

## Approche des problèmes liés à l'érosion des sols : un aperçu

La Rédaction<sup>1</sup>.

Depuis le démarrage de la période néolithique, il y a des milliers d'années, les sols ont été de plus en plus affectés par l'action humaine (anthropisés) que ce soit à des fins agricoles ou pour des impératifs de protection et de lutte contre l'érosion. Avec le développement démographique et l'élévation du niveau de vie, se rajoutent l'optimisation des performances (rendements) en parallèle de l'aménagement raisonné des territoires. Tous ces sujets sont par nature conflictuels, même si la gestion du territoire dans une optique de développement durable est de plus en plus affichée.

Le point de départ de la prévention de l'érosion des sols est bien la compréhension des processus qui interviennent, à diverses échelles. Les techniques, qui varient entre la mesure ponctuelle et l'approche des territoires, s'appliquent aux problèmes d'érosion des sols. De la compréhension des processus, on passe à la surveillance et aux remèdes. Nous aborderons ensuite les cartographies générales relatives à l'érosion des sols.

### De la compréhension des processus d'érosion dans les sols cultivés à la gestion des territoires

Les approches portant sur la compréhension des processus englobent l'expérimentation en laboratoire, et surtout des suivis, de la parcelle au bassin-versant, dans différents contextes climatiques. Dans les différentes régions de France, les deux processus d'érosion (linéaire = concentrée = en rigoles, et aréolaire = diffuse = en nappe) coexistent, mais avec une importance relative variable d'une région à l'autre. Dans les plaines du Nord, l'érosion est plus fortement linéaire. Elle a principalement lieu là où le ruissellement se concentre dans des chenaux spécifiques au niveau desquels se situe l'essentiel des pertes en terres.

Les références classiques en matière de quantification de l'érosion (USLE<sup>2</sup>, Wischmeier et Smith, 1965 et

1978 ; RUSLE<sup>3</sup>, Renart *et al.*, 1997 ; WEPP<sup>4</sup>, Flanagan et Nearing, 1995), établis dans les grandes plaines des États-Unis, ne se sont pas avérés très applicables à la diversité des contextes français.

En France, de nombreux travaux ont été menés dans les **grandes plaines du Nord**, en plusieurs étapes :

- étude des **problèmes de battance** (caractère d'un sol tendant à se désagréger et à former une croûte en surface sous l'action de la pluie) **et de dégradation superficielle des sols** (voir notamment la thèse de Jean Boiffin (1984<sup>5</sup>) ;
- **relations entre systèmes de culture et érosion** : cette étape a principalement concerné 9 bassins-versants élémentaires de deux communes du Pays de Caux (Fongueusemare et Épouville, 76), étudiés au cours de trois campagnes (1985-87). Les travaux ont permis de mettre en évidence l'importance du ruissellement concentré comme facteur déterminant de l'érosion ;
- **typologie des situations d'érosion**, tant en matière de formes d'érosion que de processus. Les formes d'érosion se distinguent par l'aspect diffus ou concentré des sources de sédiments. Pour l'érosion diffuse, la stratégie de protection consiste à traiter les surfaces. Dans le cas du ruissellement concentré, il s'agit d'éviter l'alimentation des axes de concentration et de traiter ces axes par petite hydraulique. Ces travaux ont été notamment formalisés dans la thèse de Bruno Ludwig<sup>6</sup>, soutenue en 1992 à l'Université Louis Pasteur (Strasbourg) ;
- **viabilité du volume des rigoles de ruissellement** en s'appuyant sur une analyse comparée de 20 bassins versants de taille variant entre 3,7 et 100 ha ;
- **modélisation**, avec notamment la thèse de Véronique Souchère (1995)<sup>7</sup>, qui a englobé une approche de modélisation couplée avec les SIG, poursuivie après la thèse dans la mise au point du modèle STREAM<sup>8</sup>, modèle d'expert utilisable à l'échelle de petits bassins versants (10-10 000 ha), que la thèse d'Olivier Cerdan<sup>9</sup> a permis

1. Remerciements à Olivier Cerdan (BRGM), Yves Le Bissonais (INRA Montpellier) et Jean-François Ouvry (AREAS) pour leur aide dans l'élaboration du texte d'origine qui a été limité à un aperçu dans le présent texte.

