

## EAU ET FORÊT

### DEUXIÈME PARTIE :

### L'INFLUENCE DES ARBRES SUR LA QUALITÉ DES EAUX\*

AURÉLIEN BANSEPT

Après un rappel de l'influence qualitative des forêts sur la ressource en eau forestière, cet article passe en revue les principaux facteurs ayant une incidence sur la qualité de cette eau — pesticides, nitrates, phosphates, acidification, transports solides — et l'influence de la forêt sur ces facteurs.

#### L'EAU FORESTIÈRE EST-ELLE DE BONNE QUALITÉ ?

Il est reconnu que l'eau forestière — indistinctement de surface et souterraine — est généralement de bonne qualité. Cette situation tient à trois raisons principales :

- la forêt restitue de l'eau peu chargée en substances polluantes (Charnet, 2010) ;
- les houppiers des arbres ont un rôle filtrant (Jenni, 2008) ;
- l'activité biologique du sol dégrade les polluants, au moins en partie (Deck, 2008).

Toutefois, la localisation de la forêt fait varier sa capacité à purifier les eaux. À l'évidence, une forêt située sur un plateau n'aura aucune incidence bénéfique sur les eaux issues de cultures implantées en contrebas. En revanche, des cordons boisés positionnés en bas ou en milieu de versant assureront une interception plus efficace des eaux, aussi bien en surface que dans la nappe (Mérot *et al.*, 2004).

Le rôle des ripisylves, des forêts alluviales et parfois des haies est particulièrement important en raison de leur positionnement entre les eaux souterraines et les eaux de surface (Dufour et Piégay, 2006). Ce rôle reconnu depuis les années 1980 est aujourd'hui très étudié (Fustec *et al.*, 1996 ; Décamps *et al.*, 2002 ; Piégay *et al.*, 2003 ; *in* Pereira et Ferry, 2008). Un cordon boisé a un impact positif significatif sur la qualité des eaux jusqu'à 12 mètres de son emplacement grâce à son système racinaire (Charnet, 2010). Lors des crues, les milieux arborés peuvent retenir une partie des substances mises en suspension (atrazine, linuron ou encore métalochlore), dont la concentration va jusqu'à dépasser plus de 500 fois le seuil de potabilité. À l'échelle d'une année, environ 90 % du volume de contaminants seraient transportés pendant les épisodes de crue (Laperche, 2012).

En l'état actuel des connaissances, on considère que la forêt stocke vraisemblablement plus qu'elle ne transforme les substances polluantes qui y transitent. Ainsi, il est davantage question

\* La première partie de cet article : « L'influence des arbres sur la quantité des eaux » est parue dans la *Revue forestière française*, n° 2, 2013, pp. 145-162.

de phytostabilisation (stockage dans les plantes) que de phytoextraction (transformation des molécules).

Une étude de Gobat et Scherrer (2012) non encore validée, réalisée dans le cadre du programme Interreg Alpeau, semble montrer que la capacité des sols forestiers à épurer les eaux proviendrait de la fonctionnalité des premiers horizons du sol. Les horizons O et A au sens pédologique forment l'épisolum humifère (humus et première « couche de sol »), dont la bonne fonctionnalité assurerait une meilleure épuration de l'eau.

Malgré l'impact globalement positif des forêts, leur présence n'est pas toujours suffisante pour empêcher la pollution des eaux à l'échelle du bassin versant où elles sont implantées. À titre d'exemple, les auteurs citent le cas de la nappe d'eau située sous la forêt d'Orléans. Cette ressource est de bonne qualité, alors que la même nappe située sous milieu agricole (en Eure-et-Loire) présentait en 2005 des taux de nitrates et de pesticides supérieurs au seuil de potabilité dans 50 à 60 % des captages du département (Candrin, 2012). Ce constat confirme la qualité « aléatoire » des eaux sous occupation agricole et corrobore le fait que plus des deux tiers des pollutions des eaux de captages sont d'origine agricole (Van Kote, 2012), le tiers restant n'étant pas forcément d'origine forestière. Pourtant en plaine, la simple présence d'une forêt ne suffit pas à garantir une eau de qualité. Les essais de forage réalisés en forêt de Rambouillet ont révélé une qualité de l'eau insatisfaisante pour la consommation (communication personnelle Sironneau, 2012).

De façon indirecte, les milieux arborés ont également une influence sur l'évolution thermique des eaux de surface. Leur présence à proximité des milieux aquatiques réduit l'ensoleillement et diminue par conséquent la température de l'eau (jusqu'à 4 °C, CSPNB, 2008), ce qui permet de lutter contre l'eutrophisation et de garantir une meilleure qualité des eaux de surface (Piégay et Pinay, 2004).

## **DES CARACTÉRISTIQUES FORESTIÈRES AU SERVICE DE LA QUALITÉ DES EAUX**

### **Des substances polluantes très peu utilisées en forêt**

- *Des forêts sans pesticides*

L'eau forestière est peu polluée par les pesticides car ils sont rarement utilisés en forêt. Le risque de pollution existe néanmoins.

La France est, en 2005, le 3<sup>e</sup> pays utilisateur de matières actives au monde. Toutefois, 90 % des pesticides utilisés le sont à des fins agricoles (Bohan, 2005) et ces substances sont peu nombreuses et peu utilisées en forêt. Les phytocides sont essentiellement appliqués aux jeunes stades (plantation et régénération). La surface annuellement traitée était estimée entre 0,3 et 1 % de la surface forestière totale dans les années 2000 (Roman-Amat, 2002 ; Cemagref, 2001, *in* Fiquepron, 2009). L'utilisation est ainsi 450 fois moins importante en forêt que dans les domaines agricoles de grandes cultures (Fiquepron et Picard, 2010).

