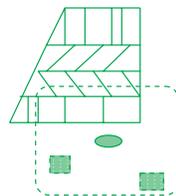
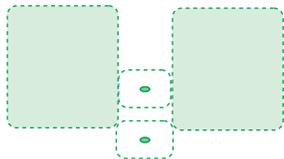
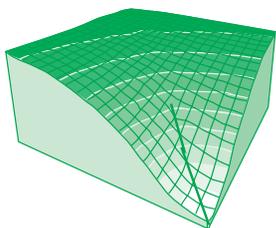


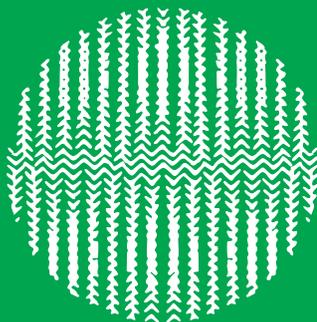
**ORGANISATION SPATIALE
DES ACTIVITÉS AGRICOLES
ET PROCESSUS ENVIRONNEMENTAUX**



Éditeurs

P. MONESTIEZ, S. LARDON, B. SEGUIN

SCIENCE UPDATE



INRA
EDITIONS

**ORGANISATION SPATIALE
DES ACTIVITÉS AGRICOLES
ET
PROCESSUS ENVIRONNEMENTAUX**

P. MONESTIEZ
S. LARDON
B. SEGUIN, éditeurs

Editeurs

Pascal MONESTIEZ
INRA - Biométrie
Domaine St-Paul, Site Agroparc
84914 Avignon Cedex 9, France

Sylvie LARDON
ENGREF POP-TER
Politiques Publiques et Développement des Territoires Ruraux
24 avenue des Landais
Domaine universitaire des Cézeaux
BP 90054
63171 Aubière Cedex 9, France

Bernard SEGUIN
INRA - UE Agroclim
Domaine Saint-Paul, Site Agroparc
84914 Avignon Cedex 9, France

En vente

INRA Editions, RD 10
78026 Versailles Cedex, France
email : INRA-Editions@versailles.inra.fr

Avant propos

La parution de cet ouvrage traduit l'aboutissement d'une génération de travaux de recherche, initiés au sein de l'INRA vers le milieu des années 90, et qui correspond à un tournant méthodologique important dans l'approche des relations entre agriculture et environnement. Ce tournant concerne au premier chef le mode d'appréhension de l'espace dans l'analyse des processus écologiques et de leurs interactions avec les systèmes de culture.

Jusqu'alors l'espace était avant tout considéré comme source d'hétérogénéité, qu'il fallait caractériser et prendre en compte, pour pouvoir transposer et généraliser les références acquises localement. D'où l'attention accordée de longue date, dans la recherche agronomique, à la cartographie, aux référentiels et bases de données géoréférencés, aux problèmes de changement d'échelle, aux statistiques spatiales. Cette conception additive de l'espace, vu comme une mosaïque de stations ou de parcelles, a montré ses insuffisances dès les premières confrontations avec les problèmes de ruissellement, d'érosion des sols et de qualité des eaux superficielles, vers la fin des années 80.

Désormais, l'espace est aussi et surtout appréhendé comme support et moteur de processus spatiaux résultant d'interactions entre sites différents. Ces interactions ont dans de nombreux cas une influence déterminante, aussi bien pour l'appréhension du fonctionnement des écosystèmes, que vis-à-vis des nuisances ou pollutions, et c'est alors de leur maîtrise que dépend la gestion durable de l'espace rural.

Cette réévaluation qualitative du rôle de l'espace et des processus spatiaux a de multiples et profondes implications méthodologiques, dont cet ouvrage donne un aperçu diversifié. Il implique le recours à une modélisation plus sophistiquée. Il implique aussi une attention beaucoup plus grande portée au choix du niveau d'organisation spatiale dans les recherches agri-environnementales : selon les différentes entités spatiales prises en compte, la hiérarchie voire même la nature des processus mis en jeu peuvent être bouleversées.

Compte tenu de l'ampleur des investissements nécessaires en compétences et en dispositifs expérimentaux, on aurait pu considérer comme raisonnable que la recherche agronomique se tienne à l'écart d'un tel défi, et n'aborde les problématiques environnementales qu'en se focalisant sur des phénomènes à faible composante spatiale. On s'en serait remis à d'autres communautés ou organismes pour l'étude d'une large part des problèmes d'environnement, notamment tous ceux liés à l'hydrologie superficielle, quitte à leur fournir certaines des « fonctions locales » dont ils auraient eu besoin.