2. Universal Soil Loss Equation. W. H. Wischmeier W. H. and Smith D. D., 1978: Predicting rainfall losses. A guide to soil conservation planning. USDA-ARS, Agriculture Handbook Sci. and Educ. 537, 58 p.

3. Revised Universal Loss Equation. Renard K. G., Foster G. R., Weesies G. A., McCool D. K., and Yoder D. C., 1997 : Predicting soil erosion by water : a guide to conservation planning with the revised Universal Loss Equation (RUSLE). USDA Agricultural Handbook n°703, 384 p.

4. Water Erosion Prediction Project.

5. Boiffin J., 1984 : La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies. Thèse Dr. Ing. INA-PG, 320 p.

6. Ludwig B., 1992 : L'érosion par ruissellement concentré des terres cultivées du nord du Bassin parisien : analyse de la variabilité des symptômes d'érosion à l'échelle du bassin versant élémentaire. Thèse doctorat d'université, Université Louis Pasteur Strasbourg I, 201 p.

7. Souchère Véronique, 1995 : Modélisation spatiale du ruissellement à des fins d'aménagement contre l'érosion de talweg. Application à des petits bassins-versants en Pays de Caux (Haute-Normandie). Thèse INA-PG, 197 p. + annexes.

8. Sealing and Transfer by Runoff and Erosion related to Agricultural Management.

9. Analyse et modélisation du transfert de particules solides à l'échelle de petits bassins versants cultivés. Thèse Université d'Orléans, soutenue le 27 juin 2001.

de formaliser et de valider.

Parmi les travaux récents sur la modélisation de l'érosion, on peut citer deux autres thèses, celles de Guillaume Nord<sup>10</sup> et de Sylvio J. Gumière<sup>11</sup>, traitant respectivement de l'érosion à la parcelle (construction du modèle à base physique PSEM\_2D) et à l'échelle du bassin versant (modélisation de l'érosion hydrique en régions méditerranéennes), une occasion de procéder, notamment, à une analyse de sensibilité pour différentes échelles appliquée à quatre modèles d'érosion : MHYDAS-Érosion, STREAM, MESALES et PESERA. Les résultats soulignent des similitudes de comportement pour les différents modèles testés par rapport aux paramètres d'entrée.

En matière de grandes cultures, on peut aussi citer la Bretagne et les bassins du Dué (72) et du Grand Morin (77), et la liste est loin d'être limitative.

En ce qui concerne les **territoires de vignobles**, on soulignera :

- une synthèse de bonnes pratiques sur le vignoble de coteau réalisé par le CEMAGREF à l'usage des aménageurs<sup>12</sup> ;
- une opération conduite en **Saône-et-Loire** à la fin des années 80, sur une centaine de communes réparties dans les vignobles du Mâconnais, du Beaujolais et du sud de la Côte de Beaune. Le bilan des dégâts enregistrés par commune souligne que 4 communes ont été concernées par les inondations, 47 ont subi des dommages liés aux inondations et aux mouvements de terrain et 36 par les inondations et les coulées de boue. L'étude a abouti à un dossier cartographique par micro bassin versant à partir des indicateurs suivants : sensibilité au ruissellement et à l'érosion, nature du sol et de la pierrosité, urbanisation et infrastructures, problèmes spécifiques liés à la circulation de l'eau ;
- une approche plus récente de l'érosion en **vignoble de Bourgogne**, faite par Brenot *et al.* (2008)<sup>13</sup> qui confirme que les phénomènes d'érosion sont particulièrement sensibles sur ce type de culture, comme le soulignent de nombreux auteurs (Brenot, 2007<sup>14</sup> et Cerdan *et al.*, 2006<sup>15</sup>) ;
- l'étude des modifications du cycle de l'eau en cas de changement d'occupation des sols dans le sous-bassin viticole de **Roujan** (1 km<sup>2</sup>), partie du bassin-versant de la Pey-

