

Effet de l'érosion aratoire sur le stockage du carbone au bassin versant du Vermeil (Sud Ouest de la France)

Effect of tillage erosion on carbon storage at the Vermeil watershed (South West France)

Jean Claude Revel, Maritxu Guiresse et Magalie Rouaud

ENSAT BP 107 Auzeville, 31326 Castanet Tolosan cedex : courriel :revel@flora.ensat.fr

Résumé.

Dans le Lauragais du Sud Ouest de la France, la roche molassique (s. l.), imperméable et tendre, a induit un réseau hydrographique très dense qui découpe la surface en une multiplicité de collines et de croupes. Sur l'ensemble de ces reliefs s'étaient développés des sols. La mise en culture a entraîné des remaniements importants principalement par érosion aratoire. Les crêtes, les sommets de parcelles et les bords de ravines de versant sont arasés, les fonds de vallon et les ravines sont comblées et marquent des zones d'accumulation.

Sur le bassin versant du Vermeil de 692 ha, il a été fait une cartographie précise qui a permis d'établir le bilan suivant en 10 siècles de culture (données historiques). $4\,206.10^3\text{ m}^3$ ont été arrachés sur 392 ha soit 57% de la surface avec une épaisseur moyenne tronquée de 1,08 m ; $3\,622.10^3\text{ m}^3$ ont été accumulés sur 246 ha soit 35 % de la surface avec une épaisseur moyenne de colluvions de 1,47 m. La différence entre les volumes décapés et accumulés est due à l'exportation par le Vermeil à l'erreur des mesures.

Dans les zones d'accumulation la matière organique enfouie n'est pas soumise à une minéralisation active. Sur les 692 ha il y a 23 310 t de Matière Organique stockée soit 106,3 t par ha de zone accumulée ou encore 33,7 t par ha rapporté à la surface totale du bassin. Les teneurs restent stabilisées autour de 0,7 % de Matière Organique.

Mots Clés : France, érosion aratoire, méthode volumétrique, étude historique, bilan décapage/accumulation.

Abstracts. In Lauragais, in South West France, the molasses rock has induced a very dense hydrographic network that has carved the surface into a multiplicity of hills and knolls. In the past the watersheds were carved by i) ancient gullies dating from Würms III and IV, ii) taluses that underlined the downhill limits of the plots, have been regularized. A slope is now occupied by a single plot with a convex, regular, concave or abrupt shape going uphill to downhill. Soils presenting a horizon of limestone accumulation, between 1.30 m and 1.80 m deep, developed over that relief with a few vertical masses above 2 m.

In the convex uphill part, the steep slopes show huge truncations on the sides and even bigger ones at the top (sometimes more than 2 m thick) and the gullies that have been filled up show a dark color and seem more organic. The sides with more gradual slopes usually show truncations at the top of the slopes of the old plots. There too the gullies have been filled up. In the downhill part the concave slope of the steep sides show a significant accumulation of colluvions (very often with brick fragments) which pushes the stream towards the bank

with a gradual slope cut by a small valley when the watershed is wide, both sides remain concave.

The filling up of the gullies (pathway for the water) and the truncation of the tops (zone with no erosion) could indicate that the main erosive agent is the tillage tool, hydric erosion playing a minor role.

In the Vermeil watershed covering 692 ha, a detailed cartography has been done. It led to the following results over 1à centuries of culture (historical data): 4206.10³ m³ have accumulated on 392 ha that is to say 57% of the surface and an average truncated depth of 1.08 m. 3622.10³ m³ have accumulated on 246 ha that is to say 35% of the surface and an average truncated depth of 1.47 m varying from 0.4 m in the gullies of the sides with gradual slopes to 8.75 m uphill. The difference between the truncated and accumulated volumes is due to the Vermeil runoffs and the possible measurement inaccuracies.

In the accumulation zones where buried organic matter is not subjected to an active mineralization phenomenon, the samples taken and the carbon dosage in average samples allowed an estimation of the stocks situated below the tillage horizon.

In the colluvions, 23,310 tons of stocked organic matter could be found, that is to say 106.3 t per ha of accumulated zone or 33.7 t per ha considering the total surface of the watershed. The contents varied only slightly from top to bottom of the samples showing a constant supply in materials with organic C and they were stable at around 0.7% of organic matter.

Key words : France, tillage erosion, volumetric method, historical studie, balance troncation/ accumulation

PROBLEMATIQUE

Le Terrefort toulousain situé dans le sud ouest de la France (fig.1) se développe dans un paysage de collines. La couverture pédologique présente une variabilité spatiale spectaculaire qui résulte de transport de matériaux par l'érosion hydrique et par l'érosion aratoire largement dominante. On se propose donc d'abord de présenter le milieu dans son évolution temporelle d'abord naturelle puis sous l'effet de l'homme. L'anthropisation et surtout l'érosion aratoire ont produit de grandes quantités de colluvions contenant du carbone. Après avoir présenté les méthodes d'estimation, des résultats seront donnés sur le bassin versant du Vermeil situé aux confins de l'Ariège et de la Haute Garonne.