Les micropolluants sont peu nombreux en forêt mais ils sont persistants, en particulier dans les eaux stagnantes (CIPEL, 2007, *in* Jenni, 2008). Cette rémanence constitue une difficulté dans la mesure où l'on ne connaît pas le devenir exact de ces résidus (Jenni, 2008). On sait qu'une partie de ces substances est stockée par les arbres. Cette capacité de stockage semble varier en fonction de la composition des sols. Une étude montre que des peupliers ont la capacité de stocker dans les feuilles l'atrazine (herbicide) sous une forme non phytotoxique, à hauteur

de 90 % de la quantité présente dans un sol sableux contre seulement 11 % sur un sol limoneux (Nair *et al.*, 1993, *in* Arsaban, 2006).

L'application de fongicides et de pesticides en forêt est rare et le principal insecticide qui est utilisé (le Bt, protéine tirée du *Bacillus thuringensis*) est d'origine biologique. De manière générale, on considère que le risque de contamination des eaux forestières est très limité (Roman-Amat *et al.*, 2002).

Le tableau I (ci-dessous) illustre la faible contamination des eaux forestières par les pesticides dans les régions Midi-Pyrénées et Poitou-Charentes.

TABLEAU I Comparaison de la teneur en pesticide de différents milieux

Forêt	Hors forêt	Boisements linéaires	Précisions	Source
7 %	22 %		Proportion de captages ayant un taux de pesticide mesuré compris entre 0 et 0,5 µg/l en région Midi-Pyrénées	Marty <i>et al.</i> , 2011
1 %	5 %		Proportion de captages ayant un taux de pesticide mesuré supérieur à 0,5 µg/l en région Midi-Pyrénées	
92 %	73 %		Proportion de captages ayant un taux de pesticides mesuré nul	
		21 %	Proportion estimée d'atrazine interceptée	Formery <i>et al.</i> , 2010
		95 %	Proportion estimée d'un micropolluant intercepté (D.E.A.)	Formery <i>et al.</i> , 2010

• *D'infimes teneurs en phosphates*

À l'échelle nationale, la fertilisation phosphatée ne constitue pas une menace.

Il est vrai que la fertilisation phosphatée est très peu pratiquée, la surface forestière française annuellement traitée était de 0,2 à 0,3 % au début des années 2000 (Roman-Amat *et al.*, 2002). Cette fertilisation est généralement accompagnée d'un apport de carbonate de calcium.

Toutefois, elle est généralisée dans le massif landais. Les reboisements sur landes humides à mésophiles sont quasi systématiquement fertilisés (Trichet *et al.*, 2000), alors que les terres sont sensibles aux pollutions diffuses (Vernier *et al.*, 2003). Les phosphates étant cependant peu mobiles dans le sol, les risques de pollution des eaux sont limités (Lavabre et Andréassian, 2000).

Les recherches bibliographiques n'ont pas permis de comparer des données chiffrées exprimant la teneur en phosphates des eaux forestières et hors forêt. Sur les deux études disponibles, la première citée dans Simon (2011) indique qu'une ripisylve, d'une largeur de 30 mètres, va potentiellement retenir jusqu'à 70 % des phosphates migrants. La seconde (Vernier *et al.*, 2003) signale que, dans le massif landais, la teneur en phosphates lors des crues est 3 à 4 fois plus importante dans les bassins versants forestiers que dans les bassins versants agricoles.

L'enjeu de la qualité de l'eau et les risques induits par les pratiques sylvicoles sont certainement sous-estimés pour le massif des Landes.

- *Des teneurs en nitrates le plus souvent atténuées*

La présence des milieux arborés amoindrit les pollutions liées aux nitrates.

La teneur en nitrates des eaux forestières est généralement très faible voire insignifiante comparativement aux autres milieux. Cependant, à l'inverse des phosphates, les nitrates sont difficilement fixés dans le complexe du sol et migrent en profondeur (Charnet, 2010). L'eau forestière présente une teneur en nitrates qui, dans des conditions normales, ne dépasse pas quelques milligrammes par litre.

Les tableaux II (p. 211) et III (pp. 212-213) et les figures 1 (ci-dessous) et 2 (p. 211) confirment ce constat. Les eaux forestières peuvent être en moyenne de 3 fois (bocage), 4 fois (prairie) à 20 fois (cultures) moins chargées en nitrates que les autres milieux.

Les minima et maxima indiqués sur la figure 3 (p. 214) permettent d'appréhender l'importance de la fluctuation de la teneur en nitrates en fonction des saisons. Ces travaux, menés dans la plaine d'Alsace entre 1983 et 1987, soulignent le rôle positif des milieux forestiers et l'efficacité des prairies permanentes dans la régulation des flux de nitrates migrant dans le sol par rapport à des prairies temporaires (retournées l'année précédant l'expérience) (Schenck *in* Fustec *et al.*, 1991). On peut souligner les faibles teneurs en nitrates des cultures qui sont vraisemblablement dues à une fertilisation limitée au moment des mesures.

FIGURE 1

### TENEUR EN NITRATES EN FONCTION DE L'OCCUPATION DU BASSIN D'ALIMENTATION DES SOURCES

(D'après OFEV WSL, 2005, *in* Maître et Jenni, 2007)