ne, initiée dans le cadre du projet ALLEGRO<sup>16</sup> dans les années 1991 et 1993. Postérieurement à ce programme, une étude a été focalisée sur l'érosion des sols en **territoire de vignobles**, en s'appuyant sur un échantillonnage de 49 vignobles de 0,5 ha de superficie moyenne (0,08 à 1,5 ha). L'analyse des résultats a montré que l'érosion prévalait dans 67% des vignobles, alors que le dépôt prévalait dans 27%. Le taux d'érosion augmente de façon significative avec la pente et l'absence de limites tranchées entre vignobles, entre les connexions amont et aval.

Sur les **régions méditerranéennes**, nous pouvons aussi évoquer notamment deux ensembles de recherches :

- l'étude sur l'**érosion des Terres Noires**, conduite entre 1986 et 1998 sur trois bassins à substrat marneux callovien faisant partie de l'ensemble du Buech, a donné lieu à la thèse de Maurice Buffalo<sup>17</sup>. À l'échelle des ravines le rythme du transport solide est lié aux processus saisonniers de stockage - déstockage dans les talwegs et au transport solide direct lors des crues (MES<sup>18</sup> et drainages). Sur les trois années de mesure, l'érosion spécifique annuelle se situe entre 154 et 264 t/ha, soit 11 à 13 mm d'équivalent d'ablation moyenne verticale ;
- le **projet européen** MEDALUS<sup>19</sup>, qui s'est déroulé en 3 phases de 1991 à 1999, dans plusieurs pays européens. En France, le projet a été développé sur deux sites dans le Roussillon, l'un en vigne et vergers (Ste-Colombe), l'autre en vignobles abandonnés depuis quelques années (Réart), et un site dans le Var (bassin versant du Peissonnel). Les études ont permis de quantifier ruissellement et érosion. Les suivis et leur interprétation ont notamment donné lieu à la thèse de Jean-Marie Viguier soutenue en 1993<sup>20</sup>. Les études conduites dans le cadre de MEDALUS ont permis notamment de développer le modèle de gestion du territoire MEDRUSH, qui deviendra ensuite le modèle PESERA<sup>21</sup>, le plus élaboré des modèles d'érosion à l'échelle européenne.

## Approches cartographiques des territoires et zonage des aléas

Entre les analyses à la parcelle ou par bassins versants et les cartographies de territoires, on change d'échelle d'analyse ce qui conduit obligatoirement à une approche plus globale destinée à caractériser de grands espaces.

10. Modélisation à base physique des processus de l'érosion hydrique à l'échelle de la parcelle, soutenue en septembre 2006 au LTHE, Grenoble.

11. Contribution à la modélisation déterministe spatialisée de l'érosion hydrique des sols à l'échelle des petits bassins versants cultivés, soutenue en décembre 2009 à l'INRA Montpellier.

12. Walch L., Certain F., Lambert P., 1986 : Maîtrise du ruissellement et de l'érosion en vignoble de coteau. Guide à l'usage des aménageurs.

13. Brenot, J., Quiquerez, A., Petit, C., Garcia, J.P., 2008. Erosion rates and sediment budgets in vineyards at 1-m resolution based on stock unearthing (Burgundy, France). *Geomorphology* 100, 345-355.

14. Brenot, J., 2007. Quantification de la dynamique sédimentaire en contexte anthropisé : l'érosion des versants viticoles de Côte d'Or. Thèse Université de Bourgogne, Dijon.

15. Cerdan, O., Poesen, J., Govers, G., Saby, N., Le Bissonnais, Y., Gobin, A., Vacca, A., Quinton, J., Auerswald, K., Klik, A., Kwaad, F.F.P.M., Roxo, M.J., 2006. Sheet and rill erosion. *Soil Erosion in Europe*. John Wiley & Sons, 501-513.