A la lecture de cet ouvrage, on se félicite que cette option « raisonnable » n'ait pas été retenue. Elle aurait inmanquablement retardé la prise en charge des problèmes d'environnement en agriculture. Mais par dessus tout, elle aurait privé la recherche en environnement d'un apport original et créatif, particulièrement bien illustré dans les pages qui suivent : l'analyse des interactions entre les structures spatiales « naturelles » - topographiques, géomorphologiques et autres - et celles liées à l'activité agricole elle-même. Pour le non-agronome, les milieux cultivés ou exploités peuvent apparaître comme un « patchwork » inextricable, parsemé d'irrégularités et de discontinuités plus ou moins erratiques, et finalement impropre à la compréhension des processus. Les auteurs des travaux réunis dans cet ouvrage montrent au contraire qu'il est possible de donner des structures spatiales agraires une lecture compréhensible et cohérente, si on les relie à leurs déterminismes biotechniques et technico-économiques. Dès lors, les espaces occupés ou marqués par l'agriculture peuvent constituer des situations expérimentales intéressantes, qui finalement permettent d'analyser les processus environnementaux de façon au moins aussi performante que dans des milieux moins anthropisés.

Aujourd'hui encore, l'approche spatiale des processus reste un maillon faible qui doit faire l'objet d'une attention privilégiée. Mais sa nécessité n'est plus discutée dans la communauté agronomique. Il n'en est que plus légitime de rappeler le rôle initiateur qu'ont joué, dans une ambiance alors beaucoup plus sceptique, les animateurs de l'Action Incitative « ECOSPACE », aujourd'hui éditeurs de cet ouvrage. Il est non moins légitime, pour terminer, d'évoquer la mémoire de Jean Mamy, alors Directeur Scientifique du secteur Environnement Physique et Agronomie à l'INRA qui a apporté son soutien à ce programme et permis son lancement. C'est grâce à son discernement qu'ont pu démarrer la majeure partie des travaux réunis ci-après.

Jean BOIFFIN,
INRA, Directeur Scientifique
Agriculture, Activités, Territoires.

Sommaire

Partie 1. Processus d'érosion dans les bassins-versants

- Rôle du découpage parcellaire dans la maîtrise du ruissellement érosif : les leçons d'une étude comparée de situations 9
F. Papy
- L'érosion en rigoles dans les coteaux du Sud-Ouest 13
J.-F. Bruno et D. Fox
- Dynamique du ruissellement et de l'érosion diffuse : caractérisation des états de surface des parcelles agricoles et intégration à l'échelle du bassin-versant 27
Y. Le Bissonnais et P. Martin
- Intégration des pratiques agricoles dans la modélisation du ruissellement et de l'érosion des sols : les modèles LISEM et STREAM 43
B. Ludwig, Y. Le Bissonnais, V. Souchère, O. Cerdan et V. Jetten

Partie 2. Concentration en herbicide des réseaux hydrographiques

- Choix de pratique culturale en présence d'incitations à la réduction des émissions d'herbicides : une simulation en milieu viticole méditerranéen 65
P. Rio, F. Causeret, P. Andrieux, C. Dejean, E. Frot et X. Louchard
- Essai de couplage d'un modèle hydrologique et d'un modèle agro-économique en vue d'analyser l'impact de mesures d'orientation de la viticulture méridionale sur la qualité des eaux à l'exutoire d'un bassin-versant viticole 79
P. Lagacherie, X. Louchart, R. Moussa, P. Rio, E. Frot, S. Le Forner, P. Andrieux et M. Voltz

Partie 3. Pollution nitrique des eaux et localisation des cultures

- Modélisation de l'effet de l'organisation spatiale des systèmes de cultures sur les fuites d'azote à l'exutoire des bassins-versants 99
V. Beaujouan, P. Durand, L. Ruiz, P. Cellier et S. Combo