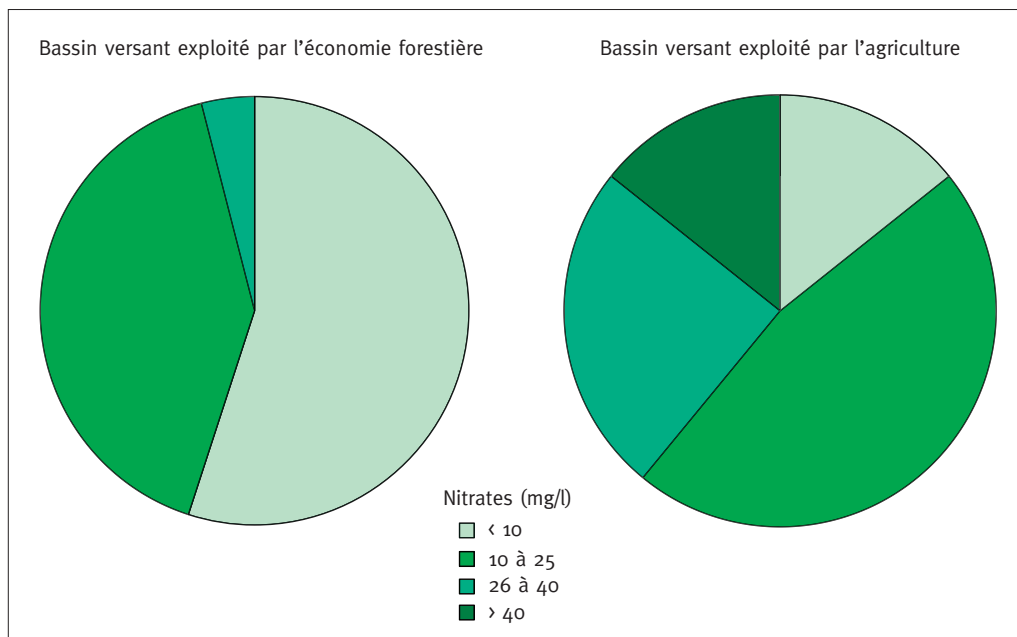


FIGURE 2

**TENEUR MOYENNE DE L'EAU EN NITRATES  
DANS DIFFÉRENTS MILIEUX**  
(D'après Fustec *et al.*, 1991)

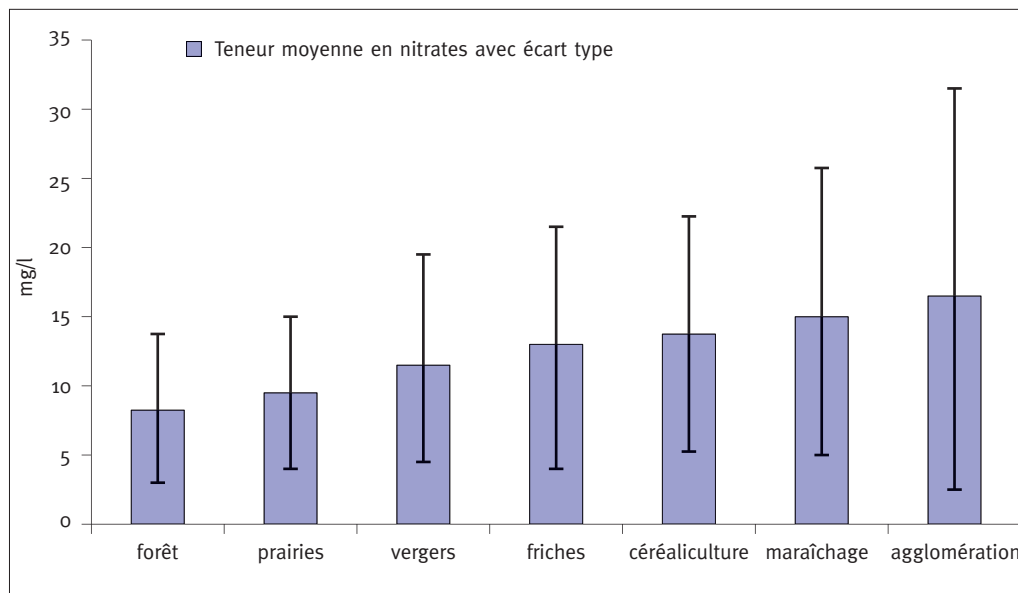


TABLEAU II

**Comparaison de la teneur en nitrates  
pour différents modes d'occupation des sols**  
(D'après Benoît *et al.*, 1995, in ONF, 1999)

Type d'occupation du sol	Teneur moyenne en nitrates (mg/l)
Forêts . . . . .	2
Prairie de fauche . . . . .	19
Luzerne. . . . .	23
Prairie temporaire . . . . .	28
Pâturage. . . . .	31
Céréales de printemps . . . . .	32
Blé d'hiver . . . . .	46
Orge d'hiver . . . . .	62
Colza . . . . .	120
Mais fourrager. . . . .	126

TABLEAU III Comparaison de la teneur en nitrates observée et de la capacité de stockage pour différents milieux

Forêts	Coupe rase, perturbation	Hors forêt	Ripisylve	Haies	Prairies	Cultures	Précisions	Source
<b>Teneur en nitrates observée pour différentes situations et études</b>								
5 à 10 mg/l		= ou >					Estimation de la teneur moyenne pour les eaux issues de sols forestiers	Jenni, 2008
4,2 mg/l							Teneur moyenne des eaux forestières lorraines, d'après une étude historique	Benoît, 2002, in Jenni, 2008
≈ 5 mg/l						+ de 60 mg/l	Teneur moyenne pour les eaux souterraines suisses en fonction de l'occupation des sols	Maître et Jenni, 2007
+ 0 mg/l	+ 6 à 10 mg/l						Augmentation temporaire de la concentration après coupe rase	Marty <i>et al.</i> , 2011; Fiquepron et Benoît, 2010
+ 0 mg/l	+ 150 à 200 mg/l (*)						(*) Augmentation de la concentration pour un bassin versant forestier dont 80% du peuplement (épicéas) est mort par attaque de scolytes	Attenberger <i>et al.</i> , 2001, in Fiquepron et Benoît, 2010
3,9 mg/l	6,7 mg/l						Teneur mesurée pour un bassin versant de plaine en Lorraine	Marty et Bertrand, 2011
+ 0 mg/l	≈ + 20 mg/l(*)						(*) Augmentation observée de la teneur pour des captages forestiers dans le massif vosgien touchés par la tempête Lothar du 26 décembre 1999	Goetghebeur, comm. pers., 2012
0,40 %		3,70 %					Proportion de captages présentant des mesures excédant la limite de qualité en région Midi-Pyrénées	Marty et Bertrand, 2011
≥ 80 %		≤ 70 %					Proportion de captages ayant en Midi-Pyrénées une concentration inférieure à 10 mg/l	Marty et Bertrand, 2011
0,4 à 0,9 x		x					Teneur estimée des eaux du bassin versant de Vittel (Vosges)	Detourbe <i>et al.</i> , 2004
						+ 100 mg/l	Augmentation de la teneur dans les eaux d'infiltration sous maïsiculture	Lavabre et Andréassian, 2000
1 mg/l (1) et de 3 à 13 mg/l (2)					20 à 30 mg/l	20 à 60 mg/l (3) voir + de 100 mg/l (4)	Teneur moyenne mesurée dans l'eau d'infiltration à la base des racines pour (1) une forêt en bonne santé (2) un peuplement dépeissant (3) une culture pluriannuelle et (4) des (maïs, colza) en Lorraine	Marty et Bertrand, 2011

