

Erosion hydrique des terres : le diagnostic pluridisciplinaire de territoire, une étape-clé dans le déploiement de mesures adaptées à l'échelle des bassins versants. Retour d'expériences de Normandie

Jean-François OUVRY* et Jean-Baptiste RICHET*

*AREAS (Association de recherche sur le Ruissellement, l'Erosion et l'Aménagement du Sol)

Contact auteurs : jb.richet@areas.asso.fr

Résumé

L'érosion hydrique des terres agricoles, processus irréversible, s'intensifie. Outre ses conséquences sur la durabilité des sols productifs, ses impacts hors sites touchent toutes les composantes de la société. Les solutions techniques sont connues. Cependant, sur le terrain, l'application des mesures préventives et curatives peine à se développer sur certains territoires, tandis que l'évolution générale de l'agriculture a tendance à amplifier les problèmes. L'expérience acquise dans les établissements publics de coopération intercommunale (EPCI) de Normandie dans la lutte contre l'érosion hydrique des terres permet d'identifier les freins au développement de ces mesures, ainsi que les clés de la réussite à mettre en œuvre dès la phase de diagnostic du territoire. Ce diagnostic doit être pluridisciplinaire. Sa dimension technique semble évidente, elle est primordiale, comportant un volet ruissellement et un volet érosion. Mais pour favoriser le déploiement des mesures adaptées à l'échelle des bassins versants, il doit comporter également une dimension politique et de connaissance des enjeux, ainsi qu'une dimension humaine et sociale. Les points clés de ces différentes dimensions sont donnés. Un diagnostic pluridisciplinaire de territoire permet la sélection des mesures adaptées. Il sera d'autant plus pertinent que l'aléa érosion devrait augmenter du fait du dérèglement climatique. Pour atteindre les objectifs, outre un diagnostic complet, une implication supérieure sera nécessaire de la part des collectivités et des partenaires de l'agriculture, incluant un accompagnement plus intense des agriculteurs.

Introduction

Au cours des quarante dernières années, l'érosion hydrique des terres agricoles a pris de l'ampleur à la fois par l'expansion des surfaces agricoles touchées, mais également par l'intensité de l'érosion dans les parcelles sensibles (Le Bissonnais *et al.*, 2002). Les principales raisons sont connues : la réduction des surfaces en herbe, l'accroissement des surfaces en culture de printemps, les modalités de travail du sol (notamment l'affinement du lit de semence), la baisse des taux de matières organiques conduisant à une diminution de la stabilité structurale (Cerdan 2001 ; Le Bissonnais *et al.*, 2003 ; Boardman et Poesen, 2006). Cette situation est considérée avec gravité, d'autant que les pertes sont irréversibles et menacent la durabilité des sols productifs (Van-Camp *et al.*, 2004 ; Commission Européenne, 2021). Qu'en sera-t-il à long terme avec les effets du changement climatique ? Il y a là un enjeu agricole important, et un sujet d'intérêt pour l'agronome.

Si les décideurs s'intéressent plus particulièrement à cette question d'érosion sur les territoires agricoles, c'est à cause des impacts hors site (Auzet *et al.*, 2006 ; Faulkner *et al.*, 2010 ; Patault *et al.*, 2021) : coulées d'eaux boueuses, pollution des rivières (et des nappes phréatiques en régions karstiques), transfert de produits phytosanitaires dissous ou associés aux matières en suspension, interdiction de distribution d'eau potable, dégradation des biens publics et privés, augmentation des risques d'accident sur voirie, comblement des réseaux et des ouvrages de protection contre les inondations, coûts de nettoyage et de curage importants, etc.. Toutes les composantes de la

société sont donc concernées, la problématique du ruissellement et de l'érosion dépasse les seuls domaines de l'environnement et de l'agriculture.

Depuis quelques décennies de nombreuses avancées concrètes ont été réalisées tant par la recherche fondamentale et appliquée, la modélisation, et les sciences sociales, que sur le terrain par une partie des exploitants agricoles, sensibilisés par les techniciens des collectivités locales. Mais parallèlement l'évolution globale de l'agriculture tend à augmenter les surfaces présentant un aléa érosion fort : par exemple, on observe en pays de Caux une baisse des surfaces en herbe et un accroissement des surfaces en culture de printemps, sans évolution des techniques culturales conventionnelles. Cela contrecarre les gains obtenus grâce aux actions conduites par les pionniers de la lutte contre l'érosion.

Les processus, les déterminants, les marges de manœuvre ont été largement étudiés et les connaissances sont maintenant suffisantes pour proposer des solutions, préventives ou curatives, dont les domaines d'efficacité sont connus (Le Bissonnais *et al.*, 2003 ; Joannon *et al.*, 2005 ; Martin *et al.*, 2007 ; Ouvry *et al.*, 2012 a et b ; Delaunois et Robert, 2000 ; Labreuche *et al.*, 2014 ; Richet *et al.*, 2017). Les modèles hydrologiques bénéficiant de développements actifs (par exemple openLisem (Landemaine, 2016), WaterSed (van den Bout et Jetten, 2017) permettent de comparer l'efficacité de différents scénarios pour les territoires. Les agronomes et hydrologues disposent de nombreux outils pour agir et proposer des solutions adaptées et utiles. Pour autant, sur le terrain, l'application des mesures peine à se développer sur certains territoires (*cf. infra*).

En s'appuyant sur l'expérience acquise dans les établissements publics de coopération intercommunale (EPCI) de Normandie dans la lutte contre l'érosion hydrique des terres, notamment les syndicats de bassins versants et les syndicats d'alimentation en eau potable, le présent article tente d'identifier les freins au développement de ces solutions préventives et curatives, puis d'offrir une synthèse des clés de la réussite à mettre en œuvre dès la phase de diagnostic du territoire, afin d'optimiser le déploiement des mesures adaptées à l'échelle des bassins versants.

Des vitesses de déploiement variables d'un territoire à l'autre

La vitesse avec laquelle les mesures de lutte contre les ruissellements érosifs sont déployées sur le terrain est très variable d'un territoire à l'autre¹, et dans le temps. Sur les territoires de la Seine-Maritime et de l'Eure, la base de données BDCASTOR (Bricard et Gimonet, 2014) permet de le mettre en évidence. Courant sur les vingt dernières années, la dynamique des mesures de lutte peut être approchées par le linéaire cumulé de haies et fascines. C'est ce que montre la Figure 1 pour cinq EPCI de Seine-Maritime (des syndicats de bassins versants en l'occurrence).

On peut décrire ces courbes très contrastées à l'aide de trois catégories :

1. EPCI ayant fait le choix de s'investir dans cette action de façon précoce, et qui a assez vite arrêté. C'est le cas de l'EPCI 1.
2. EPCI qui ont démarré ultérieurement (2005 pour l'EPCI 2b, 2009 pour l'EPCI 2a) avec trois phases
 - une phase d'accélération de 1 à 5 ans,
 - une phase de réalisation soutenue pendant 4 à 7 ans,
 - puis un ralentissement voire un arrêt.
3. EPCI qui ont démarré lentement en 2006, puis ont accéléré le rythme de réalisation de ces aménagements à partir de 2012 (EPCI 3a et 3b).

¹ L'unité spatiale pertinente est le bassin versant, puisque l'érosion est induite par le ruissellement.

