

IMPACT DES HAIES SUR LA RESSOURCE EN EAU ET EN SOL À PARTIR DE L'EXEMPLE DE LA BRETAGNE : RÉSULTATS RÉCENTS ET PERSPECTIVES

VALÉRIE VIAUD – CATHERINE GRIMALDI – PHILIPPE MEROT

Les objectifs de gestion et de conservation des eaux et des sols ont souvent été à la base de la création des paysages par l'homme. Le bocage des Alpes-de-Haute-Provence a ainsi été créé par des obligations réglementaires au XIX^e siècle pour lutter contre une érosion envahissante consécutive à un déboisement massif des montagnes, et il était associé à des travaux d'irrigation pour les parcelles de culture. Le bocage du Gers avec ses casiers d'étalement a été créé au XIX^e siècle également pour limiter les crues, avec des systèmes de clapets traversant les talus pour réguler les débits venant des Pyrénées. Inversement, en Bretagne, le remembrement a été accompagné de l'arasement des haies, complété par de nombreux travaux d'assainissement (création de fossés le long des chemins, de fossés de drainage...) pour évacuer de l'eau considérée comme excédentaire.

Le rôle du bocage sur les ressources en eau et en sol est un sujet de débat régulier dans le cadre de l'aménagement foncier. Rappelons tout d'abord que la végétation, donc la structure du paysage créée par cette végétation (la mosaïque des parcelles, les forêts, les bordures de champ...), joue de façon importante sur le cycle hydrologique. Elle influence en effet le partage entre l'infiltration et le ruissellement, ainsi que l'évapotranspiration. Il y a donc un lien étroit entre un paysage, ici bocager, et la ressource en eau. Des synthèses bibliographiques font état des travaux menés depuis de nombreuses années, tant spécifiquement sur le bocage que sur les systèmes agroforestiers, qui présentent des analogies en termes fonctionnels avec le bocage (De Jong et Kowalchuk, 1995 ; DRAF Bretagne et IDF, 1997 ; Merot, 1999 ; Baudry et Jouin, 2003 ; Viaud *et al.*, 2004 ; Merot et Bridet-Guillaume, 2006).

On attribue aujourd'hui au bocage de nouvelles fonctions biophysiques, qui correspondent à de nouveaux enjeux environnementaux, fonctions dont il nous faut assurer la pertinence, — voire la réalité —, et l'efficacité. Ceci est d'autant plus important que le paysage a profondément évolué depuis 50 ans : tous les éléments qui le composent — haies, zones humides, cultures et prairies, vergers (omniprésents dans le bocage autrefois) — ont été modifiés pour aboutir à une certaine simplification du paysage. À l'inverse, les politiques européennes ou régionales promeuvent parfois une nouvelle vision de l'aménagement rural où l'arbre — à travers les haies ou l'agroforesterie — retrouve une place importante.

L'objectif de cet article est de présenter les connaissances les plus récentes sur le fonctionnement et le rôle des haies dans les domaines suivants : impacts de la haie sur la distribution des sols et sur le stockage de carbone dans les sols, sur la ressource quantitative en eau et sur

le risque hydrologique, sur la ressource qualitative en eau ; quelques éléments de prospective seront évoqués. L'essentiel de ces travaux concerne l'Ouest de la France, dans des paysages développés sur massifs anciens, à réseau hydrographique dense et nappe superficielle émergeant au niveau des talwegs.

IMPACT DE LA HAIE SUR L'ORGANISATION DES SOLS ET SUR LEURS PROPRIÉTÉS

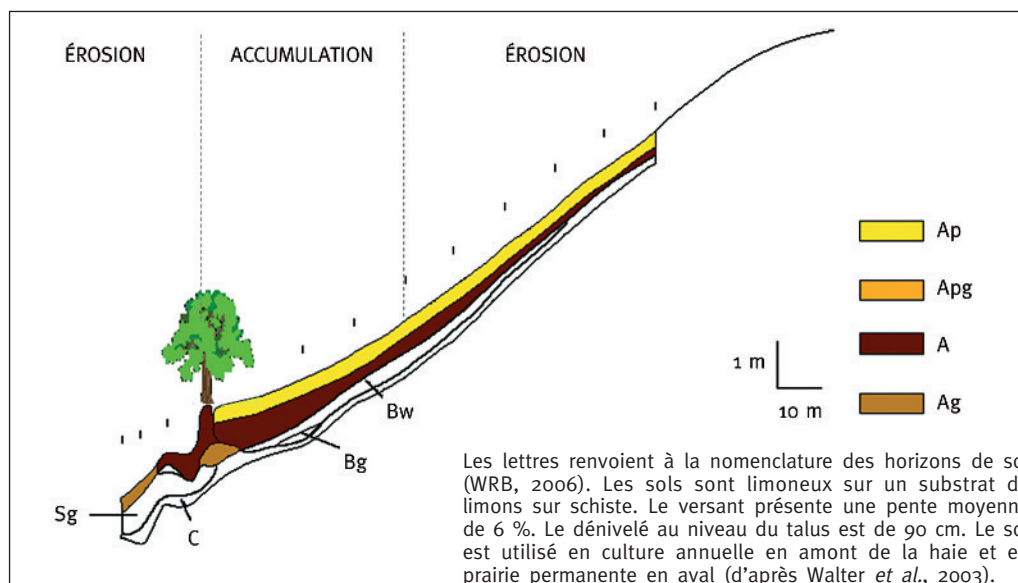
L'évolution de l'organisation des sols et de leurs propriétés est principalement contrôlée par les processus de redistribution des sols, liés à de l'érosion éolienne, hydrique ou aratoire. Les structures linéaires anthropiques telles que les haies (mais aussi les banquettes, fossés,...) ont un rôle bien connu, facilement observable, sur l'érosion des sols et constituent des barrières efficaces au transfert de particules érodées.

