



Expertise « Avenir du Massif Landais »

## RAPPORT D'EXPERTISE

# Critère « Préservation de l'environnement » Sous-critère « Eau »

mars 2010

Françoise Vernier (CEMAGREF) Amélie Castro (CRPF Aquitaine)

# 1 Les Peuplements de pin maritime et l'eau

## 1.1 Caractéristiques des sols sableux landais

Le triangle sableux des landes de Gascogne s'étend sur environ 1 million d'hectares. Des confins du Bas Armagnac jusqu'à la mer, les pentes moyennes sont de 1 ‰ ce qui confère au paysage une grande homogénéité apparente. Les sables de cette grande plaine ont été apportés massivement par les vents au cours de l'ère quaternaire, notamment les grandes glaciations il y a environ 20 000 ans. L'épaisseur des sables est de l'ordre de 2 à 5 mètres en moyenne même si elle peut dépasser plusieurs mètres ponctuellement. Cet épisode, dont la formation des dunes est l'étape la plus récente, clôt le long processus de comblement d'un ancien golfe formé il y a plus de 50 millions d'années. La transformation climatique a par ailleurs créé les conditions favorables à la formation des sols (la pédogénèse). La formation des sols podzoliques très acides des Landes résulte d'un important lessivage des sables très perméables. L'alias, qui est une conséquence directe de ce phénomène, est un grès tendre où les grains de sables sont cimentés par les acides humiques (décomposition de la matière organique) et l'oxyde de fer et d'aluminium. Son épaisseur est irrégulière et sa compacité variable. Il joue un rôle essentiel dans le fonctionnement hydrique du sol. Sa profondeur (entre 40 et 100 cm en moyenne) est liée à la présence d'une nappe phréatique superficielle (appelée nappe plio-quaternaire). L'épaisseur de la nappe augmente d'est en ouest et elle se déplace dans les sables suivant cette même direction à une vitesse de quelques centimètres par jour. Cette nappe est soumise à des variations de niveau annuelles relativement importantes, qui conditionnent l'alimentation en eau des peuplements forestiers.

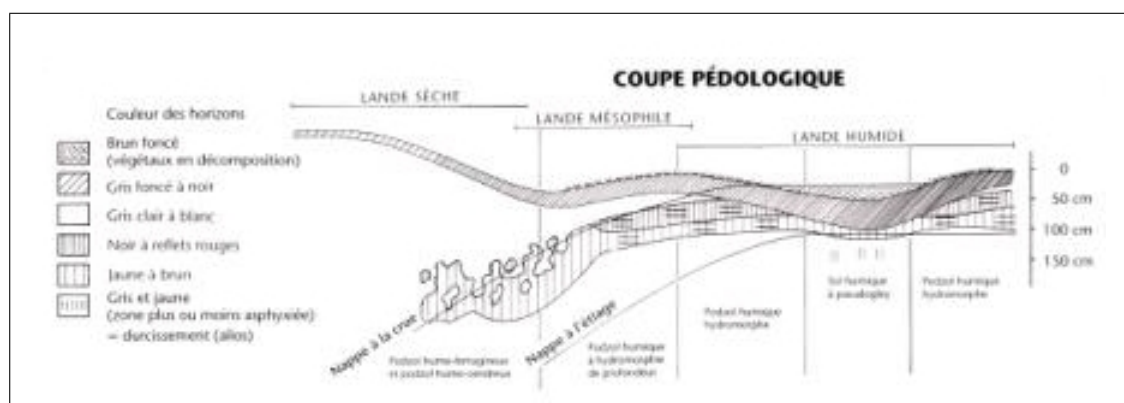


FIGURE 1.1: Le profil du sol pour les différents types de Landes. (Jacques Gelpe, 1994 [23])

Les sols landais ont une texture presque exclusivement sableuse, avec une forte proportion de sables grossiers (entre 60 et 70%). Il s'agit donc de sols extrêmement filtrants. L'eau s'infiltré rapidement (aux alentours de 50 à 60 cm/heure en moyenne) et en profondeur dans le sol. La grande porosité et la faible cohésion du sable induisent une réserve utile réduite (de l'ordre de 70 mm/m de sol et une diffusion capillaire faible (de l'ordre de 20 à 30 cm). Lors des épisodes pluvieux, les sols saturent donc rapidement (engorgement hivernal) et se ressuient très vite en période sèche (sécheresse estivale). On estime que l'on est en déficit hydrique lorsque la réserve en eau du sol est inférieure à 40% de la réserve utile.

Dans ce contexte, la présence de la matière organique contenue dans le sol et notamment dans l'humus est d'une extrême importance car sa capacité de rétention d'eau est bien supérieure à celle du sable (RU plutôt de l'ordre de 120 - 130 mm/m). Les études du CEMAGREF [9] et de l'INRA [19, 20] ont montré que l'altos n'est pas complètement imperméable, même si la vitesse d'infiltration de l'eau est très fortement ralentie. Du fait des caractéristiques du sol, on observe une courbe de rabattement de la nappe assez étendue de part et d'autre du réseau superficiel d'écoulement des eaux, que celui-ci soit naturel (cours d'eau, ruisseaux et rivière) ou artificiel (fossés, crastes). L'aire d'influence dépend pour beaucoup de la profondeur du réseau. Ce phénomène explique la présence de landes sèches en bordure des cours d'eau. Ces phénomènes de rabattement de nappe en bordure des fossés sont également liés au contexte (activité agricole ou forestière).

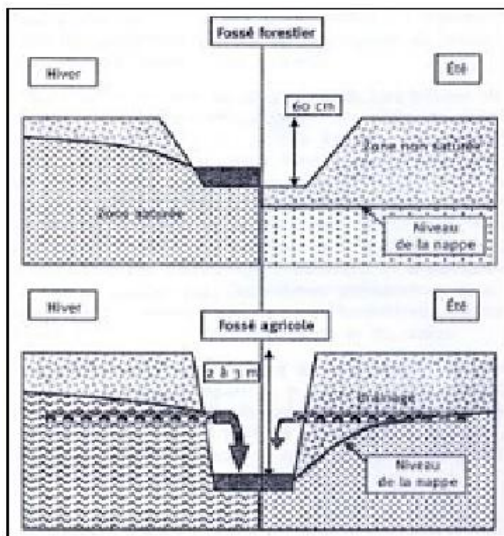


FIGURE 1.2: Fossés forestiers et fossés agricoles (CEMAGREF 1999)

## 1.2 Alimentation hydrique de l'arbre et relations sol – arbre – atmosphère

L'eau est un composant essentiel de la vie de l'arbre. Elle sert de fluide de transport des éléments minéraux nécessaire au fonctionnement de la plante et participe à plusieurs niveaux aux réactions de la photosynthèse. La transpiration permet aussi d'éliminer de grandes quantités de chaleur à la surface des feuilles. Plus de 90% de l'eau absorbée au niveau des racines ne fait que circuler au travers de l'arbre.

Pour les arbres, la principale caractéristique est l'existence de mécanismes pour faire monter la sève sur des hauteurs de plusieurs dizaines de mètres. La principale force est l'appel d'eau

Transpiration des pins	390
Transpiration de la molinie	133
Evaporation du sol	163
Interception	103
<b>Evaporation totale</b>	<b>789</b>
Infiltration	111
Remontées capillaires	25
<b>Précipitations</b>	<b>875</b>

TABLE 1.1: Valeurs moyennes annuelles en mm des composantes du bilan hydrique d'un peuplement de adulte de *Pin maritime* en lande humide, calculées en utilisant un modèle de couvert à 3 couches (*Pin*, *molinie*, *sol*) appliqué à un jeu de données climatiques MétéoFrance couvrant la période 1949 – 1992 (d'après Loustau 1999)

engendré au niveau des parties supérieures du réseau par la transpiration. On a alors au niveau du tronc une véritable colonne d'eau.

Il est essentiel pour l'arbre que celle-ci ne soit pas interrompue (phénomène de cavitation). L'intensité de la transpiration est fonction de la demande climatique (Intensité du rayonnement solaire, température de l'aire, vent, humidité de l'air). On parle de l'évapotranspiration potentielle ou ETP pour caractériser la quantité d'eau évaporée par le sol et transpirée par le couvert végétal sous l'effet de la demande climatique, en dehors de toute contrainte d'alimentation en eau. Dans la réalité il existe souvent une différence. On s'attache donc à mesurer l'évapotranspiration réelle. Lorsque les ressources en eau ne permettent pas à l'arbre de répondre à la demande climatique, l'arbre est alors en situation de stress hydrique.

Les arbres sont des végétaux au cycle de vie long ce qui implique nécessairement des adaptations aux variations de l'alimentation en eau :

- Prospection des réserves profondes du sol : enracinement profond
- Existence de réserves dans les tissus des racines et du tronc : ajustement temporaire
- Régulation de la transpiration : ouverture / fermeture des stomates en fonction des conditions climatiques, absence de stomates à la surface des feuilles, existence d'une couche protectrice (cuticule), diminution de la surface transpirante (chute des feuilles ou aiguilles).

### 1.3 Le peuplement forestier et l'eau

La « consommation » d'eau correspond à l'évapotranspiration totale de l'écosystème (système arbres, sous-bois, sol). Le comportement des différents compartiments de l'écosystème est différent.

En reprenant certains résultats de l'INRA[19] on fait apparaître que la consommation d'eau des pins est fonction de la quantité disponible dans le milieu. En année moyenne (bien alimentée en précipitations), en conditions de lande humide, un peuplement adulte de pin transpire 390 mm/an (volume ramené à une hauteur d'eau). La consommation des jeunes peuplements ou des peuplements beaucoup plus âgés (moins denses) est certainement inférieure à cette