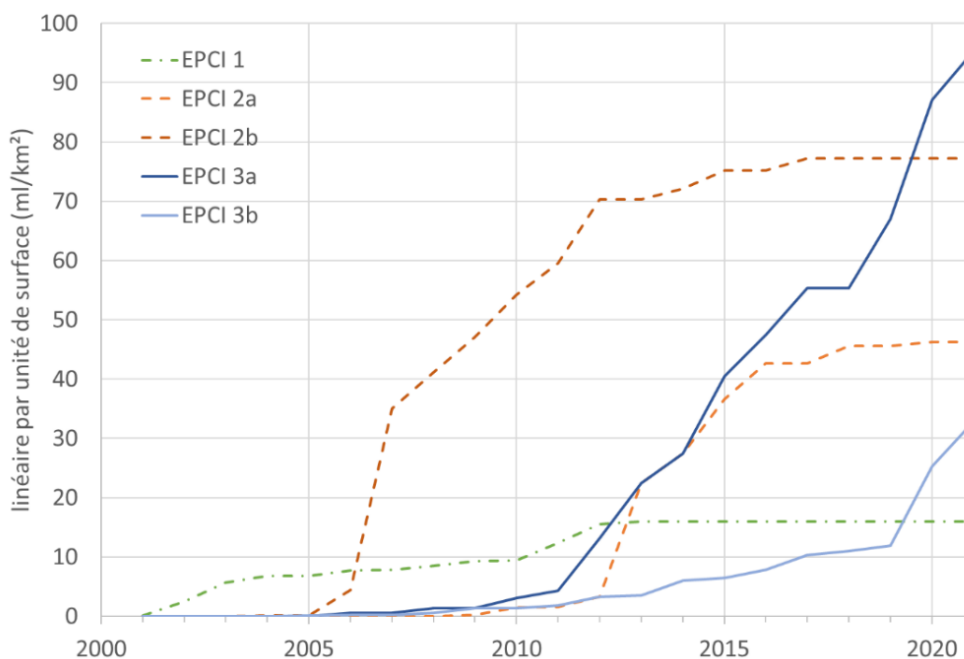


Figure 1 : longueur de haies et de fascines cumulée par km² de 2000 à 2021 pour cinq EPCI de Seine-Maritime

À partir de l'analyse fine faite sur le *syndicat mixte de bassin versant de l'Yères et de la côte* (SMBVYC), Zakéossian et Dagnet (2008) ont identifié les principales raisons à ces évolutions, qui ont été confirmées par l'observation des EPCI de Seine-Maritime depuis. Elles tiennent :

- aux choix politiques de développer intensément ou non cette thématique,
- à la mise à disposition de moyens financiers significatifs (budget prévisionnel supérieur à 100 k€/an),
- à la qualité de leur personnel technique (formation, expérience, reconnaissance par le monde agricole), ainsi qu'à la qualité du soutien qui leur est offert par les élus de l'EPCI.

Ces éléments plaident en faveur d'un diagnostic complet au démarrage de l'intervention sur un territoire, un diagnostic qui ne se limite pas aux seuls aspects techniques.

Intérêt d'un diagnostic pluridisciplinaire

Réaliser un diagnostic technique sur les processus physiques à l'œuvre, sur les systèmes de culture d'un territoire permet de proposer un ensemble de solutions techniques efficace. Mais cela ne suffit pas : encore faut-il qu'elle soit mise en œuvre. Pour y parvenir, la phase de diagnostic est un élément clé. Elle se doit de dépasser la seule dimension technique pour inclure une dimension humaine et sociale, ainsi qu'une dimension politique.

Disposer de ces diagnostics permet d'être en capacité de proposer les solutions adaptées au territoire. Par petite région naturelle, dès lors que la volonté politique est de développer les mesures préventives, les principaux éléments à prendre en compte dans le diagnostic vont principalement concerner : les processus érosifs en jeu ; les attentes de la collectivité et l'implication politique des acteurs locaux ; les caractéristiques de chaque type d'exploitation agricole (disponibilité, cultures, calendrier, itinéraires techniques, matériels, etc.) ; l'état d'esprit et le sentiment de responsabilité des acteurs ; et la capacité des techniciens à accompagner les agriculteurs dans les changements de pratiques demandés (compétence, temps).

La phase de diagnostic est l'occasion d'amorcer le dialogue entre les acteurs du territoire, ce qui facilite les étapes suivantes de choix des objectifs à atteindre et d'élaboration du programme d'action, en tenant compte de l'ensemble des contraintes, notamment celles liées au fonctionnement des exploitations agricoles. L'objectif qui peut lui être assigné est non seulement de poser le constat, mais aussi de le faire partager, et de l'acter officiellement. À cette fin,

l'agronome se doit de faire le terrain accompagné des acteurs du territoire, de préférence par temps de pluie ; ce qui est de plus en plus le cas en Pays de Caux.

De plus, le changement pour de nouvelles pratiques étant long, il convient d'anticiper les effets de l'évolution du climat sur l'agriculture (Delahaye *et al.*, 2021) et sur les ruissellements érosifs. Panagos *et al.*, (2021) prévoient une augmentation de l'érosion moyenne de 50 à 100 % en Normandie selon les scénarios climatiques. Les changements de température et pluviométrie vont probablement faire évoluer les systèmes de production et les itinéraires techniques.

Dimension technique : diagnostic sur les processus et les systèmes de culture

Quand on intervient pour la première fois sur des problèmes d'érosion hydrique des sols dans une région spécifique, on peut s'attendre à ce que les mesures préventives et curatives qui seront préconisées soient différentes de celles proposées dans d'autres régions. Cela vient de saisons à risques différentes, et d'agricultures différentes, comme le détaillaient déjà Le Bissonnais et ses co-auteurs dans le rapport de l'IFEN (Le Bissonnais *et al.*, 2002, p. 51-57). Des études dans de nombreuses régions peuvent en témoigner : par exemple sur les côtes du Lauragais (Delaunoy et Robert, 2000), d'Alsace (Armand *et al.*, 2009 ; Van Dijk *et al.*, 2016), en Bretagne (Gascuel-Oudou et Heddadj (1999), en pays de Caux (Boiffin *et al.*, 1986 ; Ouvry, 1990), en pays d'Artois (Ludwig *et al.* 1996 ; Anonyme 2014), dans le Brabant (Heitz *et al.*, 2005 ; Evrard *et al.*, 2007), entre autres.

Ainsi, par exemple, dans le Lauragais, face aux pluies orageuses intenses sur sol peu couvert en culture de maïs grain ou de tournesol, qui génèrent beaucoup d'érosion diffuse, de ruissellement et de rigoles intra-parcellaires, l'accent a été mis sur les techniques d'agriculture de conservation en semis sous couvert. En revanche, dans le pays de Caux, où l'érosion se développe essentiellement en hiver par ruissellement concentré dans les talwegs, ce sont les zones tampons enherbées qui ont été les premières mesures mises en œuvre.

Cette diversité n'est que le reflet de la diversité des processus, des itinéraires techniques et des systèmes de culture propres à chacune de ces régions. Elle montre que le diagnostic de bassin versant est le socle fondamental indispensable à tout programme d'actions. Il représente l'étape de base pour tout agronome ou animateur local.