Simulation de l'impact de différents scénarios agronomiques sur les pertes de nitrate à l'échelle d'un bassin hydrologique <i>N. Beaudoin, V. Parnaudeau, B. Mary, D. Makowski et J.-M. Meynard</i>	117
Modélisation spatiale à l'échelle parcellaire des effets de la variabilité des sols et des pratiques culturales sur la pollution nitrique agricole <i>B. Nicoullaud, A. Couturier, N. Beaudoin, B. Mary, C. Coutadeur et D. King</i>	143
Partie 4. Comportement d'espèces invasives et flux de gènes	
Un modèle démographique pour l'étude d'une espèce colonisatrice, le Cerfeuil doré <i>Chaerophyllum aureum</i> <i>M. Jarry et D. Magda</i>	165
Conséquences des pratiques agricoles extensives sur la structuration des paysages : exemple de l'invasion des prairies naturelles d'une vallée pyrénéenne par le cerfeuil, <i>Chaerophyllum aureum</i> L. <i>J.F. Gonnet et D. Magda</i>	179
GeneSys-Colza : un modèle des effets à moyen et long terme des systèmes de culture sur les flux de gènes entre champs de colza et repousses dans un espace agricole <i>N. Colbach, J.-M. Meynard, C. Clermont-Dauphin, et A. Messéan</i>	193
Partie 5. Embroussaillage et pratiques d'élevage	
Embroussaillage des parcours et pratiques pastorales dans les montagnes sèches du Sud de la France (Causse Méjan, Lozère) <i>P.-L. Osty</i>	219
Embroussaillage des parcours : processus biologiques de la régénération du buis et patrons locaux de répartition spatiale <i>O. Rousset, J. Chadæuf, J. Lepart et P. Monestiez</i>	225
Modèle d'embroussaillage par le buis et hiérarchie des différents paramètres de la diffusion <i>J. Chadæuf, I. Duvernoy, O. Rousset, S. Lardon, P. Triboulet, J. Lepart et P.-L. Osty</i>	241
Observation et simulation de la progression du buis entre 1948 et 1989 : analyse critique <i>S. Lardon, P. Triboulet, J. Chadæuf, I. Duvernoy, J. Lepart, P. Monestiez, P.-L. Osty et O. Rousset</i>	259

Partie 6. Structures paysagères et impacts environnementaux	
Analyse des paysages agricoles : définition d'indicateurs pour la reconnaissance de structures spatiales sur images satellitaires <i>J. Bachacou, F. Le Ber et L. Mangelinck</i>	279
Influence des cultures sur les variables climatiques <i>D. Courault, A. Oliosio, J.-P. Lagouarde, P. Monestiez et D. Allard</i>	303
Impact des variations climatiques locales induites par les cultures sur les rendements et la gestion des conduites <i>D. Courault, F. Garcia, M.-H. Chatelain, D. Leenhardt et F. Ruget</i>	321
Conception de bassins-versants virtuels : vers un outil pour l'étude de l'influence de l'organisation spatiale de l'activité agricole et du milieu physique sur les flux d'azote dans les bassins-versants <i>L. Ruiz, P. Aurousseau, J. Baudry, V. Beaujouan, P. Cellier, P. Curmi, P. Durand, C. Gascuel-Odoux, P. Leterme, J.-L. Peyraud, C. Thenail et C. Walter</i>	337
Liste des auteurs	355

Partie 1

Processus d'érosion dans les bassins-versants

Rôle du découpage parcellaire dans la maîtrise du ruissellement érosif : les leçons d'une étude comparée de situations

F. PAPHY

Cette note et les trois articles qui la suivent présentent les résultats d'une même opération de recherche intitulée : « Rôle des organisations spatiales et temporelles des cultures sur les phénomènes d'érosion hydrique ». Cette opération a été conduite dans deux situations érosives (le Pays de Caux et le Lauragais), afin de les comparer. Chacun des trois articles qui suivent ne traite que d'une de ces situations. La courte note qui leur sert de chapeau vise à valoriser la comparaison des situations autour d'une question : le rôle du découpage parcellaire dans la maîtrise du ruissellement érosif.

L'augmentation de taille des parcelles est une des tendances forte de l'agriculture au cours des dernières décennies. Elle traduit la volonté d'augmenter la productivité du travail par l'utilisation de matériels aux dimensions de plus en plus grandes : en grande culture par exemple, l'agriculteur cherche souvent à adapter la taille de ses parcelles à la capacité du réservoir de son pulvérisateur. L'accroissement de taille des parcelles présente cependant des inconvénients (Baudry & Papy, 2001). Elle augmente, en particulier, les risques d'érosion et de sédimentation des matériaux terreux en dehors du territoire agricole, dégâts coûteux à réparer et mal supportés par la société. Cependant, selon les situations morpho-pédologiques et climatiques, les risques sont plus ou moins forts et les principes de découpage des parcelles pour les réduire diffèrent. C'est ce que nous allons développer en comparant les deux régions d'étude, le Pays de Caux et le Lauragais, à partir des résultats qui figurent dans les articles suivants.