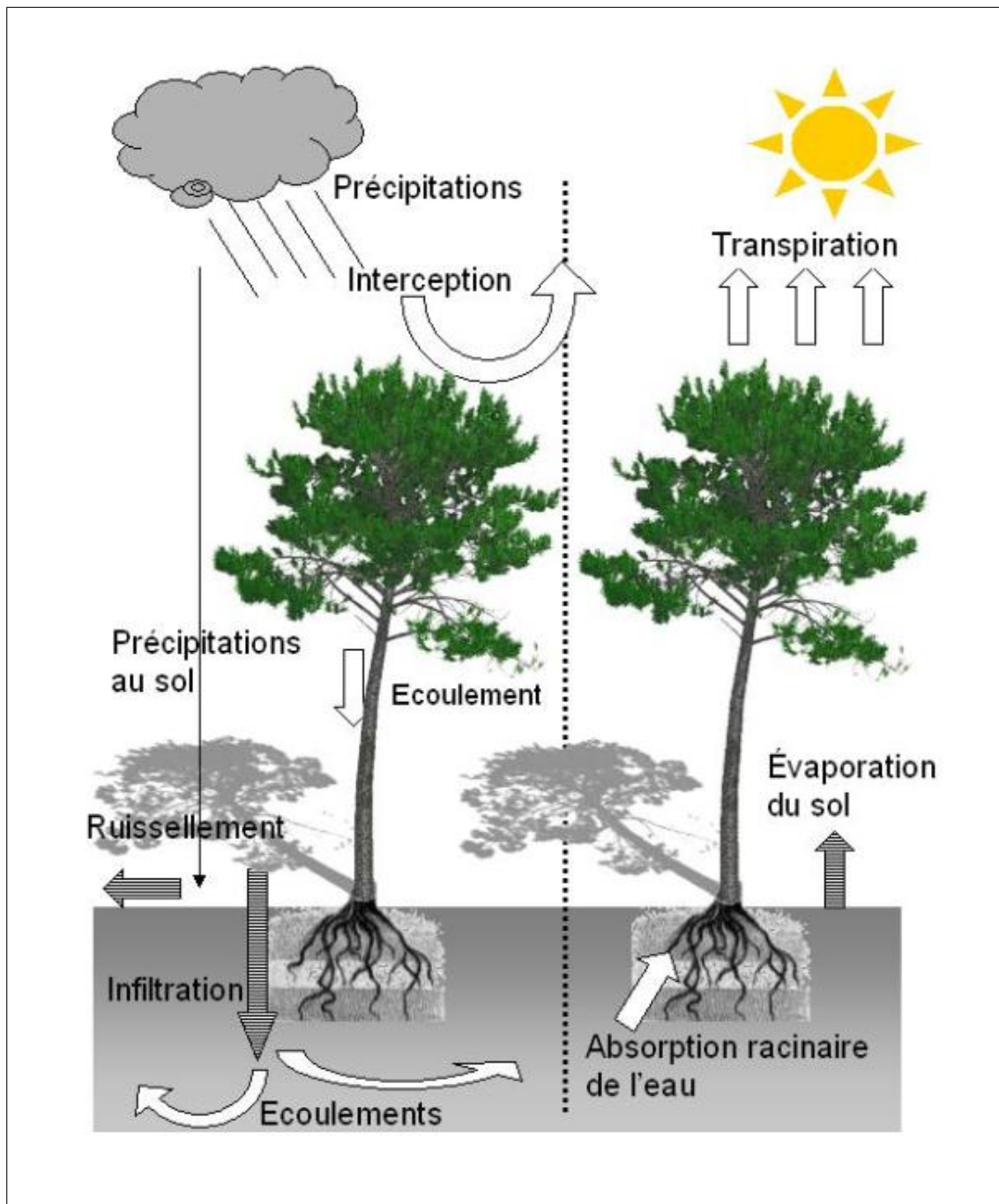


FIGURE 1.3: Cycle hydrologique en forêt (d'après Aussenac 1980)

valeur, malheureusement il n'y a pas de données précises disponibles. On peut estimer que les besoins maximum en eau des peuplements de pin maritime se situent entre 15 et 35 ans environ.

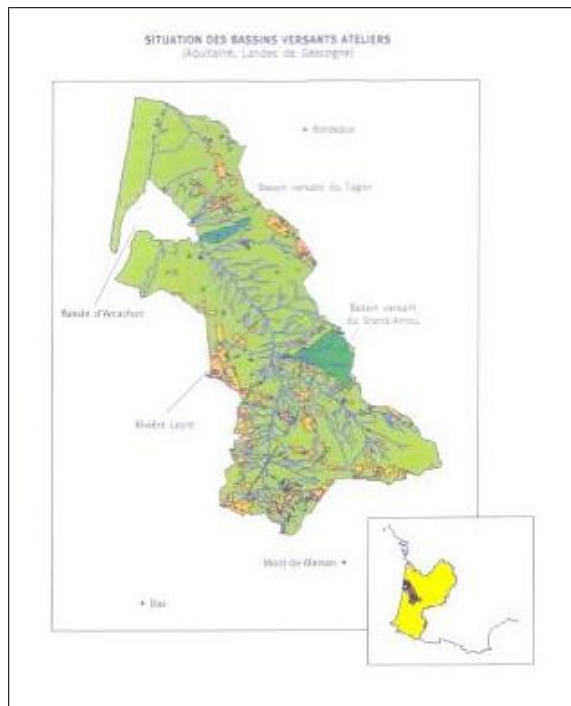
D'après les études menées par l'INRA[20], l'eau est un facteur limitant important de la croissance des pins dans la forêt des Landes de Gascogne. La pauvreté minérale du sol en est un autre. Par ailleurs les arbres sont sensibles aux variations brutales dans leur alimentation en eau.

Les pins, comme tous les arbres, sont capables de réguler leur transpiration en fonction des conditions du milieu : phénomène de fermeture stomatique en cas de stress hydrique. Ces mécanismes les rendent résistants, dans une certaine mesure, aux épisodes de sécheresse fréquents en période estivale. De ce même fait, l'évapotranspiration des pins est très variable d'une année sur l'autre. Dans ce cadre, l'état de la réserve en eau du sol à la fin du printemps est déterminant pour la saison de végétation. Le cycle annuel du pin maritime montre que l'eau devient un facteur limitant de la croissance à partir de la fin du printemps. Les pluies de fin d'été et de début d'automne sont fondamentales pour le peuplement car elles permettent à l'arbre de reconstituer ses réserves, ce qui conditionne la pousse de l'année suivante.

Par ailleurs, la nappe d'eau utilisable par les racines est limitée en raison de la faible cohésion du substrat sableux. Lorsque la nappe superficielle descend en dessous de 30 cm de la profondeur accessible par les racines, le réseau racinaire devient inactif. Les peuplements forestiers en croissance puisent dans la nappe superficielle des sables landais lorsque celle-ci se situe entre 40 et 120 cm de la surface pour satisfaire leurs besoins physiologiques. Sur le site instrumenté du Bray, suivi par l'INRA, il a été démontré que lorsque la nappe superficielle descend en dessous de 110 cm, elle n'est plus utilisable par le système racinaire. Ce constat sous-tend la conception des schémas d'assainissement forestiers.

Le couvert forestier permet l'existence d'un microclimat, qui influe positivement notamment sur l'évaporation du sol, en « piégeant » une partie de l'évapotranspiration globale de l'écosystème forestier.

## 1.4 La forêt de pin maritime joue un rôle régulateur et protecteur à l'échelle du bassin versant



Par ailleurs on peut dire que la forêt joue un rôle de protection vis à vis de la qualité de la ressource superficielle et profonde qui mérite d'être suivi pour intégrer l'influence des évolutions sylvicoles. Les travaux menés par le CEMAGREF sur deux bassins versants (Arriou, mixte agricole et forestier et Tagon, forestier) [30] montrent une production hydraulique significativement plus importante pour le bassin mixte, d'environ 30%. En effet, la densité et la profondeur du réseau d'assainissement, supérieures dans le cas d'un bassin versant mixte accélère la restitution des eaux de pluie à la rivière, en court-circuitant, en partie, son passage dans la nappe. Par ailleurs, le niveau de la nappe est généralement plus haut sous forêt que sous terrain agricole : rôle d'atténuateur des pics de précipitation.

Les perturbations du régime hydrique constatées à partir de 2001 pourraient être reliées à la tempête de 1999, en effet en 2001 et 2002 le bassin forestier apparait plus productif que le bassin mixte. Cependant la variabilité climatique interannuelle, le programme de suivi non établi pour cela au départ, la configuration du bassin (une partie seulement du bassin en coupe rase, nombreux fossés « bouchés », ...) ne permettent pas d'établir de relation simple entre les deux phénomènes, même si la littérature confirme cette observation (voir plus loin).

Rappelons que l'étude des corrélations niveau de nappe et débit montre que c'est le niveau de la nappe, plus que la pluviométrie instantanée, qui assure les flux dans les rivières de l'Ecosystème sableux landais. La fonction de production est de ce très liée à la saisonnalité, d'assez fortes pluies d'été pouvant n'avoir qu'un effet marginal (ruissellements de bordures) alors qu'en hiver sur nappe haute, toute pluie additionnelle conduit à une augmentation sensible de la production hydrique dans le cours d'eau. La répartition des pluies au cours de l'année, la réserve en eau du sol, le drainage des zones cultivées, qui peut varier sensiblement selon la pluviométrie estivale et le volume d'irrigation apporté sont autant de facteurs qui modulent le processus de production. Concernant la qualité des eaux et les flux de nutriments générés par les différentes activités humaines, le suivi réalisé par le Cemagref sur 7 années a permis d'établir que ramenées à l'hectare de bassin versant, un bassin versant mixte agriculture-forêt produit en moyenne 25 fois plus d'azote qu'un hectare de bassin versant forestier et que les flux d'azote sont d'autant plus importants que le pluviométrie est élevée. Les eaux issues des bassins à composante agricole contiennent plus d'azote sous forme minérale

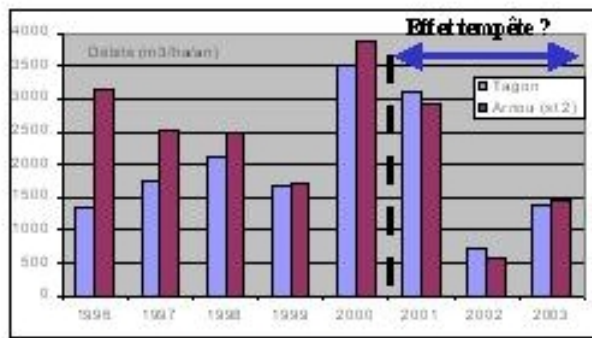


FIGURE 1.4: Comparaison de la production hydrique entre bassin forestier et mixte (CEMA-GREF ADBX, données 1996 à 2003)

(87%), ce qui est dû au lessivage de cette forme chimique. A contrario, les eaux forestières ont les concentrations en azote organique plus élevées (66 %) ainsi qu'en phosphore total, en raison de l'érosion des zones de bordures des fossés et ruisseaux. Les eaux issues des bassins fortement urbanisés sont elles chargées en matières organiques (MO) et matières en suspension (MES).

La forêt est ainsi l'occupation du sol la plus favorable pour le maintien de la qualité des eaux superficielles. ([7, 29, 10]).

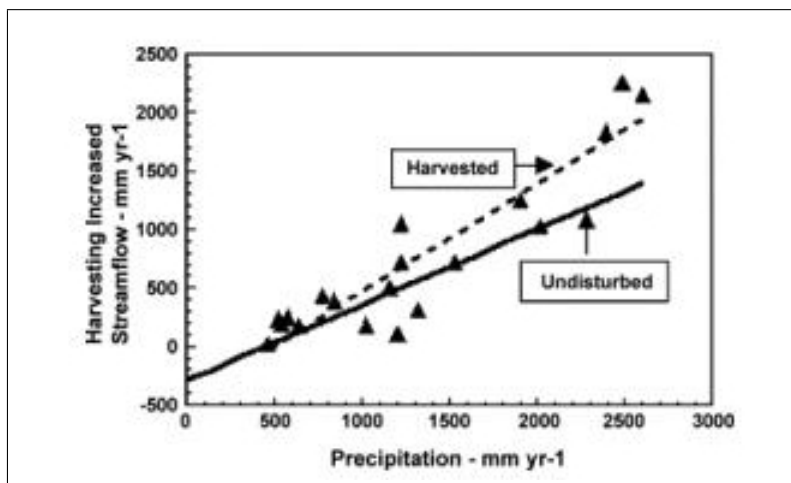


FIGURE 1.5: Accroissement du débit suite à des coupes rases forestières (Neary et al., 2005).