Ce diagnostic cherche à comprendre le ou les processus à l'œuvre, ceux qui gouvernent la genèse du ruissellement, et ceux qui déterminent l'érosion *sensu stricto* (l'arrachement des particules de terre, leur transport et leur dépôt, avec leurs dimensions spatiale et temporelle). Il s'appuie sur les connaissances scientifiques produites par les chercheurs de disciplines aussi variées que la pédologie, l'agronomie ou l'hydraulique.

À l'échelle d'un bassin versant, les facteurs qui déterminent l'importance du ruissellement et de l'érosion, ou leur maîtrise, sont multiples et connus (Papy *et al.*, 1988 ; Souchère *et al.*, 2005 ; Martin, 2009).

Les diagnostics techniques existent. Ils ont été mis au point suite à la démarche initiée par Boiffin *et al.*, (1986) en Pays de Caux, puis complétés par l'outil DIAR (Martin *et al.*, 2010). C'est à partir de ces connaissances qu'un diagnostic régional a été élaboré en pays de Caux par l'Association de recherche sur le ruissellement, l'érosion et l'aménagement du sol (AREAS)² et la Chambre d'Agriculture. Ils comportent classiquement un volet ruissellement et un volet érosion.

Volet ruissellement

L'érosion hydrique étant induite par du ruissellement, les processus générant ce dernier doivent être identifiés. En limon épais sur le plateau du Pays de Caux, le ruissellement naît d'un processus hortonien, lorsque la surface du sol présente une capacité d'infiltration inférieure à l'intensité de la pluie, provoquée par le tassement ou la battance. Généralement l'excès d'eau en surface est induit

² www.areas-asso.fr

par des pluies ordinaires tombant sur des sols présentant une faible capacité d'infiltration. Il arrive qu'il se produise pour des intensités de pluie particulièrement élevée sur des sols présentant une perméabilité ordinaire. Toutefois, en bordure du plateau, là où le limon est peu épais, le ruissellement peut naître aussi d'une saturation de la porosité des couches superficielles du sol en lien avec une rupture de perméabilité à faible profondeur ou un sol gelé. Le *driver* principal peut donc être soit le sol et ses caractéristiques en lien avec les itinéraires techniques, soit le climat, ou les deux. Il en résulte des périodes différentes d'apparition des phénomènes au cours de l'année ainsi que des fréquences d'occurrence différentes. À noter que l'on observe aussi du ruissellement provenant de zones urbaines imperméabilisées, et parfois de sources intermittentes en plein champ (résurgence de nappe perchée temporaire formée dans le limon au-dessus de l'argile à silex). Ces diverses sources de ruissellement sont susceptibles d'engendrer des processus d'érosion linéaire dans les parcelles cultivées situées en aval et de contribuer à la pollution des milieux récepteurs.

Le diagnostic s'attache à identifier les facteurs prépondérants pour l'émission du ruissellement. Il procède par la collecte d'informations préalables (paramètres physiques du territoire, hydrologie, Orientation technico-économique des exploitations agricoles (OTEX)), suivie par des observations sur le terrain, et complétée par enquête auprès des exploitants agricoles.

Outre les paramètres classiques de pédologie, de pluviométrie, de climat, de topographie, de parcellaire, de sens de culture et d'occupation du sol, les principaux facteurs examinés en pays de Caux sont les suivants :

- les observations de terrains, principalement des figures d'érosion récentes ou des traces anciennes (zones d'accumulation, ravines), des états de surfaces, des liens entre parcelles ;
- les états de surfaces (EDS) en lien avec les itinéraires techniques : croûte de battance (existence, proportion d'EDS encroûtés, épaisseur des croûtes et vitesse de formation), rugosité superficielle dans le sens du travail du sol et dans le sens de la pente, degré d'affinement du lit de semence qui influe directement la proportion de surface encroûtée ;
- les itinéraires techniques : système à base de labour, de sans labour sur travail superficiel ou en semis direct sur sol nu ou sur sol couvert, activité biologique (surtout en semis direct), fréquence du travail superficiel, les tassements, le recours aux techniques permettant de limiter le développement des croûtes de battance et favorisant l'infiltration ;
- le système de production : polyculture et importance des cultures de printemps, présence de pomme de terre dans la rotation, types de cultures et écartement des rangs, assolements, présence d'élevage et statut des effluents, part des surfaces en herbe dans les rotations ;
- le couvert : présence d'un couvert vivant ou mulch en période à risque (joue sur la formation de la croûte de battance sur sols sensibles, soit en période de pluie intense sur sols à forte stabilité structurale) ;
- les périodes auxquelles les désordres se produisent, et les types de pluie qui les provoquent (sur ce point particulier, le changement climatique pourrait amener des modifications dans la fréquence des phénomènes).

Volet érosion

L'érosion peut prendre deux formes différentes : soit de l'érosion diffuse (ou aréolaire, *interrill erosion* dans la littérature internationale), soit l'érosion linéaire localisée sur les versants en chevelu (*rill erosion*) ou localisée sur les axes de talweg par concentration du ruissellement (*gully erosion*) (Ludwig *et al.*, 1996). Les deux formes peuvent naturellement coexister au sein d'une même parcelle (*interrill*, *rill* et *gully*) et dans le bassin versant avec des parts variables par rapport à la contribution totale de l'érosion à l'échelle du bassin versant. En parallèle, des zones de dépôt peuvent se former sur tout le chemin de l'eau au sein du bassin versant depuis la parcelle la plus en amont, ainsi les exports à l'exutoire du bassin versant ne proviennent pas nécessairement de toutes les parcelles érodées.

Dans le cas de l'érosion diffuse le *driver* essentiel est l'intensité de la pluie sur un sol nu ou peu couvert. Dans le cas de l'érosion linéaire, le *driver* est la vitesse de l'écoulement en relation avec la résistance à l'arrachement du lit de la zone de concentration. Indirectement, la vitesse de l'écoulement est liée à la taille des surfaces ruisselantes en amont (parcelle et bassin versant), aux caractéristiques de la pluie, à la pente des zones d'écoulements, aux itinéraires techniques, aux états de surfaces des parcelles cultivées, aux couverts et à l'occupation du sol sur les secteurs à risque d'érosion. Le diagnostic est donc conduit pour évaluer l'importance des deux modes d'érosion, leurs localisations spatiales, leurs interactions et les facteurs qui accentuent ou modèrent l'intensité des processus érosif (par exemple la distribution des surfaces en herbe par rapport aux écoulements).

Il convient aussi d'examiner la connectivité des écoulements entre parcelles cultivées et l'existence d'un réseau de talus, de fossés, de rus, de karst, de zones d'infiltration, etc.

Comme précédemment, le diagnostic s'attache à identifier les facteurs prépondérants pour l'émission, la rétention de particules et leur localisation. Il est réalisé par observations sur le terrain et complété par enquête auprès des exploitants agricoles.

Au-delà des paramètres communs avec le volet ruissellement, le diagnostic érosion informera sur :

- l'occupation du sol, notamment sur les zones à risques d'érosion et les secteurs favorables aux dépôts, ainsi que leur distribution spatiale ;
- le sens de travail du sol par rapport à la pente : organisation des figures d'érosion sur les versants ;
- la couverture du sol aux périodes à risque : type de culture, espacement entre les rangs, dates d'implantation ;
- la fonction de production du ruissellement en amont ;
- les itinéraires techniques : degré d'ameublissement face à un ruissellement linéaire ;
- la connectivité entre les parcelles : présence de réseaux hydrologiques, d'éléments du paysage (haies, talus, fossés, etc.) sur le chemin des écoulements superficiels, etc.

