

# LES 3 GRANDES FONCTIONS DE LA HAIE SUR LE MILIEU PHYSIQUE

## état des recherches

Philippe MÉROT,  
avec les contributions de V. Caubel, P. Durand, S. Follain, C. Grimaldi, Z. Thomas, V. Viaud, C. Walter  
INRA, UMR INRA-Agrocampus Rennes Sol-Agronomie Spatialisation

### Introduction - Réflexions générales sur le rôle de la haie sur le milieu physique

Après quelques éléments généraux sur la haie présentant le contexte actuel, l'importance de hiérarchiser les différents facteurs qui influent sur le fonctionnement du milieu physique (*Milieu physique est ici compris en opposition à milieu biologique.*) et la place de la haie comme objet en interaction, on abordera les 3 fonctions majeures de la haie : le rôle de la haie sur les sols, son rôle sur l'hydrologie au sens large c'est à dire sur les flux et les bilans d'eau, puis enfin son rôle sur la qualité de l'eau.

#### Le contexte des études

Le contexte actuel dans lequel se développent les recherches sur la haie est favorable, avec le retour en force du paysage agricole dans les politiques publiques (Baudry and Jouin, 2003).

Ceci est le cas depuis plusieurs années avec par exemple le programme AGRIFOR, l'ouvrage sur l'arbre en réseau etc.. et l'existence de ces journées le montre également. Dans la région Bretagne, l'élaboration d'un programme «Breizh-Bocage» qui veut soutenir le développement de haies à l'échelle de la Bretagne pour améliorer notamment la qualité de l'eau et des paysages en est le témoin actuel. Le rôle de la haie, qui participe au fonctionnement du milieu physique est cependant relativement peu étudié, au contraire de son rôle biologique ou paysager (Merot and Bridet-Guillaume, 2006). Par contre, un certain nombre d'idées sur le rôle des haies sont présentes. Ainsi, l'idée qu'à un type de paysage, façonné par l'homme soit associé un type de production et un niveau de pollution est ancienne. Hénin, auteur en 1980 du premier rapport national sur les problèmes de pollution agricole (Hénin, 1980), donnait un ordre de grandeur des fuites d'azote en fonction des paysages agricoles. Le bocage était affecté d'une fuite en nitrate de quelques milligrammes, identique à celle des forêts et donc bien inférieure à celle des plaines céréalières ou des régions de maraîchage. Dans l'idée de Hénin cependant, le bocage était associé à un système de polyculture-élevage peu intensif, et la faible valeur des fuites identifiées tenait autant au caractère «tampon» du réseau très dense de haies présentes qu'aux faibles quantités d'intrants alors utilisées. Il importe donc de bien séparer ce qui est intrinsèque des haies de ce qui est lié au milieu global.

#### Hiérarchiser les facteurs qui influencent le fonctionnement du milieu physique.

Cette approche de Hénin illustre bien le handicap à éviter lorsque l'on veut évaluer le rôle des haies : il faut bien séparer ce qui est spécifique des haies de ce qui ne l'est pas, pour ne pas attribuer aux haies des impacts ou des effets qui sont dus à d'autres facteurs. Les débats récurrents et les affirmations souvent radicales sur le rôle des haies sur les crues sont une illustration de cette confusion. Ainsi, en hydrologie, les facteurs premiers qui influencent les transferts et bilans sont les caractéristiques du climat (pluie, évapotranspiration potentielle) et la géologie. La couverture végétale et donc les haies interviennent bien évidemment sur le cycle de l'eau, mais dans un deuxième temps. Ainsi, dans la suite du texte, le rôle des haies que l'on mettra en avant viendra moduler un fonctionnement déterminé par ailleurs, mais non pas le changer radicalement.

#### La haie : un objet à l'interface, en interaction.

La nature même de la haie fait qu'elle emprunte des éléments de son fonctionnement à différents autres composantes du paysage : à la forêt (c'est une «forêt linéaire»); au champ, qu'elle est censée protéger et/ou limiter, et à l'interaction entre les 2 marquée notamment par des gradients très forts, parfois assimilable au fonctionnement d'une lisière forestière. Les études sur haie et milieu physique ont reflété cette complexité ; ainsi, les travaux anciens étaient plutôt centrés sur le rôle de la haie sur le champ (limitation de l'évaporation, augmentation des températures au sein des parcelles : voir les travaux des années 70-80 dans la vallée du Rhône et en Bretagne: Missonnier, 1976). Les travaux actuels s'intéressent à la haie en tant que telle voire à l'influence du champ sur la haie avec par exemple une typologie des haies et de leur rôle en fonction du contexte alentour (Baudry et al., 2000).