16. Analyses Locales et critiques de la ressource en eau : un projet d'hydrologie méditerranéenne.

17. L'érosion des Terres Noires dans la région du Buech (Hautes-Alpes). Thèse Université Aix-Marseille III.

18. Matières en suspension.

19. Mediterranean Desertification and Land Use.

20. Mesure et modélisation de l'érosion pluviale : application au vignoble de Vidauban (Var). Thèse doctorat Université Aix-Marseille III, 335 p.

21. Pan-European Soil Erosion Risk Assessment.

À l'échelle du *territoire français*, une *synthèse actualisée de l'érosion des sols* a été faite en 2002 à partir des documents suivants :

- « Cartographie de l'aléa érosion des sols en France » (INRA, IFEN, 1998) ; ce document a été mis à jour et complété en 2002<sup>22</sup> ;
- « Inventaire des coulées de boue en France de 1985 à 1995 » (Collectif, 1996, non publié).
- « Le sol, un patrimoine à ménager » (IFEN, Les données de l'environnement n° 38, 1998, 4 p.).

Le modèle développé par l'INRA, amélioré et réactualisé, permet de hiérarchiser les régions en fonction de la combinaison des principaux facteurs de l'érosion. Les cartes sur l'aléa érosion des sols qui en résultent sont comparées à celles issues du traitement de l'inventaire des coulées de boue en France de 1985 à 1995, lui-même remis à jour. Le document évoque également les moyens de lutte mis en œuvre aujourd'hui à l'échelle régionale.

Il faut aussi noter qu'à la demande, des *cartes régionales ou départementales* de cartographie des sols peuvent être établies. Faisant suite à une cartographie de la région Haute-Normandie (HNO) à 1/50 000, une cartographie à grande échelle (64 cartes à 1/25 000) de l'ensemble des sols agricoles et forestiers du *département de l'Aisne* a été réalisée par la Chambre d'agriculture de l'Aisne aidée par l'INRA entre 1958 et 1978. L'informatisation de la carte, ainsi que celle d'autres données a abouti à un SIG à l'origine de cartes diverses, permettant notamment de définir le potentiel d'érosion des sols. La cartographie de l'Aisne sera suivie de celle de Bretagne à 1/250 000 et de celle du département de l'Aube.

On soulignera aussi la formalisation d'une méthodologie de cartographie à l'échelle départementale réalisée par le BRGM et l'INRA avec le soutien du ministère chargé de l'environnement et qui a donné lieu à trois rapports en 2005-2006<sup>23</sup>. Cette méthodologie a repris celle appliquée dans le département de l'Aisne et a été aussi celle utilisée dans la cartographie générale de 2002 évoquée plus haut.

Au *niveau européen*, on peut dire que l'ancêtre des approches sur l'érosion des sols est le programme CORINE-Erosion (Collectif, 1992)<sup>24</sup>, qui a permis de mettre au point une méthodologie de cartographie de l'aléa érosif, qui s'avère néanmoins peu précise régionalement. La Com-

mission, dans un document de 2002<sup>25</sup>, a reconnu la généralité du problème de l'érosion des sols dans l'Union européenne (UE). Selon des références d'experts, 26 Mha de l'UE souffriraient de l'érosion par l'eau et 1 Mha de l'érosion par le vent. Un projet de directive sur la protection des sols est toujours en attente. Un ouvrage de synthèse sur l'érosion des sols en Europe a été publié en 2006<sup>26</sup> et on trouvera ci-dessous quelques références de sites Internet touchant au thème de l'érosion des sols<sup>27</sup>.

En matière de *zonage* et de *cartographie des risques*, l'article 49 du Titre II (Risques naturels) de la loi 2003-399 du 30 juillet 2003, dite loi Bachelot, relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages, prévoit la délimitation par le préfet de zones où l'érosion des sols agricoles peut créer des dommages importants en aval, ainsi que l'établissement d'un programme et la promotion de pratiques pour réduire les risques d'érosion.