Durant tout le Tertiaire, la zone de subsidence située au nord des Pyrénées a été comblée par les matériaux fins, la molasse, présentant toujours les bigarrures d'un pseudogley (Crouzel, 1957). La région se présente alors comme une immense plaine qui va être creusée pendant tout le Quaternaire par les grandes rivières montagnardes laissant de larges vallées à alluvions grossières. Sur le reste du territoire, l'érosion hydrique découpe la molasse imperméable et crée un réseau très dense de ruisseaux souvent non pérennes laissant des ensembles complexes de collines souvent dissymétriques (Taillefer, 1948). Le versant froid (Nord et Est) est en pente douce (< 12 %), le versant chaud (Sud et Ouest) en pente forte.

Au Würm III, les formes générales du relief étaient acquises, mais une phase d'érosion intense a provoqué le décapage de toute la couverture pédologique et surtout le creusement de profondes ravines de versant (Revel et Guirresse, 1998). Des sols bruns lessivés et des sols bruns calciques se sont développés depuis suivant un chronoséquence. Ces deux sols présentent un horizon d'accumulation du calcaire de 0,5 à 0,6 m d'épaisseur et qui débute vers 1,3 m de profondeur. En dessous de 1,8 m on retrouve encore des accumulations calcaires mais en faible densité (Revel, 1982).

La mise en culture au Moyen Age avec la généralisation du joug rigide et de la charrue versoir a complètement changé la distribution du mésorelief et de la couverture pédologique. On assiste à un transport de matériaux souvent au niveau du versant avec des zones préférentielles de décapage et des zones d'accumulation.

Les zones de décapage sont toujours : les sommets de versant surtout lorsque la pente est convexe ou mieux biconvexe ; les sommets de parcelles ; les versants en pente forte mais régulière ; les zones convexes des versants en pente faible. Généralement, les zones où l'érosion est la plus forte, avec des troncatures passant sous l'horizon K se trouvent toujours en sommets convexes, là où l'érosion hydrique devrait être la plus faible puisqu'il n'y a pas d'amont fournissant de l'eau.

Les zones d'accumulations se remarquent au niveau des talus même sur les pentes les plus fortes, dans les ravines de versant maintenant comblées et au fond des vallons surtout du côté du versant en pente raide. Ces colluvions sont caractérisées par un mollusque terrestre actuel : *Pomatia elegans* et qui peut se trouver à plusieurs mètres de profondeur souvent associée à des débris de briques. Elles sont toujours localisées dans les zones où l'érosion hydrique devrait être la plus intense (maximum de pente, ravines, vallons). Cette situation a incité

