préf. du lat. <i>supra</i> , au-dessus)	Pentes subaplaniées faibles ou très faibles : <i>sommets de plateaux, de buttes, de « croupes »...</i>	Structures centrales uniformes ou en marqueteries (« par plaques ») <i>Nombreux héritages</i> Structures périphériques en auréoles	Autonome (à faiblement ablatif vers les bordures)
3) Ectoèdre (dér. préf. du gr. <i>ecto</i> , au-dehors)	Pentes convexo-concaves étroites très fortes à fortes : <i>« pentes de raccord », corniches...</i>	Différenciations latérales « en chevrons » triangulaires : • rentrants : <i>complexes/développés</i> • saillants : <i>simples/peu développés</i>	Ablatif (en surface)
4) Métaèdre (dér. préf. du gr. <i>meta</i> , changement)	Pentes subrectilignes élargies fortes à faibles : <i>sections de « versants », de « glacis »...</i>	Structures « en écailles » <i>Géons de plus en plus développés et complexes vers l'aval...</i>	Trans-ablatif à trans-accumulatif
5) Cataèdre (dér. préf. du gr. <i>cata</i> , vers le bas)	Pentes fortes (en réseau arborescent) : <i>« entailles », ravins...</i>	Structures homogènes <i>Géons très peu développés/très simples</i>	Ablatif à très ablatif
6) Infraèdre (dér. préf. du lat. <i>infra</i> , au-dessous)	Pentes très faibles à nulles (en réseau arborescent) : <i>« bas-fonds », lits majeurs...</i>	Structures en mosaïques souvent très diversifiées et très contrastées	Accumulatif
7) Endoèdre (dér. préf. du gr. <i>endo</i> , intérieur)	Pentes convergentes très faibles à nulles : <i>cuvettes endoréiques...</i>	Structures en auréoles souvent très diversifiées et très contrastées	Fortement accumulatif

