

Projet FORSEE

Un réseau de zones pilotes pour tester et améliorer les indicateurs de gestion durable des forêts au niveau régional sur la façade atlantique de l'Europe

Etude spécifique Cemagref pour le critère 5
Rapport final

Octobre 2006

Auteurs :

Françoise VERNIER

Kevin PETIT – Daniel UNY

Cemagref - unité ADBX – Cemagref Cestas

Avec la participation de :

William Loveluck (ingénieur ENSAT) – Nicolas Chambre (Master Géographie Bordeaux.)

Projet **FORSEE** www.iefc.net



Projet cofinancé par l'Union
Européenne
Initiative communautaire FEDER -
INTERREG III B *Espace Atlantique*



REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier particulièrement :

- le Parc des Landes de Gascogne (François Billy responsable environnement et Laurent Dégrave technicien rivières) pour les données terrain sur les ripisylves, mises à notre disposition, et leur participation à l'étude,
- la DFCI (Pierre Macé de la FDFCI 33) pour la mise à disposition de photos aériennes qui nous ont été précieuses dans l'étude de l'indicateur ripisylve,
- L'INRA pour sa mise à disposition de données sur les sols (Laurent Augusto), sur les coupes rases (Dominique Guyon) et de données géographiques sur la zone de Pontenx (Jean-Charles Samalens) dans le cadre de cette étude,
- Le CRPF (Amélie Castro) et l'IEFC (Christophe Orazio) pour leur disponibilité lors de nos sollicitations et leur participation.

-

PARTIE 1 : Synthèse

I Contexte : le projet FORSEE

1. Rappel des objectifs du projet

FORSEE (Gestion durable des FORêts: un réSEau de zones pilotes pour la mise en œuvre opérationnelle) est un projet financé par le Fonds européen de développement régional (FEDER), dans le cadre du Programme Interreg III B « Espace Atlantique ». INTERREG est un des quatre programmes d'initiatives communautaires mis en place par la Commission européenne destinés à favoriser un développement harmonieux, équilibré et durable du territoire européen sur la période 2000 - 2006. Ce programme a été développé dans plusieurs régions : la déclinaison du projet nommé INTERREG III B, dans le cadre duquel s'insère cette étude, est plus spécifiquement destiné à encourager les accords transnationaux pour le développement de l'arc Atlantique.

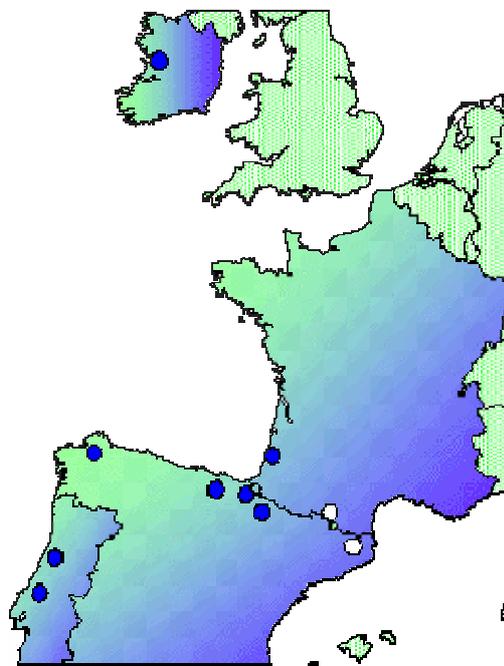
Le projet FORSEE propose de consolider le processus de certification PEFC de la gestion durable de la forêt, au niveau régional, en réalisant un test en vraie grandeur de critères et indicateurs (C&I) de gestion durable sur des zones pilotes de plusieurs milliers d'hectares.

L'objectif de ce projet est de fournir aux régions participantes et aux acteurs locaux des méthodes, des outils et des compétences pour l'évaluation, le suivi et la promotion de la gestion durable des forêts. Les 10 zones pilotes se situent dans quatre pays atlantiques: France, Portugal, Espagne et Irlande (figure 1). Le cœur du projet concerne la mise en œuvre et l'évaluation de la gestion durable telle que a été définie lors de la conférence interministérielle de Lisbonne en 1998, en application des accords d'Helsinki.

Ce projet engage de nombreux partenaires de l'arc Atlantique. Le tableau suivant présente les différentes régions engagées dans ce projet et leur essence d'arbre dominante.

Région	Espèce dominante	Contexte
Irlande	Epicea de sitka	Forêt privée majoritaire
Aquitaine	Pin maritime	Forêt privée majoritaire
Euskadi	Pin radiata	Forêt publique majoritaire
Navarre	Hêtre	Forêt publique avec forte fonction de protection
Castille et León	Peuplier	Forêt agricole
Galice	Pins, eucalyptus	Forêt privée
Cantabrie	Pin radiata, eucalyptus, chêne	Forêt mixte
Portugal Nord	Pin maritime, eucalyptus	Forêt privée
Portugal Centre	Eucalyptus globulus et pin maritime	Forêt privée et communale, avec de nombreux espaces Natura 2000

Tableau 1 : Différentes projet FORSEE et leur



régions engagées dans le type de forêt

Figure 1 : Situation des différents partenaires du projet FORSEE

2. L'étude spécifique Cemagref

La réalisation des travaux a débuté le 1^{er} novembre 2003. L'Institut Européen de la Forêt Cultivée, situé à Cestas – Pierroton est le coordonnateur du projet, responsable de sa mise en œuvre vis-à-vis de l'Autorité de Gestion INTERREG IIIB « *Espace Atlantique* ». L'IEFC est une association regroupant des organismes professionnels ou de recherche (INRA, CRPF, IFN) désirant s'impliquer dans la coopération scientifique et le transfert sur la thématique de la forêt cultivée.

Le CRPFA est le partenaire principal du projet FORSEE. Il agit au niveau de la région Aquitaine et a pour engagement la mise en œuvre des actions décrites ci-avant dans cette région. Par ailleurs, il participe à la mise en place du Conseil de Gestion du projet FORSEE . Dans le cadre de ce projet et des orientations 2004-2007 du GIS OFORA « Observatoire des Forêts d'Aquitaine », le CRPFA a demandé au Cemagref (unité ADER Aménités et dynamiques des espaces ruraux) – d'effectuer une étude spécifique pour l'évaluation du critère C5 (maintien et amélioration des fonctions de protection des sols et des eaux) sur la zone atelier de Pontenx-les-Forges, à partir des études menées sur des bassins versants de l'écosystème landais.

L'étude confiée par le CRPFA au Cemagref a pour objectifs :

- De documenter et calculer les indicateurs proposés par le groupe d'experts du critère C5 (sol et eau) sur les deux bassins représentatifs de l'écosystème sableux landais, TAGON et ARRIOU, déjà instrumentés ainsi que sur la zone atelier FORSEE (Pontenx), à savoir :
 - o pourcentage et longueur de ruisseau avec une ripisylve appropriée,
 - o profondeur de la nappe superficielle,
 - o Indicateur de risque potentiel d'érosion par unité hydrographique USLE (méthode « USLE »),
 - o pourcentage de surface du bassin versant couvert par la forêt (en lien avec Critère C1 « conservation et amélioration des ressources forestières »)
- Pour les deux bassins Tagon et Arriou uniquement, d'élaborer et de calculer des « verifiers », éléments relatifs à la qualité des eaux de surface en s'appuyant sur les chroniques de données antérieures déjà interprétées,
- De présenter une analyse critique des indicateurs proposés et de leur validité dans la zone d'étude.

3. Zones d'étude Cemagref

Pour le calcul et l'évaluation des indicateurs du projet Forsee en relation avec la ressource en eau, l'échelle de l'unité hydrographique (ou du sous-bassin) apparaît comme la plus

pertinente : la zone atelier de Pontenx, délimitée selon une logique « forestière » a du être segmentée en un certain nombre d'unités hydrographiques, reprenant les découpages de l'Agence de l'Eau et du Cemagref (figure 3).

Les deux bassins versants du Tagon et de l'Arriou (figure 2) avaient été choisis antérieurement par le Cemagref dans le cadre d'une étude sur les relations entre occupation du sol et qualité des eaux, selon différents critères : proximité de sites de mesures de référence (INRA, DIREN), configuration des hydrosystèmes, facilité de délimitation et de mise en place de stations de mesures, taille et occupation du sol par la forêt et l'agriculture.

3.1 Le bassin versant du Tagon (2460 ha)

Le bassin versant du Tagon, tributaire du bassin d'Arcachon, est un bassin peu anthropisé, presque exclusivement occupé par la forêt cultivée (figure 1). Ce petit bassin versant (2460 ha) présente une pente moyenne faible (4 ‰). La zone amont, plus plate et moins bien drainée, correspond à des sols de lande humide. La zone aval, au relief plus accentué, correspond à des sols de lande sèche et mésophile. On y observe des passées argileuses. (Beuffe et al, 1999).

L'absence d'activité agricole, la faible densité de l'urbanisation excluant des pollutions ponctuelles, des peuplements de pins maritimes d'âges variés, la présence de différents types de sols, la proximité des parcelles de référence sur le Pin maritime (INRA) et la possibilité d'installation d'un seuil hydrologique à l'exutoire avaient conduit à le retenir comme site d'étude en 1995.

3.2 Le bassin versant du Grand-Arriou (9490 ha)

Il s'agit d'un sous-bassin de la Leyre (Figure 2), tributaire du Bassin d'Arcachon également. Ce bassin situé plus au sud possède dans sa partie amont une zone agricole de grandes cultures – maïs et légumes - d'une surface de 2000 hectares environ (22% de la surface du bassin). Les pentes sont peu marquées. Le ruisseau du Grand Arriou, après avoir collecté les eaux issues de la zone agricole (ruisseaux de la cape et du Bayle) traverse de larges secteurs forestiers. Cette configuration présentait l'intérêt de permettre d'étudier les éventuels effets d'abattement des flux de nutriments produits par la zone agricole lors de la traversée des secteurs forestiers. La présence d'une lagune artificielle était intéressante dans la même perspective (étude d'un abattement éventuel des flux de nutriments qui s'est in fine révélé peu conséquent). (Beuffe, Vernier 1997,1999,2003)

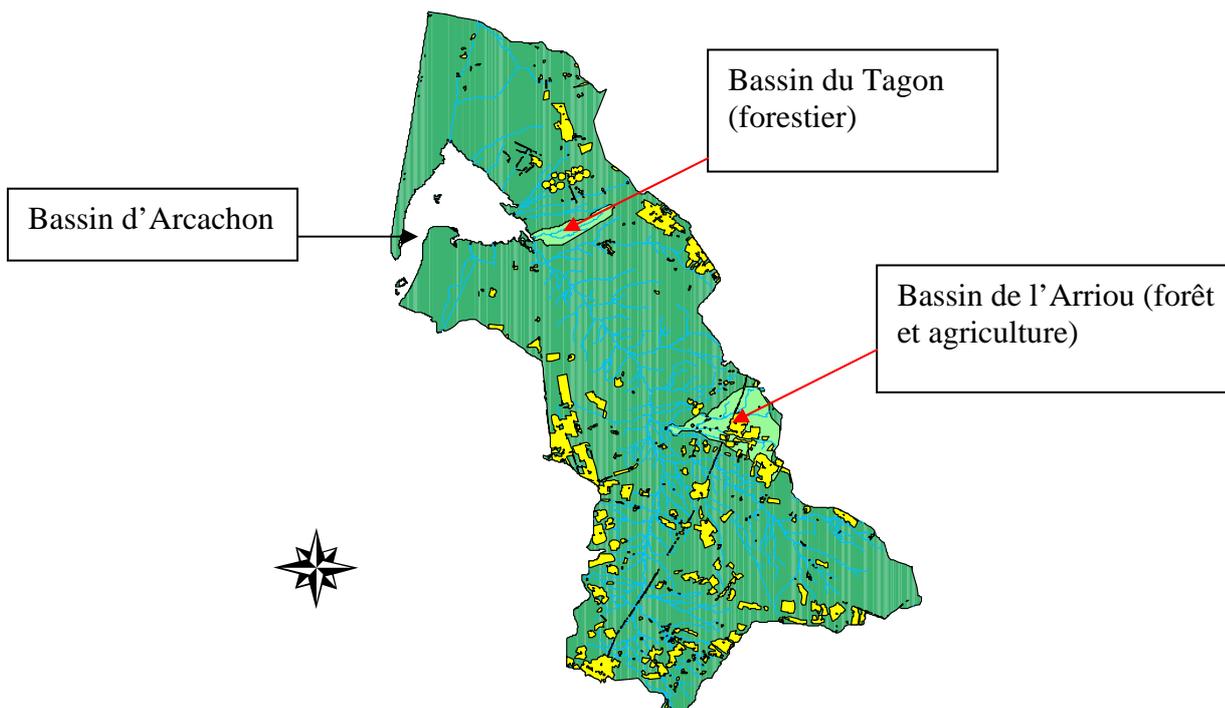


Figure 2 : Situation des bassins versants ateliers Cemagref

3. 3 Rappel des travaux réalisés sur les deux bassins (voir bibliographie en annexe)

L'estimation des flux hydriques et chimiques (formes de l'azote et phosphore) générés par les deux bassins a été réalisée par la mesure en continu des débits et des prélèvements hebdomadaires à leur exutoire. L'étude particulière des crues a été effectuée grâce à deux échantillonneurs automatisés asservis à la hauteur d'eau, le premier placé à l'exutoire du bassin versant forestier, le second, en tête du bassin versant mixte (en aval des cultures). Les surfaces concernées sont du même ordre de grandeur dans les deux cas. Le suivi hydrologique réalisé sur plusieurs années a permis de définir des standards de production hydrique et en nutriments pour ces deux bassins.

Des stations complémentaires ont été installées pour encadrer des secteurs forestiers particuliers du Grand Arriou (en tête de bassin, à l'aval des grandes zones agricoles et plus en aval) avec pour objectif de caractériser la capacité d'assimilation des cours d'eau landais qui s'est révélée très faible pour l'azote. De même, la lagune artificielle de Mano, bien que jouant le rôle de décanteur naturel, n'a pas montré de capacité à abattre les flux d'azote produits en amont.

Le comportement hydrodynamique a été étudié sur les deux bassins. Sur le bassin du Tagon, l'instrumentation a consisté en l'installation d'un réseau dense de piézomètres répartis sur l'ensemble du bassin. Les mesures de conductivité hydraulique ont été effectuées par la méthode du Slug Test (choc hydraulique). Cette méthode de terrain permet de mesurer la perméabilité des sols en provoquant une remontée brutale de la nappe par l'introduction brutale d'un volume lesté (eau, volume lesté) et en enregistrant la courbe de rabattement. Ces mesures permettent d'obtenir des courbes d'isoconductivité et de matérialiser les gradients de vitesse de circulation à l'échelle du bassin versant.