Il est important de connaître l'amplitude des effets de ces différents facteurs dans un contexte donné, mais également leurs interactions, certaines réduisant, et d'autres augmentant les réponses d'un territoire au ruissellement et à l'érosion.

Dimension politique

L'aspect politique du diagnostic est trop souvent omis, peut-être parce que considéré -parfois à tort- comme acquis par principe. Il est pourtant crucial pour le succès de l'animateur qui assurera la définition du programme d'actions et sa mise en œuvre.

Connaissance des enjeux et définition des objectifs

En effet, la plupart du temps, les interventions pour réduire l'érosion des terres émanent d'une demande sociétale, suite à un événement particulier ou à la répétition d'événements. Plus rarement la demande vient du monde agricole lui-même. Cette demande est traduite par les élus, qui dans ces circonstances ont des souhaits ou des exigences sous la forme « plus jamais ça ! ». Or, les moyens d'actions ont des limites, le *risque zéro* ne peut être atteint. Des objectifs réalisables doivent donc être formulés, et partagés par les décideurs.

L'enjeu doit également être clairement identifié. Par exemple, l'enjeu pour la collectivité peut concerner un dépôt de boues, un envasement exceptionnel d'un ouvrage, de la turbidité au forage d'eau potable, une inondation plus ou moins boueuse, récurrente ou exceptionnelle, un souci d'accès, une perte de fertilité agricole, etc. Sa nature va demander que l'accent soit porté sur tel ou tel type de mesures, dont on vérifiera la faisabilité lors de la visite de terrain et de l'enquête.

Disposer d'objectifs clairs sur un enjeu bien défini aide à identifier les mesures qui conviennent le mieux. Par exemple, les actions pour limiter l'arrivée de particules grossières (dépôt de boues),

souvent issues de phénomène d'érosion à proximité du point à enjeu, sont différentes de celles pour réduire la turbidité à un captage, créée par les particules fines très difficiles à faire sédimenter, comme l'illustrent les résultats du Tableau 1.

Tableau 1 : Efficacité de sédimentation offerte par des fascines pour des débits spécifiques compris entre 1,9 et 6,5 l/s/m selon la granulométrie des sédiments injectés (d'après Ouvry et al., 2012 b)

Granulométrie des apports	Situation et processus érosifs	Taux de sédimentation moyen par rapport à la quantité totale des apports	Taux de sédimentation moyen en relation avec la concentration maximale en sortie
Groupe G : correspondant aux MES dont plus de 50 % des particules transportées ont une taille supérieure à 125 µm	Erosion complète d'un volume de sol, sans tri lors de l'arrachement, ni lors du transport = flux d'un écoulement concentré au sein d'une rigole ou d'une ravine	93 à 99 %	89 à 98 %
Groupe F : correspondant aux MES dont moins de 35 % des particules transportées ont une taille supérieure à 125 µm	Erosion diffuse sous pluie peu intense	74 à 91 %	47 à 90 %

Mobilisation des acteurs

La dimension politique intervient également quand il s'agit de faire adhérer les acteurs locaux au programme d'actions depuis sa co-conception jusqu'à la réalisation des actions retenues. À investissement humain et technique constant de la part des animateurs, la réussite concrète de l'opération est influencée par le degré d'implication des élus dans le portage politique de cette opération. Ainsi, par exemple, l'intervention régulière du vice-président (VP) d'un syndicat de bassin versant auprès des agriculteurs des sous bassins versants prioritaires a permis un engagement plus fort dans les mesures. Le VP explique le sens de l'action, les objectifs du syndicat, rappelle la cohérence des interventions, la place du volet agricole et les objectifs attendus de réduction du ruissellement et de l'érosion, la méthode pour y parvenir, les enveloppes financières allouées aux programmes d'actions et les délais fixés pour ces réalisations. De même la présence du maire de la commune, qui connaît personnellement les agriculteurs, facilite souvent l'engagement. Le VP et les élus portent le cadre politique. Ainsi, l'animateur se charge des seuls aspects techniques, administratifs et de l'adaptation des mesures aux systèmes d'exploitation des agriculteurs. Dans les structures où seul l'animateur porte à la fois le message politique et technique, le niveau d'acceptation est nettement plus faible. L'impact du niveau d'implication des élus est aussi mesurable au travers des sessions de jeux de rôle Ruis-E.AU ou Caux-Opération, élaboré par l'INRA (Souchère et al., 2010). Ainsi, il est utile pour l'animateur que cet environnement politique soit diagnostiqué. Il pourra ainsi, si besoin, amener les élus à pouvoir jouer ce rôle de moteur à leurs côtés.

Mobilisation des moyens financiers et humains

Enfin, le politique a un rôle facilitateur important par les moyens directs et indirects, financiers ou techniques, qu'il dédie au programme d'actions. Il est utile de les connaître avant d'entamer le travail avec les acteurs de terrain afin de choisir, pour le budget alloué, les mesures efficaces qui auront le plus de chance d'être acceptées. À ce titre, les principales dépenses peuvent concerner : les aides à la réalisation d'implantation (couverts ou zones tampons), leur entretien, les indemnités de pertes de cultures, le conseil, la prise en charge des procédures administratives, la recherche de

débouchés économiques (valorisation biomasse, développement de filières), l'acquisition foncière, la réalisation de servitudes, etc.

Une partie du diagnostic se doit donc de faire le point sur le contexte politique, cerner les enjeux avec précision, valider les objectifs atteignables avec les décideurs, s'assurer de l'implication dans les processus d'acceptation du programme d'action et dresser le tableau des moyens mis en œuvre par les décideurs pour faciliter la réussite du projet.

Dimension humaine et sociale

Cette partie du diagnostic vise à caractériser, à l'échelle du bassin versant ou de la petite région agricole, l'environnement du monde agricole, son degré de prise de conscience du problème, et l'acceptabilité des actions pressenties.

L'intérêt de prendre en compte des aspects relevant des sciences humaines et sociales dans les méthodes de travail de l'agronome a surgi au cours des années 2000 (Mathieu, 2006 ; Heitz *et al.*, 2006). Il a permis de franchir un cap dans l'acceptabilité des actions proposées et finalement dans le développement concret de certaines mesures. Ainsi le SMBVYC est parvenu à une diffusion remarquable des zones tampons, ainsi que quelques autres syndicats. Les EPCI qui intègrent le mieux ces approches sont ceux des catégories 2 et 3 sur la Figure 1.

Identifier les circuits d'échange et d'information

L'expérience a montré que la réalisation effective des actions préventives et curatives dépend autant de la dimension technique que de la dimension humaine et sociale dans les démarches (Heitz *et al.*, 2009 ; Zakeossian et Dagnet, 2008). Les relations et les échanges entre exploitants jouent un rôle important, ainsi que les discours des autres conseillers agricoles (Mathieu, 2006). En pays de Caux, le monde agricole est assez peu organisé en CUMA ou en groupes similaires contrairement à d'autres territoires. Chaque exploitant agricole communique avec un collègue sur une production donnée et avec son conseiller de coopérative. De fait la promotion des nouvelles techniques passe peu par les échanges entre groupes d'exploitants (*farmers to farmers*) et ne bénéficie pas beaucoup de cette caution apportée par les pairs (Zakeossian et Dagnet, 2008). Pour accroître l'acceptabilité de nouvelles techniques, l'objectif est de développer ces formes d'échange très efficaces entre exploitants. De même, il a parfois été constaté que certains conseillers agronomiques des exploitants pouvaient avoir soit un discours totalement en phase avec celui de l'animateur ruissellement-érosion du syndicat, soit aucun message sur cette thématique, soit un discours contradictoire. L'animateur doit déterminer quels sont les conseillers qui interviennent dans les fermes pour harmoniser les conseils ; par exemple, chez les éleveurs c'est parfois le contrôleur laitier qui s'occupe des itinéraires techniques pour la culture du maïs.