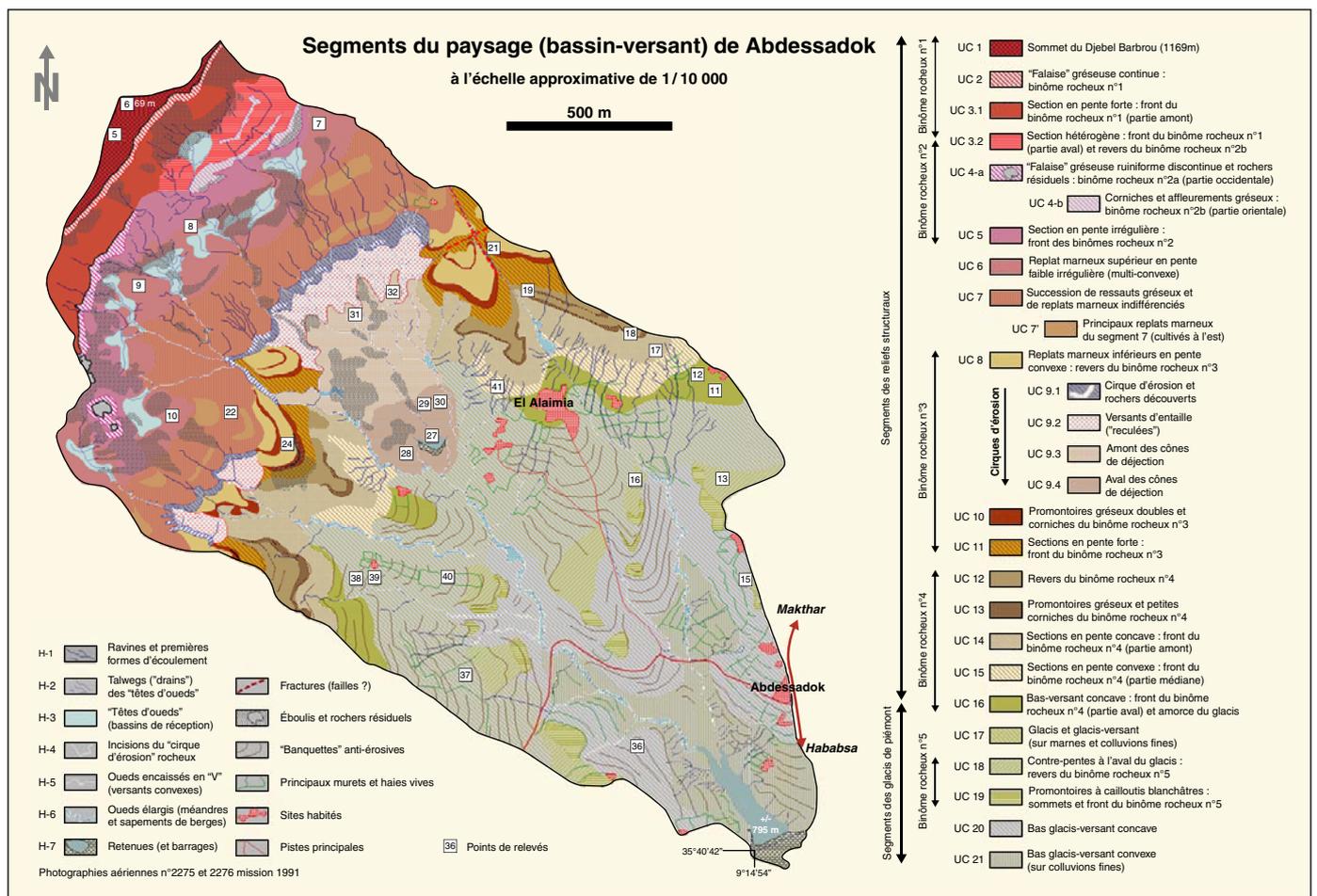


Figure 8. Cartographie des segments de paysage du bassin-versant de Abdessadock.

Tableau II. Structure du tableau de paysage, base de la légende cartographique des segments de paysage.

Tableau de paysage (bassin-versant)						Géons (et états du milieu)					Unités cartographiques
N°UC	Identifications immédiates et commentaires	Altitude (m)	Pentes moyennes		S** (%)	N°	Identifications immédiates et commentaires	Pentes	S*** (%)	N° GPS Latitudes Longitudes	
			%	L* (m)	Formes						

UC : unité cartographique. S** : superficies par rapport à la superficie du bassin-versant ; L : longueur de la pente ; S*** : superficies par rapport à la superficie du segment.

plan, mais elle est une interprétation qui se doit de concilier deux sources d'informations, le terrain et les photographies aériennes, afin de rendre au plus juste la diversité des segments dans leurs trois dimensions spatiales.

De multiples cartographies dérivées

Le travail de segmentation permet d'établir des cartes dérivées et interprétatives. Cette cartographie provient du croisement de la carte des segments de paysage, carte de référence, et de la base de données constituée lors des relevés de milieux sur le terrain. La démarche repose sur la considération de l'ensemble des informations recueillies lors des phases de relevés des milieux. Elle se traduit alors par une cartographie « dérivée », répondant à des questions particulières. Il s'agit d'une simplification de la carte de base, c'est-à-dire de celle de la segmentation du paysage.

Tableau III. Principales caractéristiques des bassins-versants de Abdessadock et de El Hnach.

	ABDESSADOCK	EL HNACH
Situation	Versant sud de la dorsale (Jebel Barbrou)	Versant nord de la dorsale (Jebel Bargou)
Superficie totale*	307 hectares	395 hectares
Altitudes (min-max) *	815-1 189 m	447-834 m
Bioclimat d'après Emberger	Semi-aride moyen frais	Semi-aride supérieur tempéré
Lithologie et relief	Alternance de gros bancs calcaires et de marnes : reliefs structuraux monoclinaux...	Alternance de calcaire et de marnes : reliefs de glacis entaillés...
Terres agricoles*	57 %	43 %
Aménagements antiérosifs*	46 %	38 %
Pluie annuelle*	375 mm	428 mm
Coefficient moyen de ruissellement annuel *	4,3 %	7,9 %
Érosion spécifique*	11 m ³ /ha/an	12 m ³ /ha/an

*d'après les annuaires hydrologiques [24].