Les haies conduisent, sur des temps longs, à une redistribution des sols dans les versants, sous l'effet de processus d'érosion en aval des haies et d'accumulation en amont

Pour quantifier l'impact des haies sur les sols, des caractérisations pédologiques ont été réalisées au niveau de plusieurs versants bocagers situés dans le Massif armoricain, comparant l'organisation des sols et les propriétés associées de densité apparente et de teneur en carbone en amont de la haie, sous la haie et en aval (Walter *et al.*, 2003 ; Follain *et al.*, 2006). Ces sites présentent une diversité de situations topographiques et paysagères, même si les haies étudiées sont toutes parallèles aux courbes de niveau et implantées sur des levées de terre (talus).

Ces travaux ont mis en évidence une organisation des sols structurée en fonction de la localisation par rapport aux haies (figure 1, ci-dessous). Une accumulation de sol est observée en amont de la haie lorsque celle-ci est parallèle aux courbes de niveau. L'horizon organo-minéral

FIGURE 1 ORGANISATION DES HORIZONS DE SOL LE LONG D'UN VERSANT PRÉSENTANT UNE HAIE DANS LE MASSIF ARMORICAIN (1°56'22''O, 48°09'53''N)



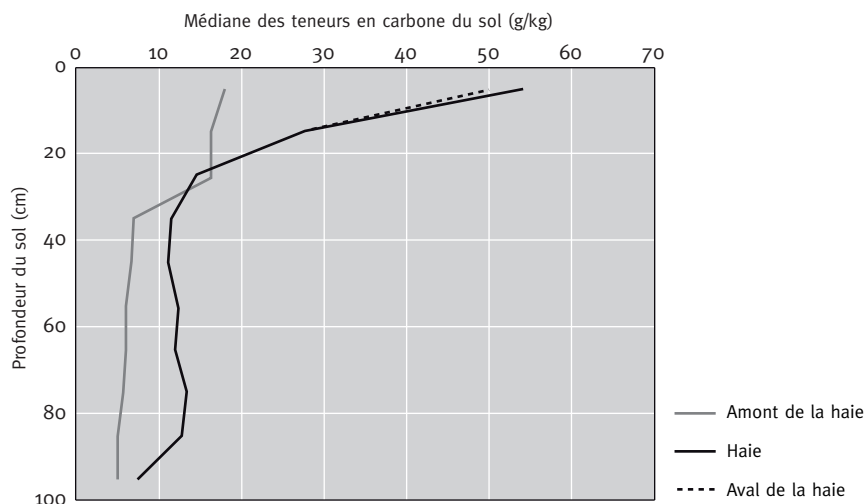
(horizon A), contenant de la matière organique, s'épaissit régulièrement depuis l'amont du versant jusqu'à la haie : de 30-60 cm, l'épaisseur de l'horizon A peut atteindre 1 m sous une haie. En aval, cette épaisseur diminue sensiblement du fait de l'érosion. Les versants plantés de haies présentent ainsi une érosion accrue immédiatement en aval des haies, en plus de l'érosion en haut de versant, qui conduit à l'affinement des sols dans ces zones. Mais ils présentent moins de perte absolue de matière vers les cours d'eau puisque les particules de sols sont en partie retenues avant d'atteindre le bas de versant.

Les haies favorisent le stockage de matière organique dans le sol

Les haies ont aussi des impacts directs et indirects sur la dynamique de la matière organique du sol (MOS). Les stocks totaux de MOS observés au voisinage d'une haie sont supérieurs à ceux observés dans des parcelles cultivées (Follain *et al.*, 2007), pour trois raisons (figure 2) :

- les apports de carbone par la végétation pérenne de la haie sont plus importants que pour les cultures annuelles, dont la biomasse est souvent en partie exportée ;
- les horizons de sols minéraux profonds sous la haie ont une teneur en MOS significative liée à l'activité biologique importante sur l'ensemble de la profondeur d'enracinement des arbres ;
- à travers leur impact sur l'érosion décrit ci-dessus, les haies modifient la distribution de la MOS et sa dynamique à l'échelle du versant.