Perception des phénomènes et consentement à agir

De même, la compréhension du problème par les exploitants agricoles et les liens avec l'ensemble des contraintes agricoles (économiques, techniques et réglementaires) jouent différemment sur le consentement à agir. C'est par exemple le cas pour la couverture des sols en automne-hiver : pour comprendre le problème, une sortie de terrain sous la pluie sur un chantier de récolte à l'automne permet de constater très aisément la genèse et l'importance du ruissellement produit et la formation de rigoles en bas de parcelle. Dès lors l'enjeu est clair et la question de la mise en place des couverts est abordée. Pour agir, l'exploitant a besoin de connaître les coûts d'implantation, les modes de destruction pour limiter les contraintes sur la culture suivante et aussi les contraintes réglementaires sur les dates de destruction. Ces aspects doivent faire partie du diagnostic initial du territoire.

Les mesures proposées pour limiter le ruissellement, l'érosion, et les transferts associés, vont nécessiter soit des changements de pratiques au sens large (pratiques culturales, itinéraires techniques, voire système de culture), soit des changements d'affectation de surfaces exploitées par l'agriculteur (réalisation de zones tampons impliquant des investissements, une emprise

foncière, un entretien, une perte de surface productive, pour ne citer que les contraintes les plus fortes). Aussi le passage à l'acte n'est pas automatique et requiert une volonté de la part des acteurs de terrain. Le diagnostic doit donc s'intéresser à connaître le degré d'acceptation et de motivation des acteurs du territoire, au rang desquels il ne faut pas oublier les conseillers du monde agricole, et les forces vives favorables. Les points bloquants doivent aussi être identifiés. Selon les résultats de ce diagnostic, il peut s'avérer judicieux d'inclure dans le programme des actions de sensibilisation, de communication, et d'association avec des partenaires choisis.

Le changement de pratiques requiert du temps et de l'accompagnement, aussi la qualité de la relation entre l'animateur du territoire et l'agriculteur est-elle primordiale. Elle doit être basée sur la confiance, et s'inscrire dans le temps long, l'action de l'animateur étant légitimée par une volonté politique claire. Ces éléments doivent également être portés au diagnostic.

Choix de la méthode de travail

L'ensemble de ces informations permettent ensuite de choisir la méthode de travail la plus adaptée au territoire, à la fois pour la préparation d'un programme d'actions et pour sa mise en œuvre. Pour ces étapes ultérieures, les sciences humaines et sociales sont en mesure d'apporter une aide qui peut s'avérer décisive. De façon générale, les méthodes participatives se sont révélées les plus efficaces à terme, dans la mesure où elles associent tous les acteurs majeurs identifiés sur le territoire (agriculteurs, élus, conseillers agricoles, agrofournisseurs) au diagnostic sur le terrain, ainsi qu'à l'élaboration des mesures adaptées. On peut également noter un point commun aux concertations réussies, c'est-à-dire celles où chacun des exploitants du territoire s'est engagé dans au moins une mesure culturale et un aménagement de zone tampon efficace sur ses parcelles : elles ont toutes comporté des étapes de sensibilisation, de responsabilisation, ont fait appel à des échanges entre pairs, ainsi qu'à des démonstrations qui facilitent la mise en application des mesures antiérosives. Il est essentiel que la phase de diagnostic permette d'amorcer ces étapes et le dialogue entre les acteurs du territoire.

Sélection des mesures adaptées au territoire

La dernière étape du diagnostic pluridisciplinaire consiste à choisir les mesures les plus appropriées et les plus efficaces. L'ensemble de ces mesures constitue la boîte à outils de l'aménageur (Catalogne et Le Hénaff, 2016 ; Carluet *et al.*, 2017). Bon nombre des mesures sont connues à ce jour, pour certaines depuis près d'un siècle (techniques issues de la Restauration des Terrains en Montagne (RTM), Grass-waterway). Elles ont fait l'objet de recherches techniques au cours de ces dernières années. Néanmoins, ces mesures ont toutes des conditions d'usages optimales et des limites qu'il convient de connaître. Le Tableau 2 en synthétise les résultats dans le contexte de limons profonds pour un événement de fréquence de retour décennale en Normandie.

Ainsi, à l'issue du diagnostic, l'animateur dispose d'un arsenal significatif lui permettant de faire des propositions efficaces tant sur la réduction du ruissellement que sur la réduction de l'érosion et du transfert des particules.

Cette étape de sélection des mesures adaptées au territoire doit tenir compte des étapes suivantes, notamment celle de proposition d'actions. Pour cela, outre les aides financières disponibles par mesure, deux idées fortes doivent être présentes à l'esprit lors du diagnostic :

1. Chaque plan d'action, chaque scénario se base sur une combinaison d'aménagements (zones tampons) permettant la mitigation de l'aléa érosion, et de pratiques culturales permettant de réduire l'aléa ruissellement érosif.
2. La cohérence du plan est à l'échelle du bassin versant ; en revanche, les actions sont déclinées à l'échelle de la parcelle, et doivent donc tenir compte des contraintes de chaque exploitation agricole.

À noter que les aides financières ne sont pas nécessairement en phase avec les mesures les plus adaptées au territoire.

Tableau 2 : efficacité des principales zones tampons sur sol limoneux profond pour un événement de fréquence de retour 10 ans (d'après Ouvry et al., 2012 b)

Type d'Aménagement (Ordre de grandeur valable en Haute-Normandie sur sol limoneux profond)			Efficacité / évènement d'occurrence F10						
			Plage temporelle	Erosion de versant	Erosion linéaire par R concentré	Sédimentation (MES; P ₂ O ₅)	Infiltration (Phyto)	Laminage	
Hydraulique rapprochée : réduction de l'érosion, ralentissement des écoulements, augmentation de l'infiltration et de la sédimentation	Mesures herbe surfacique	Bout de champs enherbé	CT et LT		5	5	4		
		Talweg enherbé			5	4	3	2	
		Cunette enherbée, noue			5		2		
	Mesures Linéaires	Fascine ⊥ talweg	morte	CT		3	4	1	1
			vivante (->haie hyper-dense)	CT et LT		3	4	2	1
		Haie vive ⊥ écoulement	Haie hyper-dense (1) à plat ⊥ talweg	LT		3	4	2	1
			Haie sur talus ⊥ versant	CT et LT	5	5	5	5	3
			Haie peu dense à plat sur versant	LT	1		1	2	1
	Haie vive // écoulement	Haie peu dense à plat dans talweg	LT				1		
	Mesures infiltration surfacique : herbe ou bois	Prairie de versant	CT et LT		5			5	
		Prairie d'infiltration et de sédimentation			5	4	5	2	
		Boisement d'infiltration			5	2	5	1	
	Mesures de ceinturage et de stockage	Gabion	CT et LT			5	1		
		Fossé simple				5	1	1	
		Fossé à redents				5	4	3	
		Fossé de ceinturage				5	1	1	
		Talus simple				3	3	1	1
		Talus busé				3	4	2	2
Fossé-talus type cauchois					5	3	2	2	
Diguette - Pli cultivable					2	4	1	2	
Mare tampon					2	4		2	

Echelle d'appréciation
1 : 0 - 20% d'efficacité
2 : 20 - 40% d'efficacité
3 : 40 - 60% d'efficacité
4 : 60 - 80% d'efficacité
5 : 80 - 100% d'efficacité

CT = Court Terme : 1 à 5 ans.	(1) Haie hyper-dense = haie avec + de 40 tiges /ml qui sortent du sol.	source: AREAS 2011 JF OUVRY
CT et LT = Court et Long Terme : 1 à + de 10 ans.		
LT = Long Terme : à partir de 10 ans.		