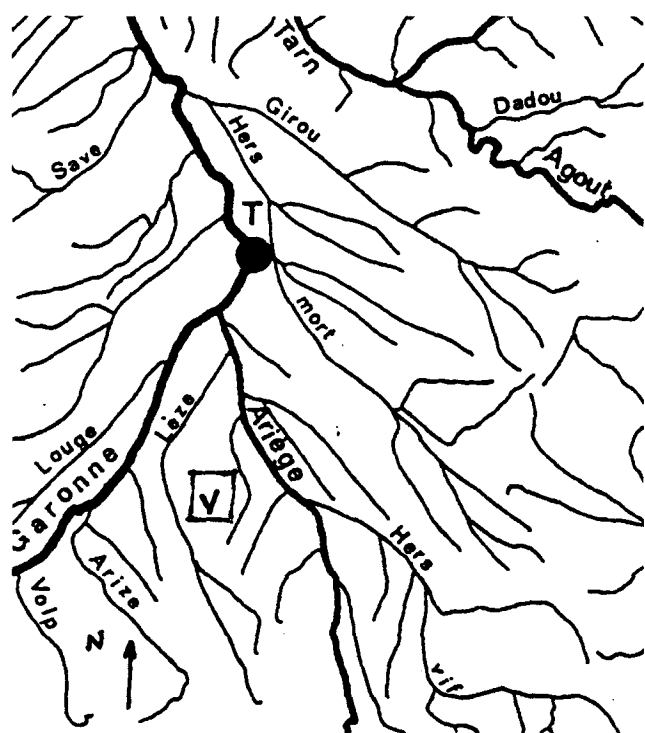


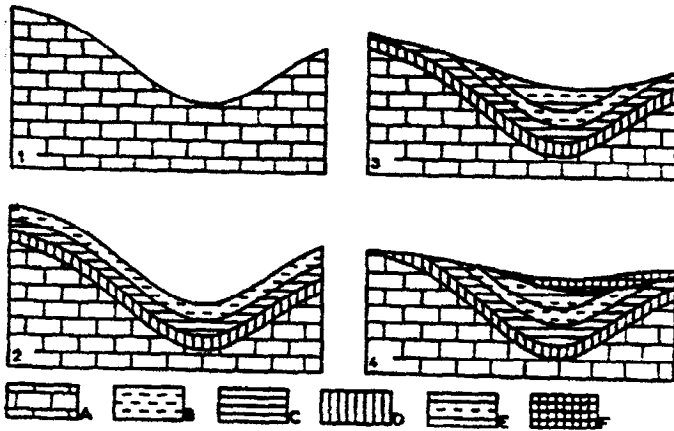
Figure 1 : Situation de la zone d'étude

Revel et Rouaud (1985), puis Rouaud (1987) à proposer un nouvel agent de l'érosion : l'outil de travail du sol. Ces auteurs, puis Revel et Guirresse (1995) proposent un modèle explicatif et prévisionnel d'évolution des profils pédologiques et du modèle par l'effet du travail du sol par le labour en ligne de niveau en versant vers le bas, comme cela était pratiqué pendant des siècles avec la traction animale.

En 1989, puis en 1991, Revel et al. (a et b), montrent que dans ces régions, le travail du sol avec la traction mécanique dans le sens de la pente accélère les processus d'érosion aratoire avec accumulation importante de matériaux en bas de parcelle et (ou) de versant. Ces travaux sont repris par quelques autres équipes qui par des méthodes très différentes confirment l'importance du phénomène (Lobb et al., 1994 ; Quine et

al., 1993 ; Lindstrom, 1990 ; Gover et al., 1994 ; Kachanoski et al., 1992). Enfin, en 2001

Santiago Romero montre que l'érodibilité de l'outil dépend de sa forme, du sens et de la vitesse de passage. L'érodabilité du sol dépend principalement de la pente et surtout de la courbure de celle-ci.



Ce phénomène existe partout et peut être généralisé à toutes les régions agricoles. Dans le processus de formation des colluvions, les horizons organiques des sols de l'amont se retrouvent enfouis en aval ou au fond des ravines. Ensuite, les sols tronqués de l'amont sont sans cesse enrichis

Fig.2 Comblement des ravines par l'érosion aratoire

en matière organique par les résidus de récolte, transportés et stockés en bas de pente avec bien probablement une part due à l'érosion hydrique. On se propose d'estimer la quantité de carbone stockée dans les colluvions.

MATERIEL ET METHODE

L'étude a porté sur le bassin versant du Vermeil, entièrement inscrit dans la zone des coteaux molassiques et situé à 45 km au sud de Toulouse (43°, 17' N, 1° 24' O). Par la Réjolle, il rejoint la Lèze, affluent de l'Ariège. L'altitude moyenne est de 260 m avec une dénivelée maximale de 110 m. La dissymétrie est marquée avec des pentes de 5 à 15 % en versant exposé au nord et jusqu'à 35 % pour les pentes exposées au sud.

La pluviosité moyenne annuelle sur 50 ans est de 750 mm mais on a pu mesurer en année exceptionnelle 1 000 mm en 170 jours. L'ensemble du bassin a été défriché à partir des années 968 lorsque l'abbaye de Lézat sur Lèze a distribué la terre (Ourliac, 1963). Il y a donc environ 1 000 ans que les phénomènes de remaniement ont débuté.

Le ruisseau a été instrumenté pour suivre les débits liquides et solides par l'APC qui a suivi le bassin durant une seule année hydrologiquement moyenne.

A partir d'une étude de terrain et de photos aériennes multidates, il a été possible d'établir une carte pédopaysagère où à une unité physiographique sont associés un ou plusieurs sols et formations superficielles (Dubucq, 1989) (Fig. 3). On rencontre :

- des régosols et des sols bruns calcaires résultant d'une troncature importante des sols bruns calciques et bruns lessivés ainsi que des colluvions calcaires de pente (au niveau des talus dominant sur les versants courts ;
- des sols bruns calciques et lessivés, souvent tronqués dominants sur les versants longs ;
- des sols bruns calciques colluviaux dans les ravines de versant et les fonds de vallon.

- Estimation des volumes décapés sur les versants et les crêtes

Les horizons K (Bca) et Cca vont être utilisés comme niveau repère. Ils débutent dans les sols intacts vers 1,30 à 1,50 m. Dans les sols bruns calcaires résultant du mélange par le

labour de la base de l'horizon BT et du sommet de l'horizon K, on comptera une épaisseur tronquée de 1,3 m. Dans les régosols, par défaut l'épaisseur tronquée sera estimée à 1,5 m. Connaissant la surface occupée par ces sols, le volume décapé peut être estimé.