FIGURE 2 PROFIL DE TENEURS EN CARBONE MÉDIANES DANS LE SOL EN FONCTION DE LA DISTANCE À LA HAIE, DANS UN VERSANT DU MASSIF ARMORICAIN PRÉSENTANT UNE HAIE EN BAS DE VERSANT (1°56'22"O, 48°09'53"N)
(d'après Walter *et al.*, 2003)



Des travaux complémentaires doivent permettre de mieux caractériser la dynamique d'évolution des sols sous l'effet de l'évolution des réseaux de haies et de replacer le rôle des haies sur les sols par rapport aux autres composantes du paysage

Les haies parallèles aux courbes de niveau ont un rôle important sur la conservation des sols et le stockage de MOS. La perspective est d'avoir une approche du rôle des haies sur les sols plus intégrée à l'échelle du paysage, prenant en compte la diversité des haies, mais aussi leur impact relatif en fonction des usages des sols dans leur voisinage.

Les sols évoluent sur des temps longs, de l'ordre d'une à quelques centaines d'années, et constituent une ressource non renouvelable à l'échelle d'une vie humaine. Actuellement, la conservation des sols devient un enjeu fort et des cadres réglementaires pour la protection des sols sont en discussion au niveau européen. Une meilleure compréhension des dynamiques d'évolution des sols est nécessaire pour raisonner des aménagements paysagers et anticiper leur impact à long terme. Des premiers travaux de modélisation ont été initiés dans ce sens (Follain *et al.*, 2006).

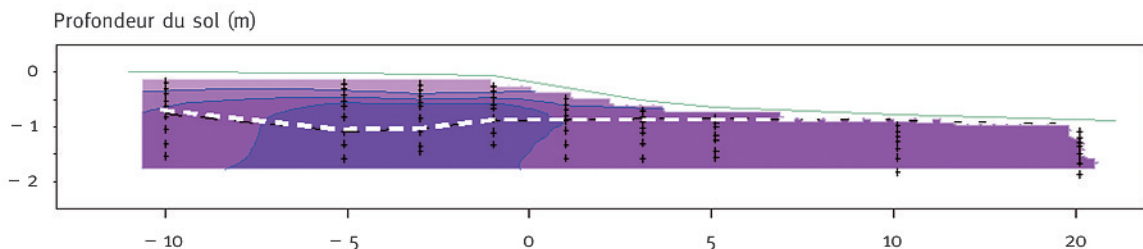
IMPACT DE LA HAIE SUR LE CYCLE DE L'EAU

Les travaux de ces dernières années ont essentiellement porté sur l'évapotranspiration due aux arbres de la haie et sur toutes les conséquences qui en découlent sur l'eau du sol et de la nappe, en termes quantitatifs et qualitatifs. Ils se sont basés sur des suivis à pas de temps court de l'état hydrique du sol et de la recharge de la nappe au voisinage de haies situées en bas de versant. Nous aborderons tout d'abord ce thème avant de développer quelques réflexions sur l'impact des haies sur les crues.

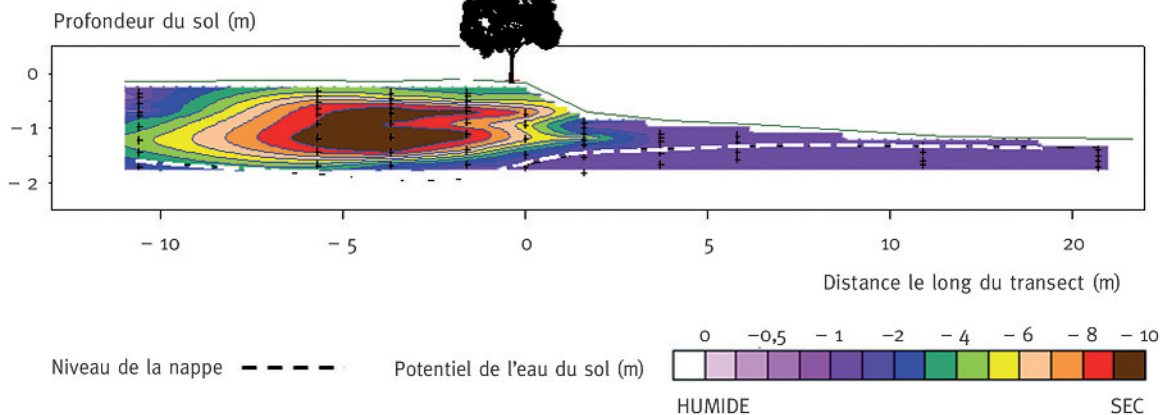
FIGURE 3 COMPARAISON EN FIN D'AUTOMNE DU POTENTIEL TOTAL DE L'EAU DU SOL DANS DEUX TRANSECTS VOISINS SITUÉS EN BAS DE VERSANT, EN LIMITE DE ZONE HUMIDE, L'UN AYANT UNE HAIE PARALLÈLE AUX COURBES DE NIVEAU, L'AUTRE NON

La position du noyau sec décalé en amont par rapport à la haie est liée d'une part au développement racinaire plus important à l'amont et d'autre part au renouvellement plus rapide de l'eau à l'aval de la haie par infiltration en provenance de la rivière (située à 15 m à l'aval) (d'après Caubel *et al.*, 2003).