Formellement, le passage de la carte de segment à la cartographie dérivée revient

à passer de l'ensemble des variables à une sélection de variables. Les cartes dérivées

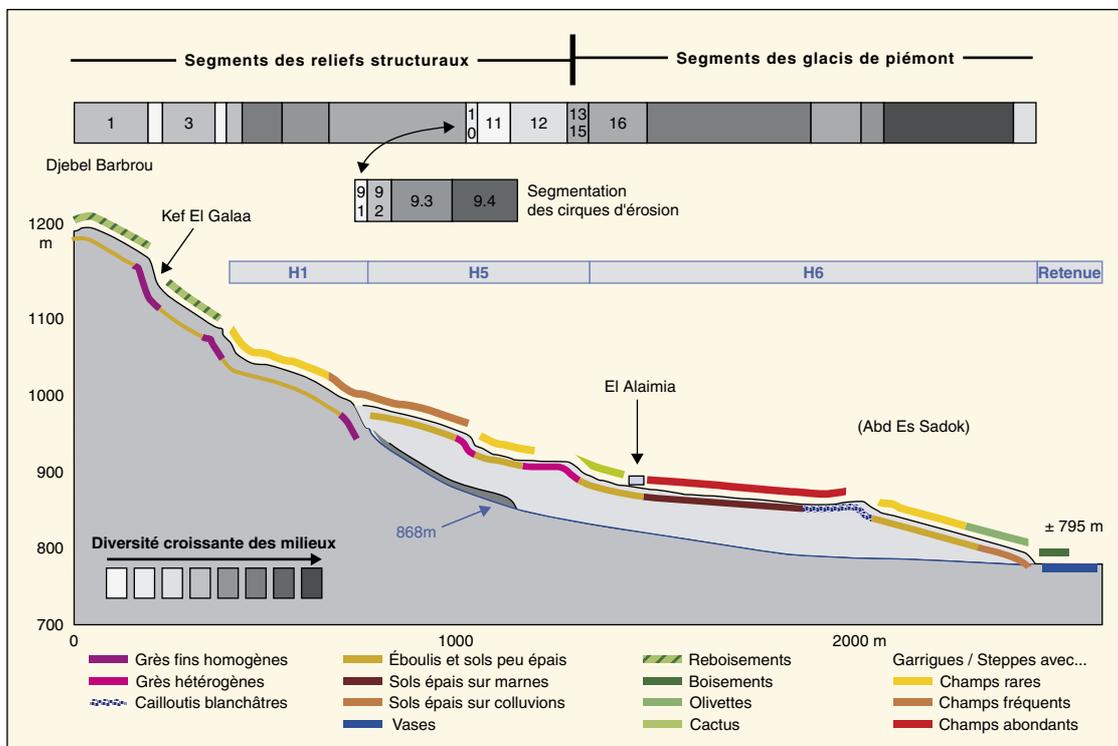


Figure 9. Une toposéquence du bassin-versant de Abdessadock.



Figure 10. Le lac collinaire de El Hnach reste bien alimenté (juillet 2001, cliché E. Temple-Boyer).

offrent une lecture et une utilisation plus facile puisqu'une seule partie de l'information est sélectionnée [23]. Selon le degré de sélection de données et en fonction de la base de données disponible, plusieurs cartographies sont possibles.

Pour répondre aux questions touchant à l'hydrodynamique des paysages, différentes cartes dérivées ont donc été établies : carte du réseau hydrographique, carte des aménagements, carte du ruissellement, carte de l'écoulement, etc. Le principal intérêt de ce type de carte est de fournir un document graphique à lecture immédiate.

Premières interprétations hydrodynamiques du paysage à travers la notion de segment

Lac plein, lac vide : des comportements hydrodynamiques différents

Le climat de Abdessadock est plus contrasté, mais guère plus aride que celui de El Hnach. Les bilans de l'eau et de l'érosion des deux bassins-versants sont relativement proches, avec une plus grande variabilité dans les comportements

hydrodynamiques de Abdessadock (tableau 3).