Ces deux régions se distinguent par les systèmes érosifs qui s'y développent. Nous appelons système érosif une combinaison donnée de processus élémentaires de détachement de la terre qui se traduit par des formes érosives spécifiques (Auzet *et al.*, 1990). Trois systèmes érosifs dominant dans les deux situations étudiées. Dans l'érosion diffuse (Le Bissonnais & Martin, cet ouvrage), le détachement des particules est dû aux conditions de contact entre les agrégats de sol et l'eau (Le Bissonnais, 1988), tandis que le ruissellement qui reste diffus est capable de transporter les particules arrachées, mais pas d'initier une incision. L'érosion de versant en rigoles et interrigoles (Bruno & Fox, cet ouvrage) associe deux mécanismes de détachement et transport. La pente forte donne au ruissellement une vitesse

suffisante pour lui permettre d'inciser le sol selon des lignes de moindre résistance du haut en bas d'un versant (Rauws, 1987). On parle d'érosion linéaire en rigoles ou ravines, selon la taille des incisions. Ces dernières constituent ainsi des zones de départ de terre, mais elles sont aussi un réseau de transfert vers l'aval de particules, détachées des interrigoles et transportées jusqu'à elles par ruissellement diffus et par projection due au choc des gouttes de pluie. Enfin, dans le cas de l'érosion par ruissellement concentré (Ludwig *et al.*, cet ouvrage), la morphologie de petit bassin-versant d'ordre zéro (bassin-versant à régime non permanent), favorise la concentration du ruissellement. Ce dernier acquiert dans le talweg une force tractrice suffisante pour l'inciser et créer des rigoles et des ravines (Spomer & Hjelmfelt, 1986 ; Boiffin *et al.*, 1988).

Dans le Lauragais (Bruno & Fox, cet ouvrage), la structure des sols de terrefort est stable. La battance ne s'y développe que sous les pluies de forte intensité qui surviennent au printemps sous forme orageuse. Il en résulte une différence de comportement des cultures d'hiver et de printemps. Les premières ont le temps de développer un couvert végétal suffisamment efficace pour protéger le sol, le moment venu, contre l'effet des pluies orageuses de printemps. Les secondes, par contre, tant que le sol est peu couvert, sous l'effet des pluies orageuses génèrent du ruissellement. Tout au sommet du versant, ce dernier produit de l'érosion diffuse, mais, dès que, grâce à la pente qui est forte (de 10 à 20 %), la vitesse de l'eau devient suffisante pour inciser le sol, se développe un système d'érosion en rigoles et interrigoles (Bruno & Fox, cet ouvrage, photo 1 et fig. 3).

Dans le Pays de Caux (Le Bissonnais & Martin, cet ouvrage ; Ludwig *et al.*, cet ouvrage), la texture du sol (limon sableux moyen sableux) et la faible teneur en matière organique (1,5 %) expliquent sa grande sensibilité à la battance. Des pluies variant de 60 à 100 mm, selon que les événements pluvieux sont ou non interrompus de périodes de dessiccation, suffisent, même avec de faibles intensités, à faire passer un état fragmentaire de lit de semence au stade ultime de dégradation : le faciès de croûte sédimentaire qui confère au sol une très faible infiltrabilité, de l'ordre de 1 mm/h (Papy & Boiffin, 1989). Sur une surface très dégradée, surtout si la pluie est peu intense, l'eau qui ruisselle sur les versants est peu chargée, car, faute de pente (pente < 5 %), la vitesse de l'eau n'est pas suffisante pour inciser le sol. Elle ne le devient que dans les talwegs secs des petits bassins-versants élémentaires, parfois dans les dérayures. Dans un tel cas de figure, seule existe l'érosion par ruissellement concentré (voir fig. 3 de Ludwig *et al.*, cet ouvrage). Mais, si des pluies suffisamment intenses arrivent avant que la surface du sol n'ait été totalement dégradée, le ruissellement détache des particules et de l'érosion diffuse se développe sur les versants. Deux systèmes érosifs se distribuent alors dans l'espace : l'érosion diffuse sur les versants et l'érosion linéaire par concentration du ruissellement dans les talwegs d'ordre zéro et dans certains motifs agraires comme les dérayures.

Ainsi, les deux situations étudiées sont faites d'une combinaison de systèmes érosifs qui ne sont pas localisés de façon quelconque dans l'espace. Le long de la pente, à partir de la ligne de partage des eaux, on rencontre d'abord une zone d'érosion diffuse, puis à un certain niveau (qui est pratiquement constant pour une situation donnée) apparaît l'érosion linéaire : en lignes parallèles rapprochées dans le cas du Lauragais, en réseau linéaire dans les axes de concentration en Pays de Caux. À partir du sommet, en changeant d'échelle de perception des phénomènes érosifs, on change de système. Mais la différence essentielle entre les deux régions réside dans l'étendue de la zone qui ne peut être soumise qu'à de l'érosion diffuse : elle est limitée à 10 ou 20 m à partir de la ligne de crête en Lauragais, elle se développe sur l'ensemble de l'impluvium, constitué de la tête de bassin et des versants en Pays de Caux. Cette différence est importante pour établir, dans chaque situation, les principes d'un

découpage des parcelles qui permette de réduire les risques érosifs. Certains des résultats contenus dans les articles qui suivent nous permettent d'établir ces principes.