a) Transect sans haie



b) Transect avec haie



Les haies, et en particulier les haies de bas de versant, sont un puissant système évapotranspirant du printemps à l'automne

Les mesures faites en continu dans la zone racinaire du sol, sous les haies et de part et d'autre, montrent le développement d'un "noyau sec" qui s'étend sur 6 à 10 m de chaque côté de la haie au cours de l'été, avec une dépression de la nappe sous la haie, consécutive à un fort prélèvement d'eau par les arbres de la haie (figure 3, ci-contre) (Caubel *et al.*, 2003). L'arbre isolé, ou l'arbre de la haie, est en effet un système qui évapore plus qu'un arbre sous forêt, pour les raisons suivantes : fort développement racinaire latéral car absence de compétition avec d'autres arbres ; pas de compétition au niveau racinaire pour les ressources en eau avec d'autres arbres ; pas de limitation du développement de son système aérien due à la proximité de la couronne de feuilles d'autres arbres ; turbulence aérienne et renouvellement de l'air au contact des feuilles plus importants qu'en forêt qui entretiennent la demande climatique ; enfin, bon état nutritionnel, puisque l'arbre de la haie bénéficie du trop plein d'azote des parcelles environnantes qui active le métabolisme de l'arbre.

Il y a donc globalement une évapotranspiration de la haie plus forte qu'en forêt, elle-même plus forte que pour des cultures, pour peu qu'il n'y ait pas de limitation de la ressource en eau du sol. Cet effet évaporatoire est donc important en bas de versant, où il y a proximité entre les racines des arbres et la nappe d'eau superficielle. Ceci aura des effets sur les mouvements de l'eau dans le sol et le sous-sol ainsi que sur la qualité des eaux souterraines (ces derniers effets seront abordés dans le paragraphe suivant). Ce noyau sec, qui crée un gradient de potentiel, attire l'eau des versants, mais aussi de la rivière à certains moments, et crée ainsi une sorte de barrière capillaire dans le sol. Celle-ci retarde la resaturation des sols et des bas de versant au moment de la reprise des écoulements d'automne (Ghazavi *et al.*, 2008 ; Thomas *et al.*, 2008).

Au niveau d'un bassin versant, ce rôle évaporatoire est d'autant plus important que le réseau bocager est dense. Il dépend aussi des précipitations : l'augmentation relative de la consommation en eau de la haie par rapport aux cultures environnantes est d'autant plus sensible que les années sont sèches, lorsqu'il y a limitation des ressources en eau (Thomas *et al.*, 2008). Cette importance de l'évapotranspiration a récemment été confirmée par la cartographie des teneurs en chlorure dans l'eau de la zone non saturée du sol et dans la nappe, le long de transects perpendiculaires à une haie en bas de versant. On constate à la fin de l'été des concentrations très fortes en chlorure, pouvant atteindre 1 à 2 g/l dans la rhizosphère des arbres de la haie (comparées à quelques dizaines de mg/l loin de la haie). Ces fortes concentrations sont le résultat d'une exclusion racinaire du chlorure qui est très peu absorbé lorsque l'eau du sol est consommée par les arbres (Caubel *et al.*, 2001 ; Grimaldi *et al.*, 2009).

Le questionnement actuel concernant le rôle du bocage sur les crues

Évoquer le rôle du bocage pour tamponner les crues est banal. Mais ce rôle est-il aussi important que cela ? Pour les crues de fréquence forte (donc les crues peu violentes), on montre des différences importantes en présence ou en absence du bocage. Les crues en zone bocagère sont moins intenses (pic de crue moins élevé et volume d'eau ruisselé moins important que pour un bassin sans haies). Elles ne dépendent que de la hauteur de pluie, et non pas de leur intensité. Au contraire, les crues en zone non bocagère sont influencées par l'intensité des pluies et également par l'état initial, au moment où démarre la pluie (sol sec ou plus ou moins saturé) (Merot, 1999 ; Merot *et al.*, 1999). Pour les crues de fréquence rare (donc les crues les plus importantes) l'effet du bocage est minime, voire négligeable, puisque l'effet quantitatif de la pluie devient alors complètement dominant : il y a saturation superficielle des sols et ruissellement généralisé.

Si l'on analyse le rôle des haies en termes de risque, les conclusions peuvent être cependant différentes : en Bretagne, les crues les plus menaçantes sont des crues hivernales, lentes, liées à l'engorgement des sols et à un refus à l'infiltration qui est consécutif à cet engorgement. Le risque est d'autant plus fort quand la période où les sols sont très humides, voire saturés, est longue et précoce (dès l'automne), car il n'y a pas en hiver de possibilité d'évapotranspiration pour assécher les sols. Et si, dans ces conditions, le bocage retardait le début de la période à risque pour les crues, et réduisait la durée de cette période, en retardant la réhumectation des sols à l'automne ? C'est en tout cas une question en débat, puisqu'on a vu que la présence du bocage retardait la réhumectation des sols et retardait donc le début de la période à risque pour les crues.