Or l'hydrodynamique de ces deux bassins-versants est différente : tandis que Abdessadock présente un ruissellement faible, El Hnach se caractérise par un ruissellement plus prononcé. Cette situation est particulièrement visible au niveau du lac collinaire : l'un est à sec, l'autre en eau (figures 10 et 11).

Surtout, les comportements hydrodynamiques de Abdessadock et de El Hnach sont spatialement opposés : les segments de ces deux bassins-versants réagissent en négatif (figure 12A et B). Alors que le ruissellement, en termes relatifs, est le plus important dans les segments amont des reliefs structuraux de Abdessadock, il est le plus faible sur les segments amont des reliefs de El Hnach. À *contrario*, à El Hnach, le ruissellement le plus intense se situe sur les glacis, à l'aval des reliefs de commandement, alors qu'il est le moins prononcé sur les glacis d'Abdessadock.

Pourtant, cela ne suffit pas à expliquer pourquoi le lac collinaire de Abdessadock est généralement asséché l'été, tandis que celui de El Hnach est en eau. En effet, il faut prendre en compte l'organisation et la nature des aménagements qui existent sur les deux bassins-versants, dans la mesure où ceux-ci ont un effet direct sur leurs comportements hydrodynamiques. Le bassin-versant de Abdessadock est très intensément aménagé, surtout dans sa partie aval, c'est-à-dire au niveau des glacis de piémont. Or ce sont ces segments qui conditionnent directement, du fait de leur proximité, l'état du lac collinaire. L'aménagement de la totalité des glacis a complètement cadencé ce paysage et bloqué la circulation de l'eau qui s'infiltré avant d'atteindre le lac collinaire.

El Hnach, au contraire, présente une moins grande extension des aménagements. Par ailleurs, ceux-ci sont localisés sur des portions discontinues de segments, ce qui permet à l'eau de s'écouler et de ruisseler jusqu'à la retenue. Ces aménagements sont répartis sur tout le bassin-versant, ce qui peut équilibrer leurs impacts les uns par rapport aux autres et les rendre complémentaires.

Enfin, il faut éviter de juxtaposer ainsi divers types d'aménagements qui répondent à des objectifs différents. Il semble contradictoire de construire un lac collinaire, qui cherche à accumuler l'eau en aval, et de réaliser en même temps un réseau aussi dense de banquettes, qui au contraire cherche à retenir l'eau de ruissellement à l'amont. Il serait nécessaire de donner un sens global aux aménagements antiérosifs, afin de rendre leurs actions complémentaires. C'est en prenant en compte l'ensemble du paysage et les inter-



Figure 11. Le lac collinaire de Abdessadock est quasiment à sec (juillet 2001, cliché E. Temple-Boyer).