Conclusion et perspectives

Les premiers travaux sur l'érosion des terres de Jean Boiffin et François Papy des années 1980 (Boiffin *et al.*, 1986) ont permis de tracer une partie de la méthode de travail où le diagnostic de terrain et de territoire se sont imposés comme un outil préalable incontournable à toute intervention. Chaque petite région naturelle, en tenant compte de ses spécificités, dispose (ou pourrait disposer) d'une version technique simplifiée et adaptée du diagnostic technique, comme c'est le cas en Normandie. La prise en compte des aspects relevant des sciences humaines et sociales dans les méthodes de travail de l'agronome a permis de franchir un cap dans l'acceptabilité des actions proposées et finalement dans le développement concret de certaines mesures, notamment les zones tampons.

Malgré tout, les constats de terrain de ces dernières années montrent que les efforts sont toujours à poursuivre en matière d'adoption d'itinéraires techniques moins ruisselants, et complétés par la mise en place d'indispensables zones tampons antiérosives et/ou sédimentaires. Plus généralement, on peut appeler de nos vœux l'émergence et la diffusion de systèmes de culture plus résilients, les ruissellements érosifs étant l'un des aléas auxquels les exploitations agricoles de demain devront faire face de façon accrue.

En zones à risque élevé d'érosion des terres arables, les surfaces consacrées aux zones tampons peuvent représenter jusqu'à 4 % des territoires ruraux, comme plusieurs études l'ont montré en Seine-Maritime. Cette proportion peut représenter un frein à leur implantation, sauf à mettre en place des débouchés non agricoles pour ces surfaces (biomasse, lignocellulose, etc.), ou à indemniser les pertes de surface par des *paiements pour services environnementaux*, par exemple. Compte tenu de l'importance des surfaces concernées, au rythme actuel de réalisation des actions, la réduction des phénomènes et des impacts prendra encore plusieurs décennies. Le degré d'implication des collectivités et des partenaires de l'agriculture (conseils, instituts techniques, fournisseurs) et l'intensité de l'accompagnement des agriculteurs devraient permettre d'agir plus rapidement, indépendamment de la volonté des exploitants agricoles d'agir pour limiter les effets du changement climatique sur l'érosion, pour maintenir ou développer de la biodiversité au sens large, pour recréer une certaine diversité paysagère.

Quant à l'impact du changement climatique sur ces phénomènes d'érosion et sur les systèmes de culture, il n'est pas encore réellement pris en compte par les programmes d'action sur le terrain. Dans ce futur cadre-là, l'approche basée sur des diagnostics gardera toute sa pertinence. La palette des solutions déjà connues peut être suffisante, même si d'autres outils pourraient se diffuser (les haies herbacées (Richet *et al.*, 2019), par exemple, sont prometteuses mais les savoir-faire sont à acquérir pour les acteurs de terrain). Pour répondre à un aléa érosion plus fort, un recours plus fréquent aux mesures correctives pourra être invoqué (allongement des bandes enherbées de talweg vers l'amont, ou abaissement des seuils de pente et de longueur de rayage pour les fourrières enherbées, par exemple), ou par des combinaisons de mesures (par exemple renforcer l'effet d'une haie antiérosive par une bande d'herbe en aval (Lhériveau *et al.*, 2012)). La modélisation peut contribuer à évaluer les gains ainsi obtenus.

Parallèlement, la demande des collectivités évolue pour intégrer de plus en plus l'analyse coût-bénéfice. La culture du résultat gagne nos politiques, qui exigent une garantie d'efficacité, dans le cadre d'un budget maîtrisé. Cette exigence supérieure offre des perspectives de développement scientifiques, car elle suppose que l'on soit capable d'évaluer quantitativement l'effet des mesures proposées sur le milieu, ainsi que leur coût.

Cela devient possible grâce au progrès des modèles de ruissellement et d'érosion à petite échelle de bassin versant (WaterSed (Landemaine, 2016), openLisem (van den Bout et Jetten, 2017)...). Ces outils aident à modéliser l'effet des changements de pratiques, des zones tampons sur l'érosion et les transferts dans différentes conditions et même sur des séries temporelles car ils commencent à intégrer l'évolution du couvert et des EDS au cours de la saison culturale (travaux en cours). Comme

tout modèle, ils sont imparfaits, mais peuvent se montrer d'utiles outils d'aide à la décision. Ils permettent également de mettre en évidence des problèmes secondaires, comme par exemple la durabilité des mesures telles que les chenaux enherbés. En effet, les chenaux enherbés règlent le problème de l'érosion par ruissellement concentré, mais l'érosion diffuse subsiste et provoque leur envasement. Ils permettent aussi de tester plusieurs types d'événements climatiques, pour s'assurer que les événements extrêmes, qui ne manqueront pas de se produire un jour, ne créent pas de dysfonctionnement ailleurs.

L'évaluation des différents scénarios modélisés peut porter sur différents critères physiques (les volumes ruisselés, les débits, l'arrachement de particules, les dépôts, les transferts de MES), et sur différentes situations (saisons, scénarios climatiques, fréquences de retour, etc.). La pondération de ces critères et de ces situations doit être adaptée au contexte et à la demande locale, en tenant compte des éléments du diagnostic politique, humain et social.

Bibliographie

ANONYME, 2014. *Guide de l'érosion - Lutter contre l'érosion* [en ligne]. Chambre d'agriculture du Nord-Pas-de-Calais & SOMEA. Disponible à l'adresse : https://hautsdefrance.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Hauts-de-France/guide_erosion_2013_02.pdf

ARMAND, R., BOCKSTALLER, C., AUZET, A.-V., VANDIJK, P., 2009. Runoff generation related to intra-field soil surface characteristics variability - Application to conservation tillage context. *Soil and Tillage Research*. janvier 2009. Vol. 102, n° 1, pp. 27-37. DOI 10.1016/j.still.2008.07.009.

AUZET, A.-V., LE BISSONNAIS, Y., SOUCHÈRE, V., 2006. France. In : *Soil erosion in Europe*. Chichester, UK : John Wiley & Sons, Ltd. pp. 369-384. ISBN 978-0-470-85920-9.