Une campagne de sondage a permis de déterminer la profondeur de l'horizon K dans les sols où le décapage a eu lieu sans toutefois qu'apparaisse le calcaire en surface. Par différence à 1,3 m, on obtient l'épaisseur tronquée. Elle atteint 0,50 m pour les colluvions calcaires et 0,70 m pour les sols brun tronqués.

Les sols bruns calciques et lessivés monogéniques présents sur 8% de la surface du bassin ne montrent ni décapage ni accumulation

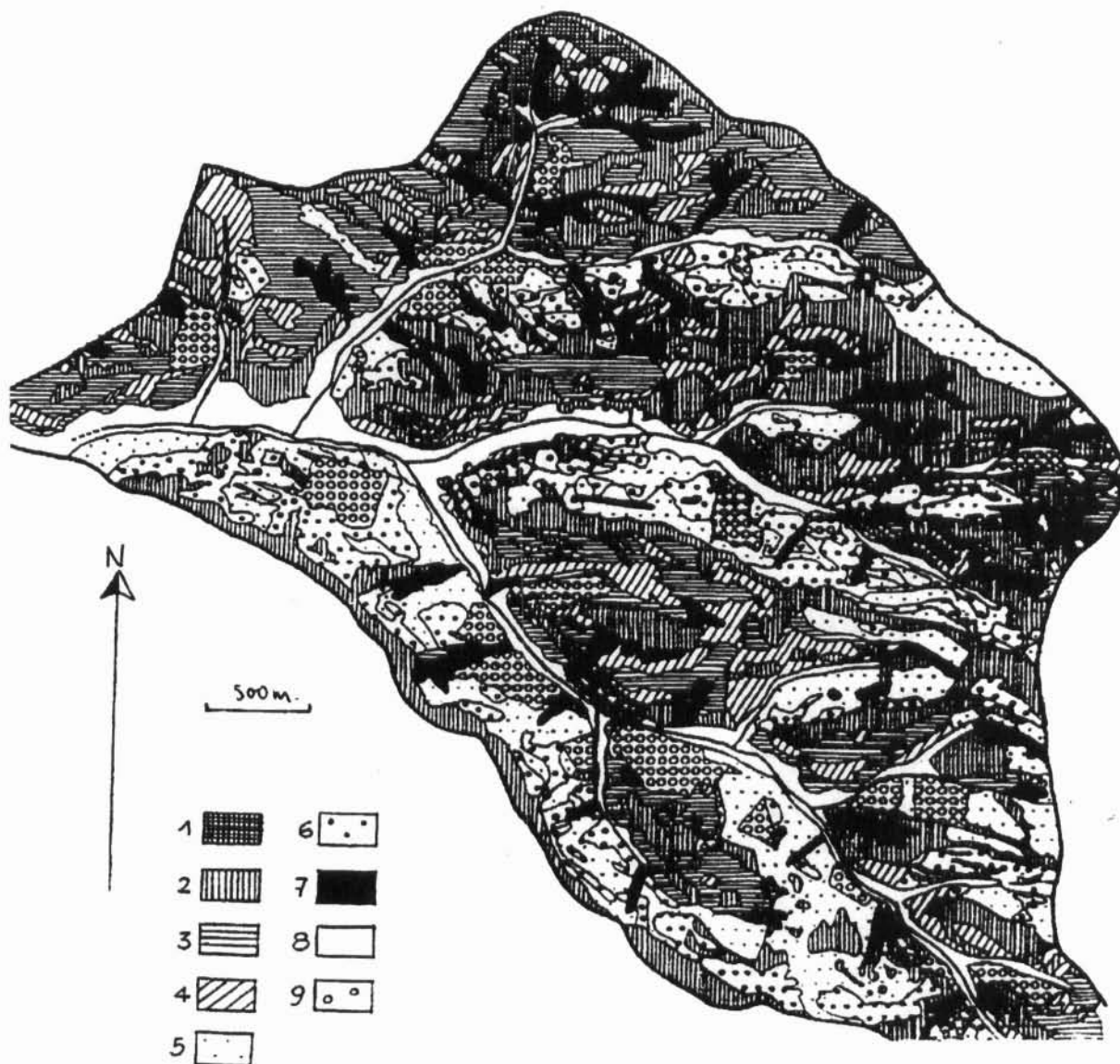


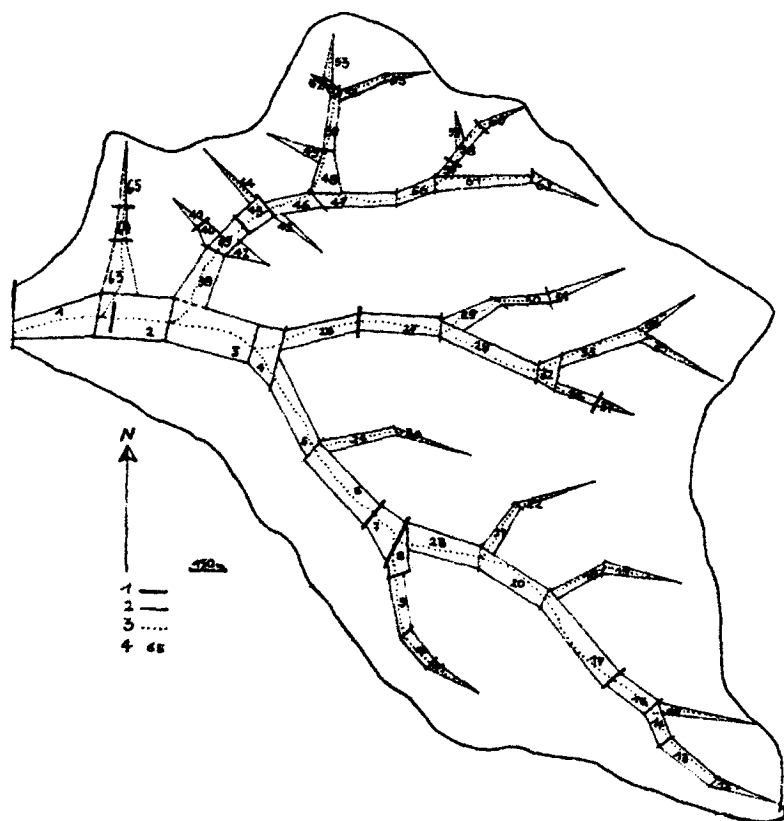
Fig.3 Carte des sols et des formations superficielles du bassin versant du Vermeil. 1 : rendzines ; 2 : régosols ; 3 : sols calcaires ; 4 : colluvions calcaires de pente ; 5 : sols bruns calciques et bruns lessivés monogéniques ; 6 : sols bruns calciques remaniés ; 7 : anciennes ravines comblées ; 8 : fonds de vallons ; 9 : forêts.

- Estimation des volumes accumulés dans les ravines de versant

L'horizon K reste le niveau repère et tous les matériaux situés à plus de 1,3 m au dessus sont considérés comme étant accumulés. Lorsque cet horizon est absent, on considérera que les 1,3 m de colluvions au-dessus de la roche mère représentent le sol qui aurait du être présent et qui a été décapé avant le comblement.

Dans les ravines, des transects sont effectués en faisant des sondages perpendiculairement à l'axe de la ravine et à 5 m les uns des autres. la moyenne des épaisseurs de matériaux accumulés correspondra à la profondeur moyenne du transect. Deux à quatre transects sont effectués pour chaque ravine suivant son importance. La moyenne des épaisseurs constitue l'épaisseur moyenne de la ravine. En pondérant l'épaisseur moyenne d'une ravine par sa surface, on peut retrouver l'épaisseur moyenne du comblement pour l'ensemble des ravines.