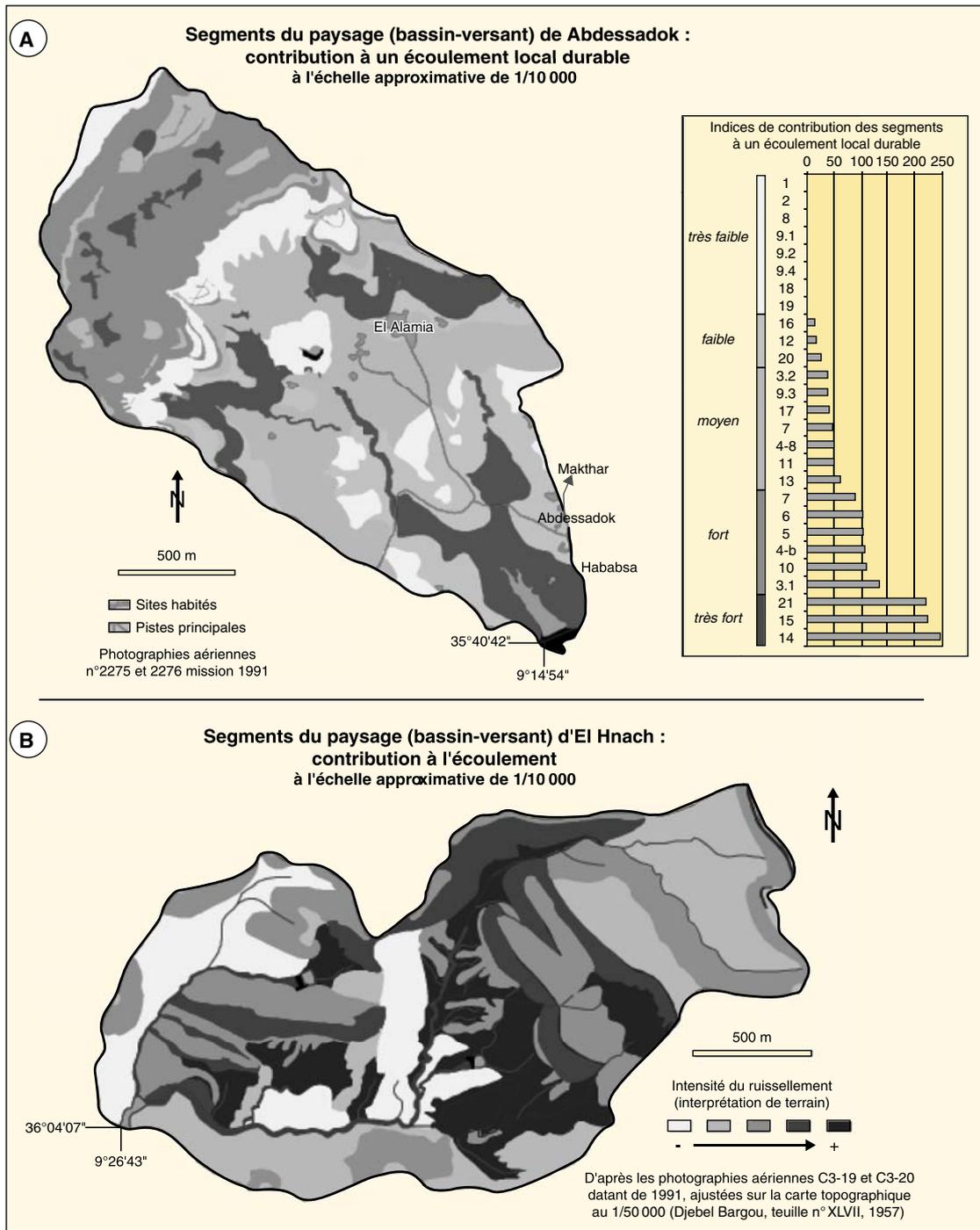


Figure 12. Cartographie de l'écoulement des bassins-versants de Abdessadock et de El Hnach.
A) bassin-versant de Abdessadock ; B) bassin-versant de El Hnach.

relations des divers aménagements que peuvent se résoudre les problèmes hydrodynamiques posés par ces types de paysages méditerranéens.

Pertinence de l'étude géographique des segments

Les recherches réalisées sur les différents bassins-versants de la Dorsale tunisienne

restent le plus souvent des études de cas « stationnelles ». Si ces recherches sont nécessaires et intéressantes pour mieux comprendre le fonctionnement de ces milieux, par exemple la formation de ravines ou l'impact hydrologique d'une banquette [25], elles ne permettent pas de comprendre les dynamiques globales du paysage.

De plus, travailler à ces échelles ponctuelles occulte tout un pan de la problématique des aménagements. D'une part, il est important de voir comment l'ensemble des banquettes fonctionne, autrement dit l'impact qu'ont ces aménagements les uns par rapport aux autres, et non pas l'impact d'un aménagement isolé. En effet, une banquette ne fonctionne jamais seule,

mais selon un réseau. Les orientations, les fréquences, les densités sont fondamentales pour mesurer des conséquences qui ne peuvent être étudiées à l'échelle d'une banquette isolée. D'autre part, la situation des aménagements dans le paysage est déterminante dans la compréhension des comportements hydrodynamiques. Au sein d'un paysage, des aménagements réalisés en amont et en aval n'ont évidemment pas la même incidence sur l'écoulement mesuré à l'exutoire.