TABLEAU III Comparaison de la teneur en nitrates observée et de la capacité de stockage pour différents milieux (suite et fin)

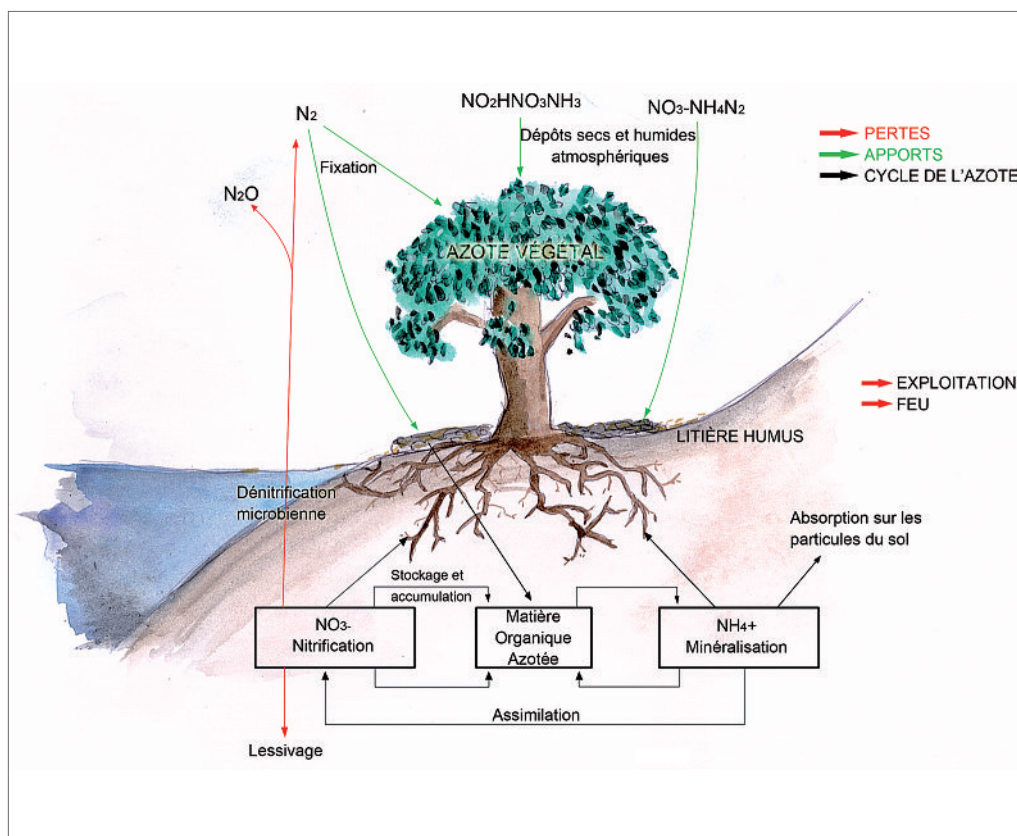
Forêts	Coupe rase, perturbation	Hors forêt	Ripisylve	Haies	Prairies	Cultures	Précisions	Source
<b>Capacité de stockage pour différents milieux</b>								
			70 à 80 %				Capacité d'absorption d'une ripisylve de 30 m de large	Simon, 2011
			68 à 100 %				Réduction de la charge en nitrates dans la nappe superficielle	Balent <i>et al.</i> , 1994, <i>in</i> Arsaban, 2006
			78 à 98 %				Réduction de la charge en nitrates dans les eaux de ruissellement	Balent <i>et al.</i> , 1994, <i>in</i> Arsaban, 2006
			≥ 80 %				Capacité d'épuration des nitrates pour une ripisylve de 20 m de large	CSPNB, 2008
			99 %				Capacité d'épuration des nitrates pour une forêt alluviale (Garonne) de 30 m de large	CSPNB, 2008
				85 %			Capacité maximale d'absorption pour une haie	Pointereaux et Meiffren, 2000
			50 kg/ha/an	20 kg/ha/an			Capacité de stockage par immobilisation lors d'un reboisement de terre agricole	Charnet, 2010
			60 à 95 %				Proportion estimée interceptée de matières azotées associées aux matières en suspension avec quelques mètres (de large) de boisement linéaires	Formery <i>et al.</i> , 2010
			50 à 95 %				Proportion estimée interceptée avec quelques mètres (de large) de boisement linéaires	Detourbe <i>et al.</i> , 2004
			5 à 30 %				Diminution des entrées potentielles par mètre de ripisylve parcouru	Dufour et Piégay, 2006
1,65 x		x					Capacité d'interception de l'azote atmosphérique	Combe, 2006
<b>Proposition d'estimation par comparaison du rapport entre différents milieux d'après les données disponibles</b>								
≈ 5 mg/l	≈ 15 à 20 mg/l (exceptionnel)	-	-	-	20 à 30 mg/l	20 à plus de 100 mg/l	Teneur moyenne en nitrates	
-	-	-	70 à 80 %	60 à 95 %	-	-	Capacité moyenne d'interception des nitrates	

### Des fortes capacités de piégeage des polluants : exemple des nitrates

Il est possible d'identifier six facteurs principaux expliquant la capacité des espaces arborés à limiter la teneur en nitrates des eaux. Il s'agit de :