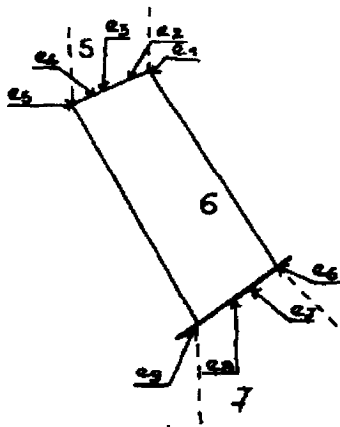
- Estimation des volumes accumulés au fond des vallons



Le fond plat des vallons est découpé en une série d'unités élémentaires de formes géométriques régulières obtenues par lissage des bords du vallon (Fig. 4). Deux côtés de ces figures (un seul côté pour les triangles de l'amont des vallons) sont des transects le plus perpendiculaire au cours du ruisseau. On effectue ensuite une série de sondages le long de ces transects (33) et dont l'espacement varie avec la largeur du vallon (de 5 à 15 m). Le repère est ici constitué par la remontée d'un matériau caractérisé par des bigarrures associées à du calcaire. En effet, au cours du transport des matériaux par érosion, les

Fig. 4 Découpage des fonds de vallons en unités élémentaires

bigarrures sont détruites. Donc, leur présence indique un matériau en place. Mais elles se retrouvent dans les horizons S décarbonatés des sols bruns calciques. La présence de CaCO_3 assure que l'on se trouve alors au moins à la base d'un sol enterré, entier ou tronqué. En enlevant 1,3 m à l'épaisseur du sondage, on obtient l'épaisseur de la colluvion et l'on peut reconstituer la topographie avant le colluvionnement.



Les surfaces des transects S_i limitées par la topographie actuelle et l'ancienne topographie permettent alors de calculer le volume des matériaux. Une figure géométrique étant limitée par deux transects de surface S_{ij} et S_{ik} et séparées par une distance h_i , le volume de colluvions sera : $(S_{ij} + S_{ik})/2 \times h_i$. A l'extrémité des vallons (triangles) $S_{ik} = 0$. En faisant la somme de tous les volumes élémentaires, il est possible de calculer le volume total de colluvion.