Des mesures de conductivité hydraulique ont été réalisées dans les différents horizons du sol et dans les couches profondes. De nombreuses mesures avec le perméamètre multidisque (Chossat et al,1998) ont été effectuées sur l'horizon de surface dans des parcelles plantées en Pin Maritime, d'âges variés, afin de mettre en évidence la variabilité spatiale et l'importance de l'infiltration en surface dans ces types de sols. L'utilisation de

modèles existants (Modflow) a permis de caractériser les écoulements superficiels et profonds et de réaliser des bilans hydrologiques.

Les pratiques agricoles et forestières ont été décrites à partir d'enquêtes auprès des agriculteurs, des exploitants forestiers, des entreprises de travaux et d'experts forestiers.

Le nombre important de propriétaires forestiers sur chaque bassin (plus de 150 recensés sur le seul bassin du Tagon) a imposé l'utilisation de données statistiques et de procéder pour les enquêtes par échantillonnage. En revanche, les enquêtes sur le bassin agricole (une dizaine d'exploitants) ont été faites de manière exhaustive, à l'échelle de la parcelle culturale, avec recueil des données d'assolement et des pratiques sur la période de suivi.

Pour évaluer la représentativité des deux bassins étudiés, une typologie des pratiques agricoles et sylvicoles a été réalisée à l'échelle du grand bassin de la Leyre sur la base des données statistiques disponibles et de données complémentaires sur échantillon représentatif (experts forestiers, agriculteurs) Par ailleurs, pour apprécier la répartition spatiale des types de pratiques forestières à l'échelle de ce grand bassin versant, une analyse a été effectuée à l'échelle de la commune sur les variables identifiées lors des enquêtes comme étant des déterminants du type de pratiques forestières.

3.4 La zone de Pontenx-les-forges

Le massif des landes de Gascogne a été retenu prioritairement pour la zone atelier de la région Aquitaine, dans le cadre du projet FORSEE. Plus précisément, il s'agit de la " zone atelier de Pontenx-les-Forges recouvrant 12 communes sur 98060 ha (dont 80.000 ha de ripisylve et de plantations de pins maritimes). Organisée perpendiculairement à la côte, elle balaye différents contextes, du plateau landais vers les dunes, selon un gradient est-ouest.

Elle occupe le territoire sur 55 km de long, 34 de large, avec une frontière littorale de 23 km.

Son positionnement est assez représentatif des spécificités naturelles du milieu : présence de la dune et des différents types de landes (ainsi que des différents statuts de protection des milieux) et une assez importante activité agricole.

Elle englobe plusieurs bassins versants dont une partie de la Leyre. Elle comprend également une zone de dune le long du littoral, ainsi que quelques lagunes et étangs.

Pour calculer les indicateurs prévus dans le cadre du Forsee, spécifiques des relations entre occupation du sol par la forêt, pratiques forestières et ressource en eau, l'unité hydrographique est l'entité spatiale la plus pertinente. En utilisant les découpages hydrographiques « institutionnels », ceux de l'agence de l'eau, la zone Pontenx a été divisée en 12 sous-bassins dont les surfaces varient entre 466 et 12 984 hectares (tableau 2).

code	sous-bassin	aire(ha)
S200	Leyre-Daix	8235
S201	Escamat	8845
S202	Bordes de Brin	12984
S320	Sainte-Eulalie	2105
S321	Belloc-Laurence	12794
S322	Belloc-Yosse	6416
S323	Canteloup-Latapy	10676
S324	Canteloup-Pouillon	6816
S325	Plaisir	466
S326	Capit	1571
S327	Notre-Dame	6630
S328	Biscarosse	5513

Tableau 2 : Unités hydrographiques définies sur la zone de Pontenx pour l'étude Forsee.

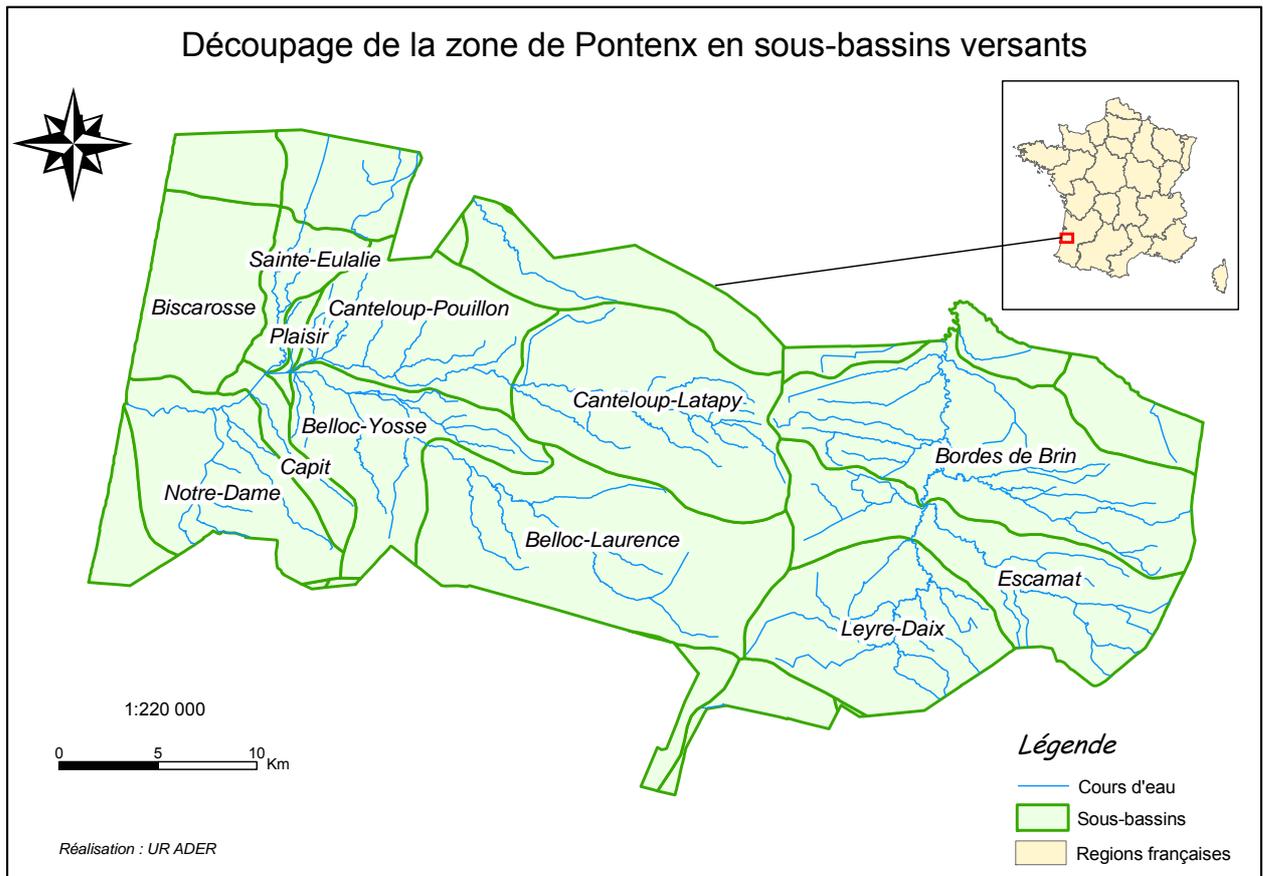


Figure 3 : Découpage de la zone Pontenx en sous bassins-versants.

L'occupation du sol est majoritairement représentée par la forêt (84 600 ha) dont 23.3% sont publics. La carte des peuplements révèle la présence de grosses propriétés mais démontre également un parcellaire très fragmenté. Forêt de production, elle est constituée de futaies de pin maritime à 96%. Même si l'on retrouve quelques parcelles de futaie mixte assez bien réparties sur l'ensemble de la zone, la diversité des peuplements se localise principalement aux abords des rivières (Leyre, Canteloup et Escource), du Lac de Parentis (au nord est de la zone) et de la dune.

3.5 Zone d'étude spécifique pour la ripisylve

L'indicateur « pourcentage de ripisylve approprié » pose un problème particulier car lors de l'étude préalable, nous nous sommes rendus compte du manque de données existantes pour proposer un indicateur de ce type, notamment dans les données institutionnelles à l'échelle des zones d'étude précédentes.

Nous nous sommes donc tournés vers le Parc des Landes de gascogne qui dispose de données terrain concernant les ripisylves : en effet, il s'agit pour eux d'un enjeu important de gestion lié à la fois au maintien d'un environnement de qualité (protection des berges et du milieu aquatique), au maintien du patrimoine naturel et paysager) mais aussi aux activités économiques liées (tourisme, activités de loisir comme le canoé, etc..). Le Parc Naturel Régional des Landes de Gascogne a ainsi réalisé au cours de l'année 2001- 2002 "un état des lieux préalable à la mise en place d'un programme pluriannuel d'entretien" sur le bassin de la Leyre. Cette étude a eu pour objectif de réaliser un état des lieux des cours d'eau principaux (Eyre, Petite Leyre et Grande Leyre) et des principaux affluents, pour établir une

programmation cohérente et globale des interventions sur les cours d'eau, à long terme et en concertation avec les différents acteurs (élus, usagers). Ce programme s'inscrit dans le cadre de l'action du Parc sur son territoire, pour assurer l'enjeu plus large de "préserver la ressource en eau en conciliant usages et milieux"

Rappelons que les vallées de la grande et la petite Leyre sont classées site Natura 2000 et décrites comme un réseau hydrographique possédant une ripisylve presque continue, avec une richesse floristique et faunistique élevée.

Pour cette étude spécifique sur la ripisylve, nous avons donc retenu des zones sur lesquelles le Parc des Landes de Gascogne disposait de données spécifiques et qui se trouvaient dans la zone atelier de Pontenx (figure 4). Une étude plus poussée a été réalisée sur l'Escamat : de nouveaux relevés terrain ont été faits conjointement avec le Parc début 2006, afin de compléter et de mettre en perspective les données relevées précédemment.

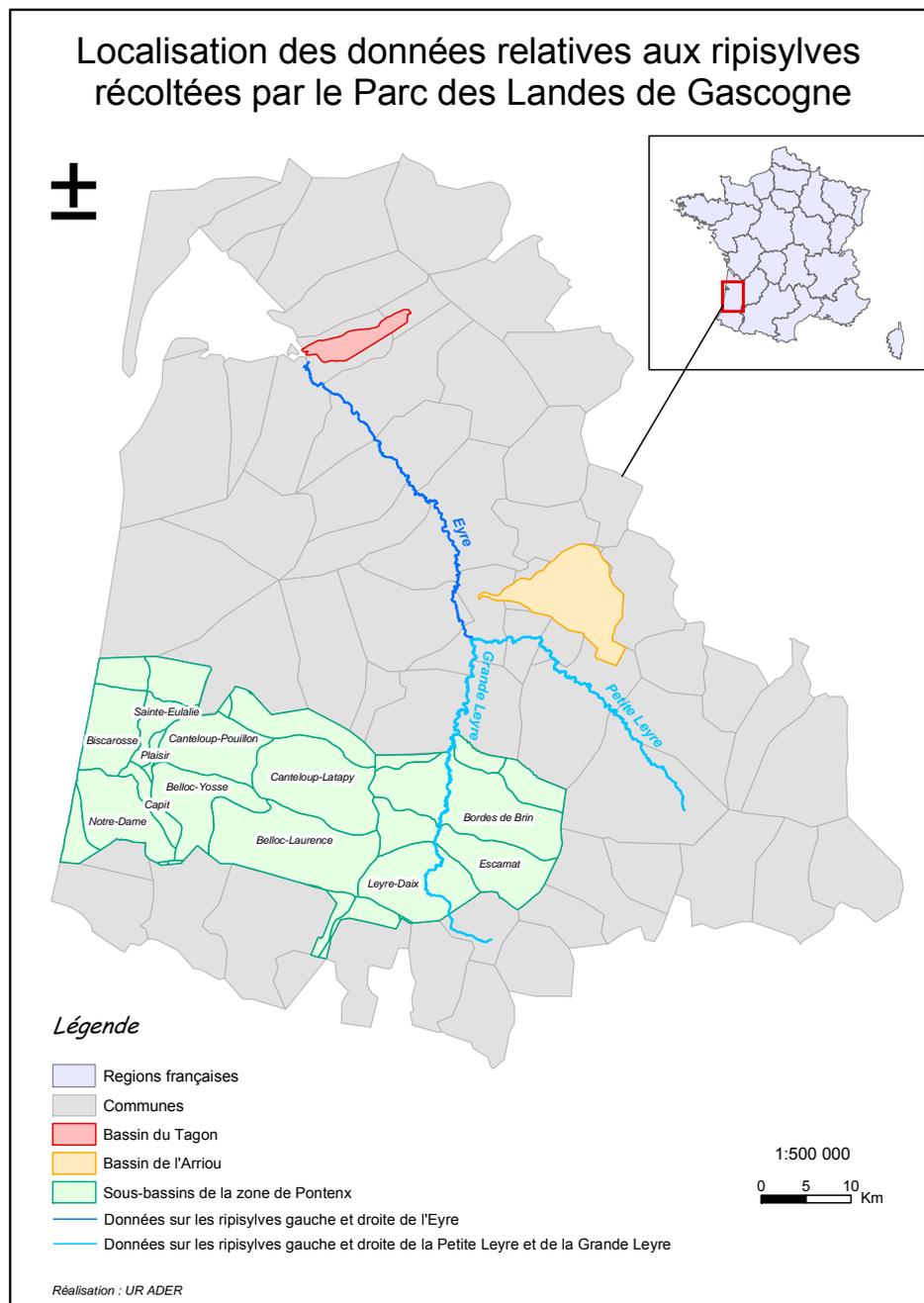


Figure 4 : *Localisation des données récoltées par le Parc des Landes de Gascogne*

II Les indicateurs testés

1. Notion d'indicateur – travail de mise en place

On trouve une définition succincte de la notion d'indicateur dans les textes d'Helsinki : ce sont des variables ou paramètres « (...) quantitatifs ou qualitatifs qui fournissent des indications précises sur la situation d'un critère dans un contexte forestier déterminée. Ils permettent de définir ou d'interpréter par leurs variations les progrès ou le recul en direction de la gestion durable ».

Dans le cadre d'une gestion forestière durable, les indicateurs sont là pour tenter de confirmer ou infirmer les choix de gestion qui ont été faits, ou de tester grandeur nature la validité d'un modèle de prédiction. Lors d'un suivi de gestion, les indicateurs sont élaborés pour appuyer l'évaluation de l'efficacité de la gestion d'un écosystème sur une période de temps donnée (donc entre deux dates), par rapport aux objectifs que s'est fixé le gestionnaire, et de vérifier que les changements induits par cette gestion sont acceptables dans la perspective d'une gestion durable. Les indicateurs peuvent également être utilisés en tant qu'outils d'aide à la décision pour donner une photographie du terrain étudié à un instant donné et initier des projets de gestion en conséquence.