- la superficie et le positionnement des boisements qui, situés en quantité suffisante sur le cheminement des flux d'eau, peuvent permettre d'obtenir une eau dont la concentration en nitrates est inférieure au seuil de potabilité de 50 mg/l. L'étude qui a permis de tirer cette conclusion s'intéressait à un boisement qui occupait 30 % de la surface du bassin versant (Benoît, 2002 *in* Jenni, 2008). Ces résultats ne sont pas généralisables, en particulier pour ce qui concerne le seuil minimal de surface boisée à l'échelle d'un bassin versant ;
- la densité des milieux arborés qui, en augmentant, permet une meilleure filtration et réduit d'autant plus la lixiviation (Jenni, 2008) ;
- les cycles biogéochimiques concordant avec les fluctuations des flux d'azote. La forêt stocke l'azote, essentiellement dans les feuilles depuis lesquelles les molécules migrent vers les branches avant la défeuillaison en automne ou tombent au sol. Au printemps, les stocks présents dans les arbres sont mobilisés pour la croissance des nouvelles pousses, tout comme l'azote du sol (voir la figure 3, ci-dessous) ;

**FIGURE 3** **LE CYCLE DE L'AZOTE EN FORÊT**  
Illustration de Jean Hiss, 2012,  
avec son aimable autorisation de reproduction





— l'implantation du système racinaire des arbres dans la nappe. Ce comportement limite efficacement les pollutions de proximité. Il est particulièrement important pour les forêts alluviales et les ripisylves (Charnet, 2010). La largeur optimale d'une ripisylve « efficace » pour épurer les eaux des nitrates varie en fonction des études : elle est comprise entre 10 et 30 mètres (Arsaban, 2006). Les systèmes agroforestiers évitent le lessivage avec les racines des arbres implantées profondément. Celles-ci retiennent les nitrates migrant en provenance de cultures herbacées (Dupraz, 2011) ;

— la diversité des peuplements. Une diversité élevée en composition et en structure, ainsi que des strates nombreuses, assurent un meilleur fonctionnement des milieux arborés et donc de leur capacité d'épuration des nitrates (Carbiener, 1995 *in* PNR de Millevaches en Limousin, 2007) ;

— l'essence. Les peuplements résineux favorisent, de par leur fort développement aérien, le dépôt d'azote atmosphérique. Avec l'âge, l'écart d'enrichissement en azote tend à augmenter chez les résineux par rapport aux feuillus dont les pertes restent stables (Roth et Mellert, 2004, *in* Fiquepron, 2009). Cette teneur en nitrates est plus marquée pour les plantations de résineux de première génération (13 à 32 mg/l) et les peuplements dépérissants (3 à 13 mg/l) en raison de leur absorption diminuée combinée à des houppiers volumineux captant toujours l'azote atmosphérique (Marty *et al.*, 2011). À l'inverse, des forêts anciennes en bonne santé (Lavabre et Andréassian, 2000) ont un effet bénéfique sur la teneur en nitrates (1 à 3 mg/l) en la régulant. Cette capacité à atténuer d'éventuelles élévations accidentelles de la concentration en nitrates liée à « l'ancienneté » des forêts montre l'importance de la stabilité et de la résilience des peuplements forestiers.

Pour illustrer la forte capacité des milieux arborés à piéger les polluants, le cas des nitrates a été utilisé car de nombreuses données sont disponibles à ce sujet. Il n'en demeure pas moins que les critères avancés peuvent en tout ou partie être transposables à d'autres substances polluantes.

### **Des effets bénéfiques diminués par la mise à nu brutale des sols**

Les effets bénéfiques des milieux arborés diminuent en cas de mise à nu brutale des sols.

La mise à nu des sols entraîne une minéralisation rapide de la matière organique qui, n'étant plus assimilée par la végétation détruite, migre en profondeur. Ce phénomène pourrait être particulièrement marqué sous des peuplements feuillus riches (Fiquepron, 2009).

Des coupes rases temporaires peuvent conduire à une augmentation de la teneur en nitrates des eaux, qui reste cependant insignifiante : une synthèse de 30 études menées aux États-Unis d'Amérique et au Canada montre que, dans 70 % des cas, ces augmentations ne dépassent pas 2,2 mg/l (Brown et Binkley, 1994).

Toutefois et exceptionnellement, des coupes rases pratiquées sur de vastes surfaces, comme celles menées sur le mont Lozère à la fin des années 1980, conduisent à de fortes augmentations temporaires de la concentration en nitrates à l'exutoire : + 24 mg/l (Didon-Lescot *et al.*, 1998, *in* Fiquepron, 2009).

De même, des perturbations importantes du contexte forestier (tempêtes, incendies, dépérissements massifs) peuvent avoir des conséquences similaires (Fiquepron, 2009). Cette mobilisation des éléments se fait essentiellement par minéralisation et le phénomène se résorbe naturellement en 3 à 10 ans maximum (Jenni, 2008). L'intensité de ces phénomènes dépend des conditions stationnelles (capacité de développement de la végétation, sensibilité et pouvoir tampon du sol). L'étude menée par Attenberger *et al.*, 2001, *in* Fiquepron, 2009, montre que sur un

bassin versant forestier de 100 ha d'épicéas, dont 80 % du peuplement est mort suite à une attaque de scolytes, l'augmentation de la teneur en nitrates de l'eau d'infiltration était de 150 à 200 mg/l, alors qu'à l'exutoire du bassin versant, cette augmentation ne s'est fait ressentir qu'à hauteur de 15 mg/l.

Il convient de rappeler que la fertilisation azotée est peu pratiquée en forêt et que les effets sont difficilement perceptibles (Charnet, 2010). Il arrive souvent que la fertilisation soit subie du fait des apports atmosphériques en azote qui ont augmenté de 250 % depuis le début de l'ère industrielle (Bligny *et al.*, 2012) et semblent être en phase de stabilisation.

### L'acidification des eaux forestières : une réalité

En situation de déséquilibre, la forêt constitue un terrain favorable à l'acidification des eaux accentué par des pratiques sylvicoles non adaptées.

L'acidification de l'eau révèle un dysfonctionnement. Elle est généralement imputée à la conduite sylvicole de peuplements résineux (épicéas) sur des sols pauvres. Il est vrai que les résineux génèrent une litière à tendance acidifiante (Kristensen *et al.*, 2004 in Fiquepron, 2009), mais ces peuplements sont souvent d'origine naturelle (peuplements climaciques) (Charnet, 2010). L'acidité des eaux n'est donc pas liée uniquement au peuplement forestier. Elle résulte de la conjonction de trois facteurs « favorables » essentiels :

- la présence d'une roche mère siliceuse (pouvoir tampon faible) ;
- la présence de dépôts atmosphériques acides (soufre) et azotés ;
- la pratique d'une sylviculture résineuse.