La figure 5 de Bruno & Fox (cet ouvrage) montre qu'en Lauragais, l'érosion (estimée en m³ érodés par hectare) croît quand augmente la longueur de pente cumulée à partir du sommet de versant. Certes, étant donné la morphologie des coteaux, en un point du versant, la longueur de pente cumulée à partir du sommet et l'inclinaison sont corrélées. Aussi est-il difficile de préciser la part de l'un ou l'autre facteur dans l'accentuation du taux d'érosion en allant vers le bas. Toujours est-il qu'une bonne façon de réduire l'érosion, consiste à créer une limite de parcelle à flanc de versant (photo 3 de Bruno & Fox, cet ouvrage). Lorsque la pente est forte au point de ne permettre le travail que dans son sens, il faut choisir les limites de parcelles au niveau de replats pour permettre aux tracteurs de faire demi-tour. Au besoin, des aménagements sont à envisager.

En Pays de Caux, où les pentes sont plus douces, selon Le Bissonnais & Martin (cet ouvrage), sur les versants soumis à de l'érosion diffuse, le coefficient de ruissellement ainsi que la perte totale en terre diminuent généralement quand la surface concernée par la mesure augmente. Sont ainsi confirmés des résultats obtenus par d'autres (Dunne *et al.*, 1991). Dans le relief de vallons mous du Pays de Caux existent suffisamment de replats pour intercepter des sédiments et augmenter l'infiltration. Sur la base de ces résultats, on pourrait déduire que l'agrandissement des parcelles n'accroît pas les risques d'érosion. Cependant, dans ce type de relief, à partir d'une certaine taille, la parcelle englobe un talweg dans lequel se concentre le ruissellement. Un nouveau système érosif se déclenche qui accroît brusquement les risques de départ de terre hors de la parcelle. Plus l'impluvium qui alimente un talweg est grand et dans un même état de surface dégradé, plus important est le risque d'érosion dans le réseau des lignes de concentration (Ludwig, 1992). Et, comme le montre la figure 8 de Ludwig *et al.* (cet ouvrage), pour une valeur donnée de superficie dégradée dans un impluvium, plus les surfaces dégradées sont concentrées dans l'espace, plus les risques d'érosion concentrée sont élevés. S'il n'est pas grave de réaliser un agrandissement de parcelle qui s'établirait sur deux bassins-versants contigus, il faut éviter qu'une même parcelle englobe tout l'impluvium d'un petit bassin-versant. Dans ce type de système érosif le découpage des parcelles doit s'adapter au réseau de lignes de concentration. Dans la mesure du possible, le talweg devrait être pris comme limite de parcelle et, si possible, enherbé. Dans ces situations de faible pente, le sens du travail du sol détermine beaucoup le sens des écoulements (Souchère, 1995). Pour réduire l'érosion dans les axes de concentration, on a intérêt à pratiquer un sens du travail parallèle à l'axe du talweg, afin de guider le ruissellement le plus en aval possible, et donc à découper les parcelles en conséquence.

Le découpage des parcelles peut être une mesure efficace de maîtrise des risques d'érosion qui devrait pouvoir entrer, le cas échéant, dans les contrats territoriaux d'exploitation de la nouvelle loi d'orientation agricole. Mais, alors que ce dispositif législatif peut suffire dans le cas du Lauragais où il s'agit de découper un versant exploité par un même agriculteur, dans le Pays de Caux le découpage parcellaire doit être repensé de façon plus collective sur un territoire plus étendu comprenant des petits bassins-versants contigus. Les modèles de simulation présentés par Ludwig *et al.* (cet ouvrage) sont utiles pour aider à raisonner de nouvelles configurations de parcellaire.