Pour être opérationnel, un indicateur doit répondre à un certain nombre de qualités. Il doit être :

- **Mesurable** : La disponibilité de données de haute qualité doit être un facteur dans la sélection.
- **Pertinent** : Un indicateur doit dire quelque chose de significatif sur la valeur.
- **Compréhensible** : Les indicateurs doivent être simples, clairs et faciles à comprendre.
- **Valide** : Les indicateurs doivent être compatibles avec la compréhension scientifique de la valeur décrite et être techniquement valides (obtenus objectivement, documentés, comparables et reproductibles).
- **Pratique** : Les efforts requis pour recueillir l'information de cet indicateur doivent être raisonnables et correspondre à son utilité.
- **Répétable** : il faut que le protocole dont il soit issu soit répétable, donc dépourvu d'effet observateur. Deux personnes voulant le mesurer doivent arriver au même résultat.
- **Robuste** : c'est à dire peu sensible aux variations saisonnières si bien qu'on ne peut pas être amené à mal l'interpréter à cause de variations naturelles.
- **Sensible** : l'indicateur doit cependant être sensible aux variations lorsque celles-ci sont significatives et non liées aux fluctuations naturelles afin de mettre en évidence des éventuelles erreurs de gestion.

Il semble important d'insister sur le fait que les indicateurs n'ont jamais de signification en soi dans la mesure où ils n'ont de sens que par rapport à un critère spécifique à évaluer. Une même variable peut d'ailleurs être utilisée comme indicateur au regard de plusieurs critères, avec un sens chaque fois différent. Enfin, les indicateurs sont une représentation simplifiée d'un système complexe, et doivent être pris comme tels : non vérité scientifique ou technique absolue, mais élément d'aide à la décision, à côté d'autres indicateurs ou d'autres analyses.

Au-delà de l'élaboration de l'indicateur à proprement parler, une grande partie du travail en aval consiste à envisager et mettre en place toutes les étapes qui serviront à renseigner et reproduire cet indicateur dans le long terme afin de conduire un suivi utile et efficace. Il apparaît nécessaire :

- d'assurer la collecte des données avec la fréquence nécessaire au renseignement de l'indicateur.

- de formaliser le protocole de traitement des données.
- d'organiser le mode de diffusion des données.
- de déterminer les règles de décision de gestion en fonction du niveau de l'indicateur.

La disponibilité des données, la méthode de mise en place, la faisabilité et les coûts sont détaillés dans les fiches de synthèse (partie I).

2. Indicateurs testés en région Aquitaine pour le critère 5

Les indicateurs de gestion durable des forêts ont été développés dans le cadre d'une démarche descendante lors des conférences interministérielles européennes et des processus internationaux, et s'avère souvent difficiles à évaluer sur le terrain et à des échelles locales (région, paysage...). Afin d'éviter de lisser des diversités locales significatives, il convient de mettre en place des indicateurs infrarégionaux de gestion durable des forêts. Ce principe a été énoncé lors de la conférence de Lisbonne en 1998.

Il était donc indispensable de mettre en place un processus de réflexion sur la pertinence et la réalité du suivi forestier en faisant collaborer des forestiers et des scientifiques autour d'actions pilotes. Rapidement, il est apparu que le problème se posait plus à l'échelle d'une région forestière que d'un peuplement, car la foresterie est déjà dotée de nombreux outils de diagnostic à l'échelle de la parcelle et de la propriété forestière. La zone de Pontenx, choisi comme site test pour l'Aquitaine, permet de tester un certain nombre d'indicateurs, le Cemagref et l'inra intervenant pour le critère 5.

Critère	N°	Indicateur	Texte complet	Sous-indicateur	Priorité d'évaluation
C5: Maintien et amélioration appropriée des fonctions de protection dans la gestion des forêts (notamment sol et eau)	5.1	Etat du sol	Propriétés chimiques des sols (pH, CEC, C/N, C organique, saturation en bases) des forêts et autres terres boisées en relation avec l'acidité et l'eutrophisation des sols, classées par principaux types de sols.		1
	5.2	Stock de carbone et capacité de rétention de l'eau			1
	Groupe d'experts	Pourcentage et longueur de ruisseau avec une ripisylve appropriée		C5WP-01	1

Critère	N°	Indicateur	Texte complet	Sous-indicateur	Priorité d'évaluation
	Groupe d'experts	Risque potentiel d'érosion		C5WP_02	1
	Groupe d'experts	Evaluation visuelle, rapide, des impacts du sol			2
	Groupe d'experts	Impacts du sol concernant les pratiques standard de gestion des forêts cultivées			2

Tableau 3 : Critère 5 – les indicateurs testés pour l'Aquitaine

3. Indicateurs testés par le Cemagref dans le cadre de cette étude

Les indicateurs étudiés ici sont de deux types :

- ceux qui ont été validés par le groupe d'experts du critère 5
 - o pourcentage et longueur de ruisseau avec une ripisylve appropriée, (WP-01)
 - o risque d'érosion par bassin versant (méthode « USLE »), (WP-02)
 - o pourcentage de surface du bassin versant couvert par la forêt (en lien avec Critère C1 « conservation et amélioration des ressources forestières ») (WP-C1)
- des indicateurs proposés au sein du groupe d'experts C5 FORSEE mais qui n'ont pas été retenus dans la liste finale d'indicateurs applicable à l'ensemble des zones, à savoir :
 - o pourcentage de drainage (WP-C1.2)
 - o pourcentage d'occupation des terres par l'agriculture (WP-C1.3)
 - o pourcentage de coupes rases par bassin (WP-C1.4)
 - o pourcentage et longueur de cours d'eau traversant des zones anthropisées (WP-03)
 - o profondeur de la nappe superficielle, (WP-04)

Ils figureront comme « sous-indicateurs » dans les fiches de synthèse finales.

Pour les deux bassins du Tagon et de l'Arriou ainsi que les quelques autres bassins de la zone Pontenx pour lesquelles nous disposons de données, il était prévu de calculer les « verifiers » proposés, éléments relatifs à la qualité des eaux de surface, en s'appuyant sur les chroniques de données antérieures déjà interprétées. En effet, il semblait intéressant de confronter des données reflétant la qualité des cours d'eau telles que les matières en suspension, le taux de phosphore ou de nitrate avec les différents indicateurs établis par bassin. Nous verrons dans la suite du rapport que cette confrontation est délicate en l'absence de séries de mesures adaptées pour pouvoir interpréter une analyse statistique.

III Les fiches indicateurs

Les indicateurs sont tout d'abord présentés brièvement, notamment les indicateurs non retenus par le groupe d'experts C5 et calculés en complément, puis les fiches synthèses sont décrites selon le format demandé.

1 - Pourcentage de surface du bassin versant couvert par la forêt et type de couverts forestiers (WP.C1)

Cet indicateur fait partie de la liste d'indicateurs relative au critère C1 du projet FORSEE, à savoir l'évaluation du stock de carbone emmagasiné dans l'écosystème forestier. Il est cependant apparu intéressant de le calculer dans la mesure où il peut aussi être interprété en terme de protection des sols et de l'eau au niveau du bassin.

En effet, le rôle de la forêt dans la régularisation de l'écoulement (production hydrique du bassin) et la filtration de l'eau par le maintien de la perméabilité du sol justifie le calcul d'un tel indicateur par rapport à la thématique de la protection des ressources en eau. Les études sur l'écosystème landais ont montré que la production hydrique des bassins forestiers et mixtes étaient différentes et bine typées, de même cette étude a fait apparaître que l'occupation du sol par la forêt est la moins productrice de nutriments, dans les conditions de conduite actuelles. (confirmant également les données de la littérature).

Il nous a paru intéressant de compléter cet indicateur « occupation du sol » par plusieurs sous-indicateurs qui avaient été soumis au groupe d'experts :

2 - Taux de drainage des unités hydrographiques (WP-C1.2)

L'érosion du sol survient lorsque l'eau ne peut plus s'infiltrer dans le sol et commence à s'écouler en surface. Les sols bien drainés ont la capacité d'absorber les pluies et donc de réduire l'écoulement. La géomorphologie du plateau Landais issu de phénomènes géologiques récents est marquée par la jeunesse de son réseau hydrographique qui laisse de vastes zones interfluviales non drainées (Timbal et Caze). L'écoulement de des eaux se fait donc difficilement du fait d'une topographie plane et d'une relative disparité des cours d'eau.

Des aménagements visant à favoriser le drainage et organiser l'écoulement des eaux ont donc été développés dans de nombreuses zones du plateau Landais, aussi bien en milieu agricole qu'en milieu forestier. Ils permettent à l'eau excédentaire de s'écouler et ainsi d'améliorer la structure des sols en évitant la saturation eau. En revanche, ils peuvent accélérer les transferts de nutriments notamment d'azote. Le taux de drainage est lié à la production hydrique de l'unité hydrographique et également peut donner une idée de la vitesse des transferts.

3 - Occupation des sols par l'Agriculture (WP-C1.3)

Dans le cas de l'écosystème sableux landais, des standards de production de nutriments ont pu être produits grâce au suivi pluriannuel de bassins représentatifs. Le suivi de la SAU (surface agricole utile) et du type de production associée (maïs, légumes) permet de calculer un indicateur de pression (azote).

4. Taux de coupes rases (WP-C1.4)

Les coupes rases ont pour conséquence directe la diminution de l'effet structurant et drainant du sol par le système racinaire dense et profond des arbres. Le ruissellement en est favorisée et l'érosion également. De plus, par l'effet d'un apport accru de lumière et de précipitations, les coupes rases conduisent à une minéralisation de l'humus et à une nitrification excédentaire marquée. Les études menées par JC Chossat ont montré une forte

modification de la conductivité hydraulique et une accélération des phénomènes de ruissellement.

Pourcentage de surface du bassin versant couvert par la forêt et type de couverts forestiers (C1/C5) WP-C1

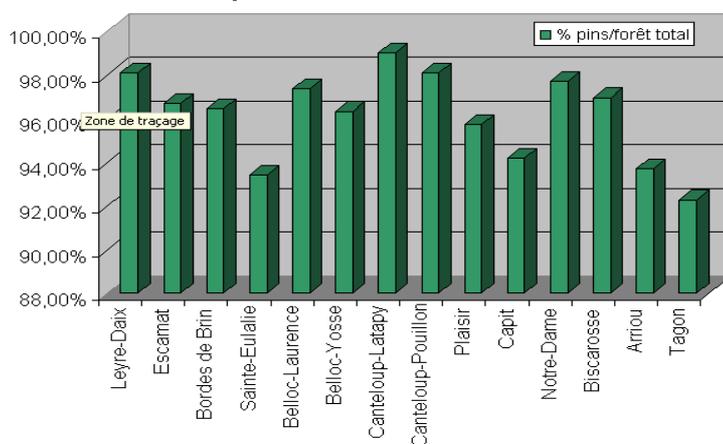
Coûts

Les coûts comprennent

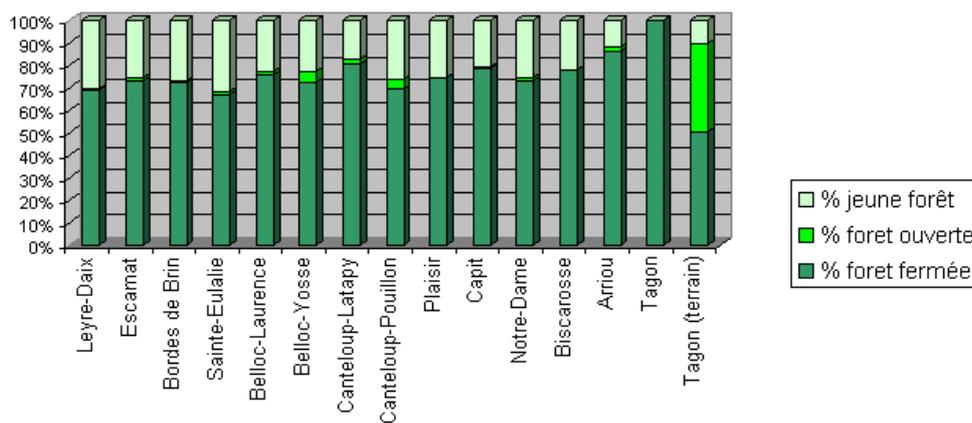
Achat données IFN
Achat données cartographiques BD Carthage.....
Amortissement matériel info
Logiciels informatiques
Temps de traitement des données

Résultats

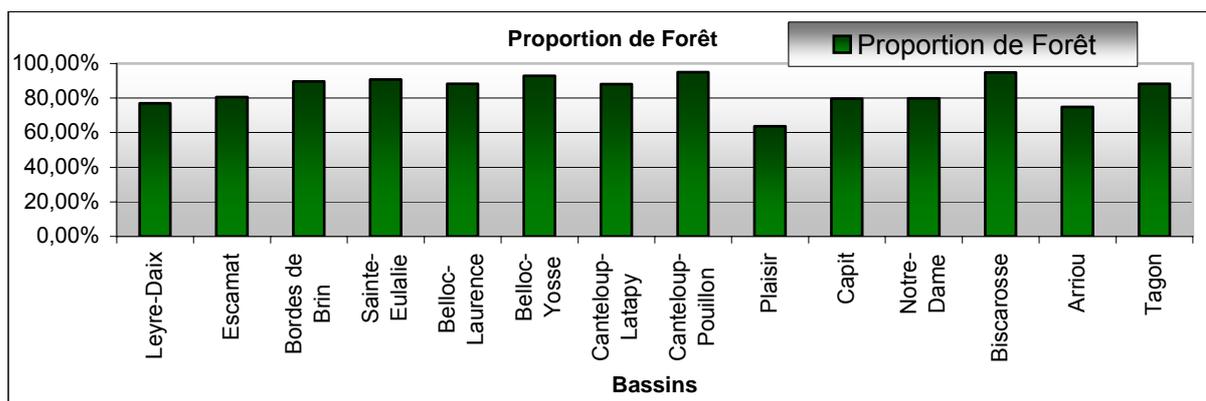
Proportions de Pins Maritimes



Densité de couverture



Bassins



Observations

Même si la proportion de forêt varie d'un bassin à l'autre (de 63 à 95 %), tous les bassins peuvent être qualifiés de « forestier » par comparaison à d'autres régions françaises. Cependant, si nous les comparons entre eux, nous pouvons distinguer des bassins purement forestiers et des bassins mixtes (forestiers et agricoles). Le Pin Maritime représente toujours plus de 90% de la surface forestière, même jusqu'à 98% pour le bassin de Canteloup-Latapy, (en regroupant sous l'appellation « pin maritime » les classes IFN suivantes : futaie de pin maritime, jeune futaie de PM, futaie d'âge moyen de PM, vieille futaie de PM, forêt ouverte de PM, Pin maritime hétérogène et taillis qui sont toute des classes composées exclusivement de Pins maritimes). On observe ensuite une différence notable, en terme de résultats, entre les données de l'inventaire forestier et les observations terrains (pour le bassin du Tagon où ont été effectuées des relevés sur les parcelles). La couverture est beaucoup moins dense d'après les observations terrain. Enfin, la proportion de jeunes forêts est plus importante sur les bassins de la zone Pontenx.