La réunion de ces facteurs peut engendrer des modifications profondes de la biocénose (Roman-Amat *et al.*, 2002), preuve de la modification de la composition chimique des eaux, qui met en danger les forêts et les cours d'eau ainsi que la faune et la flore autochtones sensibles. Dans le massif vosgien, le dépérissement massif de peuplements forestiers, la régression des populations de Truite fario et l'acidification des eaux observée depuis le début des années 1990 illustrent ce phénomène.

L'acidification des eaux conduit également à la solubilisation d'autres minéraux, non souhaités dans une eau consommée par la population, tels que le plomb et l'aluminium.

Le tableau IV (ci-dessous) illustre ces propos par l'étude de l'acidification des eaux de captage en région Midi-Pyrénées. Les eaux forestières sont plus acidifiées que les eaux captées hors forêt.

TABLEAU IV **Illustration de l'influence de l'acidité des sols forestiers sur l'acidité des eaux**

Forêt	Hors forêt	Précisions	Source
19%	15%	Proportion de captages ayant un pH inférieur à 6,5 en région Midi-Pyrénées	Marty et Bertrand, 2011
35%		Proportion des sols du massif vosgien passés du stade acide à très acide entre 1970 et 1990	Messant <i>et al.</i> , 2008

L'exploitation forestière est un quatrième facteur pouvant conduire à l'acidification des eaux en cas d'une exportation importante de matière et en particulier de menus bois pour produire de l'énergie.

Sur des sols pauvres, ce type d'action est potentiellement destructeur. Ainsi, la diminution des dépôts atmosphériques acides n'annonce pas la fin des difficultés face à l'acidification des sols et des eaux. Dans le massif vosgien, en 10 ans, 50 % des 16 cours d'eau suivis se sont déminéralisés (perte en calcium et en magnésium) (Legout *et al.*, 2012). La situation reste donc insatisfaisante (biodiversité appauvrie et résilience très faible des écosystèmes). Ce problème est soulevé pour d'autres forêts européennes comme en Suisse, où les peuplements forestiers sont pourtant souvent implantés sur des sols calcaires (OFEFP, 2005). L'acidification reste un problème dont les effets sont à limiter à défaut de pouvoir les résoudre.

La présence d'un peuplement forestier en bon état sanitaire et diversifié réduit le risque d'acidification. La plupart du temps, le peuplement forestier tamponne les eaux de pluie acides. Les feuillus, à l'exception du Hêtre, engendrent une meilleure activité biologique que les résineux dans la litière, l'humus et le sol, ce qui atténue le phénomène d'acidification. Mais des résineux sur sol riche n'auront potentiellement aucune incidence sur le pH des eaux (Jenni, 2008). Tout est question de proportion et de dosage.

## **LA RÉGULATION DU TRANSPORT SOLIDE POUR LES EAUX DE SURFACE**

La pérennité du couvert forestier limite la turbidité des eaux de surface.

Avec le transport solide, la turbidité est la principale conséquence de perturbation de la qualité des eaux de distribution. Qui dit turbidité dit particules en suspension vectrices de bactéries, perturbation des cycles de désinfection (diminution de l'efficacité du chlore et des rayons ultraviolets) (Marty et Bertrand, 2010), colmatage des matériaux (filtres, canalisations) (Marty et Bertrand, 2010) et colmatage des lits de cours d'eau (frayères).

Néanmoins, les forêts diminuent les contraintes érosives liées à l'eau par l'intermédiaire des mécanismes de filtration et de décantation, qui permettent de retenir la majorité des particules et de contenir le ruissellement. Le couvert forestier réduit la vitesse d'érosion des sols en diminuant l'écart thermique en faveur d'une alternance gel-dégel moins marquée (Rey *et al.*, 2006).

L'exploitation forestière peut devenir source de turbidité avec le débardage, les coupes à blanc, la création de pistes forestières (Charnet, 2010) et le franchissement de cours d'eau par les engins de débardage sans protection préalable.

C'est d'ailleurs lors des exploitations forestières que les principaux dommages sont causés et pour cette raison que les professionnels de la forêt prêtent une attention particulière aux pratiques se rapportant à l'exploitation.

On a pu constater par exemple, dans un massif forestier, un passage du taux d'érosion de 110 à 570 kg/ha/an après création de pistes. À noter que des pratiques, rares dans le Nord-Est du pays mais fréquentes dans le Sud-Ouest (dessouchage, scarification...), peuvent conduire à une érosion bien supérieure (11 400 kg/ha/an pour Stedwick *et al.*, 2000, *in* Deck, 2008).

Les cordons boisés ont également le pouvoir de réduire la turbidité de l'eau. À ce titre, une ripisylve de 5 mètres de large intercepte jusqu'à 90 % des sédiments migrants (Simon, 2011).

## EAU ET FORÊT, ASPECTS QUALITATIFS : CONCLUSION ET ÉLÉMENTS DE RÉFLEXION

On peut conclure à un impact positif important des espaces forestiers sur la qualité de l'eau. La forêt diminue la concentration des principaux composants qui polluent habituellement les eaux (pesticides, nitrates, phosphates) et les rendent impropres à la consommation (particules en suspension).

Ces mêmes forêts peuvent, dans des conditions spécifiques, entraîner de légers déséquilibres ponctuels (nitrates, acidité, turbidité).

Tout comme elles influencent la quantité de la ressource en eau, la sylviculture pratiquée et les modalités d'exploitation des peuplements ont des effets sur la qualité de l'eau.

Avec une eau forestière de qualité, qui plus est, disponible et abondante, le choix des méthodes sylvicoles à adopter constitue un enjeu important pour la préservation de cette ressource et doit être au cœur de la réflexion et des projets animant les acteurs de la forêt et de l'eau.