Références

- AUZET A. V., BOIFFIN J., PAPY F., MAUCORPS J., OUVRY J.F., 1990. An Approach to the Assessment of Erosion Forms and Erosion Risks on Agricultural Land in the Northern Paris Basin, France. *In*: Boardman J., Dearing J.A., Forster I.B.L. (Eds), *Soil Erosion on Agricultural Land*, John Wiley and Sons Publishers, p. 383-400.
- BAUDRY J., PAPY F., 2001. The role of landscape heterogeneity in the sustainability of cropping systems. *In*: Nösberger J., Geiger H.H., Struik P.C. (Eds) *Crop Sci.: Progress and Prospect*, Cabi Publishing, Oxon, p. 243-259.
- BOIFFIN J., PAPY F., EIMBERCK M., 1988. Influence des systèmes de culture sur les risques d'érosion par ruissellement concentré. I. Analyse des conditions de déclenchement de l'érosion. *Agronomie*, 8(8) 663-673.
- DUNNE T., ZHANG W., AUBRY B.F., 1991. Effects of rainfall, vegetation and microtopography on infiltration and runoff. *Water Resour. Res.*, 27, 2271-2285.
- LE BISSONNAIS Y., 1988. *Analyse des mécanismes de désagrégation et de mobilisation des particules de terre sous l'action des pluies*. Thèse, Univ. d'Orléans.
- LUDWIG B., 1992. *L'érosion par ruissellement concentré du Nord du Bassin parisien : analyse de la variabilité des symptômes d'érosion à l'échelle du bassin versant élémentaire*. Thèse Univ. Louis Pasteur, Strasbourg.
- PAPY F., BOIFFIN J., 1989. The use of Farming Systems for Control of Runoff and Erosion. *Soil Technol. Ser.*, 1, 29-38.
- RAUWS G., 1987. The initiation of rills on plane beds of non-cohesive sediment. *In*: Bryan R. (Ed.), *Rill Erosion*, Catena Supplement 8, 108-118.
- SOUCHERE V., 1995. *Modélisation spatiale du ruissellement à des fins d'aménagement contre l'érosion de talweg*. Thèse, INA P-G, Paris
- SPOMER R.G., HJELMFELT A.T., 1986. Concentrated flow erosion on conventional and conservation tilled watersheds. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 29, 124-127.

L'érosion en rigoles dans les coteaux du Sud-Ouest

J.-F. BRUNO, D. FOX

Introduction

Dans les coteaux du Sud-Ouest de la région Midi-Pyrénées, l'érosion hydrique se manifeste essentiellement au printemps, sur les semis de cultures d'été, lorsque le sol est encore à nu. La structure des sols de terrefort est relativement stable, mais les précipitations orageuses de forte intensité, combinées aux fortes pentes et aux longueurs de pentes, produisent un ruissellement qui, dès la proximité du sommet, atteint une vitesse suffisante pour inciser le sol. Il se forme des rigoles dans l'axe des roues de tracteur et des empreintes d'outils. Il s'agit du système d'érosion de rigoles et interrigoles. Si la pluie est suffisamment intense pour engorger le lit de semences, ce dernier peut être entraîné ; dans ce cas, on est en présence d'une érosion diffuse en nappe. Là où le modelé des coteaux n'est pas régulier et présente des zones de concentration, on observe localement des ravines plus importantes. Ce phénomène peut être accentué par un sens du travail parallèle aux courbes de niveau qui concentre l'eau vers le talweg.

Objectif de l'étude

L'objectif de cette étude consiste à obtenir des références régionales sur les processus érosifs, afin de mettre en évidence les facteurs déclenchants du ruissellement. Deux axes principaux ont donc été poursuivis. Dans le premier, plusieurs facteurs ont été pris en compte afin de déterminer ceux qui sont prédominants dans l'érosion linéaire. Une prévention efficace doit obligatoirement passer par une bonne connaissance des processus érosifs qui doivent être mis en relation avec la fréquence de retour des événements orageux. Le deuxième axe s'est concentré sur les relations spatiales entre phénomènes d'érosion et caractéristiques des versants. L'inclinaison et la longueur de pente, ainsi que les propriétés des sols ont une disposition non aléatoire dans le paysage. Une compréhension de ces relations contribue à une stratégie adaptée aux conditions particulières du Lauragais.

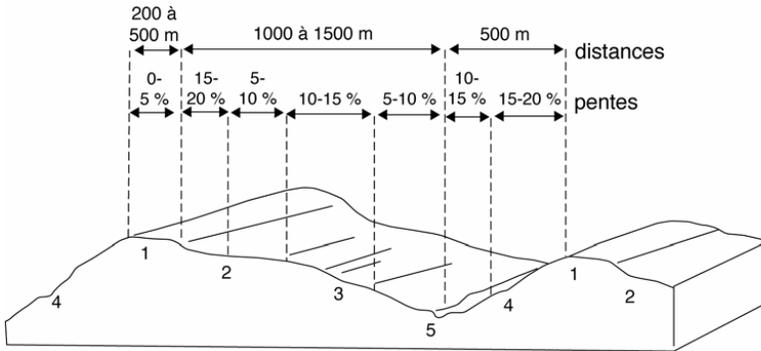
Caractéristiques des coteaux du Sud-Ouest de la région Midi-Pyrénées

Une géomorphologie très accidentée

Les coteaux molassiques du Sud-Ouest sont constitués de sols argilo-calcaires, appelés *terreforts*. Le modelé du terrefort s'est constitué au cours du quaternaire. Le résultat est un ensemble de croupes allongées en lanières et de collines dont les versants sont souvent dissymétriques (figure ci-dessous) ; les versants exposés au Nord et à l'Est sont longs, réguliers et de pente modérée, les versants exposés au Sud et à l'Ouest sont irréguliers, courts et de pente assez forte.