## Le rôle des haies sur les sols

Le rôle anti-érosif des haies sur les sols est assez largement reconnu. L'érosion, sous l'action du climat (agressivité des pluies) et celle de l'homme (travaux agricoles), est contenue au sein des parcelles entourées de haies avec une redistribution du sol interne à ces parcelles. Il y a, pour les haies qui ne sont pas parallèles à la pente, une accumulation en amont de la haie et une érosion à l'aval. Hormis pour la haie la plus proche du réseau hydrographique (haie de ceinture de fond de vallée), les haies constituent donc des obstacles à l'exportation de terre hors des parcelles agricoles vers le réseau hydrographique.

Ceci a été observé dans de nombreuses situations et a également été récemment modélisé. Follain et al. (2006) ont ainsi montré à partir de différents scénarios le rôle conjoint des haies et de différentes occupations du sol sur la différenciation de l'épaisseur des sols (figure 1).

Le 2<sup>ième</sup> point à souligner est le rôle des haies sur l'accumulation de carbone organique dans les sols. Ce rôle permet ainsi aux systèmes agricoles ayant des haies à contribuer au stockage de carbone, au même titre que les forêts. Ce rôle a été récemment mesuré et quantifié à partir de l'étude d'une série de haies sur talus du massif armoricain, de l'analyse des caractéristiques des sols sous-jacents et de leur teneur en carbone (Walter et al., 2003). Les résultats montrent un épaissement régulier de l'horizon organique depuis le sommet du versant, mais qui s'accroît en amont de la haie. Par ailleurs, sous la haie, la densité apparente du sol est faible et la teneur en carbone organique élevée, y compris en profondeur (1 m). A l'échelle d'un versant, le rôle des haies sur le carbone organique du sol est donc lié à deux effets : un effet local, sous la haie, dû à l'activité biologique de l'arbre et qui existe pour toute haie quelle que soit son orientation, et un autre effet anti-érosif à l'échelle du versant. Une approximation grossière basée sur ces données permet d'évaluer la fraction du stock de carbone organique dû au réseau de haies. Elle représente entre 13 et 33 % du stock total sur un versant.

Ce rôle anti-érosif est important par rapport à la qualité des écosystèmes aquatiques, avec notamment la baisse de la turbidité et des dépôts particuliers dans les rivières.

Ce rôle anti-érosif des haies avait été en partie pris en compte dans les paysages anciennement composés de haies, même si d'autres éléments comme la proximité des fermes ou des villages étaient également déterminants dans le choix de l'emplacement des haies. L'étude historique faite à l'échelle de la Bretagne montre aujourd'hui une évolution de la répartition spatiale des haies, avec dans les années 50 une densité linéaire de haies croissante avec l'intensité de la pente topographique, alors qu'elle est aujourd'hui indépendante.

Pour que ce tour d'horizon soit le plus complet possible, il faudrait également évoquer le rôle des chemins creux boisés qu'ils soient de Flandres (Deckers, 2005) ou de Bretagne. Leur rôle est méconnu, mais semble-t-il opposé au rôle des haies, car ils sont le plus souvent dans le sens de la pente, et sont donc des voies d'exportation de matériaux érodés; ils participent de façon importante à la structuration fonctionnelle de certains paysages ruraux.

## Rôle hydrologique des haies

Le rôle des haies sur l'hydrologie (au sens large) concerne essentiellement 2 processus : l'évapotranspiration d'une part, les écoulements rapides d'autre part. Nous verrons ces 2 processus, qui selon les circonstances, sont respectivement mis en avant par les aménageurs.

Nous insisterons in fine sur la nécessité de prendre en compte la fréquence des événements dans l'analyse du rôle des haies.

- Un effet dont l'importance a été sous-estimée jusqu'à récemment, est l'influence des haies sur l'évapotranspiration réelle (ETR). Celui-ci a été mesuré (Caubel et al., 2003) et modélisé (Thomas et al., 200x) à l'échelle locale sur une haie située en bas de versant (Caubel et al., 2003). On constate, dans les sols sous la haie, le développement au cours de l'été et de l'automne d'un «noyau sec» qui correspond à une consommation plus importante des réserves en eau du sol par l'arbre de la haie que dans les parcelles contiguës (figure 2). Ceci est dû à plusieurs propriétés des arbres, et renforcé par le caractère de structure linéaire boisée : enracinement plus profond et prospection plus efficace de la réserve en eau que les cultures, surface foliaire élevée donnant une évapotranspiration maximale

très forte ; turbulence au niveau du couvert du fait de l'isolement relatif de l'arbre permettant un brassage et une réponse active à la demande climatique. Cet effet disparaît par contre en hiver, où les haies sont «transparentes» aux écoulements d'eau dans le sol. Cet effet sur l'évapotranspiration réelle donne un déficit hydrique de l'ordre de 100 mm par rapport au couvert environnant. Un critère important qui détermine l'efficacité évaporante de la haie est la distance du système racinaire des arbres de la haie par rapport aux ressources en eau, donc par rapport à la nappe. De ce fait, les haies en bas de versant où dans les nappes alluviales vont avoir une importante efficacité évaporante, puisque la ressource en eau ne sera pas limitée. L'ETR sera alors plus importante que l'ETP calculée pour un couvert de référence (gazon ras).