Les actions correspondantes sont menées au cas par cas et ne sont pas nombreuses. À titre d'exemple, on peut citer le PPRn<sup>28</sup> qui couvre le *bassin de Lézarde* (76) et concerne 34 communes. Dans ce PPR, ont été pris en compte les phénomènes suivants : débordement de cours d'eau, ruissellement, remontées de nappes, ainsi que érosion et coulées boueuses, un phénomène récurrent sur le bassin de la Lézarde, qui résulte d'un ruissellement caractérisé de torrentiel. La méthodologie de zonage du PPR Risques d'Érosion sur le bassin versant de la Lézarde, repose sur l'utilisation combinée de deux modèles d'érosion des sols : le modèle RUSLE de l'USDA<sup>29</sup> et le modèle STREAM de l'INRA.

## Conclusions

Cette présentation montre clairement l'importance des travaux de recherche menés sur les processus de l'érosion des sols et la quantification de cette érosion. Les travaux sont menés à la parcelle ou à l'échelle de bassins versants et prennent en compte les caractéristiques naturelles (pluviométrie, pente, climat...) et l'occupation des sols (grandes cultures et vignobles en particulier). Sur les 30 dernières années, au fil du travail de recueil et traitement des données, de mesures sur le terrain et de modélisation, une masse de connaissances a été acquise, valorisable notamment en matière de prévention du risque d'érosion. On peut dire qu'aujourd'hui, on a atteint un

22. Le Bissonais Y., Thorette J., Bardet C., Daroussin J., 2002 : *L'érosion hydrique des sols en France*. IFEN, INRA.

23. *Guide méthodologique pour un zonage départemental de l'érosion des sols. Deux rapports d'exemples départementaux, un rapport de recommandations générales.*

24. Coll., 1992 : *Corine soil erosion risk and important land resources in the southern regions of the European Communities*. UE, 97 p. + cartes.

25. *Vers une stratégie thématique pour la protection des sols* (14 avril 2002).

26. *Soil Erosion in Europe*, ed. John Boardman et Jean Poesen. J. Wiley, 855 p.

27. RIDES ([www.rides.u-strasbg.fr](http://www.rides.u-strasbg.fr)) : *réseau français de recherche sur le ruissellement, l'infiltration, la dynamique des états de surface du sol et le transfert des sédiments.*

- COST ([www.soilerosion.net/cost634/](http://www.soilerosion.net/cost634/)) : *site d'un réseau européen de recherche sur «On- and Off-site Environmental Impacts of Runoff and Erosion».*

- *Projet européen PESERA (Pan-European Soil Erosion Risk Assessment) auxquels l'INRA a collaboré :*

[http://eusols.jrc.ec.europa.eu/ESDB\\_Archive/serae/grimm/erosion/inra/europe/analysis/maps\\_and\\_listings/web\\_erosion/index.html](http://eusols.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/serae/grimm/erosion/inra/europe/analysis/maps_and_listings/web_erosion/index.html)

<http://www.kuleuven.ac.be/geography/frg/leg/projects/pesera/index.htm>

- *Soil erosion website : www.soilerosion.net*

28. *Plan de Prévention des Risques Naturels.*

29. *US Department of Agriculture.*

## APPROCHE PAR TYPE DE RISQUE : *RISQUE SISMIQUE*

---

stade de maturité dans la compréhension des processus et les remèdes à apporter.

En matière de travaux cartographiques de synthèse, on peut surtout noter les actions conduites à l'échelle européenne qui fournissent des vues d'ensemble sur l'occupation du territoire ou l'érosion des sols. Au niveau où ces actions se placent, on peut surtout en tirer des statistiques globales à l'échelle de pays entiers ou de grandes régions, utilisables notamment dans le cadre de la Politique Agricole Commune (PAC).

Force est de constater que l'échelon des échelles intermédiaires, ou des généralisations à l'échelle d'un territoire ou d'un PPR, sont encore très peu nombreuses. Le développement de la stratégie correspondante dépend très largement des choix politiques et économiques qui seront faits aux échelles locales à régionales. Il est toutefois raisonnable de penser que, dans de nombreux cas, des pratiques agricoles adaptées en matière de prévention de l'aléa érosion sont mises en place (ruptures de pentes, labours, aménagements, bandes enherbées, etc.), dont il n'est malheureusement guère envisageable de donner une vision quantifiée.