Les différences de comportements hydrodynamiques des deux bassins-versants étudiés, aux conditions physiques relativement semblables, posent le problème des aménagements dans une vision globale et intégratrice. C'est toute la pertinence du travail géographique, et plus particulièrement de celui d'une segmentation des paysages, que de s'interroger sur les interrelations et les complémentarités qui existent entre les divers segments paysagers. Les effets des aménagements vont-ils dans le même sens ou, au contraire, agissent-ils en contradiction avec les dynamiques naturelles ?

Ce travail de segmentation permet de situer les activités humaines (comportements, catégories d'aménagements) dans le paysage, c'est-à-dire à une échelle de perception globale correspondant au cadre de vie paysan. À cette échelle de vie, des activités humaines se confrontent, qui se doivent d'être complémentaires sous peine de conflits ou de dysfonctionnements. Le paysage, composé de segments, doit être le support de cette complémentarité.

Conclusion

L'analyse paysagère, méthode d'analyse systémique et globale, permet de mieux prendre en compte les deux dimensions du paysage, sa nature physique et sa dimension humaine.

L'étude de deux bassins-versants de la Dorsale tunisienne a mis en évidence des comportements hydrodynamiques opposés, qui résultent certes de conditions physiques contrastées, mais aussi d'implantations humaines différentes. Ces dernières modifient profondément les dynamiques paysagères, notamment avec la réalisation de nombreux aménagements de conservation des eaux et des sols et la forte spécialisation agricole.

Ces premiers diagnostics sur l'hydrodynamique des paysages de la Dorsale tunisienne ont pu être dégagés grâce à une démarche spécifiquement géographique : la segmentation du paysage. Il s'agit de mettre en évidence l'organisation du paysage dans son entier, organisation définie par l'association et la succession de seg-

ments paysagers, notion intégratrice qui prend en compte l'ensemble des données physiques et humaines visibles sur le terrain.

L'objectif est aussi de répondre, avec les notions de paysage et de segment, aux attentes des autres spécialistes des sciences du milieu, c'est-à-dire de proposer des notions utiles à ces derniers. En effet, du point de vue de la pratique interdisciplinaire, particulièrement à la rencontre des sciences de l'eau et de la terre, les unités que nous nous sommes efforcés d'identifier sont autant d'éléments pour un échantillonnage raisonné ou pour une généralisation rapide des observations. Elles sont susceptibles de former un **cadre de référence** où chacun pourra valoriser et intégrer les résultats de sa recherche. ■

Références

1. Brunhes J. *L'irrigation, ses conditions géographiques, ses modes et son organisation dans la péninsule ibérique et dans l'Afrique du Nord*. Paris : Naud, 1904.
2. Despois J, Raynal R. *La géographie de l'Afrique du Nord-Ouest*. Paris : Payot, 1967.
3. Albergel J, Nasri S, Boufaroua M, Droubi A, Merzouk A. Petits barrages et lacs collinaires, aménagements originaux de conservation des eaux et de protection des infrastructures aval : exemples de petits barrages en Afrique du Nord et au Proche-Orient. *Sécheresse* 2004 ; 15 : 78-86.
4. Arnould P, Hotyat M. *Eau et environnement : Tunisie et milieux méditerranéen*. Lyon : ENS, 2003.
5. Richard JF. *Le paysage : un nouveau langage pour l'étude des milieux tropicaux*. Paris : Orstom éditions, 1989.
6. Da Lage A, Métaillé G. *Dictionnaire de biogéographie végétale*. Paris : CNRS éditions, 2000.
7. Gammar AM. La Dorsale tunisienne, entre représentation linéaire et réalité régionale. In : Salem A, Naceur Omrane M, eds. *La Tunisie du Nord : espace de relations : actes du deuxième colloque du Département de géographie, 14, 15 et 16 décembre 1995*. Tunis : Publications de la Faculté des lettres de la Manouba, 1999.
8. Albergel J, Rejeb N. Les lacs collinaires en Tunisie : enjeux, contraintes et perspectives. *CR Acad Agri Fr* 1997 ; 83 : 77-88 ; 101-4.
9. HYDROMED. *Rapport final du programme de recherche sur les lacs collinaires dans les zones semi-arides du pourtour méditerranéen*. In : Albergel J, Nasri S, eds. *Contrat européen INCO DC ERBIC 18CT 960091 - STD4*. Tunis : Institut de recherche pour le développement (IRD), Institut national de recherche en génie rural eaux et forêts (INRGREF), 2001.