Aurélien BANSEPT

Chargé de développement - équipe Eau  
Forestiers privés de France - CNPF-IDF  
Maison de la Forêt  
11 rue de la Commanderie  
F-54000 NANCY  
(aurelien.bansept@laposte.net)

## BIBLIOGRAPHIE

- ARSABAN (M.). — Rôle de la forêt et des boisements sur la qualité et la quantité des eaux. — Centre régional de la propriété forestière Poitou-Charentes, 2006. — 56 p. (Mémoire de fin d'études master professionnel "Génie écologique").
- BANSEPT (A.). — Milieux arborés et eau. Bilan des connaissances et propositions pour orienter les politiques publiques incitant à une gestion favorable pour la ressource en eau. — Nancy : AgroParisTech-ENGREF, 2012. — 110 p. (Formation des ingénieurs forestiers, mémoire de fin d'études).
- BLIGNY (C.), CHOLIN (E.), FERRY (O.), GODI (F.), JENNI (R.), MABBOUX (J.-L.), MOSER (U.). — Protection des eaux souterraines en forêt. Guide Alpeau dans l'arc alpin et jurassien. — Projet Interreg France-Suisse, 2012. — 69 p.
- BOHAN (C. de). — Les forestiers, pourquoi pas des producteurs d'eau ? — *Forêts de France*, n° 484, juin 2005, pp. 14-15.
- BROWN (T.-C.), BINKLEY (D.). — Effect of management on water quality in North American forests. — General Technical Report RM-248. Fort Collins, CO : US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, 1994. — 27 p.
- CANDRIN (S.). — Dans la Beauce, cinquante ans de pollution agricole. — *Le Monde*, mardi 13 mars 2012, p. 10.
- CHARNET (F.). — Impacts des espaces boisés sur la qualité de l'eau. — *Forêt entreprise*, n° 193, juillet 2010, pp. 14-19.
- COMBE (J.). — Gestion des forêts à eau potable. — *Revue forestière française*, vol. LVIII, n° 1, 2006, pp. 369-376.
- CONSEIL SCIENTIFIQUE DU PATRIMOINE NATUREL ET DE LA BIODIVERSITÉ (CSPNB). — L'Arbre, la rivière et l'homme. — Paris : Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durable, 2008. — 63 p.

- DECK (C.). — Gestion forestière et eau potable : Analyse de cas et recommandations. — Nancy : AgroParis-Tech-ENGREF, 2008. — 74 p. (Formation des ingénieurs forestiers, mémoire de fin d'études).
- DETOURBE (J.), JABOT (F.), TOUSSAINT (A.). — Forêts et eaux. Thèmes porteurs et pistes de recherche. — Travail d'étudiants de l'École nationale du génie rural, des eaux et des forêts pour le groupement d'intérêt public ECOFOR, 2004. — 60 p.
- DUFOUR (S.), PIÉGAY (H.). — Forêts riveraines des cours d'eau et ripisylves : spécificités, fonctions et gestion. — *Revue forestière française*, vol. LVIII, n° 4, 2006, pp. 339-350.
- DUPRAZ (C.). — Rôle des haies sur les ressources en eau. — 2011. — Présentation power point, 15 diapositives.
- FIQUEPRON (J.). — Outil d'aide à la décision pour diversifier les revenus forestiers / forêt et eau. — Rapport lié à la Convention n° E 18 / 07. Action conjointe Institut national de la recherche agronomique & Institut pour le développement forestier : forêt et eau. — Centre national de la propriété forestière / Institut pour le développement forestier, Laboratoire d'économie forestière, Institut national de la recherche agronomique et AgroParisTech-ENGREF, 2009. — 78 p.
- FIQUEPRON (J.), BENOÎT (M.). — Gestion territoriale des bassins d'alimentation : retours d'expériences en situations forestières et mixtes. — Présentation power point Centre national de la propriété forestière / Institut national de la recherche agronomique. Journée de transfert Institut pour le développement forestier et colloque Sylvamed. — 2010. — 24 diapositives.
- FIQUEPRON (J.), PICARD (O.). — Des forêts pour l'eau potable, valoriser les services rendus. — Plaquette d'information Centre national de la propriété forestière / Institut pour le développement forestier, 2010. — 4 p.
- FORMERY (M.), PERSUY (A.). — Boiser les zones de captage d'eau potable : Un défi prometteur en Poitou-Charentes. — Présentation power point faite au colloque Sylvamed le 17.11.2010, Marseille. — 2010. — 26 diapositives.
- FUSTEC (E.), SCHENCK (C.), CLOOTS-HIRSCH (A.-R.), SOULIE (M.), BOUTON (D.). — Les nitrates dans les vallées fluviales. Fonctionnement des systèmes et activités humaines. — Centre national de la recherche scientifique, programme interdisciplinaire de recherche "Environnement" ; Ministère de l'environnement, 1991. — 51 p.
- GOBAT (J.-M.), SCHERRER (L.). — Le Rôle de filtre de l'écosystème forestier. — Présentation power point, faite lors du colloque final ALPEAU les 28 et 29 mars 2012, Évian. — 2012. — 23 diapositives.
- JENNI (R.). — Quel repeuplement pour quelle protection des eaux souterraines ? Entre idées reçues et faits démontrés. — *Rendez-vous techniques Office national des forêts*, n° 22, 2008, pp. 30-33.
- LAPERCHE (D.). — Crues : quelles contaminations des eaux de rivières en milieu agricole ? — Info Actu du 24 avril 2012. — Site internet : [www.actu-environnement.com](http://www.actu-environnement.com) (site consulté le 10 mai 2012).
- LAVABRE (J.), ANDRÉASSIAN (V.). — Eaux et Forêts. La forêt, un outil de gestion des eaux ? — Centre national du machinisme agricole, du génie rural, des eaux et des forêts Éditions, 2000. — 116 p.
- LEGOUT (A.), NICOLAS (M.), POLLIER (B.), GUEROLD (F.), WAGNER (P.), DAMBRINE (E.). — Quel avenir pour nos forêts ? — Présentation powerpoint faite dans le cadre de la zone atelier Moselle, journées du 10 et 12 mai 2012. — 2012. — 46 diapositives.
- MAÎTRE (V.), JENNI (R.). — Étude bibliographique sur la relation forêt – eau souterraine. — Projet-pilote en partenariat entre la sylviculture proche de la nature et les distributeurs d'eau potable. Forum broyard de la forêt et du bois – Commission forêt-eau. — 2007. — 16 p.
- MARTY (P.), BERTRAND (P.). — Gestion en forêt privée midi-pyrénéenne favorable à la ressource en eau captée. — Centre régional de la propriété forestière de Midi-Pyrénées, Projet GESTOFOR phase A, 2011. — 114 p.
- MARTY (P.), BERTRAND (P.), DANNEVILLE (L.), FIQUEPRON (J.), MOLARD (N.). — Recommandations forestières pour les captages d'eau potable. Région Midi-Pyrénées. — Centre régional de la propriété forestière de Midi-Pyrénées, 2011. — 87 p.
- MÉROT (P.), VIAUD (V.), GRIMALDI (C.). — Haie et qualité des eaux. — *Forêt entreprise*, n° 159, octobre 2004, pp. 30-33.
- MESSANT (D.), BOCK (J.), DAMBRINE (E.), NYS (C.), GUÉROLD (F.), BAUDOIN (J.-M.). — Restauration de deux bassins versants acidifiés des Vosges par amendement calco-magnésien. — *Rendez-vous techniques Office national des forêts*, n° 22, 2008, pp. 3-12.
- OFEFP. — Protection des eaux souterraines en forêt. — Office fédéral de l'Environnement suisse, 2005. — VU-7028-F. — 6 p.
- ONF. — L'Eau et la forêt. — *Bulletin technique de l'ONF*, n° 37 (numéro spécial), 1999, 235 p.
- PEIREIRA (V.), FERRY (O.). — Gestion de l'eau : quels enjeux pour la forêt et les forestiers ? — *Rendez-vous techniques Office national des forêts*, n° 22, 2008, pp. 22-24.