IMPACT DE LA HAIE SUR LES TRANSFERTS DE NITRATE

Les paysages bocagers véhiculent une image positive face aux enjeux de qualité des eaux, car ils sont souvent associés dans l'Ouest de la France à des systèmes agricoles herbagers et relativement respectueux de l'environnement. Des travaux récents ont cherché à analyser le rôle des haies vis-à-vis des excès de nitrate dans les eaux de surface. Ils ont été menés sur des haies de bas de versant, qui représentent une interface entre le versant cultivé et la zone humide riparienne. Des suivis des transferts du nitrate dans la zone non saturée et dans la nappe sous-jacente, le long de transects recoupant la haie, ont été réalisés en lien avec l'étude des transferts hydriques précédemment décrits.

La haie influence les transferts de nitrate directement par l'absorption racinaire et indirectement en modifiant les conditions hydriques favorables ou non aux processus de nitrification ou dénitrification. Ce rôle varie en fonction de la saison

Pendant les saisons de végétation (printemps, été, début d'automne), le nitrate est absorbé par les arbres, jusqu'à disparaître complètement dans la rhizosphère de la haie étudiée (figure 4, ci-contre). Le domaine prospecté par les racines s'étend latéralement de 6 à 10 m de part et d'autre de la haie, et sur une profondeur généralement plus importante que pour les cultures voisines. Le cours d'eau voisin est alors alimenté par la nappe bien plus profonde que la zone influencée par la haie, avec des concentrations en nitrate élevées, ici autour de 100 mg/l.

En hiver, la nitrification se développe dans toute la couche de sol non saturée, y compris là où le nitrate avait été entièrement consommé par les racines des arbres en été. Les pluies lessivent le nitrate ainsi produit et alimentent localement la nappe qui remonte aussi du fait de sa mise en charge générale dans le bassin versant. On observe alors une forte hétérogénéité verticale et latérale des teneurs en nitrate dans la nappe. En profondeur, les teneurs sont toujours élevées (autour de 100 mg/l). Dans la couche superficielle de la nappe, le nitrate est à nouveau présent à l'amont de la haie avec des concentrations de plusieurs dizaines de mg/l, alors qu'il est indétectable sous la haie et vers l'aval. L'absence de nitrate est alors vraisemblablement le fait d'une dénitrification car associée à des teneurs en carbone organique dissous plus élevées dans ce domaine (entre 10 et 50 mg/l contre 0 à 10 mg/l à l'amont de la haie). Le cours d'eau voisin est alors alimenté en partie par la couche superficielle de la nappe exempte de nitrate dès l'aval de la haie, et en partie par la nappe plus profonde riche en nitrate.

Le rôle de la haie pour tamponner les excès de nitrate de l'agriculture et son transfert au ruisseau semble ambigu et soulève d'autres questions de recherche

L'azote absorbé par les arbres en été est restitué au sol, transformé en nitrate puis lessivé vers la nappe en hiver. Le bilan n'est positif (absorption > restitution) que si une partie de l'azote est

stockée dans la biomasse ligneuse, c'est-à-dire lorsque la haie est en croissance ou entretenue par élagage et exportation du bois.

La haie influence en hiver les concentrations en nitrate de la couche superficielle de la nappe en favorisant la dénitrification dans la rhizosphère. L'effet de la zone humide à l'aval est donc amplifié par la présence de la haie puisque le domaine dénitrifié débute plus à l'amont et s'étend plus en profondeur. Cette observation confirme les conclusions de Caubel *et al.* (2001).

FIGURE 4a FIN DE L'ÉTÉ (octobre-novembre 2006), CONCENTRATIONS EN NITRATE DE LA SOLUTION EXTRAITE DU SOL

La taille des losanges est proportionnelle aux concentrations, exprimées en mg par litre de solution présente lors du prélèvement. Le toit de la nappe est représenté ainsi que les concentrations de la nappe correspondante (cercles grisés).