Le Lauragais, qui est notre région d'étude, est constitué d'un paysage vallonné, formé d'une succession de collines et de vallons. La topographie globale est peu accidentée à l'Est (amont du réseau hydrographique) mais devient plus marquée à l'Ouest. Les pentes des versants sont moyennes (10%) à fortes (>20%). L'altitude est faible et comprise entre 120 et 350 m.

La particularité du réseau hydrographique est qu'il n'est pas toujours pérenne. De nombreux chenaux ont été effacés lors de regroupements de parcelles et ils se reforment régulièrement dès l'apparition de fortes précipitations, en créant des ravines très érosives.



1 : replat sommital ; 2 : replat sous-sommital ; 3 : versant long à pente faible ;
4 : versant court à pente forte ; 5 : talweg

Une mosaïque de sols

La répartition des sols de terrefort dans l'espace est très hétérogène. Bien qu'ils soient à dominante argileuse, selon un transect amont/aval sur un versant, on va rencontrer différents types de sol :

- des sols lessivés limono-sablo-argileux, sensibles à la battance sur les croupes,
- des sols argileux avec des affleurements calcaires sur la plus grande pente,
- des sols de colluvions limono-argileux dans le bas de la pente.

La stabilité structurale des terreforts est variable selon la texture, mais en général ce sont des sols assez stables et relativement peu battants. Cependant, la faiblesse du taux de matière organique engendrée par le travail intensif du sol ne favorise pas la formation d'agrégats solides. Les risques d'érosion sur ce type de sols sont accrus par leur situation

topographique sur les versants raides et par la faible perméabilité de la molasse (Maurisse, 1996).

Des orages de printemps

Le climat de la région Midi-Pyrénées est de type océanique, subissant toutefois des influences méditerranéennes. Il se caractérise par des printemps pluvieux (averses orageuses) et par une relative sécheresse estivale. La pluviométrie annuelle peut atteindre 700 mm an⁻¹ dans le Lauragais. Les figures 1a et b nous montrent que la période critique pour l'érosion correspond aux orages¹ de mai et juin sur des sols nus. Les pluies dues aux orages peuvent être très abondantes et, surtout, de forte intensité. Par exemple, des orages de 125 mm h⁻¹ durant 15 mn et de 150 mm h⁻¹ durant 5 mn ont été enregistrés durant le mois de mai 1977 (Dressayre, 1986).

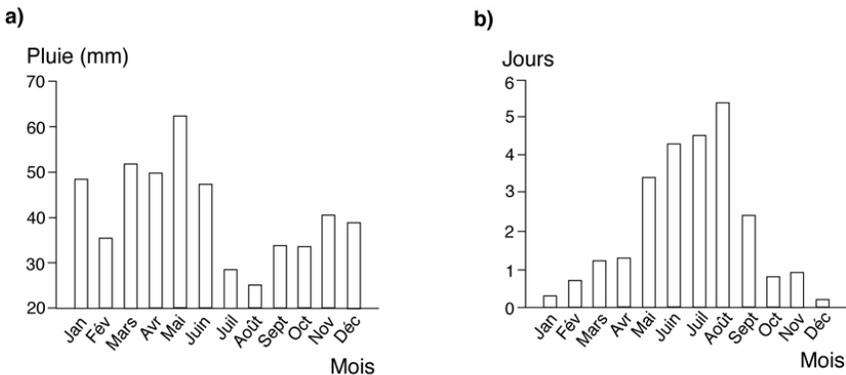


Figure 1. (a) Pluie médiane par mois (sur 30 ans); (b) nombre de jours d'orage par mois (sur 30 ans)

Une agriculture spécialisée

Une grande diversification selon les PRA² est une originalité de la région Midi-Pyrénées : grandes cultures, élevage bovins-lait/bovins-viande, ovins, volailles et palmipèdes, vins, fruits et légumes. Dans le Lauragais, jusque dans les années 1960, la polyculture-élevage était le système dominant. Des élevages de bovins lait et viande (veaux sous la mère) étaient présents dans de nombreuses exploitations. Aujourd'hui, dans les cantons limitrophes du Tarn, quelques élevages de veaux subsistent. Mais les grandes cultures ont remplacé les surfaces toujours en herbe, même sur les coteaux les plus pentus.