Les coupes rases forestières, notamment si elles se produisent de manière simultanée sur de grandes surfaces, peuvent augmenter la production hydrique des bassins versants et ce d'autant plus que la pluviométrie est importante ([24, 28]). En effet, l'occupation du sol par la forêt diminue le ruissellement de surface, modère les phénomènes de crues (observé sur le BV du Tagon) et permet d'obtenir une qualité d'eau satisfaisante, plus que tout autre



occupation du sol étudiée. D'autre part, il a été établi que la porosité et la conductivité hydraulique des sols variaient avec l'âge du peuplement forestier; l'infiltration est très forte et très variable lors de la coupe rase puis diminue pour se stabiliser à partir de la 7e année de culture. ([30]). **La période de coupe rase et celle qui précède le repeuplement est donc particulièrement cruciale en termes d'impact sur la ressource en eau puisqu'elle correspond également à un pic d'exportation en éléments minéraux.**

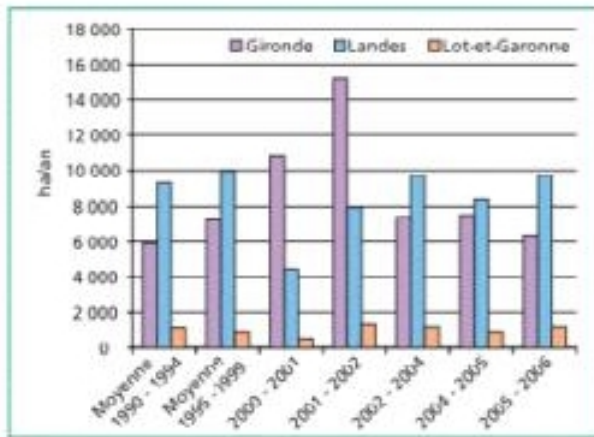


FIGURE 1.6: Répartition des surfaces de coupes rases par période et par département (source IFN-CIBA 2008)

D'après l'étude IFN-CIBA sur la cartographie des coupes rases par télédétection satellitaire, entre 1990 et 2006, la surface moyenne annuelle de coupes est de 17 540 ha soit 2 % du massif.

En conditions normales, l'impact à l'échelle du massif landais reste donc faible. En fonction de la taille des coupes, l'effet peut être important localement.

Un pic de coupes en 2001-2002 fait suite à la tempête. La Gironde est le département le plus concerné. Le niveau de coupe revient progressivement à la normale à partir de 2002-2004.

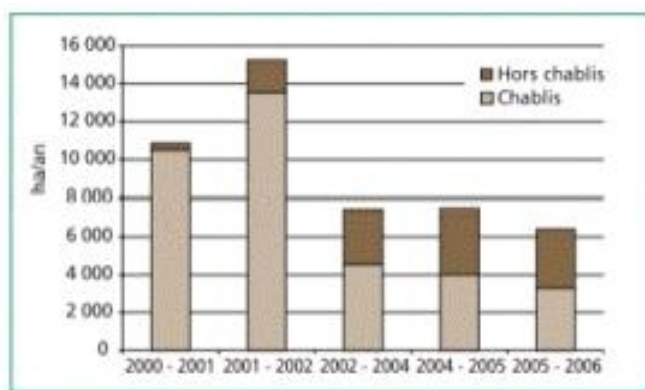
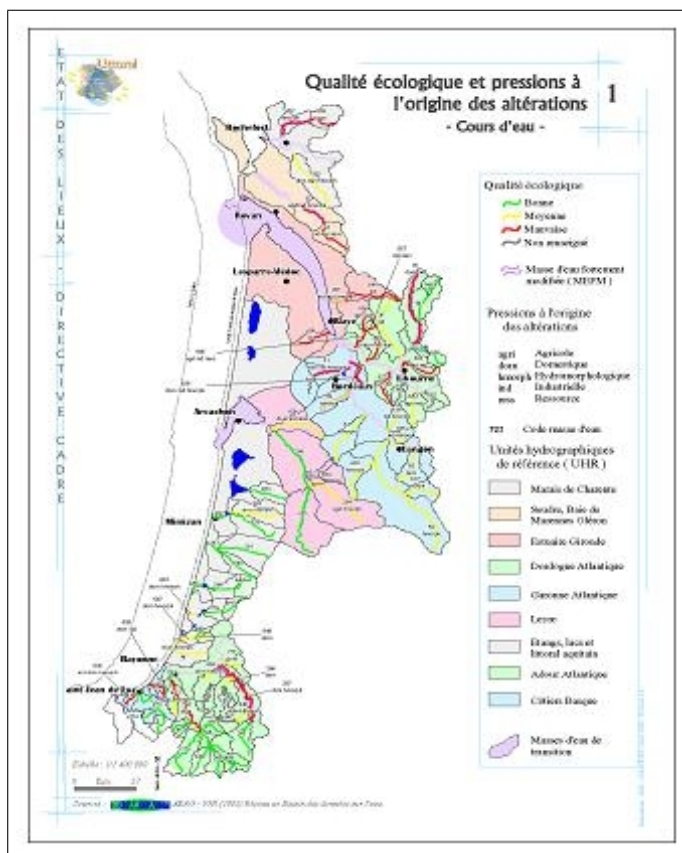


FIGURE 1.7: Surfaces de coupes rases chablis et hors chablis de la tempête 1999 en gironde (IFN-CIBA 2008)

Dans le contexte propre à l'écosystème landais, des pratiques respectueuses de l'environ-

nement peuvent permettre de limiter les flux polluants, notamment azotés et de préserver la ressource en eau :

- raisonnement de la fertilisation agricole, fractionnement des apports, cultures pièges à nitrate,
- respect du réseau hydrographique en cas de coupe forestière ou de mise à nu des sols,
- report de l'entretien des crastes et fossés en dehors des périodes de hautes eaux,
- maîtrise des épandages de boues des stations d'épuration et d'effluents d'élevage : pré-traitements, surfaces suffisantes, respect des rotations, contrôle de composition des produits, respect des concentrations limites dans les sols, des distance aux cours d'eau, des périodes d'épandage,
- traitements des effluents domestiques et des piscicultures (MES).



Cette protection de la ressource en eau liée à l'occupation du sol par la forêt a été confirmée lors de l'état des lieux des masses d'eau réalisé dans le cadre de la mise en œuvre de la Directive Cadre sur l'Eau. Une partie du territoire qui nous intéresse (Leyre et Littoral Aquitain (UHR Etangs, lacs et littoral Girondin, Leyre et Etangs, lacs et littoral landais) a été évaluée dans le cadre de la commission géographique littoral. (Etat des lieux DCE, 2004). Les enjeux qui ont été définis ont été les suivants :

- Limiter les phénomènes d'eutrophisation et de comblement des lacs,
- Lutter contre le développement des plantes envahissantes,
- Poursuivre la maîtrise des prélèvements liés à l'activité agricole,
- Continuer la protection des zones humides,
- Restaurer les axes pour les poissons migrateurs.

Il a été souligné que des apports trop importants de nutriments liés aux pratiques agricoles et aux collectivités conduisent à l'eutrophisation des milieux aquatiques, favorisent le développement des plantes envahissantes sur les étangs et lacs situés à l'exutoire et accélèrent leur

comblement. Plusieurs masses d'eau sont affectées par des rejets domestiques ou industriels, se traduisant par une dégradation de la qualité des eaux vis-à-vis de l'altération « matières organiques ». La masse d'eau souterraine des Sables Plio-quadernaire est utilisée pour l'irrigation des terres agricoles et maraichères. Bien que bénéficiant d'un temps de renouvellement très court (1 an), son équilibre quantitatif pourrait être remis en cause par une intensification de ces prélèvements. La Petite Leyre est également impactée par des prélèvements directs d'eau destinée à l'irrigation agricole. Aujourd'hui, la remontée de la faune piscicole reste difficile voire impossible sur le bassin versant de la Leyre, sur les étangs accessibles depuis le bassin d'Arcachon (Canal de Porge) et courants landais. Globalement, on peut cependant constater que les masses d'eau à occupation du sol très forestières correspondent à une bonne qualité chimique et écologique (cf. carte DCE 2004). Toutefois, ce diagnostic a aussi souligné l'absence de données suffisantes sur bon nombre de ces masses d'eau, par exemple sur l'évolution des débits d'étiage : l'absence de données conduit à ne pas pouvoir donner de conclusions.

## 2 Les infrastructures hydrauliques en forêt

L'assainissement des terrains humides et marécageux dans les Landes de Gascogne a constitué un préalable à l'installation de la forêt telle qu'on la connaît aujourd'hui. Cette méthode, étendue à l'ensemble du territoire dans la deuxième moitié du XIX<sup>ème</sup> siècle, était connue et pratiquée depuis plusieurs siècles à une échelle plus modeste. La régulation hydraulique est donc un aspect fondamental de l'ensemble de l'activité forestière (sylviculture, protection des forêts contre l'incendie, exploitation forestière), comme pour l'activité économique générale présente sur le territoire.

A ce propos, il convient de bien préciser la nature du réseau hydraulique forestier, qui vise à une régulation fine du niveau de la nappe superficielle, en évitant l'assèchement des parcelles. On distingue un réseau structurant permanent. Les canaux collecteurs principaux (crastes notamment) sont généralement de création ancienne. Larges et relativement profondes, elle présente un écoulement sur une grande partie de l'année. Le réseau secondaire, principalement lié à l'implantation des pistes forestières fait l'objet d'un suivi et d'un entretien régulier. Moins large et moins profond que le réseau principal, le réseau secondaire n'est actif que dans les périodes où la nappe est haute. Les associations locales de DFCI jouent un rôle essentiel dans la gestion de ce réseau. Enfin, on note l'existence d'un réseau tertiaire, plus temporaire associé aux unités de gestion forestières. Lors du renouvellement des peuplements forestiers dans les stations hydromorphes, ces fossés sont réactivés afin d'éviter l'asphyxie des jeunes plants en milieu engorgé. Par la suite, ils ne font généralement pas l'objet d'un entretien soutenu.



FIGURE 2.1: *De gauche à droite : collecteur agricole – fossé en bordure de piste – craste.*  
*Photos CEMAGREF*

Le réseau forestier est connecté à d'autres réseaux, principalement les fossés liés aux ex-

exploitations agricoles et aux infrastructures (routières et ferroviaire). Il interfère avec d'autres infrastructures agricoles comme les forages pour l'irrigation. Plus ponctuellement, il peut interférer avec des infrastructures hydrauliques liées à l'urbanisation. La superposition de ces différents réseaux, qui ont chacun leur logique propre, complique la gestion hydraulique à l'échelle des bassins versants ou du territoire forestier.

Ainsi, les fossés agricoles et forestiers ont des fonctionnements différents ([9],[30]).

## **2.1 Les infrastructures hydrauliques forestières à l'échelle de la parcelle**

Elles comprennent les moyens pour réguler la quantité d'eau notamment pendant les périodes de forte pluviométrie et les aménagements pour permettre leur franchissement.