- PIÉGAY (H.), PINAY (G.). — Forêt riveraine et qualité de l'eau. — *Forêt entreprise*, n° 159, octobre 2004, pp. 34-37.
- PNR DE MILLEVACHES EN LIMOUSIN. — Recueil général de connaissances sur les interactions arbres / sylviculture et les ressources en eau. — Document de travail du Parc naturel régional de Millevaches en Limousin, 2007. — 75 p.
- POINTEREAU (P.), MEIFFREN (I.). — Arbres et eaux, rôle des arbres champêtres. — Solagro, 2000. — 30 p.
- REY (F.), CHENOST (C.), SIMON-TEISSIER (S.). — Forêts et érosion dans les bassins versants torrentiels. — *Revue forestière française*, vol. LVIII, n° 4, 2006, pp. 329-338.
- ROMAN-AMAT (B.). — Sylviculture et qualité des ressources en eau. — *La forêt privée*, n° 263, janvier-février 2002, pp. 73-79.
- ROMAN-AMAT (B.), LECLERC (D.), NORMAND (I.), CAUDWELL (R.). — Faut-il faire évoluer la gestion des forêts pour garantir les ressources d'eau potable ? — Journée thématique 2002 de l'Antenne romande du WSL. — 2002. — pp. 43-48.
- SIMON (E.). — La Forêt pour l'eau potable, un service de qualité. — *La Lettre eau* (France Nature Environnement), n° 54, 2011, pp. 6-9.
- TRICHET (P.), VAUCHEL (F.), BERT (D.), BONNEAU (M.). — Fertilisation initiale et réitérée du Pin maritime (*Pinus pinaster* Ait.) : principaux résultats de l'essai de Berganton. — *Revue forestière française*, vol. LV, n° 6, 2000, pp. 207-222.
- VAN KOTE (G.). — L'Agriculture à l'origine des deux tiers de la pollution de l'eau potable en France. — *Le Monde*, mercredi 21 mars 2012, p. 12.
- VERNIER (F.), BEUFFE (H.), CHOSSAT (J.-C.). — Forêt et ressource en eau : étude de deux bassins versants en sol sableux (landes de Gascogne). — *Revue forestière française*, vol. LII, n° 3, 2003, pp. 523-542.

---

#### **EAU ET FORÊT. DEUXIÈME PARTIE : L'INFLUENCE DES ARBRES SUR LA QUALITÉ DES EAUX (Résumé)**

Pesticides, nitrates, phosphates, acidification, transport solide... sont autant de causes potentielles de la dégradation générale de la qualité des eaux. Néanmoins, il est reconnu que l'eau forestière est généralement de bonne qualité. Cet avantage est induit d'une part, par des faibles apports en intrants — même si ceux-ci peuvent persister dans le sol — et d'autre part, par une forte capacité de stockage combinée à une transformation efficace par les arbres et les sols forestiers. Ces atouts tiennent à différents facteurs morphologiques et biologiques. Le positionnement et les caractéristiques des forêts — y compris des ripisylves, des haies et des forêts alluviales — induisent des variations dans leur capacité à assurer une bonne qualité des eaux. Les pratiques forestières, telles que les coupes, l'exploitation et la conduite des peuplements, influencent la qualité des eaux qui transitent par les forêts. Le rôle positif des milieux arborés pour la potabilité de la ressource en eau mérite d'être valorisé et viabilisé.

#### **WATER AND FORESTS. PART 2 - THE INFLUENCE OF TREES ON THE QUALITY OF WATER (Abstract)**

Pesticides, nitrates, phosphates, acidification, solid transport are all potential causes of water quality deterioration. However, it is recognised that forest water is generally of good quality. This advantage is brought about on the one hand by the fact that few inputs are used, although the latter may persist in the soil, and on the other the combination of a high storage capacity and efficient processing ability of trees and forest soil. These assets are connected with various morphological and biological factors. The location and features of forests — including riparian forests, hedges and floodplain forests — bring about variations in their capacity to ensure good water quality. Forest practices such as clearing, logging and stand management influence the quality of water that travels through forests. The positive role that forested environments play in respect of the resource's potability is worth capitalising on and promoting.