On rencontre donc principalement des exploitations de grandes cultures lesquelles, depuis la réforme de la Politique Agricole Commune, ont développé des cultures industrielles qui sont primées : soja, sorgho, colza, mais surtout tournesol. D'autre part, la région du Lauragais est classée « zone spécifique blé dur ». Elle bénéficie depuis 1993 d'une prime spéciale blé dur, cumulable avec la prime blé tendre (la Haute-Garonne fournit 17 % de la production de blé dur nationale). C'est le système actuel des primes compensatoires qui a provoqué l'augmentation des cultures d'été, avec pour conséquence la tendance pour de nombreux agriculteurs à un assolement biennal simplifié : blé dur/tournesol.

¹ Météo France enregistre les éclairs et coups de tonnerre à proximité d'une station, la pluie orageuse pouvant épargner la zone située à proximité immédiate de cette station. D'une manière générale, la probabilité pour que l'orage tombe dans un rayon de 50 km est quasiment certaine.

² Petite Région Agricole

Dans ce contexte, on constate une aggravation des dégâts érosifs depuis quelques décennies. Ils se manifestent régulièrement tous les ans, à la même période, et affectent les parcelles des agriculteurs et le domaine public. Une étude, réalisée par les Ministères de l'Environnement et de l'Agriculture en 1996, sur les coulées de boues liées à l'érosion des terres agricoles de 1985 à 1995, montre que le nombre de communes affectées est en nette progression depuis 1988. L'année 1993 a été la plus sinistrée avec 321 communes touchées en région Midi-Pyrénées. Ces dégâts représentent un coût important pour la collectivité, qu'il serait préférable d'utiliser pour la prévention plutôt que pour la remise en état du domaine public.

Données

Dans cette région où les orages sont très localisés, il n'est pas possible d'utiliser des placettes expérimentales : plusieurs années pourraient passer avant qu'un orage ne tombe sur le site. Il est donc nécessaire de choisir plusieurs sites distribués dans l'espace et d'effectuer les mesures d'érosion *a posteriori*. L'étude s'est réalisée en deux temps : au cours de la première campagne, nous avons sélectionné quatre sites, représentatifs de la variabilité rencontrée dans la région des coteaux, sur lesquels nous avons retenu plusieurs versants avec toute la gamme des cultures d'hiver et d'été. Cette première saison correspond à l'objectif d'identifier les processus principaux. Pour la deuxième campagne, le travail s'est recentré sur deux sites cultivés uniquement en tournesol, sur lesquels on a mesuré l'influence des paramètres pédologiques et topographiques, ceci afin de mieux cerner les relations spatiales sur lesquelles il serait possible d'agir dans une lutte anti-érosive.

L'érosion

Nous avons utilisé la méthode volumétrique de Ludwig (1992) pour estimer la quantité moyenne de matériaux décapés par les rigoles. Pour être prises en compte, les rigoles doivent avoir une taille minimum de 5 cm² et une longueur minimale de 10 m. Par segments de 5 à 10 m, on réalise des mesures moyennes de la largeur et de la profondeur pour obtenir le volume évidé. La somme de ces produits nous donne le volume total de terre arrachée que l'on ramène à l'hectare. Il ne s'agit pas de la quantité totale de terre exportée hors de la parcelle (beaucoup plus difficile à mesurer), mais du taux de creusement, qui reste un bon indicateur de l'importance du ruissellement.

Le comportement du sol

Des analyses de sols (granulométrie et matière organique) ont été réalisées sur chaque versant étudié, en prélevant chaque fois trois échantillons selon un transect amont/aval. Par ailleurs, sur les mêmes échantillons, des tests de stabilité structurale ont été réalisés à l'INRA d'Orléans, station de Sciences du Sol, selon la méthode Le Bissonnais et Le Souder (1995). En plus des mesures de stabilité structurale décrites ci-dessus, des mesures de conductivité hydraulique des croûtes de battance ont été faites sur les différents secteurs du versant.

L'évolution de l'état de surface a été suivie en utilisant la méthode de Ludwig (1992). Les caractéristiques relevées sont le faciès et la rugosité. Les notations sont réalisées à l'état initial et après chaque pluie de plus de 10 mm.

La pluie

Les relevés pluviométriques sont enregistrés par des stations de Météo France les plus proches des sites retenus lors de la première campagne. Pour la deuxième campagne, une station météo automatique a été installée sur le site unique.