### **2.1.1 Les fossés**

Les fossés à ciel ouvert restent le moyen le plus efficace et économique pour évacuer le surplus d'eau sur les terrains sableux. Mais sur ce substrat très perméable, les réactions suite à l'assainissement sont souvent rapides. Et les caractéristiques techniques du fossé demandent à être définies précisément afin de gérer au mieux l'eau restante dans la parcelle et éviter le début d'érosion régressive sur des fossés à fort débit [18].

Le fossé se caractérise par quatre données :

<p><b>Le sens d'écoulement</b></p>	<p>Le sens d'écoulement naturel des eaux s'observe facilement après des périodes pluvieuses ou à défaut avec un relevé topographique. Sur certaines parcelles relativement plates, un relevé topographique fin demeure obligatoire. Les erreurs à éviter :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- une limite de parcelle n'est pas nécessairement l'emplacement idéal d'un fossé</li> <li>- le raccordement à un réseau déjà existant qui oblige à travailler à contre pente</li> </ul>
<p><b>La pente longitudinale</b></p>	<p>Trop souvent, un fossé est ouvert ou reprofilé sans tenir compte de son profil en long. Les sols sableux sont très fragiles car il n'existe que peu de cohésion entre les grains de sable, et l'eau peut avoir un rôle d'érosion très rapide si la pente est supérieure à 2 pour mille (2 mm pour 1 m). Ceci se traduit par un déplacement important de sable et un surcreusement jusqu'à l'obtention du profil d'équilibre (données ci-dessus). Ce phénomène sera d'autant plus marqué que le débit instantané est important. Les erreurs à éviter :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- aucune chute d'eau sur le profil en long du fossé et au niveau du raccordement avec les fossés existants amont ou aval</li> <li>- ne pas relever la pente à l'aide d'outils topographiques dans les secteurs à risques</li> </ul>
<p><b>La profondeur</b></p>	<p>Sur une parcelle très plate, elle ne devrait jamais excéder 60 cm. A cette profondeur, le rabattement superficiel de la nappe est suffisant pour permettre l'installation des jeunes arbres. Souvent, la topographie de la parcelle en « tôle ondulée », nous oblige à sur creuser quelques zones au-delà de ces valeurs. Les erreurs à éviter :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- se priver d'un relevé topographique qui permettra d'appréhender au mieux les profondeurs aux points remarquables du tracé</li> <li>- se baser sur la profondeur d'un ou des fossés déjà existants</li> </ul>
<p><b>Le profil transversal et les berges</b></p>	<p>Il doit tenir compte de la fragilité du substrat, une coupe trop abrupte provoque un éboulement des flans.</p> <p>Dans la plupart des cas, les travaux sur les fossés sont réalisés avec des godets trapézoïdaux qui respectent une pente autour de 45°.</p> <p>Après des travaux, le fossé va naturellement se combler par glissement d'une partie de ses flans et perdre autour de 5 cm de profondeur.</p> <p>La tenue de ce profil dans le temps, est liée à la végétation qui va le coloniser. Les pins sont indésirables, car ils peuvent provoquer des bouchons suite à leurs chutes ou des marmites d'érosion.</p> <p>Les erreurs à éviter :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- désherber chimiquement un fossé (incompatible avec les engagements PEFC)</li> <li>- laisser grossir les arbres sur le fossé - réaliser les travaux en période de hautes eaux (flux)</li> </ul>

### 2.1.2 Les ouvrages de franchissement

Ils sont nécessaires pour des questions de pénétration des parcelles pour la surveillance, l'exécution des travaux forestiers et la lutte contre le feu. L'intervalle maximum entre deux ouvrages, sur un même fossé ne doit pas dépasser 500 mètres.

<b>Les passages busés</b>	<p>C'est le moyen le plus sûr pour le franchissement à toute saison et par tous les types de véhicules. Il est important de bien identifier le débit potentiel du fossé pour dimensionner en conséquence le diamètre des buses. Les diamètres les plus courants dans ce type d'ouvrage se situent entre 40 et 50 cm. La longueur des passages doit être au minimum de 7 mètres à 7,50 mètres (3 buses) pour les ouvrages bénéficiant d'aides publiques.</p> <p>Lors de la pose de passages busés, il faut éviter de créer une chute d'eau en sortie de buse, une « marmite » peut se creuser et provoquer à la longue un affaiblissement de l'ouvrage. Cependant, on peut enterrer légèrement la buse pour éviter la formation d'une chute d'eau en sortie.</p> <p>Toutefois, on peut profiter de la longueur de la buse, pour appliquer une pente supérieure à la norme (2 pour mille) afin de rattraper un niveau.</p>
<b>Les passages à gué</b>	<p>Ce moyen est de plus en plus délaissé car son franchissement est souvent compliqué pour des petits véhicules. Un léger élargissement du lit en amont est nécessaire pour ralentir le courant et éviter l'érosion. Des pieux et une tresse végétale insérée au milieu, peuvent stabiliser l'ensemble en amont du gué. Il convient d'éviter de provoquer une chute d'eau en amont.</p>

## 2.2 Les infrastructures hydrauliques à l'échelle du bassin versant

A l'échelle des bassins versants, il est difficile d'avoir une vision d'ensemble des différentes infrastructures hydraulique et de leur fonctionnement, même s'il existe une bonne connaissance locale de la part des acteurs de la Défense des Forêts Contre l'Incendie (Présidents et administrateurs des Associations Syndicales Autorisées de DFCI communales ou inter-communales). Les analyses menées à cette échelle sont peu nombreuses et souvent partielles.

Les composantes à prendre en considération à l'échelle du bassin versant sont les suivants [12] :

- Des exutoires : lacs ou des cours d'eau "naturels"
- Des voies d'écoulement : cours d'eau "naturels", barades, crastes, fossés etc . . .
- Des aquifères : nappe phréatique plioquaternaire dite "des sables", nappes alluviales.
- Des infrastructures associées : pistes, ponts et passages busés, seuils, points d'eau DFCI.

- Des problèmes identifiés, liés à l'érosion régressive : abaissement du lit des collecteurs (augmentation du drainage), effondrement des berges, fragilisation ou coupure des pistes, ensablement des exutoires ou des ouvrages, destruction des ouvrages.

Dans l'état actuel de connaissance du fonctionnement des bassins versants landais, on peut identifier certains facteurs de fragilisation des réseaux :

- L'augmentation des débits instantanés
- Une pente supérieure à 2<sup>0</sup>/100
- La création de chutes à la sortie des radiers
- Le surcreusement des fossés et le profil



## 3 Les perspectives d'avenir

### 3.1 Les constats et l'état des connaissances

Les apports de précipitations sont soumis à des variations interannuelles importantes, ce qui a des conséquences immédiates sur l'alimentation en eau des peuplements au vu de la nature des sols du massif landais.

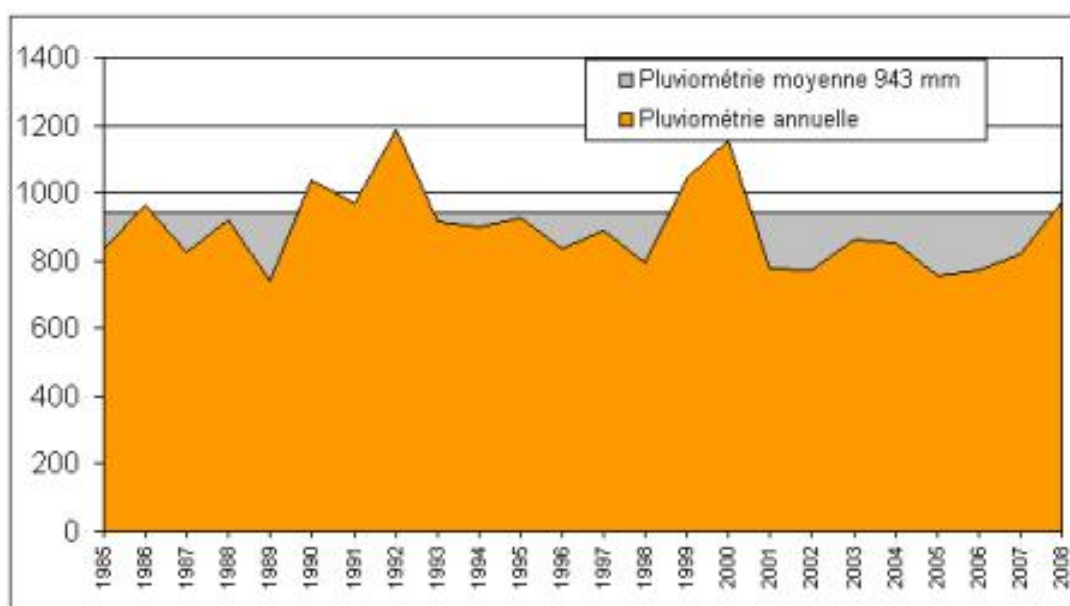


FIGURE 3.1: *Pluviométrie – Station météorologique de Mont de Marsan (source Météo-france)*

Moyenne sur 50 ans (1951/1999) : 943 mm

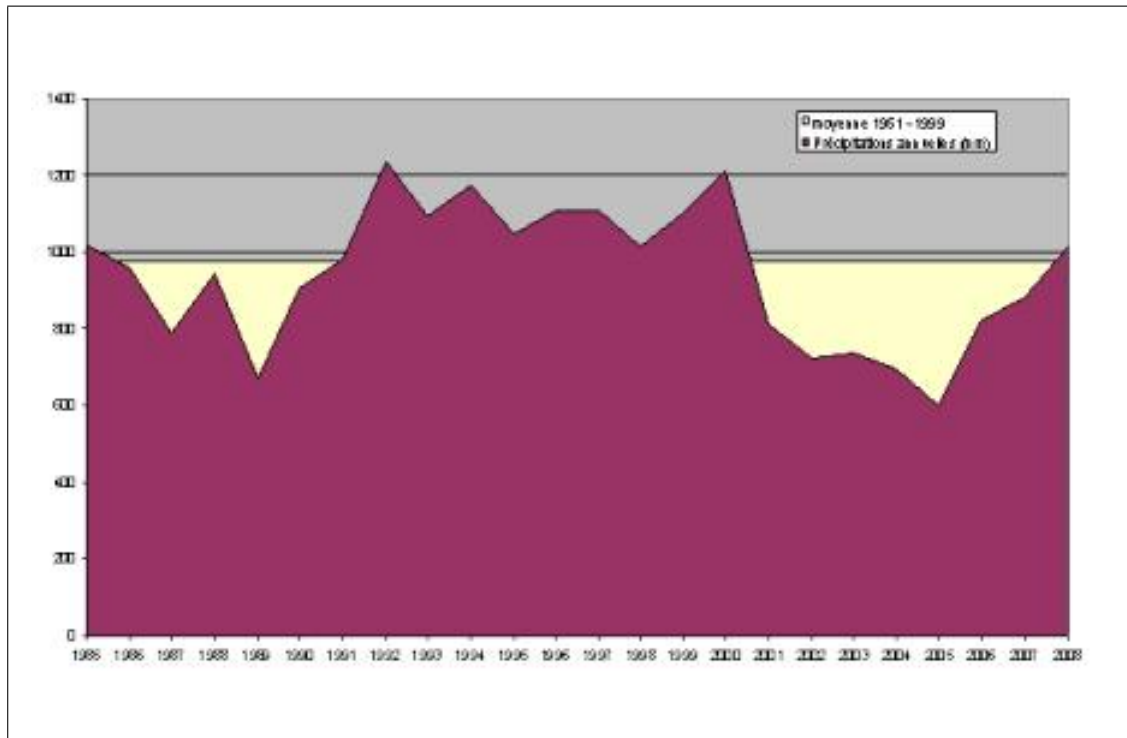


FIGURE 3.2: *Pluviométrie – Station météorologique de Bordeaux Mérignac (source Météo-france)*

Moyenne sur 50 ans (1951-1999) : 972 mm

La répartition des précipitations au cours de l'année se caractérise par un déficit estival marqué. Ce régime se traduit par une fluctuation du niveau de la nappe phréatique.