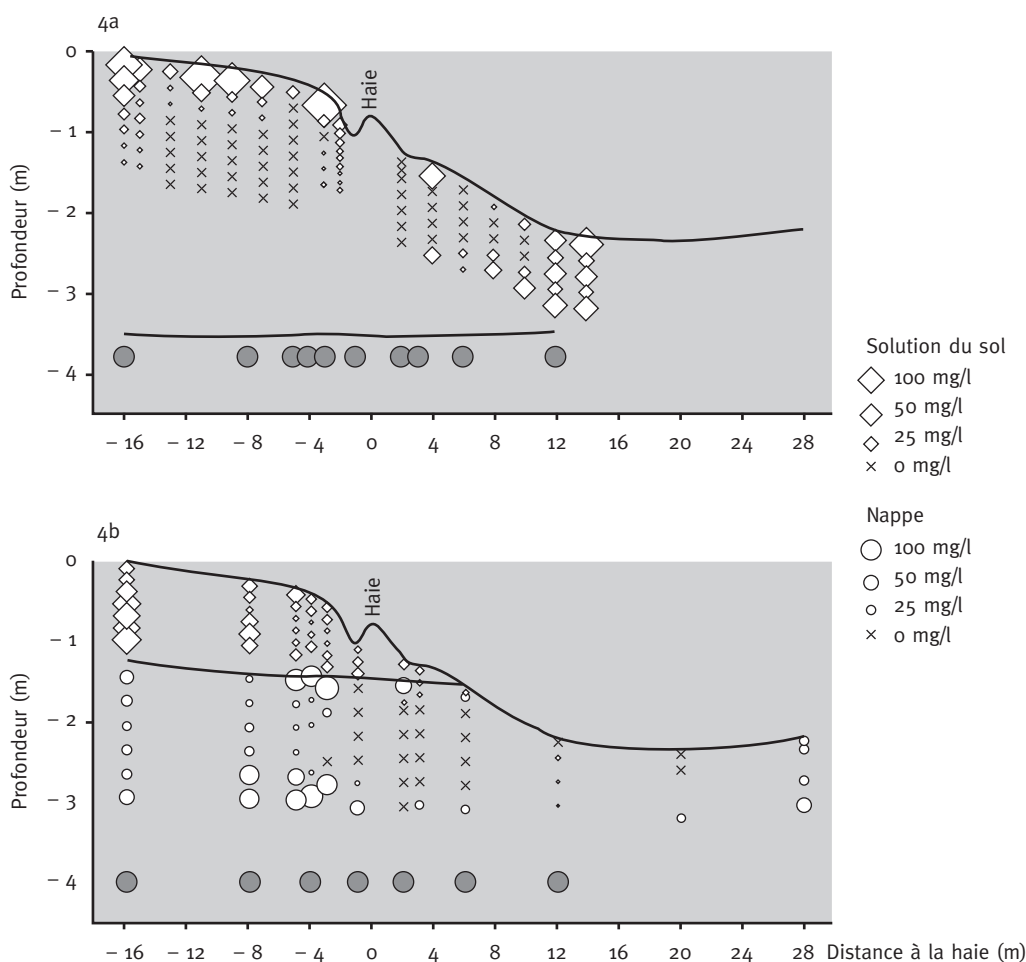


FIGURE 4b FIN DE L'HIVER (avril 2007), CONCENTRATIONS EN NITRATE DE LA SOLUTION EXTRAITE DU SOL (losanges), DE LA COUCHE SUPERFICIELLE DE LA NAPPE (cercles vides), DE LA NAPPE PROFONDE (cercles grisés)

Mais l'influence de la haie, comme d'ailleurs celle de la zone humide, ne concerne que la couche superficielle de la nappe. Son impact sur la composition chimique du cours d'eau est nul en été et ne sera significatif en hiver qu'au prorata de l'alimentation relative du cours d'eau par cette couche superficielle, relativement à la nappe plus profonde.

Le rôle de la haie sur les transferts de nitrate dépend vraisemblablement de la géométrie du système rhizosphère-sol-nappe et des transferts hydriques. La dissymétrie des teneurs en nitrate en hiver observée ici de part et d'autre de la haie dans la couche superficielle de la nappe s'explique par la profondeur plus importante de sol non saturé à l'amont de la haie, favorisant la nitrification et le drainage vertical. Au contraire, sous la haie et vers l'aval, la remontée rapide de la nappe limite cet apport de nitrate et d'oxygène à partir de la zone non saturée, favorisant la dénitrification. À ce titre, l'amont de la haie de bas de versant peut permettre de prévoir, par analogie, le rôle d'une haie située plus haut sur le versant. Mais l'importance de la situation de la haie, de son âge, de son entretien reste encore à étudier.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Nous avons choisi de présenter dans cette revue des résultats de la recherche sur le rôle biophysique des haies sur les ressources en eau et en sol dans l'Ouest de la France, dans un contexte de climat tempéré humide, où un bocage ancien est encore présent. Soulignons que d'autres recherches dans ce domaine se développent ailleurs en Europe et dans le monde, notamment en Australie (Heuperman, 1999 ; Ellis *et al.*, 2007 ; Herbst *et al.*, 2007 ; Ryszkowski et Kedziora, 2007).

Les recherches présentées ont été essentiellement menées au niveau local de la haie. Elles ont permis d'identifier et de quantifier les processus en jeu, sachant que le niveau d'organisation pertinent pour prendre en compte l'ensemble des processus ayant trait à la ressource en eau et en sol est celui du bassin versant. Dans ce sens, les perspectives des recherches, donnant lieu à des travaux en cours ou à venir, sont de trois ordres : appréhender la diversité des haies et son impact sur leur fonctionnement, changer de niveau d'organisation pour évaluer l'impact des haies au niveau du bassin versant, quantifier l'effet des haies au regard de la variabilité du climat. L'enjeu est de pouvoir proposer des éléments pour la gestion et l'aménagement des paysages.