Un échantillon de 100 g est prélevé à 0,5 m de profondeur, puis tous les mètres. Ces échantillons sont mélangés pour un même sondage et quartés. On détermine par la méthode Anne le carbone organique présent pour un sondage. En faisant la moyenne arithmétique de tous les sondages des transects d'une

Fig.5 Emplacement des sondages dans une unité élémentaire

unité élémentaire, on obtient la valeur moyenne de cette même unité élémentaire et donc en tenant compte de la densité apparente (estimée à 1,5) on obtient le tonnage de C stocké.

RESULTATS

1 – Bilan de l'érosion

Avant de discuter les quantités de C stocké, il convient de faire un bilan de l'érosion. Les résultats sont donnés dans les tableaux suivants :

Tableau I. Volume des matériaux décapés

Sols ou formations	Surface (m ²)	% de la surface totale du bassin	Epaisseur décapée (m)	Volume (m ³)
Régosol	1 091 200	15,77	1,50	1 636 800
Sols calcaires	1 091 100	15,76	1,30	1 418 430
Colluvions calcaires de pente	334 500	04,83	0,50	167 250
Sols bruns calciques et lessivés rajeunis par tronçature	1 405 500	20,30	0,70	983 500
Total	3 921 800	56,67		4 205 980
Sols bruns calciques et lessivés intacts	536 750	07,75	0	0

Tableau II. Volume des matériaux accumulés dans les anciennes ravines

Sols et formations superficielles	Surface (m ²)	% de la surface totale du bassin	Profondeur moyenne de l'horizon calcaire (m)	Epaisseur accumulée (m)	Volume (m ³)
Anciennes ravines comblées	267 634	3,88	1,95	0,65	173 962

Tableau III. Volume de matériaux accumulés dans le fond des vallons

Sols et formations superficielles	Surface (m ²)	% de la surface totale du bassin	Volume (m ³)
Fonds de vallons	2 193 816	31,7	3 447 870

Le bilan global des matériaux accumulés est de $3,622 \times 10^6 \text{ m}^3$ durant une période d'environ 1 000 ans. En tenant compte de la dégradation spécifique de 70 t/km²/an mesurée à l'exutoire sur une année moyenne et qui est la seule valeur dont on dispose (APC communication orale), on peut très grossièrement estimer, en tenant compte d'une densité moyenne de 1,5 le volume de matériaux exportés par le ruisseau

$$(70 \times 6,92) / 1,5 = 323 \text{ m}^3/\text{an}$$

soit $323 \times 10^3 \text{ m}^3$ sur toute la période considérée.

Le bilan des matériaux décapés est alors 3,945 m³. Le volume mesuré de matériaux accumulés étant de $4,20 \times 10^6 \text{ m}^3$, l'erreur commise au cours des mesures et des estimations paraît acceptable.

D'une manière générale, l'épaisseur des matériaux accumulés diminue de l'amont vers l'aval, puis lorsque le vallon est encadré par des versants moins importants (par abaissement des crêtes) l'épaisseur devient plus régulière. Elle atteint 8,75 m en limite des unités 13 et 14 sur le cours du Vermeil et seulement 4,25 m entre les unités 1 et 2.

Les matériaux accumulés proviennent des sols des versants. Si l'agent érosif est l'outil de travail du sol, c'est l'horizon de labour dans son intégralité qui vient s'accumuler. Si l'agent est l'eau une partie des matériaux arrachés est exportée hors du bassin versant alors que l'autre partie vient s'accumuler en bas du versant. On ne peut pas présumer de la plus grande richesse en matière organique de l'une ou l'autre des parties.

Toutefois, lorsqu'un sol de l'amont voit ses horizons supérieurs déplacés et stockés dans les points bas du paysage, il est lui-même tronqué avec des horizons de surface appauvris en matière organique. Or, l'enfouissement des résidus de récolte, l'apport d'engrais organiques pratiqué pendant des siècles permet un réenrichissement du sol en matière organique, mais constamment déplacé et stocké dans les colluvions.

2 – Stockage du carbone

Le volume des colluvions contenu dans les ravines est bien inférieur à l'erreur sur la mesure, il ne sera pas pris en compte pour l'estimation du carbone stocké. A titre de comparaison, il a également été mesuré la teneur en carbone dans l'horizon de labour.