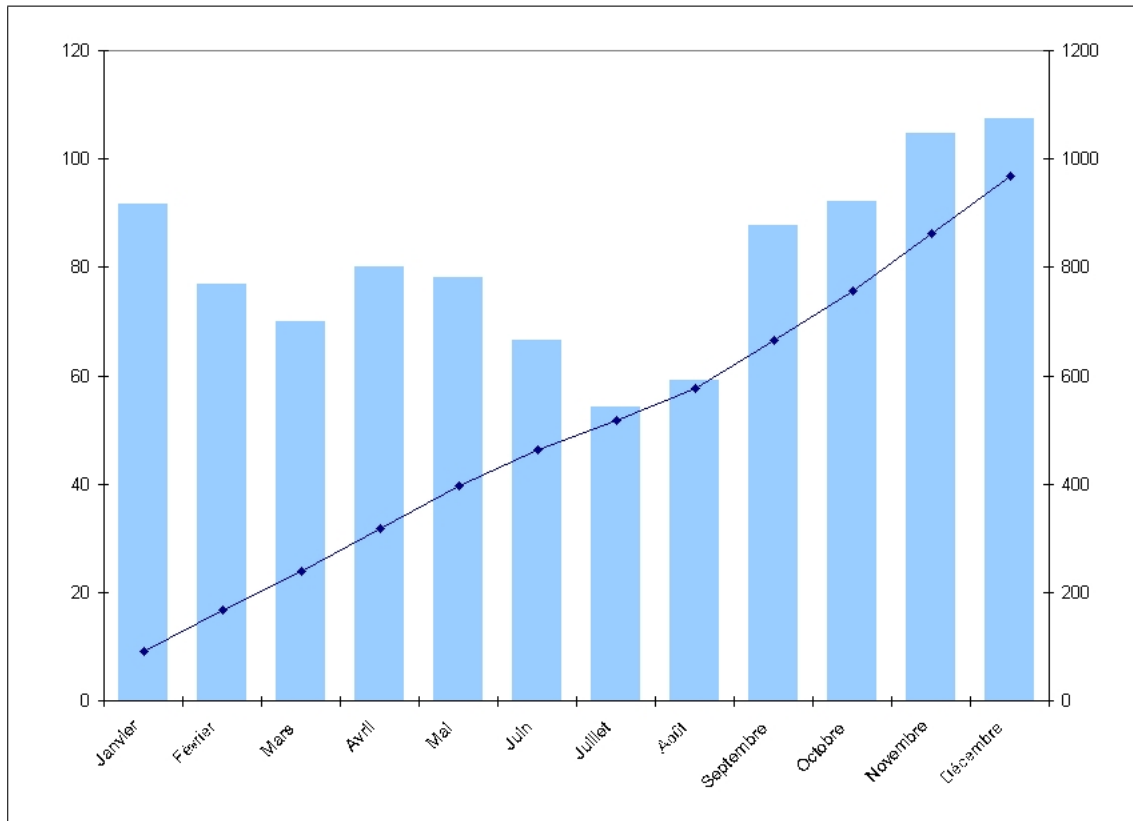
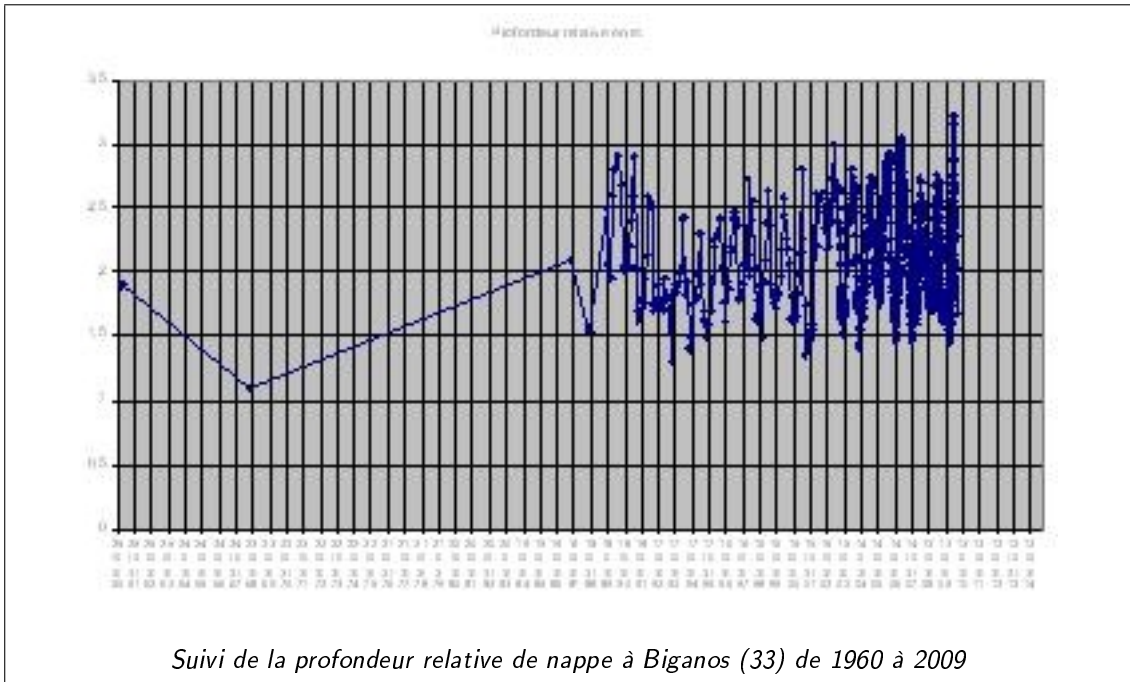
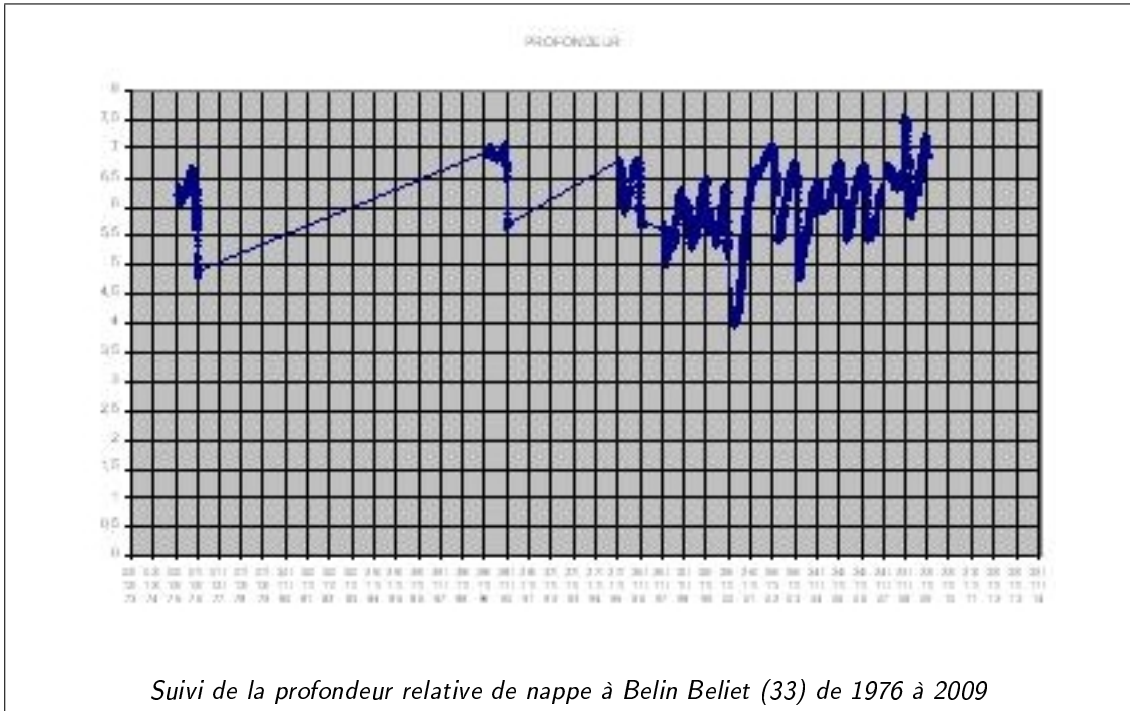
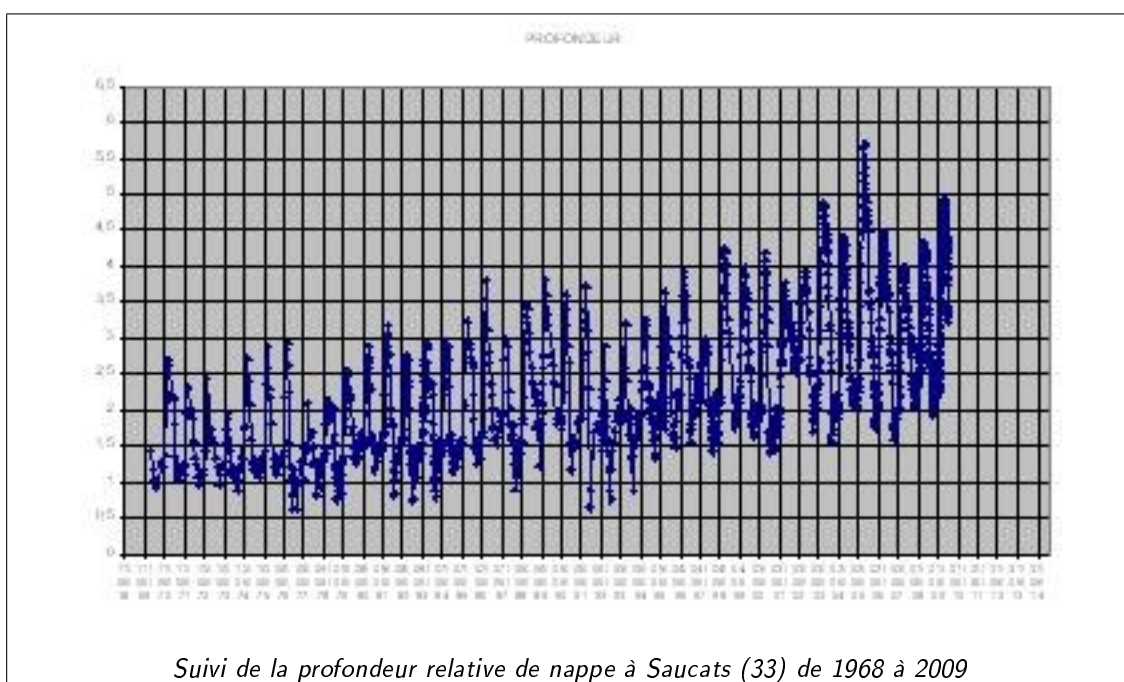
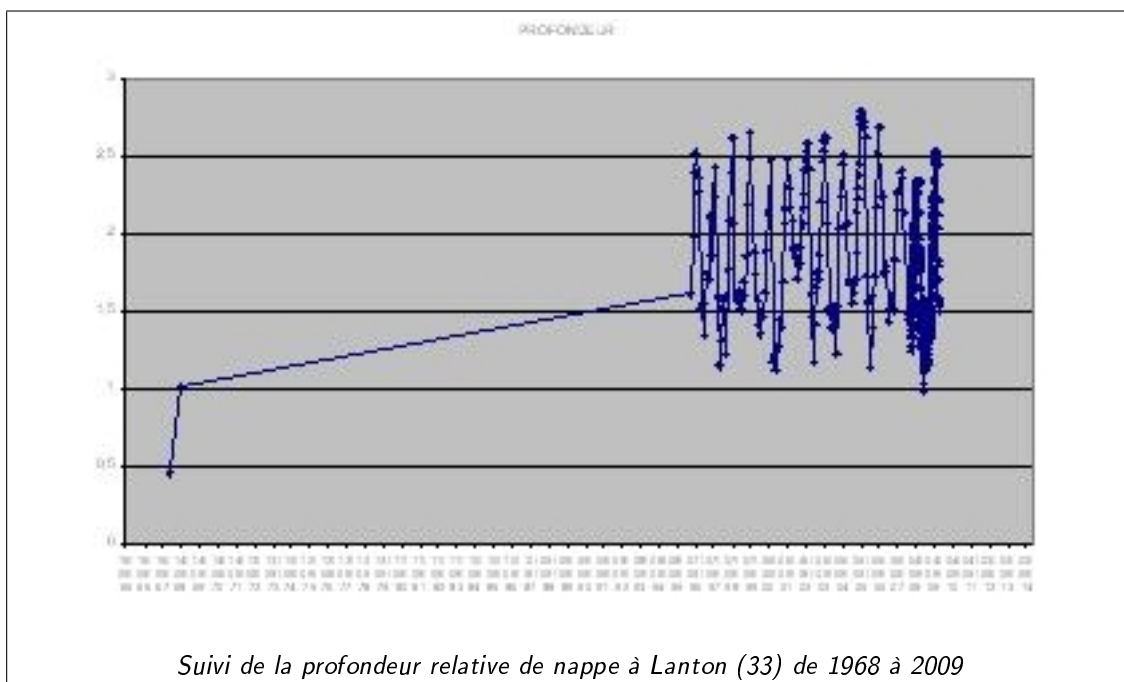