- L'essentiel des travaux réalisés jusqu'à présent a concerné une haie archétypale, perpendiculaire à la pente principale du versant, localisée en bas de versant, présentant une végétation arborée bien développée et plantée sur un talus. Or, les haies présentent une grande diversité tant par leur nature (type de végétation, densité de végétation, âge, mode d'entretien, implantation sur talus ou à plat) que par leur position dans le paysage (orientation par rapport à la pente, localisation dans le versant, distance au cours d'eau,...) et par "le contexte" dans lequel elles sont implantées (substrat géologique, pédologie, "morphologie" des nappes,...). En s'appuyant sur la connaissance des processus au niveau des haies et en les intégrant plus généralement au niveau des bassins versants, un objectif à court terme est d'établir une typologie fonctionnelle des haies, permettant d'associer un fonctionnement hydrologique ou pédologique à un type de haie.

- Les résultats présentés ici ont commencé à être intégrés dans des modélisations fonctionnelles de bassins versants pour évaluer l'incidence des haies à cette échelle de gestion de l'eau (Viaud *et al.*, 2005) et des sols (Follain *et al.*, 2007). Dans ces premières approches de modélisation, le fonctionnement des haies est représenté de façon simplifiée et toutes les haies ont la même fonction. La perspective est de poursuivre et de raffiner ces modélisations pour pouvoir quantifier l'impact des réseaux de haies dans le bassin versant en prenant en compte la diversité des haies.

- Dans un contexte d'évolution du climat, la perspective est d'étudier la sensibilité de l'effet des haies sur l'eau et les sols aux conditions climatiques. Ceci sera abordé par simulation, une fois les modèles fonctionnels calibrés et validés.

Enfin, l'intérêt potentiel des haies pour préserver ou améliorer les ressources en eau et en sol doit être confronté aux autres fonctions des haies, tournées vers d'autres objectifs écologiques, sociétaux, économiques (Baudry *et al.*, 2000). Des recherches interdisciplinaires autour de cet objet pourraient être développées, incluant les interactions avec les systèmes agricoles associés.

Valérie VIAUD – Catherine GRIMALDI – Philippe MEROT
INRA UMR SAS
65 rue de Saint-Brieuc
CS 84215
F-35042 RENNES CEDEX
(valerie.viaud@rennes.inra.fr)
(catherine.grimaldi@rennes.inra.fr)
(philippe.merot@rennes.inra.fr)

BIBLIOGRAPHIE

- BAUDRY (J.), BUNCE (R.G.H.), BUREL (F.). — Hedgerows: An international perspective on their origin, function and management. — *Journal of Environmental Management*, vol. 60, n° 1, 2000, pp. 7-22.
- BAUDRY (J.), JOUIN (A.). — De la haie au bocage : organisation, fonctionnement et gestion. — Paris : Ministère de l'Écologie et du Développement durable, 2003. — 435 p.
- CAUBEL (V.), GRIMALDI (C.), MEROT (P.), GRIMALDI (M.). — Influence of a hedge surrounding bottomland on seasonal soil-water movement. — *Hydrological Processes*, vol. 17, n° 9, 2003, pp. 1811-1821.
- CAUBEL (V.), GRIMALDI (C.), ROUAULT (F.). — Contrasted dynamics of nitrate and chloride in groundwater submitted to the influence of a hedge. — *Comptes rendus de l'Académie des Sciences, Série IIa, Sciences de la Terre et des Planètes*, n° 332, 2001, pp. 107-113.
- DRAF Bretagne, IDF. — Les haies de Bretagne : enquête statistique. Application à un diagnostic de leurs rôles. — Direction régionale de l'Agriculture et de la Forêt Bretagne ; Institut pour le Développement forestier, 1997. — 110 p.
- DE JONG (E.), KOWALCHUK (T.E.). — The effect of shelterbelts on erosion and soil properties. — *Soil Science*, vol. 159, n° 5, 1995, pp. 337-345.
- ELLIS (T.W.), LEGUEDOIS (S.), HAIRSINE (P.B.), TONGWAY (D.J.). — Capture of overland flow by a tree belt on a pastured hillslope in south-eastern Australia. — *Australian Journal of Soil Research*, 44, 2007, pp. 117-125.
- FOLLAIN (S.), MINASNY (B.), MCBRATNEY (A.B.), WALTER (C.). — Simulation of soil thickness evolution in a complex agricultural landscape at fine spatial and temporal scales. — *Geoderma*, vol. 133, n° 1-2, 2006, pp. 71-86.
- FOLLAIN (S.), WALTER (C.), LEGOUT (A.), LEMERCIER (B.), DUTIN (G.). — Induced effects of hedgerow networks on soil organic carbon storage within an agricultural landscape. — *Geoderma*, vol. 142, n° 1-2, 2007, pp. 80-95.
- GHAZAVI (G.), THOMAS (Z.), HAMON (Y.), MARIE (J.C.), CORSON (M.), MEROT (P.). — Hedgerow impacts on soil-water transfer due to rainfall interception and root-water uptake. — *Hydrological Processes*, vol. 22, n° 24, 2008, pp. 4723-4735.
- GRIMALDI (C.), THOMAS (Z.), FOSSEY (M.), FAUVEL (Y.), MEROT (P.). — High chloride concentrations in the soil and groundwater under an oak hedge: an indicator of evapotranspiration and water movement. — *Hydrological Processes*, 23, 2009, pp. 1865-1873.
- HERBST (M.), ROBERTS (J.M.), ROSIER (P.T.W.), GOWING (D.J.). — Seasonal and interannual variability of canopy transpiration of a hedgerow in southern England. — *Tree Physiology*, vol. 27, 2007, pp. 321-333.