Les résultats pour l'unité élémentaire 6 sont donnés à titre d'exemple dans le tableau IV)

Tableau IV. Teneur en carbone des sondages des transects de l'unité élémentaire 6 (de 135 845 m³ soit 203 767 t) et des horizons de surface de 3,66 ha et de 0,3 m d'épaisseur

Sondages	e ₁	e ₂	e ₃	e ₄	e ₅	e ₆	e ₇	e ₈	e ₉	Moyenne	Tonnage
Teneur en C% moyenne des sondages	2,97	4,53	3,80	2,26	3,64	3,56	4,75	3,58	0,58	3,30	664
Teneur en C‰ de l'horizon de surface	6,10	7,00	5,49	5,04	4,42	3,93	6,40	3,58	0,87	4,76	78

Dans certaines unités d'accumulation, la teneur moyenne d'un sondage peut être supérieure à la teneur de l'horizon travaillé, indiquant que les colluvions proviennent bien des horizons les plus organiques et que l'accélération de l'érosion aboutit à un appauvrissement dans tous les horizons supérieurs nécessairement plus récents.

Généralement, la teneur en C dans les colluvions est plus faible que dans l'horizon de labour, mais le stock global est 8,5 fois plus important. En plus, ce carbone paraît présenter une vitesse de minéralisation faible puisqu'il subsiste encore après plusieurs siècles d'enfouissement.

Il a été effectué des déterminations de la teneur en C le long de quelques sondages. Les fluctuations ne sont jamais très importantes mais paraissent aléatoires et ne sont pas présentées ici. Le stock de carbone contenu dans l'ensemble des colluvions des fonds de vallon est donné dans le tableau V.

Le tonnage du carbone stocké dans l'ensemble de ces colluvions n'est pas considérable du fait des faibles teneurs. Rapporté à la surface totale du bassin versant, cela représente seulement 18,6 t/ha. En considérant un horizon labouré de 30 cm, cela représente seulement 0,75 % de plus de matière organique totale. Pourtant, dans ces sols fortement décapés, la teneur en matière organique n'atteint pas toujours cette valeur.

Tableau V. Bilan du carbone stocké dans les colluvions de fond de vallon du bassin versant du Vermeil

	Teneur moyenne ‰	Tonnage total	Tonnes/ha de colluvions	Teneur ‰ rapportée à la surface des colluvions (4 500 t/ha)	Tonnes/ha du bassin	Teneur ‰ rapportée à la surface du bassin (4 500 t/ha)
C	3,71	12 821	58,4	13,0	18,6	4,13
Matière organique	6,75	23 310	106,3	23,6	33,7	7,51

Le tonnage du carbone stocké dans l'ensemble de ces colluvions n'est pas considérable du fait des faibles teneurs. Rapporté à la surface totale du bassin versant, cela représente seulement 18,6 t/ha. En considérant un horizon labouré de 30 cm, cela représente seulement 0,75 % de plus de matière organique totale. Pourtant, dans ces sols fortement décapés, la teneur en matière organique n'atteint pas toujours cette valeur.

CONCLUSION

Dans le terrefort toulousain, les sols argileux à bonne stabilité structurale conduisent à un paysage de collines à pentes moyennes à fortes qui ont été sculptées et ravinées au cours des événements climatiques quaternaires.

La mise en culture se traduit par une transformation complète du paysage et de la couverture pédologique. L'érosion s'installe. L'exportation de matière hors du bassin versant paraît représenter seulement 10 % du tonnage de matériaux déplacés. Il est d'ailleurs probable que l'eau joue un rôle mineur puisque ses lieux de passage (ravines, fonds de vallons) sont comblés et l'érosion aratoire paraît prépondérante. Les bosses sont arasées, les creux comblés.

Ainsi, sur le bassin versant du Vermeil, on a pu mesurer que sur 57 % de la surface, 1,08 m de sol ont été enlevés et sur 38 % de la surface 1,48 m de colluvions issues des sols se sont accumulées.

Le stock de carbone, apparemment peu facilement minéralisable dans l'ensemble des colluvions n'est pas considérable étant donné la faible teneur en matière organique des matériaux (0,37 % de C). Toutefois, étant donné l'épaisseur des colluvions, le stock est de 58,4 t de C par ha de colluvions et rapporté à la totalité du bassin de 18,6 t de C/ha. Comme ce carbone vient de la totalité du bassin versant, rapporté à cette surface et concentré dans les 30 cm supérieurs cela représente 0,75 % de matière organique totale. Cette valeur correspond effectivement à ce que l'on mesure dans les horizons travaillés des sols érodés.