10. Poncet J. *Les rapports entre les modes d'exploitation agricole et l'érosion des sols en Tunisie*. Tunis : Publications du secrétariat d'État à l'Agriculture, 1961.

11. Collinet J, Testouri Jebbari S. *Étude expérimentale du ruissellement et de l'érosion sur les terres agricoles de Siliiana (Tunisie)*. Tunis : Institut national de recherche en génie rural eaux et forêts (INRGREF) ; direction des Sols ; Institut de recherche pour le développement (IRD), 2001.

12. Zante P, Collinet J. *Cartographie des risques érosifs sur le bassin-versant de la retenue collinaire de El Hnach (dorsale tunisienne)*. Tunis : direction de la Conservation des Eaux et des Sols ; Institut de recherche pour le développement (IRD, mission Tunis), 2001.

13. Zante P, Collinet J, Leclerc G. *Cartographie des risques érosifs sur le bassin-versant de la retenue collinaire d'Abdessadock (Dorsale Tunisienne)*. Tunis : direction de la Conservation des Eaux et des Sols, Institut de recherche pour le développement (IRD, mission Tunis), 2003.

14. Ennabli N. *Les aménagements hydrauliques et hydro-agricoles en Tunisie*. Tunis : Institut national d'agronomie de Tunisie (Inat), 1993.

15. CES. *Guide de conservation des eaux et du Sol*. Projet PNUD/FAO, TUN/86/020. Tunis : ministère de l'Agriculture, direction de la Conservation des Eaux et des Sols, 1995.

16. Beaudou AG, De Blic P, Chatelin Y, et al. *Recherche d'un langage transdisciplinaire pour l'étude du milieu naturel. Tropiques humides. Travaux et Documents, 91*. Paris : Orstom éditions, 1978.

17. Richard JF. *Note 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, 1. Tunis : IRD, 2002.

18. Blanc-Pamard C. Dialoguer avec le paysage ou comment l'espace écologique est vu et pratiqué par les communautés rurales des hautes terres malgaches. In : Chatelin Y, Riou G, eds. *Milieux et paysages : Essai sur diverses Modalités de Connaissance*. Paris ; New York ; Barcelone : Masson, 1986.

19. Ambroise B. *La dynamique du cycle de l'eau dans un bassin-versant : processus, facteurs, modèles*. Bucarest : éditions "H*G*A*", Bucarest, 1998.

20. Filleron J-C. *Essais de géographie systématique : les paysages du nord-ouest de la Côte d'Ivoire*. Thèse de doctorat d'État de géographie, université de Toulouse-Le Mirail, 1995.

21. Rambaud D, Waechter F. *Diagnostics pour l'étude du milieu, mise à jour et compléments*. Note technique interne. Montpellier : Université Paul Valéry, 2001.

22. *Dictionnaire de la langue française, le petit Robert*. Rey-Debove J, Rey A, eds. Paris : le Robert, 1993.

23. Temple-Boyer E, Richard JF. *Le paysage et l'eau, deux exemples préliminaires en Tunisie*. Tunis : Institut de recherche pour le développement (IRD) ; programme AMBRE, 2001 (cédérom).

24. Albergel J, Ben Youness M, Boufaroua M, et al. *Annuaire hydrologique des lacs collinaires : réseau pilote de surveillance hydrologique*. Tunis : ministère de l'Agriculture, direction de la Conservation des Eaux et des Sols ; Institut de recherche pour le développement (IRD, mission Tunis), 1995–2001.

25. Nasri S. *Hydrological effects of water harvesting techniques. A study of tabias, soil contour ridges and hill reservoirs in Tunisia*. PhD, Lund Institute of Technology, Lund University, 2002.