Problématique et améliorations

Le rôle de la forêt dans la régularisation de l'écoulement (production hydrique du bassin) et la filtration de l'eau par le maintien de la perméabilité du sol justifie le calcul d'un tel indicateur par rapport à la thématique de la protection des ressources en eau. Pour renseigner cet indicateur, nous avons utilisé les données de l'Inventaire Forestier Nationale (IFN) ainsi que les données de l'Agence de l'Eau concernant le découpage hydrographique de la zone Pontenx en sous unités hydrographiques.

Un des paramètres qui nous intéresse dans le cadre de la problématique de l'érosion hydrique des sols est la faculté de la couverture forestière à protéger de l'impact direct de la pluie. Pour évaluer la densité de couverture, nous avons regroupé la part des forêts fermées, des forêts ouvertes et des jeunes forêts dans la forêt totale par bassin. Outre le pourcentage de forêt total ainsi que les pourcentages des différents types de forêt au sein d'un bassin, il pourrait être intéressant de regarder la distribution spatiale des forêts au sein d'un bassin.. La visualisation sur carte permet d'évaluer visuellement si les forêts sont d'un seul tenant ou plutôt morcelées. La comparaison entre les différentes entités spatiales étudiées pourrait passer par la mise en place d'un *indicateur de morcellement du couvert forestier*. Comme elle constitue un indice des perturbations humaines en général, la densité des réseaux routiers représente une mesure du morcellement de la forêt. Toutefois, les routes ne sont pas la seule cause de morcellement forestier : les lacs, les cours d'eau et les perturbations naturelles à grande échelle, comme le feu, en sont aussi responsables. Des indicateurs de morcellement ont été calculés au Canada (cadre processus de Montréal).

Aujourd'hui, l'IFN procède à l'inventaire selon un sondage spatial systématique sur l'ensemble de la France. Cette nouvelle méthode permet de disposer de résultats nationaux annuels et d'élaborer plus aisément des statistiques pour diverses entités géographiques (région, parc régional, région forestière nationale...) ce qui paraît une amélioration pour le calcul de cet indicateur.

Commentaires et conclusions

La forêt de Pin maritime telle qu'elle est exploitée actuellement exerce bien un rôle régulateur par la surface qu'elle occupe : en effet, aucune activité n'est génératrice de flux de

nutriments (N, P)¹ à un niveau plus bas que la forêt. Il est donc essentiel pour la ressource en eau de maintenir une surface forestière suffisante par unité hydrographique et de surveiller autant que faire se peut le maintien l'évolution des peuplements et des pratiques. Compte-tenu de la disponibilité des données, cet indicateur est à calculer en fonction des mises à jour des inventaires forestiers.(plus facile dans le cadre du système en vigueur actuellement).

¹ Flux d'azote et de phosphore

Taux de drainage des unités hydrographiques WP-C1.2

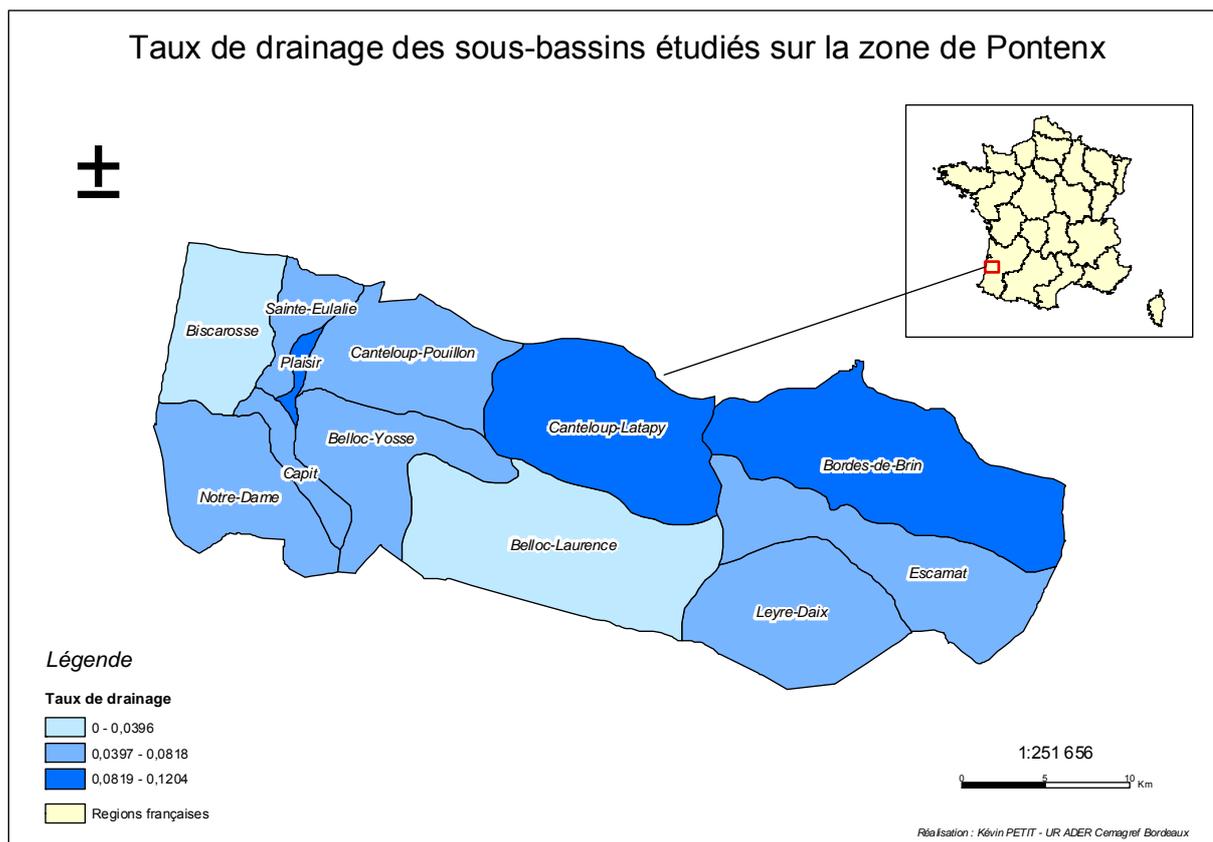
Coûts

Les coûts comprennent

Achat données IFN
Achat données carto bd carthage.....
Amortissement matériel info
Logiciels informatiques
Temps de traitement des données

Résultats

	cours d'eau BDCarthage		réseau hydrographique plus détaillé						
	Surface Totale (m²)	cours d'eau	%	permanent	%	non-permanent	%	total	%
arriou	93647335	5682211	6,07%	5049186	5,39%	11665269	12,46%	16714455	17,85%
tagon	24609144	1806640	7,34%	737349	3,00%	1983738	8,06%	2721087	11,06%



assins Pontenx	Surface (m²)	cours d'eau	% cours d'eau	fossés	% fossés	total	taux de drainage
Leyre-Daix	82350000	6613000	8,03%	49665	0,06%	6662665	8,09%
Escamat	88450000	6499333	7,35%	89672	0,10%	6589005	7,45%
Bordes de Brin	129800000	11681498	9,00%	155150	0,12%	11836648	9,12%
Sainte-Eulalie	21050000	1690032	8,03%	31750	0,15%	1721782	8,18%
Belloc-Laurence	127900000	4885000	3,82%	174369	0,14%	5059369	3,96%
Belloc-Yosse	64160000	5205000	8,11%	0	0,00%	5205000	8,11%
Canteloup-Latapy	106800000	6629000	6,21%	3326883	3,12%	9955883	9,32%
Canteloup-Pouillon	68160000	4615220	6,77%	12561	0,02%	4627781	6,79%
Plaisir	4665000	547397	11,73%	14144	0,30%	561541	12,04%
Capit	15710000	971186	6,18%	0	0,00%	971186	6,18%
Notre-Dame	66300000	3819000	5,76%	0	0,00%	3819000	5,76%
Biscarosse	55130000	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%

Observations

Pour les bassins versants du Tagon et de l'Arriou, nous disposons de données hydrographiques précises renseignant sur les fossés ou autres cours d'eau non-permanents. Le tableau ci-dessous permet d'observer les différences de résultats dans le cadre d'un calcul s'appuyant exclusivement sur le réseau hydrographique décrit par les données de l'agence de l'eau BDCarthage et d'un calcul qui se base sur une couche géographique incluant les fossés et cours d'eau temporaires.

Le bassin de Biscarosse affiche une valeur nulle. Les données dont nous disposons n'indiquaient aucun fossé pour ce bassin et aucun cours d'eau permanent n'y passe (il s'agit d'un bassin côtier essentiellement composé de dunes). La part des zones drainées par fossé sur la zone Pontenx apparaît négligeable, hormis pour le bassin de Canteloup Latapy pour lequel ces surfaces représentent le tiers de la surface totale drainée. Le taux de drainage total peut varier du simple au double selon les bassins et les données utilisées.

On remarque que la valeur est une fois et demie plus grande pour le bassin du Tagon et quasiment trois fois plus grande pour le bassin de l'Arriou. En d'autres termes, la représentation offerte par le réseau hydrographique des données BDCarthage peut donner une faible représentativité du réseau hydrographique dans le cas où de nombreux cours d'eau temporaires existent comme c'est le cas pour le bassin de l'Arriou. Pour les bassins de la zone Pontenx, nous disposons du réseau hydrographique issu de la base BDCarthage ainsi que de renseignements sur les fossés. Nous avons à l'aide du SIG généré des zones tampons de 25 m en prenant en compte ce réseau.

Problématique et améliorations

L'érosion du sol survient lorsque l'eau ne peut plus s'infiltrer dans le sol et commence à s'écouler en surface. Les sols bien drainés ont la capacité d'absorber les pluies et donc de réduire l'écoulement.

La géomorphologie du plateau Landais issu de phénomènes géologiques récents est marquée par la jeunesse de son réseau hydrographique qui laisse de vastes zones interfluviales non drainées (Timbal et Caze). L'écoulement de des eaux se fait donc difficilement du fait d'une topographie plane et d'une relative disparité des cours d'eau. Des aménagements visant à favoriser le drainage et organiser l'écoulement des eaux ont donc été développés dans de nombreuses zones du plateau Landais, aussi bien en milieu agricole qu'en milieu forestier. Ils permettent à l'eau excédentaire de s'écouler et ainsi d'améliorer la structure des sols en évitant la saturation eau. En revanche, ils peuvent accélérer les transferts de nutriments notamment d'azote. Le drainage n'a pas la même utilité selon les capacités d'infiltration du sol du bassin. Un couvert forestier favorise l'infiltration et limite les besoins en drainage. Les drains agricoles sont d'ailleurs plus profonds que les drains forestiers et ont une capacité de drainage plus élevée.

Pour calculer le taux de drainage à l'échelle du bassin, les cartes hydrographiques de l'agence de l'eau ont été utilisées ainsi que les données de la DFCl (association régionale de Défense de la Forêt Contre l'Incendie) localisant les fossés forestiers. Nous disposons également de données concernant le drainage agricole sur certaines zones.

Commentaires et conclusions

Ainsi, le taux de drainage, calculé avec des données permettant de prendre en compte les réseaux de fossés, donne une bonne représentation de la production hydrique du bassin considéré et de l'accélération des transferts. Une bonne connaissance du réseau

hydrographique et des réseaux de drainage existe (données institutionnelles, dfci, crpf, données agricoles) et devrait permettre une mise à jour régulière de cet indicateur complémentaire, simple à calculer et à mettre en œuvre.

Occupation des sols par l'Agriculture WP-C1.3

Coûts

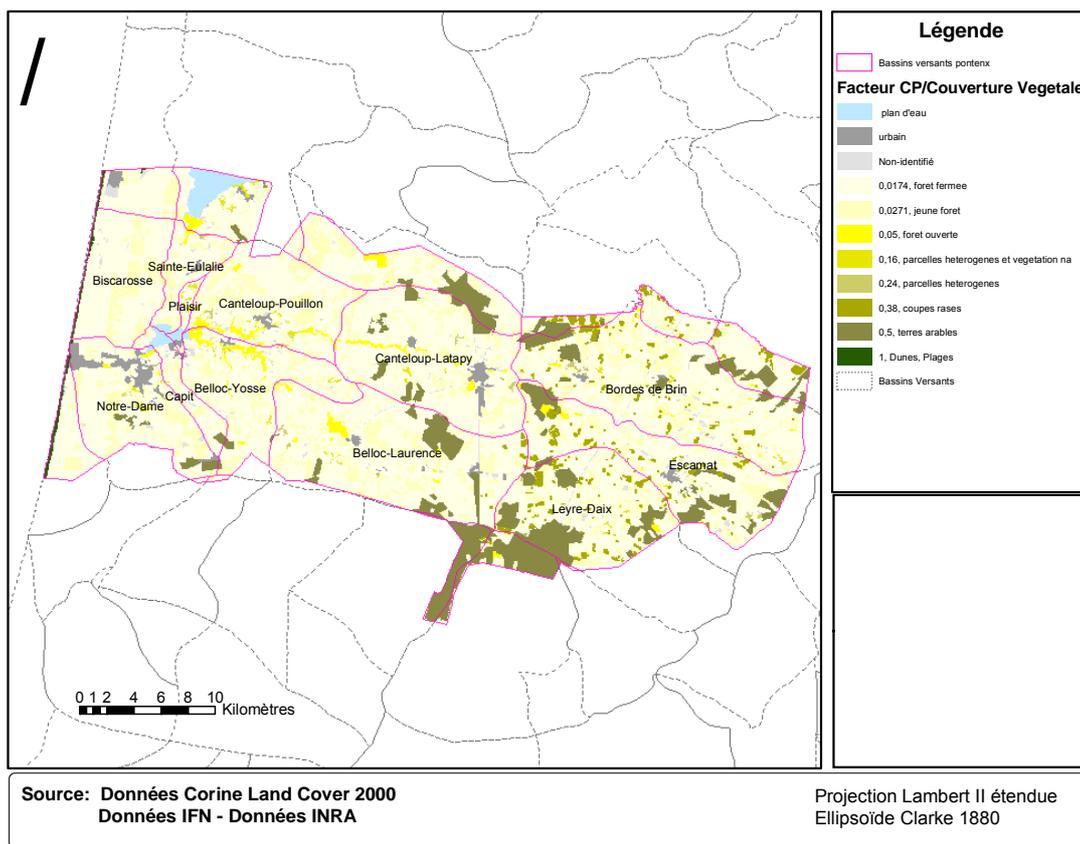
Les coûts comprennent

Achat données IFN
Achat données carto bd carthage.....
Amortissement matériel info
Logiciels informatiques
Temps de traitement des données