FIGURE 3.3: *Diagramme des précipitations mensuelles et cumulées pour la station de Bordeaux-Mérignac (en mm, normales 1971-2000 - données Météo France)*





Source : Base de donnée ADES – extraction du 30 novembre 2009

Les connaissances sur la nappe plio-quaternaire sont importantes mais lacunaires (en particulier le nombre de piézomètres et de qualitomètres est faible même s'il est en augmentation depuis 5 à 6 ans). Les données sur les infrastructures hydrauliques sont lacunaires. Les don-

nées sur l'influence des infrastructures hydrauliques sont très lacunaires. Les éléments dont on dispose actuellement montrent la nécessité de disposer de séries de données chronologiques cohérentes tant au plan spatial qu'au plan temporel (cohérence des périodes de mesures). Ceci plaide en faveur d'observatoires régionaux impliquant tous les partenaires concernés et à la mise en commun des données via des plate-formes d'échange.

### 3.2 les prévisions concernant le changement climatique

Le régime des précipitations connaît des variations interannuelles relativement marquées.

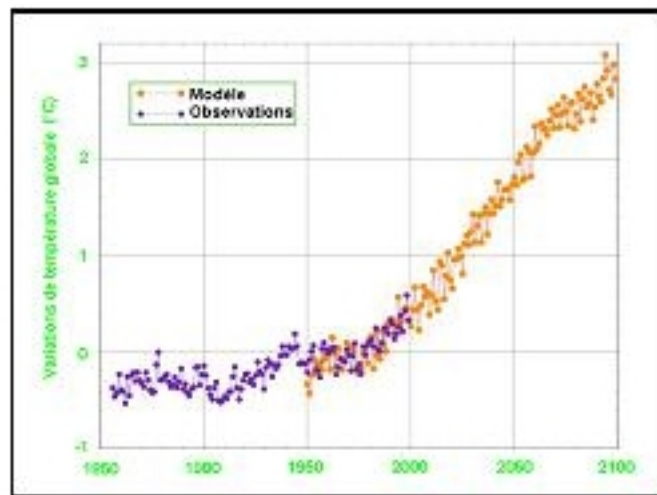


FIGURE 3.4: *Prévision de la température moyenne globale (Météofrance, 2001)*

A la fin du siècle on prévoit en Europe une augmentation de température de 1 à 2 °C en hiver et jusqu'à 4°C en été.

Les précipitations seraient globalement équivalentes mais plus abondantes en hiver, légèrement plus faibles au printemps et à l'automne et beaucoup plus faibles en été. On prévoit des sécheresses plus importantes en été et à l'automne.

Les contrastes saisonniers seront accentués sur la façade occidentale.

A la fin du siècle, la prévision de hausse des températures moyennes d'été est de 4°C. Les prévisions indiquent une pluviométrie identique mais mal répartie et beaucoup plus faible en été.

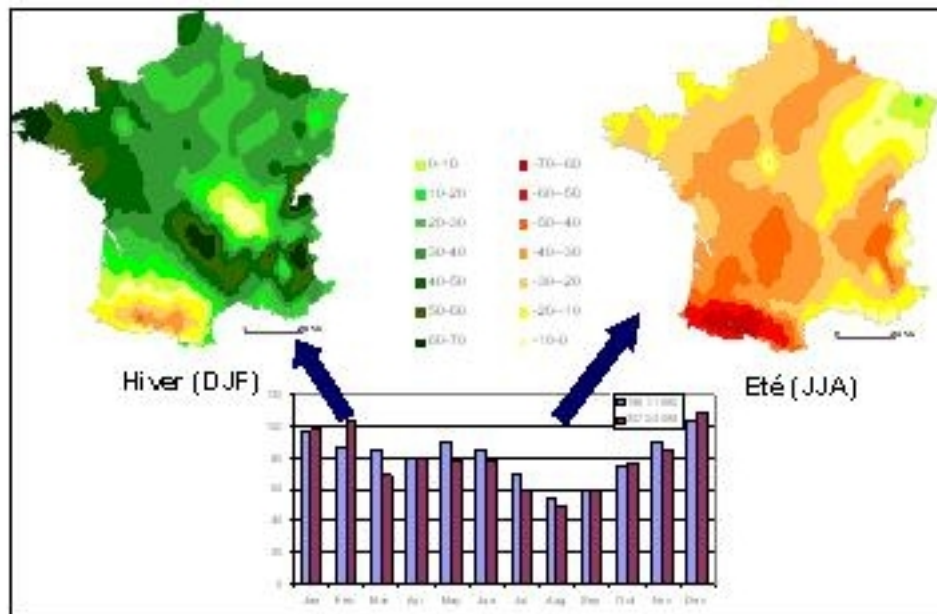


FIGURE 3.5: Prédiction de l'évolution de la pluviométrie à la fin du 21ème siècle (Météofrance, 2001)

Les périodes sans précipitations seront vraisemblablement plus fréquentes et plus longues en été. Or, si des durées de 5 jours sans pluie ne portent pas à conséquence, l'augmentation du nombre des périodes de 10 jours sans pluie a une tout autre importance pour les peuplements forestiers, au vu du faible niveau de la réserve utile des sols landais.

Par ailleurs, on peut prévoir une demande climatique accrue. L'eau est le principal facteur limitant de la croissance lorsque la demande augmente et que les précipitations baissent. Le pin peut s'adapter à ces nouvelles conditions mais cela se fera sur le long terme, au détriment de la croissance. Il s'avèrera nécessaire d'accompagner ce processus d'adaptation biologique en adaptant la sylviculture.

Parallèlement, les activités qui s'exercent sur le même territoire (agriculture) devront également s'adapter. Notamment des périodes plus prolongées de déficit hydrique estival pourraient se traduire par une demande en eau plus forte pour l'irrigation. Ceci posera de manière plus incisive la question de la gestion de la ressource, notamment aux interfaces agriculture-forêt.

## 4 Grille d'analyse des options – critère B3 – Eau »

Thème	Options étudiée	Effet potentiel (quantitatif, qualitatif)	Recommandations
-------	-----------------	--	-----------------



De la forêt vers d'autres usages du sol (GT4)			
Urbanisation - Industries	Estimation moyenne sur les 10 dernières années : env. 500 ha/an Localisation approximative : habitations et activités en périphérie des agglomérations, diffus le long du littoral. ZA le long de l'A63 et RN 10, surfaces importantes. Pas d'installation d'industries très impactantes sur la ressource.	Suppression permanente du couvert boisé : modification de la relation pluie/débit. Imperméabilisation (effet négatif sur le ruissellement et l'infiltration). Apport de M.O. et M.E.S. et produits émergents. Augmentation des flux de polluants (N,P) Augmentation de la demande en eau. Mitage : perturbation du réseau de fossés, pollution diffuse, augmentation des réseaux et infrastructures de desserte.	Prendre en compte les effets négatifs liés au mitage. Adapter les dispositifs d'assainissement (en particulier dans les secteurs touristiques). Veiller à la continuité des réseaux hydrauliques tenant compte de la globalité des émissaires impactés.