Dans le bassin aquitain, du Gers au seuil de Naurouze, de la bordure des Pyrénées au sud du Massif Central, ce schéma d'évolution des paysages reste valable dans les zones collinéennes, à l'exclusion des grandes vallées. L'extrapolation des valeurs trouvées dans le bassin versant du Vermeil peut donner un ordre de grandeur de l'érosion aratoire à grande échelle. A raison de 18 t/ha, ce sont environ 270×10^6 t de C qui restent bloqués dans les colluvions présentes dans le bassin aquitain.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Barlier JF., 1977. Les sols formés sur molasse dans la région toulousaine. Etude des phénomènes de lessivage et de remaniement. Thèse Univ. P. Sabatier, Toulouse. 143p
- Crouzel F., 1957. Le Miocène continental d'Aquitaine. Bull. Serv. Carte géol. Fr., t. 54, n° 248, 264 p.
- Dubucq M., 1989. Identification et cartographie des sols érodés par télédétection l application au Lauragais toulousain (sud ouest de la France). Thèse Univ. Toulouse III, 159 p.
- Govers G., Vandaele K., Desmet P., Poesen J. and Bunte K., 1994. The role of tillage in soil redistribution on hillslopes. *European J. Soil Sc.*, 45, 469-478.
- Guirese M. and Revel J.C., 1995. Erosion due to the cultivation of calcareous clay soils on hillside in south west France. Part 2 – Effet of ploughing down the steepest slope. *Soil and tillage research*, 35, p 157-167.
- Lambert R., 1975. Recherches hydrologiques dans le sud est du bassin garonnais. Thèse Univ. Toulouse III, t1, 397 p.
- Lindstrom M.J., Nelson W.W., Schumacher T.E. and Lemme G.D., 1990. Soil movement by tillage as affected by slope. *Soil on Tillage Research*, 24, p 243-255.
- Lobb D.A., Kachanoski R.G. and Miller M.N., 1994. Tillage translocation and tillage erosion on shoulder slope landscape positions measured using Cs 137 as a tracer. *Canadian journal of soil science*, 75, p 211-218.

- Ourliac P., 1963. L'abbaye de Lézat vers 1063. *Annales du Midi*, t. 75, 64, p 491-504.
- Quine T.A., Walling D.E. and Zhang X., 1993. The role of tillage in soil redistribution within terraced field on the loess Plateau, Chine : An investigation using Cs 137. In *Runoff and Sediment yield modeling. Proceeding in the Inter. Symp. held at Warsaw Agricultural University, Sept 1993*, p 149-155.
- Revel J.C., 1982. Formation des sols sur marne dans le Terrefort toulousain. Thèse INP Toulouse, 250 p.
- Revel J.C. et Rouaud M., 1985. Mécanismes et importance des remaniements dans le Terrefort toulousain (Bassin Aquitain, France). *Pédologie*, Gand, 2, p 171-189.
- Revel J.C., Coste N., Cavalie J. et Costes J.L., 1989. Premiers résultats expérimentaux sur l'entraînement des terres par le travail du sol dans le Terrefort toulousain (France). *Cah. O.R.S.T.O.M., ser. Pédo.*, XXV, 1-2, p 111-118.
- Revel J.C., Guiresse M., Coste N., Cavalie J. et Costes J.L., 1991. La nécessité d'un bilan avant toute mesure anti-érosive. *Congrès ENS Saint Cloud. Erosion in temperate plains and hills and Elsevier Ed. 1993*, 1, p 551-562.
- Revel J.C. and Guiresse M., 1995. Erosion due to the cultivation of calcareous clay soils on hillside in south west France. Part 1 – Effect of former farming parctices. *Soil and tillage research*, 35, p 147-155.
- Revel J.C. et Guiresse M., 1998. Introduction of ghe paleogeography of the middle and upper Garonne basin. *Livret Guide A3, 16th World Congres of soil Sciences. 20-26 August, Montpellier, Fr., J 4/1-J4/5.*
- Revel J.C. et Kaemmerer M., 1998. The soils of the molassic region of the Garonne basin. Influence of the anthropisation. *Livret Guide A3, 16th World Congres of soil Sciences. 20-26 August, Montpellier, Fr., J 5/1-J5/9.*
- Rouaud M., 1987. Evaluation de l'érosion Quaternaire, des remaniements de versant et de l'érosion en rigole dans le Terrefort toulousain. Thèse Univ . Toulouse III, 320 p.
- Santiago Romero H., 2001. Influence du type d'outil, de la vitesse et de la pente sur l'érosion aratoire. Thèse INP Toulouse, 185 p.
- Taillefert F., 1948. La dissymétrie des vallées gascones. *Rev. Géog. Pyr. et Sud Ouest*, 3-4, p 153-181.
- Wachanoski R.G., Miller M.H. and Lobb D.A., 1992. Soil loss by tillage erosion. The effects of tillage implements slope gradient and tillage direction on soil translocation by tillage. SWEEP report n° 55. http://res.agr.ca/lond.gpres/report/rep_38_sum.htm.

**RESEAU
EROSION**



Référence bibliographique Bulletin du RESEAU EROSION

Pour citer cet article / How to cite this article

Revel, J. C.; Guiresse, M.; Rouaud, M. - Effet de l'érosion aratoire sur le stockage du carbone au bassin versant du Vermeil (sud ouest de la France) / Effect of tillage erosion on carbon storage at the Vermeil watershed (south west France), pp. 336-346, Bulletin du RESEAU EROSION n° 22, 2004.

Contact Bulletin du RESEAU EROSION : beep@ird.fr