Résultats

	surface totale	TA	PH	PHV	PC	Total
Leyre-Daix	82350000	20,23%	0,00%	0,28%	0,00%	20,50%
Escamat	88450000	13,67%	0,31%	0,17%	0,00%	14,14%
Bordes de Brin	129800000	6,00%	0,36%	0,35%	0,00%	6,71%
Sainte-Eulalie	21050000	0,00%	0,65%	0,00%	0,00%	0,65%
Belloc-Laurence	127900000	8,45%	0,20%	0,18%	0,00%	8,82%
Belloc-Yosse	64160000	1,23%	0,10%	0,75%	0,00%	2,09%
Canteloup-Latapy	106800000	5,37%	0,37%	0,29%	0,00%	6,03%
Canteloup-Pouillon	68160000	0,04%	0,37%	0,81%	0,00%	1,22%
Plaisir	4665000	0,00%	0,00%	9,16%	0,00%	9,16%
Capit	15710000	3,31%	0,00%	0,15%	0,00%	3,46%
Notre-Dame	66300000	3,46%	0,00%	0,93%	0,00%	4,39%
Biscarosse	55130000	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Arriou	93647335	22,86%	0,09%	0,00%	0,00%	22,95%
Tagon	24609144	0,00%	1,21%	0,00%	0,84%	2,06%
Tagon (terrain)	24609144	0,16%	0,00%	0,10%	1,85%	2,11%

Répartition des types de surfaces agricoles sur les différents bassins



Observations

L'occupation des sols par l'agriculture a été découpée en 4 classes : les terres arables (TA), les parcelles hétérogènes (PH), les parcelles hétérogènes entrecoupés par des zones de végétation naturelle (PHV) et les prairies cultivées (PC). Les cartes de couverture végétale permettent de visualiser la situation des bassins plus agricoles dans la zone Pontenx.

Les surfaces agricoles représentent globalement une faible part de la surface totale des bassins étudiés. Seuls les bassins de Leyre-Daix, de l'Escamat et de l'Arriou ont des surfaces agricoles relativement importantes, on pourra les qualifier au regard des moyennes de ce territoire de bassins « agricoles » bien qu'une partie importante du bassin reste couverte par la forêt. On remarque la forte prédominance des terres arables reflétant la prépondérance d'une agriculture intensive aux larges parcelles sur les zones étudiées.

Problématique et améliorations

L'agriculture concerne environ 65000 ha pour l'ensemble du massif landais (soit moins de 10 % des surfaces). Elle s'est étendue jusqu'au début des années 1990 par le défrichement annuel de 2000 ha de pins. Elle est essentiellement mono-culturale puisque le maïs occupe en moyenne 95% des surfaces malgré une tendance à la diversification (légumes) depuis les années 90. L'étude menée par le Cemagref a montré qu'une présence conséquente de l'agriculture s'accompagne de la génération de flux de nutriments plus importants que pour les bassins forestiers notamment sous forme d'azote minéral. Cet indicateur « occupation des sols par l'agriculture » est donc pertinent pour le maintien de la qualité de la ressource en eau (équilibre des surfaces forêt/agriculture).

Commentaires et conclusions

Le suivi de l'occupation du sol et des pratiques, de la qualité des eaux superficielles et souterraines dans deux bassins versants représentatifs de cet écosystème, sur une période de plusieurs années hydrologiques, a permis de dégager des standards en terme de débits et de flux de nutriments produits par un bassin versant dans ce contexte pédo-climatique et de préciser les circulations hydrodynamiques dans ce type de milieu. L'influence forte de l'occupation du sol sur les régimes des bassins étudiés, les flux de nutriments et l'hydrodynamique des sols a pu être démontrée. Il faudra donc tenir compte, dans une perspective de gestion durable de ce territoire, de l'équilibre entre activités forestières et activités agricoles et maintenir cet équilibre afin de préserver la ressource en eau. Les hydrosystèmes ont montré dans ce contexte leur faible capacité à absorber des flux de nitrates.

Le suivi de la SAU (surface agricole utile) et du type de production associée (maïs, légumes) permet de calculer un indicateur de pression (azote).

Les unités hydrographiques peuvent être classées par profil d'occupation du sol : forestier, agricole, mixte, urbain : l'augmentation régulière des surfaces agricoles dans une UH peut conduire au basculement d'un profil à l'autre, avec également des changements majeurs en termes de production hydrique et des flux de nutriments.

Taux de coupes rases WP-C1.4

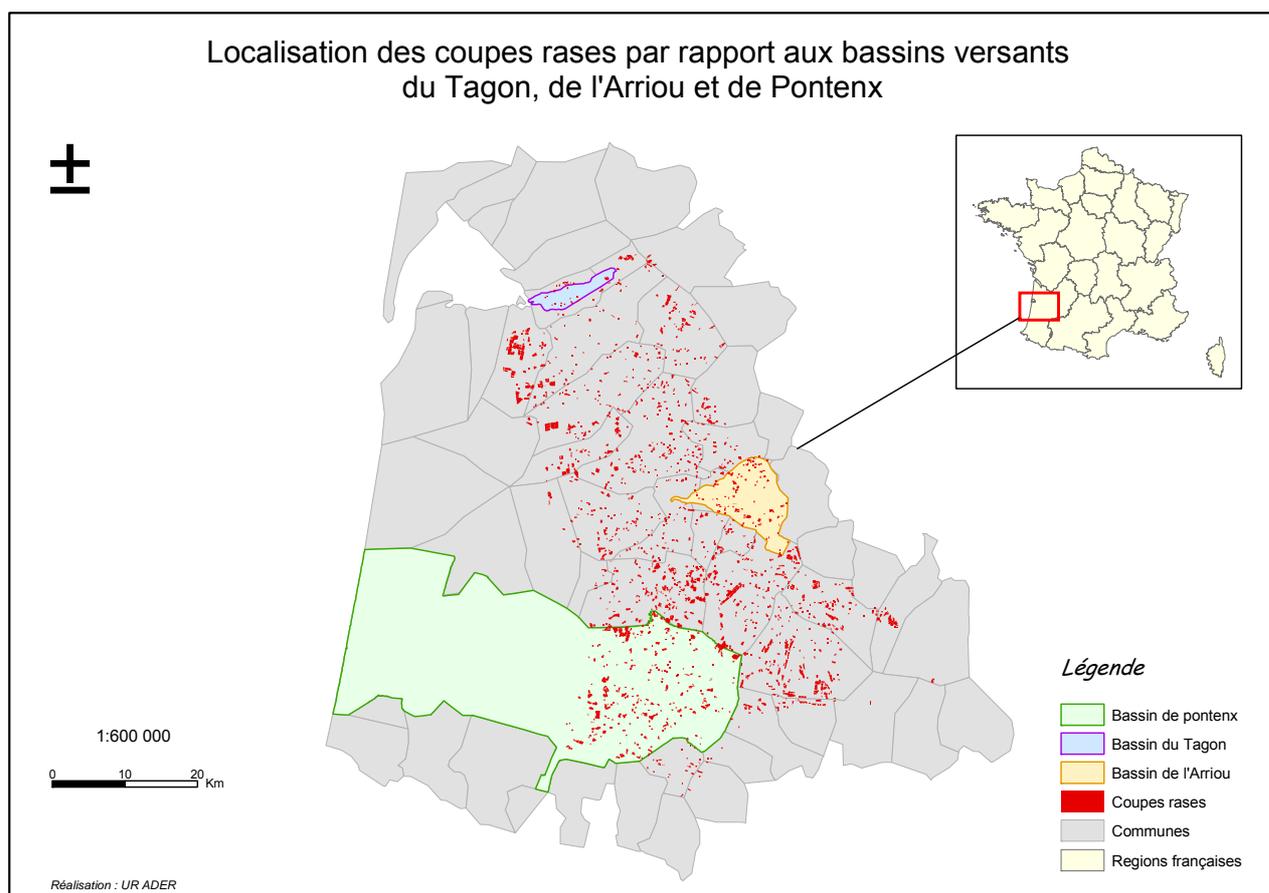
Coûts

Les coûts comprennent

Achat données IFN
Achat données carto bd carthage.....
Amortissement matériel info
Logiciels informatiques
Temps de traitement des données

Résultats

code bassin	surface (ha)	% coupes rases par bassin
S200	8235	7,06%
S201	8845	5,13%
S202	12980	4,18%
S320	2105	...
S321	12790	...
S322	6416	...
S323	10680	...
S324	6816	...
S325	466	...
S326	1571	...
S327	6630	...
S328	5513	...
Arriou	9290	5,18%
Tagon	2480	2,91%
Tagon (terrain)	2480	1,81%



Observations

Les données détenues par l'INRA et auxquelles nous avons eu accès dans le cadre de ce projet, ne prenaient pas en compte toute la zone de Pontenx (cf carte). L'indicateur n'a donc pas pu être calculé pour toutes les unités considérées. Cependant ces données devraient maintenant être disponibles dans le cadre de la diffusion des données de l'IFN.

Le taux le plus conséquent des taux calculés est de 7%, ce qui est à comparer à la moyenne de 4,7 % sur le massif forestier donné par l'IFN (avant tempête 99). On constate une différence notable entre les données recueillies à l'échelle du massif forestier et les données résultant de photo-interprétation (cas du Tagon, 1,8% au lieu de 2,9 %).

Problématique et améliorations

Les coupes rases ont pour conséquence directe la diminution de l'effet structurant et drainant du sol par le système racinaire dense et profond des arbres qui favorisent l'érosion et le ruissellement. Les travaux de JC Chossat sur le bassin du Tagon ont montré une augmentation significative de la conductivité hydraulique sous parcelle de coupe rase.

Différents facteurs dégradent la capacité d'infiltration du sol après une coupe rase :

- Disparition de l'effet « amortissant » du couvert boisé, les gouttes arrivant directement sur le sol, rebondissant et écorchant sa surface.
- Augmentation du ruissellement en cas de précipitations.
- Tassement du sol par les machines lors des travaux d'exploitation
- Erosion et lessivage de la couche supérieure (organique) du sol
- Diminution de l'effet structurant et drainant du sol par les racines des arbres

De plus, par l'effet d'un apport accru de lumière et de précipitations, les coupes rases conduisent à une minéralisation de l'humus et à une nitrification excédentaire marquée

L'Inventaire forestier national (IFN) a mis au point avec l'appui technique de l'INRA en particulier un outil de suivi de la gestion durable et de la ressource en pin maritime dans le massif landais d'Aquitaine. Les bases de données cartographiques et dendrométriques de l'IFN constituent le socle initial de cet outil basé sur l'exploitation d'images satellitaires pour la cartographie de coupes rases, mode de récolte dominant, et sur l'utilisation d'un modèle de croissance. La superposition des cartes ainsi produites avec la couverture des placettes d'inventaire permet d'évaluer la répartition des coupes rases par classe d'âge. Ces données qui pourront être mise à disposition régulièrement par l'IFN pourraient donc nourrir un indicateur « coupes rases » qui ne serait pertinent à considérer que dans le cas d'un calcul pour toutes les unités hydrographiques.

Commentaires et conclusions

Les périodes de coupes rases, et dans une moindre mesure les éclaircies restent des périodes sensibles pour les transferts de nutriments vers les eaux (article rff) : cet effet sur la ressource en eau est difficile à mettre en évidence, sauf exceptionnellement lorsque de grandes zones d'un bassin sont concernées. Un indicateur relatif aux taux de coupes rases doit donc être interprété comme un complément aux précédents : il faut également pouvoir disposer des données sur toutes les unités hydrographiques considérées.

5. Pourcentage et longueur de ruisseau avec une ripisylve appropriée (C5.WP.01)

Proposer un indicateur évaluant un pourcentage de ripisylve « appropriée » demande tout d'abord à préciser la notion de *ripisylve appropriée*.

5.1 Notion de ripisylve appropriée

On appelle communément la végétation des bords de cours d'eau la ripisylve. La ripisylve vient de l'association des termes latins "ripa" qui signifie rive (c'est-à-dire un espace marquant la limite entre le milieu terrestre et le milieu aquatique), et de "sylva" qui signifie forêt. La ripisylve est donc la formation végétale se trouvant en bord de cours d'eau.

Elle peut être importante ou n'être qu'un liseré de quelques mètres. Elle peut être herbacée, arbustive, arborée. Dans les Landes, comme le précise l'inventaire de l'IFN, « la ripisylve constituée de formations feuillues bien individualisées longe les cours d'eau d'importance comme la Leyre, ses affluents et les ruisseaux se jetant vers la côte et les étangs de Biscarosse et Aureilhan. Ces forêts galeries sont généralement constituées de chêne pédonculé, chêne tauzin, frênes, bouleaux, trembles, saules... »

Les intérêts de la ripisylve sont multiples :

- **maintien des berges** : la végétation absorbe la force érosive de la pluie et les racines maintiennent le sol au profit de la stabilité des berges (essentiellement efficace sur les petits cours d'eau).
- **filtre à sédiment** : les sédiments en proportion trop élevée peuvent dégrader les habitats et la qualité de l'eau. La végétation permet de ralentir le ruissellement et d'éventuellement bloquer l'arrivée des sédiments dans les cours d'eau. Une ripisylve peut s'avérer particulièrement efficace pour les sédiments assez grossier (sable, agrégats), généralement un peu moins pour les sédiments argileux.
- **Filtre à intrants agricoles** : La ripisylve peut favoriser l'épuration des eaux souterraines au contact du système racinaire. Les éléments contenus dans les eaux de ruissellement ou de nappe peuvent être absorbés par la végétation ou les micro-organismes du sol (dénitrification).

Pour déterminer la qualité d'une ripisylve, il convient d'examiner les trois critères suivants (selon M. Dosskey):

- **la végétation** : la structure (présence à la fois d'herbacées, d'arbustes et d'arbres) et la densité des différentes formes de végétation.
- **la localisation** : la ripisylve a plus d'effet si elle est placée dans des zones jugées « sensibles ».
- **la largeur** : une ripisylve trop étroite ne peut pas jouer correctement son rôle de filtre et ralentir les écoulements.