<p>Agriculture</p>	<p>Estimation moyenne sur les 10 dernières années : env. 500 ha/an. Majoritairement il s'agit de l'installation de grandes cultures Pas de développement d'élevages industriels prévisibles à court terme.</p>	<p>Suppression permanente du couvert boisé : modification de la relation pluie/débit. Augmentation du module d'assainissement. Prélèvements importants sur la nappe en période d'étiage. Rabattement de la nappe plus important. Apports d'intrants et flux de nutriments largement supérieurs Apports phytosanitaires largement supérieurs Dérive des calendriers agricoles liés à la diversification (récoltes supplémentaires se traduisant par une augmentation de l'impact sur l'eau). Introduction possible de cultures énergétiques dont l'effet n'est pas évalué.</p>	<p>Ne pas bouleverser les équilibres entre forêt et agriculture à l'échelle des bassins versants, importants pour la préservation de la qualité de l'eau. Réaliser une évaluation précise de l'impact des infrastructures hydrauliques agricoles. Veiller à la continuité des réseaux hydrauliques tenant compte de la globalité des émissaires impactés.</p>
--------------------	--	---	---

<p>Infrastructures</p>	<p>Difficile à chiffrer et à dissocier de l'urbanisation. L'autoroute A65 consomme à elle seule 750 ha d'espaces forestier. La LGV en projet consommera peut-être entre 700 et 1100 ha. L'augmentation de capacité de l'A63-RN10 devrait avoir un impact assez faible. L'urbanisation entraîne une augmentation corollaire des infrastructures de desserte locale. Les gazoducs, oléoducs et réseaux de transport d'électricité, sans provoquer de défrichement, créent des servitudes en forêt. La surface n'est pas quantifiée.</p>	<p>Suppression permanente du couvert boisé : modification de la relation pluie/débit. Imperméabilisation et augmentation du ruissellement. Transparence hydraulique : perturbation du réseau de fossés. Pollution de la nappe et des cours d'eau (hydrocarbures notamment) Rabattement de nappe lié à la mise hors d'eau de l'ouvrage. Pas d'impact identifié pour les infrastructures de transport d'énergie.</p>	<p>Veiller à la continuité des réseaux hydrauliques tenant compte de la globalité des émissaires impactés.</p>
------------------------	---	--	--

Autres ressources naturelles	Les carrières (extraction de sable ou grave) ont un impact surfacique faible, non quantifié. Les installations liées à la production d'ENR, notamment photovoltaïque, sont amenées à se développer : estimation des projets en cours d'instruction : 2600 ha.	Suppression permanente du couvert boisé : modification de la relation pluie/débit. Perturbation du sol (plus ou moins important) : modification des conditions de ruissellement et d'infiltration. Augmentation du risque d'érosion. Perturbation du réseau de fossés. Pour les carrières : Perturbation du réseau de fossés. Pollution diffuse? Augmentation des M.E.S.? Pour les installations photovoltaïques : a priori pas de pollution diffuse, si désherbage mécanique.	Veiller à la continuité des réseaux hydrauliques en tenant compte de la globalité des émissaires impactés. Végétaliser rapidement les berges et/ou sols. Limiter la taille des projets Réaliser de réelles études d'impact.
------------------------------	---	--	---

Thème	Options étudiée	Effet potentiel (quantitatif, qualitatif)	Recommandations
<b>De la forêt vers la forêt (GT 2, 3 et 4)</b>			
Essences (GT 2)	Diversification des essences. Introduction de nouvelles variétés améliorées de Pin Maritime.	Modification possible de l'ETR si les besoins en eau diffèrent et que les surfaces concernées sont importantes.	Le % de surface concernée est un facteur déterminant. Les estimations données sont assez faibles (de l'ordre de 10 à 15% pour le pin taeda) Disposer d'une estimation des besoins en eau des essences implantées.

<p>Cycles de production (GT 2 et 3)</p>	<p>Schémas orientés biomasse (moins de 20 ans) Courte révolution BO (entre 20 et 35 ans) Haute qualité et standard (plus de 35 ans)</p>	<p>Pour les itinéraires de moins de 30 ans, l'augmentation de la fréquence et de la surface des stades « coupe rase » peut avoir un impact significatif sur l'infiltration dans le sol et sur les flux de nutriments. Le déséquilibre dans les classes d'âges liés à la tempête pourrait conduire à augmenter sensiblement les surfaces pour une même classe d'âge et par là même à avoir un impact négatif lorsque des coupes rases interviendraient de façon quasi simultanée ; la diversité des itinéraires techniques adoptés permettrait de limiter ce phénomène (déjà constaté après les incendies des années 40).</p>	<p>Le % de surface concernée est un facteur déterminant. Localement, le non-renouvellement des cycles courts sur une même parcelle est positif.</p>
---	---	--	---

Opérations sylvicoles (GT2)	Labour	La perturbation du sol entraîne une modification des conditions d'infiltration et de flux de nutriments pouvant aller jusqu'à une augmentation du ruissellement et des risques d'érosion. La profondeur de la dérayure, ses profils et pentes peuvent augmenter l'effet et le faire perdurer dans le temps.	<p>Limiter le micro-relief et les micro-talweg linéaires dans le sens de la pente (même faible).</p> <p>Eviter le traitement concomitant et continu de très grandes surfaces.</p> <p>Evaluer l'effet des différentes techniques.</p>
	Fertilisation	Apport d'intrants. Risque d'infiltration dans la nappe et vers les cours d'eau	<p>Option peu détaillée. Il semble cependant que la situation n'évolue pas sensiblement par rapport à l'avant tempête (en particulier, fertilisation uniquement phosphatée).</p> <p>Eviter les sur-apports, raisonner les fertilisations en fonction du contexte.</p>
	Herbicides et produits phytosanitaires (produits soumis à l'homologation forêt)	<p>Apport d'éléments toxiques. Risque d'infiltration dans la nappe et vers les cours d'eau.</p> <p>Actuellement forte limitation des traitements sanitaires (souches, traitements préventifs).</p> <p>L'application d'herbicide est, ou a été, utilisée par un nombre limité d'opérateurs lors de l'installation des peuplements pour limiter la concurrence de la molinie</p>	<p>Option peu détaillée.</p> <p>L'utilisation du débroussaillage chimique est en régression, à dire d'expert.</p>

Entretien mécanique	Effet sur le sous-bois : limitation de la consommation en eau du sous-bois. Effet éventuel sur la composition du sous-bois (à vérifier) et donc sur sont comportement vis-à-vis de l'eau (à vérifier)	Effet marginal sur la ressource. Potentiellement important sur la disponibilité en eau pour le peuplement ?
Opérations de nettoyage	La perturbation du sol entraîne une modification des conditions d'infiltration et de flux de nutriments pouvant aller jusqu'à une augmentation du ruissellement et des risques d'érosion.	L'option recommandée (mise en cordons) paraît la plus adaptée pour limiter les perturbations.

<p>Gestion et entretien du réseau hydraulique (GT 2 et 4)</p>	<p>remise en état des fossés (désencombrement, modification du profil, création de nouveaux fossés ou modification du réseau)</p>	<p>Augmentation potentielle du rabattement de la nappe. Augmentation potentielle du risque d'érosion (rabattement et transport de sédiments) La période d'entretien peut également avoir un effet, or actuellement le calendrier d'entretien est fixé par rapport à des contraintes administratives d'attribution des aides sans prise en compte de la minimisation des impacts sur l'environnement.</p>	<p>Se limiter à dégager les fossés des obstacles les obstruant sans modifier le profil. En cas de reprise (ou de création), poser un diagnostic hydraulique préalable. Rester prudent dans les interventions. L'élaboration d'un Guide technique serait souhaitable. Prise en compte et gestion globale du réseau : objectif à moyen – long terme?</p>
<p>Conservation et valorisation des feuillus (GT 2 et 4)</p>	<p>Ripisylves Forêts de bord de cours d'eau.</p>	<p>Rôle positif pour la stabilisation des berges Filtre à sédiments et à nutriments Rôle de protection contre les crues Conservation nécessaire pour la qualité de l'eau, en particulier sur les émissaires amont.</p>	<p>Dans l'application de la clause « biodiversité », privilégier l'installation de lisières feuillues le long des crastes et fossés et également l'enherbement des berges sur les fossés. Pour mieux réaliser leur suivi, une prise en compte spécifique dans les données institutionnelles serait souhaitable.</p>



Conservation des milieux humides intraforestiers (GT 2 et 4)	Lagunes Petites zones humides (tourbières, landes tourbeuses)	Rôle positif pour la gestion globale du niveau de la nappe superficielle. Equilibre fonctionnel parfois délicat à trouver entre les besoins pour la zone humide et les contraintes de gestion forestière.	Conservation importante pour la préservation de la ressource en eau liée à la nappe plioquaternaire. Dans l'application de la clause « biodiversité », privilégier la préservation de ces milieux. L'élaboration de guides de pratique adaptés, tenant compte des équilibres parfois difficiles à trouver entre forêt et milieux humides serait souhaitable. Une approche globale du fonctionnement de la nappe et du réseau hydraulique (à l'échelle d'un sous-bassin versant) au minimum est nécessaire.
<b>Filière forêt-bois- papier</b>			
Aires de stockage humides de bois (GT1)	25 plate-formes ont été créées ou reprises en 2009.	Prélèvement d'eau dans la nappe superficielle. Recyclage important mais pas total de cette eau par reprise dans des bassins. Eau chargée en éléments toxiques – infiltration possible par ruissellement.	Maintenir des structures pérennes? Avantage : meilleures conditions de recyclage et de traitement possibles.
Développement de la filière bois-énergie (GT 3)	Développement d'itinéraires dédiés ou semi-dédiés.	Voir plus haut l'effet potentiel du raccourcissement des rotations. Voir plus haut pour la mise en œuvre de variétés spécifiques à ces itinéraires.	Part dans la surface totale sera déterminante pour l'effet sur la ressource en eau.

Thème	Options étudiée	Effet potentiel (quantitatif, qualitatif)	Recommandations
<b>Mise en œuvre des politiques publiques</b>			
Organisation des acteurs face aux risques (GT 1)	Une approche globale des risques	Les conclusions des groupes indiquent que cette approche globale a manqué dans les événements précédents.	Intégrer les risques liés à la ressource en eau dans cette approche globale : risque induit (érosion, ruissellement, flux polluants) et risque subi (accès à la ressource, érosion).
Moyens de surveillance et de pilotage à l'échelle du territoire (GT 4 et GT1)	Système global de monitoring à l'échelle régionale	On constate encore actuellement des lacunes importantes pour une information pertinente sur les réseaux, sur les nappes, sur les débits et la qualité des cours d'eau. Le suivi post-tempête montre un souci de mise en place d'un monitoring sur la reconstitution, à poursuivre et à maintenir dans le temps. Importance de disposer de séries chronologiques.	Développement des dispositifs de type « observatoire » et « plate-forme d'échanges » intéressantes dans cet objectif de connaissance du territoire.
DCE <sup>1</sup>	Masses d'eau concernées par les objectifs d'atteinte du bon état	Masses d'eau concernées plutôt en bon état et soumis à des faibles pressions (présence des surfaces forestières et faible urbanisation). Manque de données constatées dans le diagnostic 2004.	Préserver l'équilibre des usages en le prenant en compte dans les programmes de mesures et dans les autres politiques publiques (développement). Renvoi au développement des réseaux de mesures.