BOARDMAN, J., POESEN, J., 2006. Soil Erosion in Europe: Major Processes, Causes and Consequences. In : BOARDMAN, John et POESEN, Jean (éd.), *Soil Erosion in Europe* [en ligne]. Chichester, UK : John Wiley & Sons, Ltd. pp. 479-487. [Consulté le 23 avril 2015]. ISBN 978-0-470-85920-9. Disponible à l'adresse : <http://doi.wiley.com/10.1002/0470859202.ch36>

BOIFFIN, J., PAPY, F., PEYRE, Y., 1986. Systèmes de production, systèmes de culture et risques d'érosion dans le Pays de Caux. Paris : INA-PG, INRA.

BRICARD, O., GIMONET, S., 2014. Base de données CASTOR - AREAS. [en ligne]. 2014. [Consulté le 15 octobre 2021]. Disponible à l'adresse : <https://bdcastor.fr/>

CARLUER, N., CATALOGNE, C., DAGÈS, C., TOURNEBIZE, J., 2017. Aménager le territoire et gérer les aménagements : les zones tampons sèches et humides, les fossés pour lutter contre les pollutions diffuses par les produits phytosanitaires dans les aires de captage. *Innovations Agronomiques*. 2017. Vol. 57, pp. 117-139.

CATALOGNE, C., LE HÉNAFF, G., 2016. *Guide d'aide à l'implantation des zones tampons pour l'atténuation des transferts de contaminants d'origine agricole* [en ligne]. Guide technique. Antony : Irstea-ONEMA. [Consulté le 14 janvier 2019]. Groupe Technique Zones Tampons. Disponible à l'adresse : <https://www.documentation.eauetbiodiversite.fr/notice/guide-d-aide-a-l-implantation-des-zones-tampons-pour-l-attenuation-des-transferts-de-contaminants-d-1>

CERDAN, O., 2001. Analyse et modélisation du transfert de particules solides à l'échelle de petits bassins versants cultivés. Université d'Orléans.

COMMISSION EUROPÉENNE, 2021. COM(2021) 699 final : *EU Soil Strategy for 2030 - Reaping the benefits of healthy soils for people, food, nature and climate* [en ligne]. Brussels : European Commission. [Consulté le 18 novembre 2021]. COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE

AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS. Disponible à l'adresse : https://ec.europa.eu/environment/system/files/2021-11/COM_2021_699_1_EN_ACT_part1_v4_o.pdf

DELAHAYE, D., BRUNEL-MUGUET, S., DIOMARD, I., OUVRY, J-F., 2021. Quels enjeux et défis pour l'agriculture et la conservation des sols normands? *Etudes normandes*. décembre 2021. N° 20, pp. 24-31.

DELAUNOIS, A., ROBERT, JP., 2000. Erosion hydrique et biologie du sol. Comparaison de trois couples de parcelles (L/NL) dans les côteaux molassiques du lauraguais. Mise en place et suivi des parcelles en 1998 et 1999. Chambre d'agriculture du Tarn.

EVARD, O., BIELDERS, C-L., VANDAELE, K., VAN WESEMAEL, B., 2007. Spatial and temporal variation of muddy floods in central Belgium, off-site impacts and potential control measures. *Catena*. 2007. Vol. 70, n° 3, pp. 443-454.

FAULKNER, H., SOUCHERE, V., REJMAN, J., 2010. *Special Issue: Special Issue on COST 634 : On- and Off-Site Environmental Impacts of Runoff and Erosion* [en ligne]. John Wiley and Sons. Land Degradation and Development. Disponible à l'adresse : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01198127>

GASCUEL-ODOUX, C., HEDDADJ, D., 1999. Maîtrise des transferts de surface dans le contexte armoricain. *Contrat Bretagne Eau Pure*. 1999. Vol. 95, pp. 09-020.

GILLIJNS, K., GOVERS, G., POESEN, J., MATHIJS, E., BIELDERS, C., 2005. *Erosion des sols en Belgique. Etat de la question*. Institut royal pour la Gestion durable des Ressources naturelles et la Promotion des Technologies propres, ASBL.

HEITZ, C., GLATRON, S., AUZET, A-V., SPAETER, S., 2006. Analysis of the risk perception of natural disasters due to muddy flows by the stakeholders of periurban areas. In: *Farm level adoption of SWC measures and policy implications in Europe, COST 634 workshop of the Erosion and soil & water conservation (ESM) group* [en ligne]. Wageningen, Netherlands. octobre 2006. Disponible à l'adresse : <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00200844>

HEITZ C., GLATRON, S., SPAETER, S., AUZET, A-V., 2009. Local stakeholders' perception of muddy flood risk and implications for management approaches: a case study in Alsace (France). *Land Use Policy*. 2009. Vol. 26, n° 2, pp. 443-451.

JOANNON, A., PAPY, F., SOUCHERE, V., MARTIN, P., 2005. Modification of crop location at farm level: assessment of farmers' leeway. In : *COST 634 "On- and off-site environmental effects impacts of runoff and erosion"* [en ligne]. Mont Saint-Aignan, France. juin 2005. pp. np. Soil conservation management, perception and policy. Disponible à l'adresse : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01458443>

LABREUCHE, J., LAURENT, F., ROGER-ESTRADE, J., (éd.), 2014. *Faut-il travailler le sol? acquis et innovations pour une agriculture durable*. Versailles, France : Paris, France : Éditions Quae ; Arvalis-Institut du végétal. ISBN 978-2-7592-2193-6. S604 .F385 2014

LANDEMAINE, V., 2016. Erosion des sols et transferts sédimentaires sur les bassins versants de l'Ouest du bassin de Paris : analyse, quantification et modélisation à l'échelle puriannuelle [en ligne]. Mont-Saint-Aignan, France : Normandie Université. Disponible à l'adresse : <https://hal-normandie-univ.archives-ouvertes.fr/tel-01937208/document>

LE BISSONNAIS, Y., THORETTE, J., BARDET, C., DAROUSSIN, J., 2002. *L'érosion hydrique des sols en France* [en ligne]. IFEN et INRA. Disponible à l'adresse : http://petiot.free.fr/Marielle/Dossier%20oral%20PLPA/doc/erosion_hydrique_2002_br.pdf

LE BISSONNAIS, Y., BRUNO, J F., CERDAN, O., COUTURIER, A., ELYAKIME, B., FOX, D., LEBRUN, P., MARTIN, P., MORSCHEL, J., PAPY, F., SOUCHÈRE, V., 2003. *Maîtrise de l'érosion hydrique des sols cultivés: Phénomènes physiques et dispositifs d'action. Programme GESSOL. rapport final* [en ligne]. Orléans : INRA. Disponible à l'adresse : <http://www.gessol.fr/sites/default/files/rapport%20final%20LE%20BISSONNAIS.pdf>