Utilité en terme de:	Type de Végétation		
	Herbacées	Arbustes	Arbres
Stabilité des berges	faible	élevée	élevée
Filtre à sédiment	élevée	faible	faible
rétenion de nutriments	moyenne	moyenne	élevée
tampon à pesticide	moyenne	moy. à élevée	moy. à élevée
Protection contre les crues	faible	moyenne	élevée

Tableau 4 : Efficacité relative des différents type de couverts. (D'après Dosskey et al. 1997)

En terme de gestion, la gestion des ripisylves doit prendre en considération **la multifonctionnalité** de ces écosystèmes. Au point de vue écologique, la gestion doit concerner la fonction épuratoire des forêts riveraines, ainsi que la fonctionnalité et la biodiversité de ces écosystèmes. Mais, la gestion spécifique d'une ripisylve donnée prend en compte un grand nombre de facteurs : conditions physiques du milieu, objectifs des propriétaires, état de la forêt alluviale, besoins de la société...Une fonction peut être intacte tandis qu'une autre est à maintenir, à favoriser ou à rétablir ; de plus, les besoins économiques ou sociaux peuvent entrer en ligne de compte. La gestion doit donc être menée au cas par cas, en fonction de l'état du système et des besoins.

On voit donc que la notion de ripisylve « appropriée » ne peut pas être décrite comme une notion absolue, mais plutôt résulter d'une concertation locale entre les scientifiques, gestionnaires et acteurs concernés.

En terme de méthodes, nous avons donc cherché en premier lieu à caractériser la ripisylve à partir des données terrain mises à disposition par le Parc, identifier les variables les plus représentatives, regarder s'il est possible de réaliser des typologies à partir de ces variables et les confronter à la réalité terrain.

5.2 Quel indicateur à quelle échelle ?

Les indicateurs du projet Forsee sont à l'échelle de la zone atelier de Pontenx. Il apparaît donc d'emblée que la description fine de la ripisylve réalisée par le Parc dans certaines zones (long et donc couteux) est difficilement envisageable à cette échelle, sauf forte mobilisation des pouvoirs publics sur ce sujet.

Nous avons donc cherché s'il était possible, à partir des descriptifs de la ripisylve réalisés sur le terrain, d'identifier des données institutionnelles qui permettrait une description plus systématique à une échelle géographique plus petite. A cet effet, nous avons testé les photos aériennes prêtées par la DFCI, et confronter les données terrain à l'analyse des données IFN ou CORINE Land Cover réalisée sur la même zone.(voir détails dans la partie « méthode »).

6. Pourcentage de cours d'eau traversant des zones anthropisées (C5.WP.03)

Compte-tenu de ce que nous venons d'évoquer, il nous a paru utile de proposer un indicateur complémentaire, plus facilement calculable à l'échelle des unités hydrographiques. Cet indicateur reflète plutôt une pression humaine exercée sur les rives (zones urbaines, agricoles) sachant que dans ces zones plus anthropisées on constate sur le terrain une dégradation ou une absence de la ripisylve.

Pourcentage et longueur de ruisseau avec une ripisylve appropriée (C5.WP.01)

Coûts

Les coûts comprennent

Achat données IFN
Achat photographies aériennes sous forme numérisée
Achat données cartographiques de la zone (partage)
Amortissement matériel info
Logiciels informatiques
Travail terrain (recueil des données ripisylve)
Temps de travail sur les photographies aériennes
Temps de traitement des données

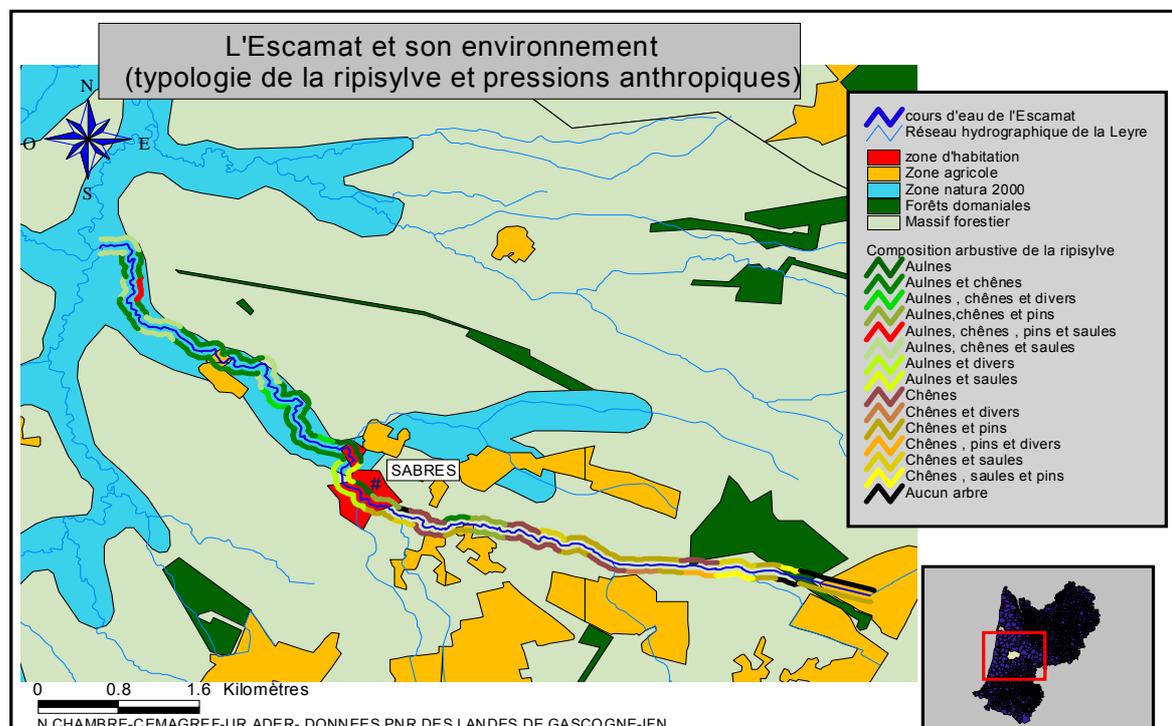
Résultats

TYPOLOGIE PROFIL, ECOULEMENT, OMBRAGE

	CARACTERISTIQUES	% DE L'EFFECTIF	N° DE TRONCON
1	Profil rectiligne, Ecoulement rapide, aucun ombrage	3.3%	1
2	Profil peu sinueux, Ecoulement lent	39.66%	2-4-7-8-15-16-18-19-21-22-24-25-27-28
3	Profil peu sinueux écoulement mixte	27;27%	3-5-6-10-17-20-23-25-26
4	Profil très sinueux, écoulement mixte	15.69%	9-11-12-13-14-29-30-31-32-33

TYPOLOGIE EROSION/ NATURE DE L'EROSION/ EMBACLE

TYPE	CARACTERISTIQUES	% DE L'EFFECTIF	N° DE TRONCON
TYPE 1	Aucune érosion, pas d'embâcle	15.15%	10-15-17-20-28
TYPE 2	Erosion en feston, par sapement	27.27%	1-2-3-6-9-19-24-30-33
TYPE 3	Erosion en encoche par arrachement, embâcle arbres	15.15%	5-11-13-25-26
TYPE 4	Erosion en encoche, par sapement	33.33%	7-8-12-16-18-22-23-27-29-31-32
TYPE 5	Erosion ponctuelle	9.09%	4-14-21



Représentation spatiale de la ripisylve du cours d'eau de l'Escamat
confrontation données terrains, données IFN 2004
(secteur 2 : Sabres)



Composition arbustive de la ripisylve d'après couvert IFN 2004

Futaie de chênes	10
Jeune futaie de pins maritimes	31
Futaie d'âge moy de pins maritimes	32
Vieille futaie de pins maritimes	33
Pins maritimes hétérogènes	34
Futaie mixte PM et feuillus	120
Futaie mixte feuillus et conifères	123
Mél. de futaie de feuillus et de taillis	129
Mél. de futaie PM et taillis	151
Taillis	159
Autre forêt fermée	177
Forêt ouverte de pins maritimes	204
Grande Lande	229
Incult ou friche	234
Autre (zone agri.essentiellement)	250

 cours d'eau de l'escamat
 couvert forestier IFN 2004 (contour des zones)
 Images "ruisseau de l'Escamat " BD ORTHO 5 m (PVA 2002).

Composition arbustive de la ripisylve (données de relevés de terrain)

	Aulnes
	Aulnes et chênes
	Aulnes, chênes et divers
	Aulnes, chênes et pins
	Aulnes, chênes, pins et saules
	Aulnes, chênes et saules
	Aulnes et divers
	Aulnes et saules
	Chênes
	Chênes et divers
	chênes et pins
	Chênes, pins et divers
	Chênes et saules
	Chênes, saules et pins
	Aucun arbre

1:10000

0 0.5 1 1.5 Kilomètres

Observations

L'étude de la composition de la ripisylve fait apparaître trois secteurs distincts :

- De la source au secteur dit du « bas de Sabres » soit un peu en amont de la commune de Sabres , la ripisylve se compose essentiellement de Chênes , associés selon les tronçons avec les différentes espèces présentes
- Dans la zone « urbaine » de Sabres, la composition est plus variée, on note l'apparition de l'aulne ; le terme de berge emménagée est dans certains cas plus approprié que celui de ripisylve.
- Enfin, dans le secteur allant de la sortie de Sabres à la grande Leyre, l'aulne devient l'essence majoritaire aux dépens du pin.

La typologie réalisée avec les critères « Profil ; écoulement et ombrage » décrit des classes d'individus bien marqués mais la discrimination spatiale n'est pas évidente. Une deuxième typologie a été réalisée en utilisant les données concernant l'érosion, la nature de l'érosion, mais aussi la composition de l'embâcle. 18 % des tronçons de ce cours d'eau ont une érosion en feston, par sapement, avec un embâcle composé principalement d'arbres .Ceci peut mettre en évidence que certaines espèces plantées en bord de cours d'eau n'ont pas le système racinaire adapté a l'instabilité du sol et sont donc susceptibles de tomber dans l'eau, contribuant à l'érosion par feston d'encoche creusées de part et d'autre des troncs. 15% des tronçons de l'Escamat sont de type 3, c'est à dire qu'ils subissent une érosion en encoche, par arrachement, avec encore une fois un embâcle composé d'arbres. Cependant les trois secteurs discriminés visuellement sur la carte de confrontation à l'occupation du sol ne peuvent l'être à partir de corrélations statistiques avérés (type de ripisylve/occupation du sol ou encore type de ripisylve/type IFN) Ceci n'est pas surprenant dans la mesure où ces données institutionnelles ne prennent pas bien en compte les bords de cours d'eau.

Problématique et améliorations

En terme de gestion, la gestion des ripisylves doit prendre en considération la multifonctionnalité de ces écosystèmes. Au point de vue écologique, la gestion doit concerner la fonction épuratoire des forêts riveraines, ainsi que la fonctionnalité et la biodiversité de ces écosystèmes. Mais, la gestion spécifique d'une ripisylve donnée prend en compte un grand nombre de facteurs : conditions physiques du milieu, objectifs des propriétaires, état de la forêt alluviale, besoins de la société... La gestion doit donc être menée au cas par cas, en fonction de l'état du système et des besoins. La notion de ripisylve « appropriée » ne peut pas donc être décrite de manière absolue mais au contraire résulter d'une concertation locale entre tous les acteurs. Les caractéristiques recherchées étant décrites précisément, une campagne de collecte des données doit alors être engagée, en incluant composition et largeur de la ripisylve, état des berges, érosion, etc...La largeur de la ripisylve est particulièrement délicate à acquérir car il faut combiner relevés terrain et sans doute photointerprétation. Plusieurs indicateurs peuvent également être mis en place car plus faciles à interpréter, le résultat « pourcentage de ripisylve appropriée » provenant alors d'un indicateur composite intégrateur de ces différents indicateurs dont un certain nombre ont pu être proposés dans le cadre d'actions de restauration des ripisylves : Intégrité des corridors – naturalité des berges, Etat des pressions sur les rives, Altération du régime hydrologique :, Discontinuités hydrauliques, etc..

Commentaires et conclusions

Le pourcentage de ripisylve appropriée ne peut être acquis simplement à l'échelle d'une zone atelier Forsee. La notion même de ripisylve appropriée doit être définie en fonction des caractéristiques régionales avant mise en place d'un ou de plusieurs indicateurs permettant un suivi des caractéristiques recherchées. Le calcul de ces indicateurs passe par des relevés terrain spécifiquement prévus à cet effet, avec un coût afférent non négligeable. Une typologie réalisée sur les variables recueillies peut alors déboucher sur un pré-diagnostic de certains secteurs à partir de photos aériennes.

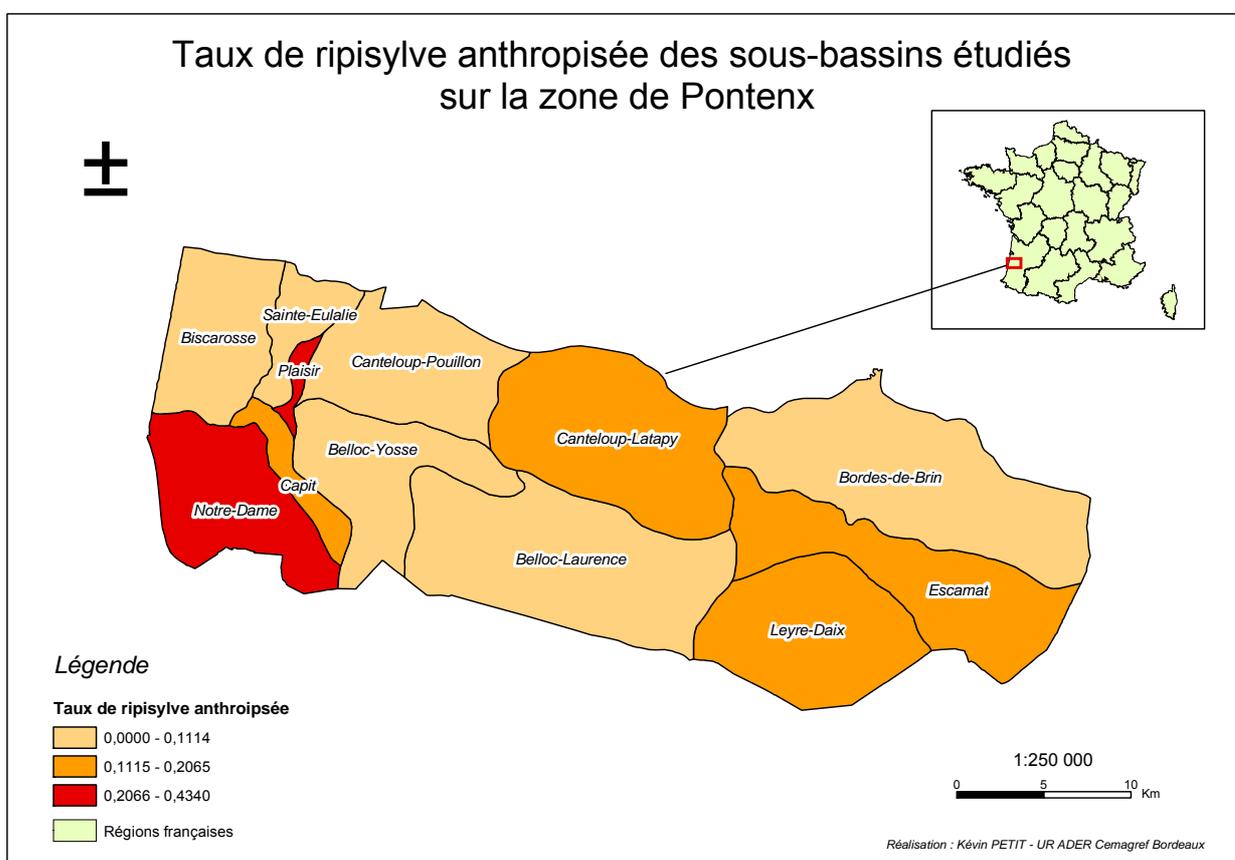
Pourcentage de cours d'eau traversant des zones anthropisées (C5.WP.03)