- HEUPERMAN (A.). — Hydraulic gradient reversal by trees in shallow water table areas and repercussions for the sustainability of tree-growing systems. — *Agricultural Water Management*, vol. 39, 1999, pp. 153-167.
- MEROT (P.). — The influence of hedgerow systems on the hydrology of agricultural catchments in a temperate climate. — *Agronomie*, vol. 19, 1999, pp. 655-669.
- MEROT (P.), BRIDET-GUILLAUME (F.). — Les bocages armoricains : repères sur l'évolution des thèmes de recherche depuis les années 1960. — *Natures Sciences Sociétés*, 14, 2006, pp. 43-49.
- MEROT (P.), WALTER (C.), ZHANG (X.), MOLENAT (J.). — The influence of hedgerow systems on the surface water way of agricultural catchments in a temperate climate. — *Revue des Sciences de l'Eau*, vol. 12, n° 1, 1999, pp. 23-44.
- RYSZKOWSKI (L.), KEDZIORA (A.). — Modification of water flows and nitrogen fluxes by shelterbelts. — *Ecological Engineering*, vol. 29, 2007, pp. 388-400.
- THOMAS (Z.), MOLENAT (J.), CAUBEL (V.), GRIMALDI (C.), MEROT (P.). — Simulating soil water dynamics under hedge trees surrounding a valley bottom wetland to exhibit the role of tree transpiration. — *Hydrological Processes*, vol. 22, n° 5, 2008, pp. 577-585.
- VIAUD (V.), MEROT (P.), BAUDRY (J.). — Hydrochemical buffer assessment in agricultural landscapes: from local to catchment scale. — *Environmental Management*, vol. 34, n° 4, 2004, pp. 559-573.
- VIAUD (V.), MEROT (P.), DURAND (P.), SAUBOUA (E.), SAADI (Z.). — Modeling the impact of the spatial structure of a hedge network on the hydrology of a small catchment in a temperate climate. — *Agricultural Water Management*, vol. 74, n° 2, 2005, pp. 135-163.
- WALTER (C.), MEROT (P.), LAYER (B.), DUTIN (G.). — The effect of hedgerows in soil organic carbon storage on hillslopes. — *Soil Use and Management*, vol. 19, n° 3, 2003, pp. 201-207.
- WRB IUSS Working Group. — World reference base for soil resources 2006. — Rome : FAO, 2006 (World Soil Resources Reports No. 103).

IMPACT DES HAIES SUR LA RESSOURCE EN EAU ET EN SOL À PARTIR DE L'EXEMPLE DE LA BRETAGNE : RÉSULTATS RÉCENTS ET PERSPECTIVES [Résumé]

Depuis l'émergence des problématiques environnementales et la prise de conscience de l'évolution des paysages agricoles, les haies sont généralement considérées comme des éléments régulateurs clés des ressources en eau et en sol. L'objectif de ce travail est de faire le point sur les travaux menés récemment sur le rôle effectif des haies sur ces ressources en Bretagne et de discuter des perspectives de recherche dans ce domaine. Le rôle des haies sur l'érosion et le ruissellement est bien connu. Des travaux plus récents, basés sur des mesures *in situ* sur des haies particulières, ont permis d'une part de mettre en évidence le rôle non négligeable des haies sur le stockage de carbone dans les sols, d'autre part de quantifier leur impact sur l'évapotranspiration, la recharge des eaux de nappe et les teneurs en nitrates. Parallèlement, des outils de modélisation destinés à l'acquisition de connaissances par la recherche, et des outils plus opérationnels destinés aux gestionnaires, sont développés pour généraliser les résultats obtenus localement et prendre en compte les interactions des haies avec les autres facteurs de contrôle de la qualité de l'eau et des sols (milieu physique, autres structures paysagères).

IMPACT OF HEDGEROWS ON WATER AND SOIL RESOURCES AS ILLUSTRATED IN BRITTANY – RECENT RESULTS AND OUTLOOK [Abstract]

Since environmental issues have come to the fore and an awareness of changes in agricultural landscapes has developed, hedges are generally considered to be key regulating factors for water and soil resources. The aim of this study is to assess recent work done on the effect of hedges on those resources in Brittany, and to discuss prospects for research in this area. The role played by hedges on erosion and runoff is well known. More recent work based on *in situ* measurements on particular hedges shows that on the one hand hedges play a non-negligible role in respect of carbon storage in soils and furthermore that their impact on evapotranspiration, groundwater recharge and nitrate content can be quantified. In parallel, modelling tools designed for the acquisition of knowledge through research together with more operations-oriented tools intended for managers are being developed so as to generalize the results obtained locally and take on board the interactions between hedges and other factors that control water and soil quality (the physical environment, other landscape elements).