- LHÉRITEAU, M., OUVRY, J-F., RICHEL, J-B., 2012. *fiche « fascines et haies, les associer pour plus d'efficacité »* [en ligne]. 2012. AREAS. Disponible à l'adresse : <https://www.areas-asso.fr/wp-content/uploads/2021/04/haiesfascines-areas-fiche-association.pdf>
- LUDWIG, B., AUZET, A-V., BOIFFIN, J., PAPY, F., KING, D., CHADCEUF, J., 1996. États de surface, structure hydrographique et érosion en rigole de bassins versants cultivés du Nord de la France. *Étude et Gestion des Sols*. février 1996. Vol. 3, n° 1, pp. 53-70.
- MARTIN, P., COUFORIER, N., OUVRY, J-F., JOANNON, A., 2007. Comment réduire la production de ruissellement par les pratiques culturales: de la parcelle au bassin versant? In : *Colloque RDT/UMR SAD APT. Réduire le ruissellement sur le territoire agricole: quels outils pour quelles perspectives* [en ligne]. Bois-Guillaume, France. février 2007. pp. 25p. Disponible à l'adresse : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01197782>
- MARTIN, P., 2009. De la trajectoire d'états des écosystèmes cultivés aux espaces territorialisés dynamiques : contribution à la prise en compte de la dimension temporelle dans une agronomie des territoires [en ligne]. Habilitation à diriger des recherches. Institut National Polytechnique (Toulouse). Disponible à l'adresse : <https://hal.inrae.fr/tel-02819891>
- MARTIN, P., JOANNON, A., PISKIEWICZ, N., 2010. Temporal variability of surface runoff due to cropping systems in cultivated catchment areas: Use of the DIAR model for the assessment of environmental public policies in the Pays de Caux (France). *Journal of Environmental Management*. mars 2010. Vol. 91, n° 4, pp. 869-878. DOI 10.1016/j.jenvman.2009.11.003.
- MATHIEU, A., 2006. Toward a social functioning of a catchment. Elements for agricultural scientists' prescriptions to struggle against runoff and erosion. In : *COST 634 "On- and Off-site environmental impacts of runoff and erosion"* [en ligne]. Wageningen, Netherlands. octobre 2006. pp. 8p. Disponible à l'adresse : <https://hal.inrae.fr/hal-02813189>
- OUVRY, J-F., 1990. Effet des techniques culturales sur la susceptibilité des terrains à l'érosion par ruissellement concentré : expérience du Pays-de-Caux. *Cahiers ORSTOM, série pédologie*. 1990. Vol. 25, n° 1-2, pp. 157-169.
- OUVRY, J-F., COUFORIER, N., LHÉRITEAU, M., PIVAIN, Y., MARTIN, P., LECOMTE, V., BARRIER, C., WITKOWSKY, D., SAINT-OMER, L., CORRUBLE, C., LUCE, M., 2012 a. *Expérimentation sur les pratiques culturales 2001-2010. Synthèse des résultats de ruissellement et d'érosion* [en ligne]. Groupe Maîtrise du ruissellement par les pratiques culturales. Disponible à l'adresse : http://www.areas-asso.fr/wp-content/uploads/2020/06/brochure_10ans_essais_pc_ruissellement.pdf
- OUVRY, J-F., RICHEL, J-B., BRICARD, O., LHÉRITEAU, M., BOUZID, M., SAUNIER, M., 2012 b. *Fascines et haies pour réduire les effets du ruissellement érosif* [en ligne]. Disponible à l'adresse : http://www.areas-asso.fr/images/expe%20autres/efficacite_haies_fascines_AREAS_68p.pdf
- PANAGOS, P., BALLABIO, C., HIMICS, M., SCARPA, S., MATTHEWS, F., BOGONOS, M., POESEN, J., BORRELLI, P., 2021. Projections of soil loss by water erosion in Europe by 2050. *Environmental Science & Policy*. octobre 2021. Vol. 124, pp. 380-392. DOI 10.1016/j.envsci.2021.07.012.
- PAPY, F., BOIFFIN, J., DOUYER, C., 1988. Influence des systèmes de culture sur les risques d'érosion par ruissellement concentré. II. Évaluation des possibilités de maîtrise du phénomène dans les exploitations agricoles. *Agronomie*. 1988. Vol. 8, n° 9, pp. 745-756. DOI 10.1051/agro:19880901.
- PATAULT, E., LEDUN, J., LANDEMAINE, V., SOULIGNAC, A., RICHEL, J-B., FOURNIER, M., OUVRY, J-F., CERDAN, O., LAIGNEL, B., 2021. Analysis of off-site economic costs induced by runoff and soil erosion: Example of two areas in the northwestern European loess belt for the last two decades (Normandy, France). *Land Use Policy*. septembre 2021. Vol. 108, pp. 105541. DOI 10.1016/j.landusepol.2021.105541.
- RICHEL, J-B., OUVRY, J-F., SAUNIER, M., 2017. The role of vegetative barriers such as fascines and dense shrub hedges in catchment management to reduce runoff and erosion effects: Experimental

evidence of efficiency, and conditions of use. *Ecological Engineering*. juin 2017. Vol. 103, pp. 455-469. DOI 10.1016/j.ecoleng.2016.08.008.

RICHET, J-B., KERVROËDAN, L., SAUNIER, M., OUVRY, J-F., 2019. *La haie herbacée antiérosive, une zone tampon durable et efficace pour la rétention des particules* [en ligne]. Brochure technique. Saint-Valery-en-Caux : AREAS. Disponible à l'adresse : https://www.areas-asso.fr/wp-content/uploads/2020/01/areas-hha_20191226-web.pdf

SOUCHÈRE, V., SOREL, L., COUTURIER, A., LE BISSONNAIS, Y., CERDAN, O., 2005. Rapport d'activité 2004 : Application du modèle STREAM à l'échelle d'un bassin versant au cours d'un cycle hydrologique. Rapport d'activité. Paris : PIREN Seine. Développements méthodologiques et scénario tendenciel.

SOUCHÈRE, V., MILLAIR, L., ECHEVERRIA, J., BOUSQUET, F., LE PAGE, C., ETIENNE, M., 2010. Co-constructing with stakeholders a role-playing game to initiate collective management of erosive runoff risks at the watershed scale. *Environmental Modelling & Software*. novembre 2010. Vol. 25, n° 11, pp. 1359-1370. DOI 10.1016/j.envsoft.2009.03.002.

VAN DEN BOUT, B., JETTEN, V., 2017. Integrating flood modelling in a hydrological catchment model: flow approximations and spatial resolution. In : *EGU2017, proceedings from the conference held 23-28 April, 2017 in Vienna, Austria*. Wien, Österreich : Geophysical Research Abstracts. avril 2017. pp. 9666.

VAN DIJK, P M., ROSENFELDER, C., SCHEURER, O., DUPARQUE, A., MARTIN, P., SAUTER, J., 2016. Une approche agronomique territoriale pour lutter contre le ruissellement et l'érosion des sols en Alsace. *Agronomie environnement & société*. juin 2016. Vol. 6, n° 1, pp. 35-47.

VAN-CAMP, L., BUJARRABAL, B., GENTILE, A-R., JONES, R.J.A., MONTANARELLA, L., OLAZABAL, C., SELVARADJOU, S-K., 2004. EUR 21319 EN/5 : *Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection* [en ligne]. Luxembourg : Office for Official Publications of the European Communities. Disponible à l'adresse : <https://ec.europa.eu/environment/archives/soil/pdf/vol5.pdf>

ZAKEOSSIAN, D., DAGNET, J-Y., 2008. Gestion des enjeux érosifs en Haute-Normandie : enjeux stratégiques à partir de l'exemple du BV de l'Yères. *Formation technique AREAS* [en ligne]. formation technique. Seine-Maritime. 18 novembre 2008. Disponible à l'adresse : <https://www.areas-asso.fr/wp-content/uploads/2021/09/epicesvfinale.pdf>



Les articles sont publiés sous la licence Creative Commons 2.0. La citation ou la reproduction de tout article doit mentionner son titre, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue AE&S et de son URL, ainsi que la date de publication.