Coûts

Les coûts comprennent

Achat données IFN
Achat données cartographiques de la zone (partage)
Amortissement matériel info
Logiciels informatiques
Temps de traitement des données

Résultats



code UH	BASSIN	% cours d'eau anthropisé
S200	Leyre-Daix	18,11%
S201	Escamat	20,65%
S202	Bordes de Brin	8,84%
S320	Sainte-Eulalie	6,67%
S321	Belloc-Laurence	5,07%
S322	Belloc-Yosse	9,34%
S323	Canteloup-Latapy	15,29%
S324	Canteloup-Pouillor	11,14%
S325	Plaisir	43,40%
S326	Capit	19,13%
S327	Notre-Dame	36,15%
S328	Biscarosse	0,00%

Observations

Arriou	22,11%
Tagon	3,87%
Tagon (photo)	6,53%

Les valeurs obtenues oscillent entre 0 et 43%. Il convient cependant de prendre ces valeurs avec précaution dans la mesure où une étude plus précise utilisant des données spatialisées à plus grande échelle (orthophotographie sur le bassin du Tagon) a permis de mettre en évidence que la valeur avait été sous-estimée (6,53% contre 3,87%) dans le cas précis de ce bassin. Et sur ces 6,53%, seulement 1,67% étaient effectivement inventoriés comme des cours d'eau traversant une zone anthropisée avec la méthode basée sur la carte de l'IFN alors que les 4,86% restants étaient signalés comme des cours d'eau circulant en zone forestière. Un des problèmes réside dans la construction même des données IFN. Que ce soit pour l'observation des ripisylves ou l'observation des cours d'eau passant en zone anthropisée, dans la mesure où les données IFN sont généralement fabriquées à partir d'extrapolation issue de mesures et d'observations faites au cœur des massifs forestiers. Les zones en bord de cours d'eau sont donc généralement celles pour lesquelles la qualité de l'information est le plus susceptible d'être erronée.

Problématique et améliorations

Il nous a paru utile de proposer un indicateur complémentaire, plus facilement calculable à l'échelle des unités hydrographiques. Cet indicateur reflète plutôt une pression humaine exercée sur les rives (zones urbaines, agricoles) sachant que dans ces zones plus anthropisées on constate sur le terrain une dégradation ou une absence de la ripisylve.

Un des problèmes réside dans la construction même des données IFN utilisée pour le calcul. Que ce soit pour l'observation des ripisylves ou l'observation des cours d'eau passant en zone anthropisée, dans la mesure où les données IFN sont généralement fabriquées à partir d'extrapolation issue de mesures et d'observations faites au cœur des massifs forestiers. Les zones en bord de cours d'eau sont donc généralement celles pour lesquelles la qualité de l'information est le plus susceptible d'être erronée. Cependant il existe des zones où une occupation du sol plus fine peut être disponible. Par ailleurs, cet indicateur peut servir à identifier les unités hydrographiques sur lesquelles une étude complémentaire, où la mise en place d'indicateurs basées sur des données plus précises devrait être envisagée

Commentaires et conclusions

Cet indicateur se révèle discriminant et facile à calculer à l'échelle de la zone atelier, il peut constituer une aide au suivi de la problématique ripisylve, en approche globale. Mais il demande pour être bien évalué des données précises (orthophotos), longues à traiter à l'échelle d'une zone de 100 000 ha comme la zone atelier de Pontenx. Par ailleurs, il conviendrait de le compléter dans les secteurs les plus préoccupants par une étude détaillée et la mise en place d'indicateurs basées sur la typologie des données terrain, détaillée précédemment.

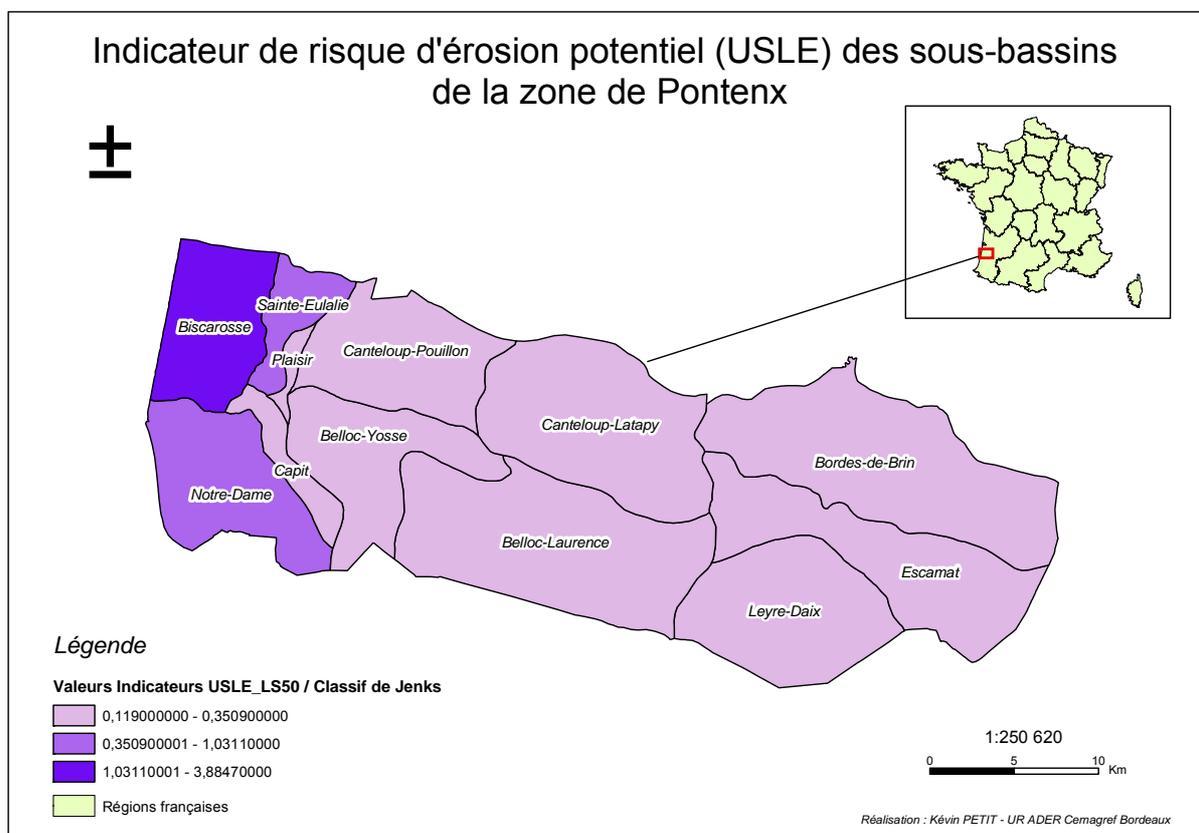
7. Indicateur de risque potentiel d'érosion par unité hydrographique USLE (C5.WP.02)

Coûts

Les coûts comprennent

Achat données météo
Achat MNT
Achat données cartographiques de la zone (partage)
Amortissement matériel info
Logiciels informatiques
Temps de recherche des données nécessaires au calcul
Temps de traitement des données

Résultats



	surface (ha)	USLE					USLE	USLE_LS50
		Erodabilité	Erosivité	Pente (LS)	pente LS50	Couverture vég.		
S200	8235	0,038	280,000	0,630	0,302	0,146	0,558	0,351
S201	8845	0,044	280,000	0,522	0,319	0,109	0,525	0,329
S202	12980	0,046	280,000	0,534	0,333	0,067	0,357	0,228
S320	2105	0,129	280,000	0,975	0,561	0,023	1,122	0,620
S321	12790	0,045	280,000	0,676	0,341	0,065	0,384	0,197
S322	6416	0,054	280,000	0,650	0,391	0,029	0,259	0,155
S323	10680	0,045	280,000	0,633	0,351	0,048	0,334	0,183
S324	6816	0,046	280,000	0,654	0,366	0,024	0,192	0,119
S325	466	0,062	280,000	0,480	0,329	0,037	0,320	0,228
S326	1571	0,077	280,000	0,812	0,443	0,039	0,682	0,328
S327	6630	0,177	280,000	1,251	0,601	0,045	2,352	1,031
S328	5513	0,353	280,000	2,773	0,877	0,051	12,039	3,885
Arriou	9290	0,037	292,024	0,229	0,175	0,151	0,309	0,229
Tagon	2480	0,049	274,664	0,193	0,144	0,034	0,093 ...	
Tagon (terrain)	2480	0,049	274,664	0,193	0,144	0,036	0,093 ...	

Observations

La couche de données USLE résulte de l'intersection des couches géographiques d'érosivité, d'érodabilité, des pentes et de couverture végétale calculées sur la zone de Pontenx. L'indicateur USLE ainsi que ses différentes composantes sont spatialement représentées sur des cartes dont la symbologie permet d'évaluer le niveau de risque d'érosion en fonction d'un gradient de couleur (voir cartes en annexe). Les seuils des classes sont fixés par le module statistique intégré dans le logiciel SIG en fonction des seuils naturels (méthode de Jenks) Afin d'avoir une seule valeur d'indicateur par sous-bassin, nous avons fait le choix de faire le calcul d'une valeur moyenne pondérée par la surface : $\Sigma(\text{Surface de risque homogène} * \text{valeur d'USLE}) / (\text{surface totale du bassin où le risque potentiel est apprécié})$.

L'indice d'érosivité garde une faible variabilité par rapport aux autres composantes de l'USLE et n'est pas discriminant à l'échelle de la zone étudiée. Pour établir le calcul du facteur LS, le réseau hydrologique a été utilisé pour déterminer la distance du parcours jusqu'au chenal ainsi qu'un modèle numérique de terrain (MNT) figurant la topologie du terrain afin de déterminer l'inclinaison des pentes. Si l'on considère les résultats de l'analyse (ACP) conduite sur les variables constitutives de l'USLE, le facteur LS a un poids conséquent dans le résultat final. Par ailleurs, le calcul LS sur les unités hydrographiques ne présentant pas de réseau bien identifié aboutit à une échelle de valeurs trop contrastée : nous avons donc testé une méthode déjà utilisée (J.M. van der Knijff, 2000) en fixant la valeur de la longueur de pente à 50 mètres. Ce nouveau calcul permet d'aboutir à une échelle de valeurs plus cohérente, bien que cela puisse conduire à sous-estimer localement la valeur de ce facteur LS. Les valeurs pour l'érodabilité s'échelonnent de 0,0373 pour la bassin de l'Arriou à 0,3527 pour le bassin de Biscarosse. Les valeurs obtenues pour les bassins de Biscarosse et de Notre-Dame sont élevées mais cohérentes car ce sont des bassins côtiers aux sols très érodables. Les bassins situés plus à l'intérieur des terres ont toujours une valeur d'érodabilité inférieure 0,1000. Les valeurs obtenues pour le facteur « couverture végétale » présentent une forte variabilité (de 0,0226 à 0,1509). Ce facteur apparaît comme un facteur particulièrement discriminant. Le facteur de couverture apparaît comme une composante déterminante pour la mise en évidence des zones sensibles USLE, notamment à l'échelle de la zone étudiée où les sols et la pluviométrie sont relativement homogènes. Le pourcentage de sols agricoles joue un rôle important dans le calcul de ce facteur CP.

Problématique et améliorations

L'équation universelle de perte des sols (Universal Soil Loss Equation, USLE) est née de la recherche sur l'érosion hydrique à l'échelle nationale aux Etats-Unis à partir des années 50. Wischmeier et Smith ont développé l'USLE en la quantifiant à travers le produit de six facteurs :

$$A = R \times K \times LS \times CP \quad \text{où}$$

A = perte de sol exprimée en t/ha/an

R = énergie érosive de la pluie (joules/m²)

K = érodabilité du sol

LS = indice de pente (angle, longueur)

CP = type de couvert végétal et pratique culturale

Le but de l'USLE est donc de prévoir le taux annuel moyen à long terme de l'érosion des sols pour diverses pratiques de gestion des sols en association avec la configuration des pluies, la topographie et le type de sol d'une région, donc en tenant compte de tous les paramètres précédemment cités.

L'indicateur USLE est donc un indicateur intégrateur et composite, il a été choisi par le groupe d'experts C5 comme intégrateur de plusieurs facteurs susceptibles d'intervenir sur les liens entre gestion forestière et ressource en eau.

On peut considérer qu'avec l'indicateur ripisylve, c'est le plus compliqué à calculer de tous les indicateurs « calculables ». Un certain nombre de données sont difficiles à acquérir, les références régionales manquent, par exemple pour le facteur pratique culturale. Une amélioration du calcul de cet indicateur pourrait être obtenue en créant des références (abaques) se référant à la fois au calcul théorique et aux particularités régionales.

Commentaires et conclusions

Si l'on considère les résultats agrégés au sous-bassin, ils ne sont guère surprenants : c'est sans doute les résultats de la distribution spatiale de l'indicateur (voir cartes en annexe) qui sont plus parlants et permettent un « zoom » sur des zones plus sujettes à l'érosion, à surveiller ou qui demandent des actions spécifiques.

Au final, cet indicateur présente des inconvénients pour son application en Aquitaine et notamment dans les Landes : il est peu adapté à un relief relativement plat; son échelle de calcul reste la petite échelle géographique et enfin son caractère composite rend difficile à interpréter les variations qui pourraient être enregistrées dans un suivi sur plusieurs années.