---

1. Directive Cadre sur l'Eau

Loi sur l'eau	SAGE <sup>2</sup>	Opposables au tiers depuis la LEMA <sup>3</sup> Massif landais pratiquement couvert par des procédures de SAGE à divers stades d'avancement. La profession forestière est représentée en tant qu'acteur ce qui est une particularité par rapport à d'autres territoires. Le manque de données relevé pour la DCE se pose également dans le cadre de ces procédures participatives.	Les SAGE devraient prendre en compte les scénarios d'évolution des activités et donc certaines options qui ont été détaillées ici, avec le problème de l'évaluation quantitative.
	Nomenclature des travaux soumis à déclaration ou autorisation	Problème récurrent de différenciation entre cours d'eau (soumis à la nomenclature) et fossés (non soumis)	La détermination de critères objectifs et partagés, tenant compte des spécificités du massif, est nécessaire.
Zones humides	Sites Natura 2000 Art. L 211 du Code de l'Environnement	Bords de cours d'eau lagunes.	A prendre en compte dans les clauses « biodiversité » dans le cadre reconstitution. Voir recommandations précédentes pour les ripisylves.
Autres politiques	Trame bleue / Grenelle I & II / Schéma Régional de Cohérence Ecologique. MAET <sup>4</sup> .	Actuellement pas de mesures environnementales qui permettent de prendre en compte de manière continue par exemple un réseau de fossés entre agriculteurs et sylviculteurs.	Approche globale nécessaire des politiques publiques Dispositifs de gestion intégrée?

2. Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux

3. Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques du 31 décembre 2006

4. Mesures Agri-Environnementales Territorialisées

# Conclusions

Le diagnostic et l'analyse des options présentés dans ce document ont souffert de l'absence de données pertinentes sur le plan spatio-temporel et cette analyse qualitative mériterait d'être approfondie par une analyse quantitative.

La première recommandation est de susciter la mise en synergie des initiatives de collecte et mise en forme des données sur la zone (observatoire, réseau, acteurs professionnels, décideurs, recherche) pour bénéficier à terme d'un système d'information qui permette de répondre rapidement et de façon performante à des analyses ponctuelles (crise) ou de suivi. Dans le domaine de l'eau, l'absence de problèmes très aigus de qualité des cours d'eau ou de disponibilité de ressource dans les zones forestières a conduit à la non mobilisation forte des réseaux de mesures et aux faible nombre de données disponibles sur la nappe plio-quadernaire et les cours d'eau forestiers (piézomètres, stations de débit, qualitomètres, stations météorologique), peu de séries historiques : difficulté de suivi.

Une autre recommandation qui a d'ailleurs émergé des groupes de travail également est la mise en œuvre d'une approche globale des risques, et notamment du risque lié à l'eau (induit et subi). L'élaboration de scénarios à l'échelle du massif doit intégrer les effets combinés de différents options (scénarios climatiques, sur les filières, les usages,...) et leurs impacts à la fois environnementaux (dont la ressource en eau) mais aussi économiques et sociaux. Dans un contexte de changement climatique et compte-tenu des problèmes économiques et sociaux actuels, l'étude approfondie de scénarios d'évolution et de leur impact à l'échelle régionale et du massif est une nécessité vitale. On peut d'ailleurs ajouter que les tendances actuelles des politiques publiques avec notamment les dispositifs de gestion intégrée, vont dans ce sens. La diversité des politiques publiques liées à l'eau sur le territoire : DCE, Loi sur l'eau (SAGE – nomenclature), Zones humides, Trame bleue, etc.. et leurs interférences potentielles avec d'autres politiques plus économiques ou sectorielles nécessitent de pouvoir évaluer leurs effets conjugués dans une approche spécifique.

En tout état de cause, les éléments présentés dans ce rapport montrent tout l'intérêt de préserver l'occupation du sol par la forêt sur ce territoire à l'écosystème fragile (et donc une activité forestière rentable et soutenable). L'existence de vastes surfaces boisées est un atout majeur pour la qualité de la ressource en eau et l'équilibre hydrique dans les bassins versants. Des problèmes de dysfonctionnement ont déjà été constatés malgré une faible urbanisation et une activité agricole dont les surfaces restent limités à environ 10% du territoire. Le développement fort de l'urbanisation, notamment dans les zones littorales, ou de l'activité agricole en amont des bassins versants, doit donc se faire en respectant cet équilibre. Parallèlement, les options d'évolution des itinéraires techniques forestiers avec de plus courtes révolutions et des surfaces en coupe rase potentiellement plus importantes en simultané pourraient également, compte-tenu des surfaces en jeu, avoir un impact non négligeable sur la ressource en eau. Tout l'enjeu est de savoir quel pourcentage des surfaces forestières sera concerné par ces nouvelles filières et si les politiques publiques sauront de manière participative et concertée, mettre en œuvre des instruments de pilotage et de prévention suffisamment efficaces.

# Bibliographie

- [1] Syndicat Mixte du Pays Médoc (2002), 'Etude pour la maîtrise de l'eau en Médoc : Diagnostic', Rapport technique.
- [2] GERA / CEMAGREF (1998), 'Résumé du suivi de la mesure OLAE "entretien de fossés" sur le bassin versant de la Leyre', Compte-rendu de la réunion du 26 février 1999 - GERA / CEMAGREF. Opération pilotée par l'ADASEA des Landes.
- [3] Anonyme (1992), 'Etude de l'impact du défrichement à but maïsicole sur la qualité des eaux superficielles en forêt landaise : étude des bassins versants tributaires du Lac de Carcans - Hourtin, volet hydrométrie', Rapport technique, Direction Régionale de l'Environnement d'Aquitaine. Aussenac G. (1980). Le cycle hydrologique en forêt. In Pesson P., Actualités d'écologie forestière, Gauthier- Villars/Bordas, Paris, p. 283-307
- [4] Agence de l'EAU Adour-garonne – Etat des lieux de la DCE (2004) – commission géographique littoral
- [5] Archaux, F. (2006), 'Sécheresse et biodiversité : un sujet à défricher', Rendez-Vous Techniques 11.
- [6] Belrose, V. ; Pauly, H. & Carouille, F. (2006), 'Conséquences visibles de l'été 2003 sur les forêts : des réactions immédiates contrastées, des incertitudes sur les conséquences à long terme.', Rendez-Vous Techniques 11.
- [7] Beuffe, H. & Laplana, R. (1992), 'Impact du défrichement à but maïsicole sur la qualité des eaux superficielles en forêt landaise - Application à quatre bassins versants du lac d'Hourtin - Carcans - Volet "Apports nutritifs"(58), Rapport technique, CEMAGREF.
- [8] Boyau, B. (1996), 'Les fossés en zone sableuse', Rapport technique, Union Landaise de D.F.C.I..
- [9] Chossat, J.-C. ; Laplana, R. ; Vernier, F. ; Beuffe, H. & Klingebiel, A. (1997), Sylviculture du Pin maritime et ressources en eau, in ARBORA, ed., 'De la gestion au développement durable', pp. 11.
- [10] De Wit, R., F. Vernier, et al. (2005). "Relationship between land-use in the agro-forestry system of les Landes, nitrogen loading to and risk of macro-algal blooming in the Bassin d'Arcachon coastal lagoon (SW France)." Estuarine, Coastal and Shelf Science 62(3) : 453-465.
- [11] Conseils, S. T. I. (2003), Etude pour la maîtrise de l'eau en Médoc : état prospectif, analyse des risques et orientations, Technical report, Syndicat Mixte du Pays Médoc.
- [12] J.B. Etudes (1997), Etude du bassin versant du Canteloup, Rapport technique, Union Landaise de DFCl.

- [13] GERE (1990), Impact du défrichement sur l'environnement dans le massif forestier des Landes de Gascogne, Technical report, Ministère de l'Agriculture et de la Forêt / Direction de l'Espace Rural et de la Forêt.
- [14] Inventaire Forestier National (2008), 'Cartographie des coupes rases des peuplements de pin maritime en Aquitaine par détection satellitaire'. 4 pages.
- [15] Landeau, S. & Maurice, D. (2006), 'Surveillance et évaluation des effets de la sécheresse et de la canicule sur le court, moyen et long terme : les outils disponibles', Rendez-Vous Techniques 11.
- [16] Landmann, G. & Landeau, S. (2006), 'Sécheresse et canicule : premier bilan des connaissances sur les conséquences de l'été 2003 pour les forêts françaises', Rendez-Vous Techniques 11.
- [17] Legay, M.; Ginisty, C. & Bréda, N. (2006), 'Que peut faire le gestionnaire forestier face au risque de sécheresse?', Rendez-Vous Techniques 11.
- [18] Lesgourgues, Y. & Champagne, P. (1992), La pratique de l'assainissement forestier dans le massif des Landes de Gascogne, in Parc Naturel Régional des Landes de Gascogne & Institut de Géologie du Bassin d'Aquitaine, ed., 'La Leyre et son bassin versant', pp. 12.
- [19] Loustau, D. (1992), 'Le cycle de l'eau en forêt de pin maritime : l'évapotranspiration', Bulletin de l'Institut Géologique Bassin d'Aquitaine 51-52.
- [20] Loustau, D.; Bert, D. & Trichet, P. (1999), 'Fonctionnement primaire et productivité de la forêt landaise : implications pour une gestion durable', Revue Forestière Française 5, 20.
- [21] Loustau, D.; Porté, A.; Bosc, A.; Sinoquet, H. & Kruijt, B. (1999), 'transpiration et photosynthèse du pin maritime : approches de modélisation du niveau de l'aiguille à l'échelle du couvert', Revue Forestière Française 2.
- [22] Loustau, D.; Trichet, P.; Loustau, M.-L. D. & Lung, B. (1999), 'Gestion durable de l'écosystème forestier landais'.
- [23] Gelpe J. (1994), 'L'air, l'eau et la Terre'. In Montané Jean (dir.) (1994), 'La forêt landaise, une aventure de l'Homme et de son milieu', Editions Privat
- [24] Neary, D. G., G. G. Ice, et al. (2009). "Linkages between forest soils and water quality and quantity." Forest Ecology and Management 258(10) : 2269-2281.
- [25] Piou, D.; Nageleisen, L.-M.; Desprez-Loustau, M.-L. & Candau, J.-N. (2006), 'Les risques sanitaires consécutifs à la canicule de 2003 à la lumière de la littérature', Rendez-Vous Techniques 11.
- [26] Pointud, A.; Aigrot, M. & Belorgey, M. (1963), 'Aménagements sur le réseau hydrographique des Landes de Gascogne : Barrages-seuils', "Terres et Eaux" XX(53).
- [27] Rebetez, M.; Mayer, H.; Schindler, D.; Dupont, O.; Gartner, K.; Kropp, J. & Menzel, A. (2006), 'Caractéristiques climatiques de l'été 2003', Rendez-Vous Techniques 11.
- [28] Sun, G., A. Noormets, et al. (2010). "Energy and water balance of two contrasting loblolly pine plantations on the lower coastal plain of North Carolina, USA." Forest Ecology and Management,

- [29] Vernier F., Beuffe H. et al. (1999). Occupation du sol, activités humaines et qualité de l'eau : cas de l'écosystème sableux landais, CNRS editions.
- [30] Vernier, F.; Beuffe, H. & Chossat, J.-C. (2003), 'Forêt et ressource en eau : étude de deux bassins versants en sol sableux (Landes de Gascogne)', *Revue Forestière Française* 6, 523-542.
- [31] P. N. R. des Landes de Gascogne (1992), 'La Leyre et son bassin versant', *Bulletin de Géologie du Bassin d'Aquitaine*, I., Vol. 51-52.
- [32] Carbonnière T., Castro A. (2005), 'Eau et hydraulique en forêt landaise', document de tournée, G.P.F. des Petites Landes