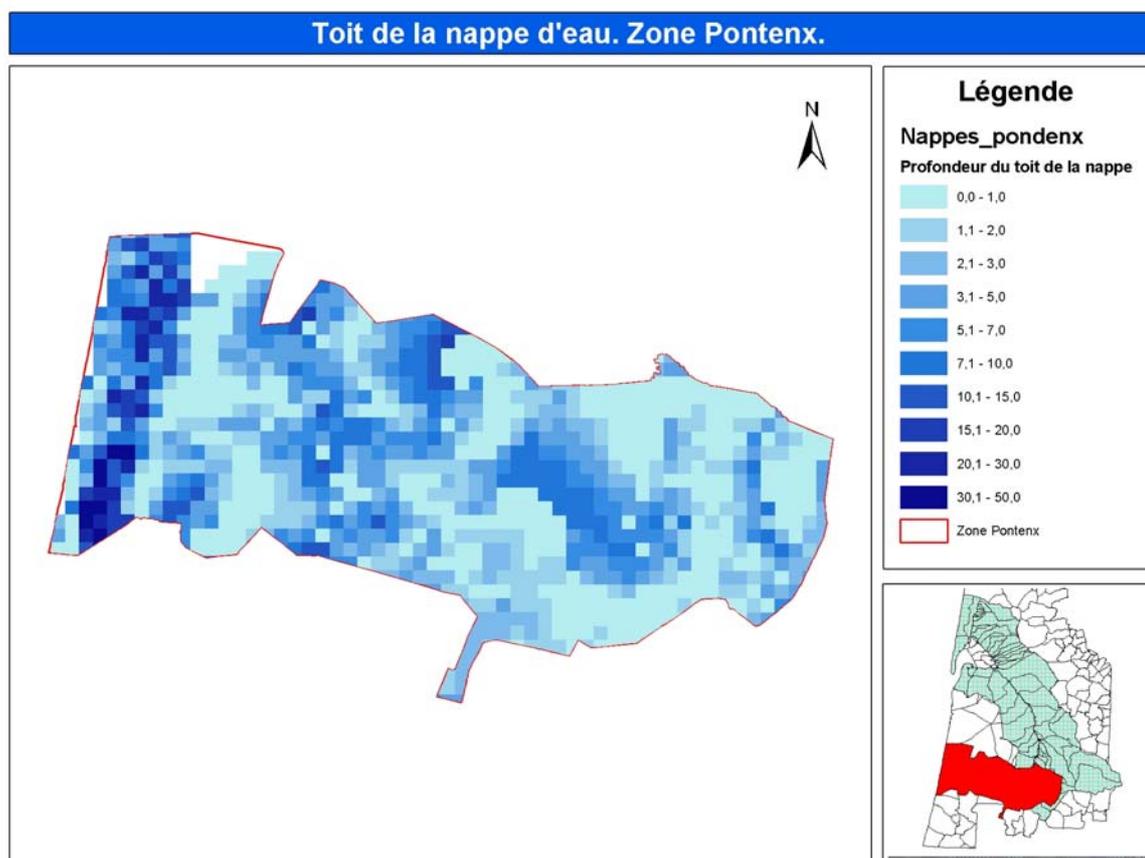
8. Profondeur de la nappe superficielle (C5.WP.04)

Coûts

Les coûts comprennent

Achat données cartographiques de la zone (partage)
Amortissement matériel info
Logiciels informatiques
Matériel de mesures
Travail terrain (recueil des données)
Temps de traitement des données

Résultats



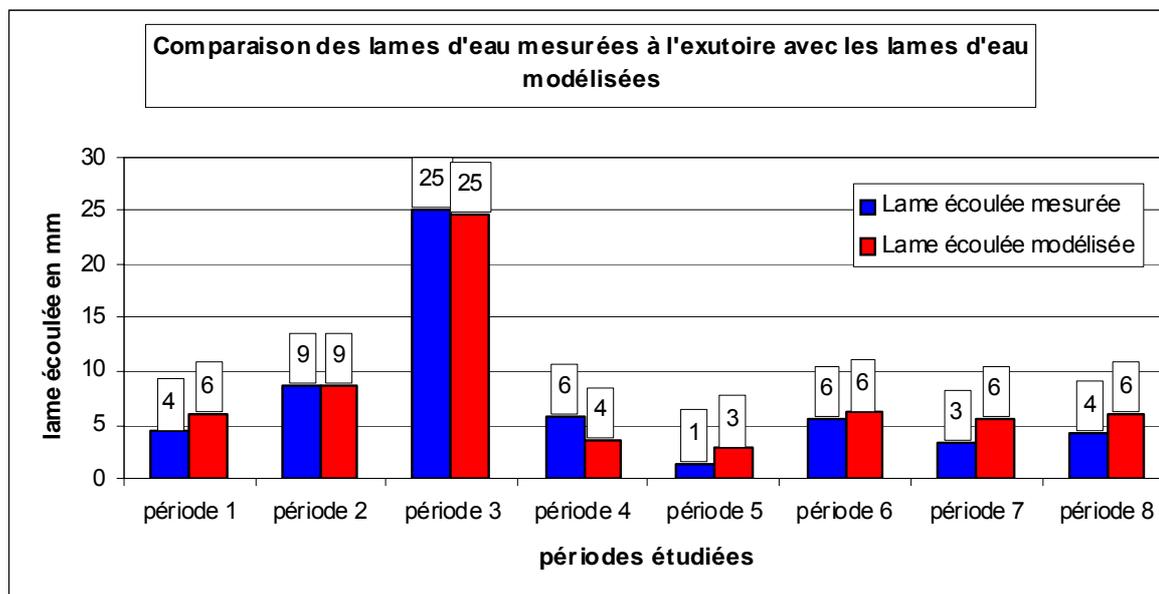
Observations

Ces cartes ont été obtenues à partir de la « Cartographie de la vulnérabilité des systèmes aquifères en Aquitaine » établie par le BRGM. Dans le cadre de cette étude sur les risques de diffusions des pollutions dans les aquifères, le BRGM a produit une carte sur laquelle figure l'épaisseur de la zone non-saturée (ZNS) en mètre qui correspond à la profondeur à laquelle se trouve la nappe par rapport à la surface du sol.

Dans la mesure où la carte était à l'échelle de toute la région, la précision des données à l'échelle des bassins étudiés reste assez limitée (le pas est de 1000 m) mais a tout de même permis de produire la carte ci-dessus. Cependant, compte-tenu de la précision des données mises à disposition, il nous a paru délicat de calculer une valeur d'indicateur par sous-unité hydrographique. En tout état de cause, des données plus pertinentes résultant de suivis plus systématiques seraient nécessaires à un tel calcul.

Problématique et améliorations

Un tel indicateur a pourtant une pertinence théorique forte dans la zone étudiée. En effet, la relation nappe-débit a pu être vérifiée lors des suivis de bassins versants dans la région. Ainsi, une modélisation des termes du bilan hydrologique (avec Modflow), et une validation des limites du bassin versant ont pu être réalisées sur le bassin du Tagon où les suivis hydrologiques et hydrogéologiques ont permis l'acquisition de données de suivi pertinentes (cf travaux JC CHOSSAT). Les lames d'eau mesurées et modélisées sont équivalentes (cf figure)



Conclusions

En l'état actuel des données disponibles et malgré la pertinence théorique de l'indicateur, il ne paraît pas possible de le calculer avec une fiabilité suffisante sur les unités hydrographiques de la zone.

Bibliographie

Agence de l'eau Adour Garonne (2004). Etat des lieux du district Adour-Garonne - Cahier des méthodes, Directive Cadre Européenne sur l'Eau/Etat des lieux: 241.

Albert, M. B., G. Hulin, et al. (2000). Filtrage des radiations solaires par la ripisylve. in : Impact de l'entretien de la végétation rivulaire et du bois mort sur les communautés biologiques et la morphologie des cours d'eau, ALBERT M.B.: p.65-69.

Anbumozhi, V., J. Radhakrishnan, et al. "Impact of riparian buffer zones on water quality and associated management considerations." Ecological Engineering In Press, Corrected Proof.

BARDEN, C.J. (2001). Establishing Riparian buffers. forestry report of Kansas State University.

BERNARD, C. and M. R. LAVERDIERE (1994). "Estimation et mesure de l'érosion hydrique des sols." Agrosol 7(1): 3-10.

BEUFFE, H., J. CHOSSAT, et al. (1999). Rapport final du projet Fonctionnement et gestion raisonnée de l'écosystème forestier landais : partie bassin versant, ECOFOR: 67.

CHEN, Z., D. E. STORM, et al. (1994). Prioritizing non-point source phosphorus loading using a grass-modelling system. Water Resources Bulletin 30(4): 589-594.

CHOSSAT, J. C. (1992). Assainissement, drainage et irrigation en maïsiculture dans les Landes de Gascogne. BUL.INST.GEOL.BASSIN D'AQUITAINE BORDEAUX no 51-52: 57-68.

CHOSSAT J.C., LAPLANA R., VERNIER F., BEUFFE H., KLINGEBIEL A. (1997). Sylviculture du pin maritime et ressources en eau. De la forêt cultivée à l'industrie de demain : de la gestion au développement durable. Rapport Cemagref Bordeaux, 20-21 novembre 1997 p. 45-55 [Publications:97/0581]

Coquemer, A. (1984). Approche des relations entre la ripisylve d'une rivière et sa morphodynamique : propositions d'aménagement de la rivière ciron (33): 132 p.

DOSSKEY, M.G., et al. (1997). Riparian Buffers for Agricultural Land. Agroforestry notes. The United States Department of Agriculture (USDA). Forest Service.

Deffontaines, J.-P., Thinon, P. (2001). "Des entités spatiales significatives pour l'activité agricole et pour les enjeux environnementaux et paysagers - contribution à une agronomie du territoire." Le courrier de l'Environnement n°44: 18 p.

DEGRAVE, L. (2002) Programme pluriannuel de restauration et d'entretien des Leyres. Parc Naturel Régional des Landes de Gascogne. Rapport technique.

GABRIELS, D., et al. (2003). Assessment of USLE cover-management C-factors for 40 crop rotation systems on arable farms in the Kemmelbeek watershed, Belgium. Soil and Tillage Research, Volume 74, Issue 1, November 2003, Pages 47-53.

GILLIAM, J. (1994). "Riparian wetlands and water quality." Journal of Environment Quality 23(5): 896-900.

GOBIN, A., R. Jones, et al. (2004). "Indicators for pan-European assessment and monitoring of soil erosion by water." *Environmental Science & Policy* In Press, Corrected Proof.

GRUNWALD, S., L. D. NORTON (2000). Calibration and validation of a non-point source pollution model. *Agricultural Water Management*, Volume 45, Issue 1, June 2000, Pages 17-39.

HANSON, G., G. P., et al. (1994). "Denitrification in riparian wetland receiving high and low groundwater nitrate inputs." *Journal of Environment Quality* 23(5): 917-922.

Heurteau, V. and A. Talayssac (2001). Diagnostic des cours d'eau du bassin de l'Oir et proposition d'un plan de gestion, Syndicat de la baie et du bocage du Sud Manche, Agence de l'Eau Seine-Normandie: 60 + ann.

JOLIVET, C. (2000). Le carbone organique des sols des Landes de Gascogne - Variabilité spatiale et effets des pratiques sylvicoles et agricoles. Université de Bourgogne: 307 p.

JOLLY, A., D.GUYON, et al. (1996). Utilisation des données du moyen infrarouge de Landsat Thematic mapper pour la mise en évidence des coupes rases sur le massif forestier landais. *International journal of remote sensing*, 1996, no 17: 3615-3645.

KAUARK LEITE, L.A. (1990) Réflexion sur l'utilité des modèles mathématiques dans la gestion de la pollution diffuse d'origine agricole. Mémoire pour l'obtention du titre de Docteur de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. 321p.

LE BISSONNAIS, Y., et al. (2002). L'érosion hydrique des sols en France Etude INRA, IFEN.

LEIBREICH, J., et al. (2000). Programme TERRA. Mise au point d'indicateurs pour l'aide à la décision en matière de gestion des espaces d'influence du Bassin d'Arcachon. Cemagref de Bordeaux. Rapport Technique.

LUFABA, A., et al. (2003). Prediction of soil erosion in a Lake Victoria basin catchment using a GIS-based Universal Soil Loss model. *Agricultural Systems*, Volume 76, Issue 3, June 2003, Pages 883-894.

Marsy, G. (1992). "Approche expérimentale du rôle fonctionnel de la ripisylve vis-à-vis de l'écosystème eau courante." 27 p.

OZHAN, S., A. N. BALCI, et al. (2005). Cover and management factors for the Universal Soil-Loss Equation for forest ecosystems in the Marmara region, Turkey. *Forest Ecology and Management* 214(1-3): 118-123.

PIEGAY Hervé, PAUTOU Guy, et al. (2003). Les forêts riveraines des cours d'eau, Institut pour le développement forestier.

Piegay, H., C. Ruffinoni, et al. (1998). Guide technique N° 1 : la gestion des boisements de rivières. Fascicule 1 : dynamique et fonctions de la ripisylve.

Poujardieu, A. (1988). "Gestion de la ripisylve des cours d'eau : tome II : proposition d'un protocole d'examen rapide de la ripisylve en vue de l'aménagement et de l'entretien des cours d'eau." 209 p.

RENARD, K.G., et al. (2000). Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning With the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). United States Department of Agriculture. Agriculture Handbook Number 703.

RIFFARD, M., et al. (2002). Synthèse des recherches effectuées sur le bassin versant de l'Orgeval, affluent du Grand Morin, sur la thématique ruissellement/érosion. Etude réalisée par le Cemagref d'Antony, pour le compte du Syndicat du Grand Morin.

RIGHI, D. and J. WILBERT (1984). "Les sols sableux podzolisés des Landes de gascogne." Science du Sol no 4: 253-264.

RIVET, A. (2000). Typologie des bassins versants de la zone hydrologique d'influence du bassin d'Arcachon. Mémoire de fin d'étude. 85p.

SAMALENS, J.C. (2001). Estimation d'indicateurs de gestion durable des forêts : étude de faisabilité à l'échelle d'une petite région forestière Mémoire de fin d'étude. 52 p.

SIVERTUN, A. and L. PRANGE (2003). Non-point source critical area analysis in the Gisselo watershed using GIS. Environmental Modelling & Software. In Press, Corrected Proof.

VAN DER KNIJFF, J.M., et al. (2000). Estimation du risque d'érosion en Italie. European Soil Bureau. Rapport technique.

VERNIER F., BEUFFE H., MESTELAN G. (1999). Impact de l'occupation du sol sur la qualité des eaux de l'écosystème sableux landais Colloque « Paysages agraires et environnement » publié dans « Principes écologiques de gestion en Europe et au Canada – éditions CNRS 1999 »

VERNIER, F., BEUFFE, H., CHOSSAT, J.C. (2003). Forêt et Ressource en Eau : étude de deux bassins versants en sol sableux Rev. For. FR. –6-2003 pp.523-542.