Ce rôle sur l'évaporation est étudié de façon intense notamment en Australie : suite à des déboisements massifs pour permettre la mise en culture, l'ETR a diminué et la nappe profonde salée est remontée en surface et salinise les sols (Gordon et al., 2003). L'installation de haies larges est étudiée et préconisée pour réhabiliter les milieux concernés (Ellis et al., 2005).

L'effet des haies sur le bilan hydrique à l'échelle annuelle a été simulé pour différentes configurations et densités linéaires de haies (Viaud et al., 2005). Outre un effet attendu (l'augmentation du prélèvement d'eau par les haies quand la densité linéaire de haies croît), il apparaît que l'effet est relativement d'autant plus important que l'année est sèche. Par contre, pour des années humides (au-delà d'une pluviosité de 900 mm annuelle dans le cas étudié), les différences sont moins marquées (figure 3). On modélise enfin un effet lié à la distribution spatiale des haies (entre amont et aval des versants).

On peut souligner le paradoxe apparent d'une l'augmentation de l'évapotranspiration réelle au niveau de la haie - rapportée ici - à une diminution en parallèle de l'évapotranspiration potentielle à l'échelle d'un paysage bocager démontré autrefois (Merot, 1999).

Le rôle des haies sur les différentes formes de ruissellement et sur les crues à l'échelle du bassin versant est reconnu depuis longtemps mais est toujours l'objet de travaux (Ellis et al., 2006). Quelques points de synthèse ressortent.

- Sur les crues de fréquence forte, la présence d'un réseau de haies diminue à la fois la quantité ruisselée (volume d'eau écoulé) et l'intensité de la crue (pic de crue). Les crues en paysage avec des haies sont à la fois plus régulières et moins fortes que dans des paysages analogues sans haies, où elles sont dépendantes de l'état initial de saturation du sol et de l'intensité des pluies (Merot, 1999). Ceci est lié à l'action des haies sur 2 processus : l'ensemble du réseau de haies diminue le ruissellement sur les versants (ruissellement dit hortonien) car il forme un obstacle au ruissellement de surface ; les haies de bas de versant (ou de ceinture de fond de vallée), qui sont souvent associées à une dénivelée du fait du blocage de l'érosion sont un obstacle à l'extension spatiale de la saturation des sols qui provient de la remontée de la nappe et au ruissellement par refus d'infiltration qui y est associé (figure 4).

A ces éléments classiques on doit ajouter 2 commentaires.:

- Les crues de fréquence rare sont peu, voire pas modifiées par la présence de haies, car dans ce cas, le sol des bassins versants est saturé et il y a une réponse identique quelle que soit la couverture du bassin.

- On peut à l'inverse faire l'hypothèse que la durée de la période où il y a un risque de crues peut être modifiée par les haies, dans les régions où les crues sont liées à la saturation des sols par remontée de nappe. En effet on a vu que les haies provoquent une sécheresse des sols sur lesquelles elles reposent, qui se prolongeait plusieurs semaines par rapport à une situation sans haie. Cela entraîne un retard à la resaturation des sols. La période de saturation (période hivernale), où il y a un risque important de ruissellement dans ces régions, peut ainsi commencer plus tardivement dans les bassins versants où il y a un important linéaire de haies.

## Rôle sur le transfert et la transformation des éléments polluants

Ce rôle a été étudié par des suivis des concentrations et des flux de différents éléments, notamment les nitrates, dans et sur le sol au droit d'une haie.

### L'effet de la haie sur les nitrates :

C'est dans une nappe, situé dans le sol à proximité de la surface, que l'on a observé le rôle de la haie sur les nitrates (Caubel-Forget et al., 2001). La concentration de nitrates sous la haie baisse fortement, ainsi que de part et d'autre,

c'est à dire dans l'ensemble du volume de sol où l'on observe également une augmentation de l'évapotranspiration. Parallèlement la teneur en chlorure, - un élément qui lui n'est pas consommé par les arbres ni évaporé -, a tendance à augmenter au travers de la haie. Il y a donc bien consommation des nitrates de la nappe par la haie. Cette consommation est dépendante de la proximité entre les racines des arbres et le toit de la nappe où transitent les nitrates. Ce sont donc les haies de bas de versant où se rencontre une telle proximité qui vont jouer un rôle majeur.

### **Effet de la haie sur les pesticides**

L'effet d'une haie sur les teneurs et les flux en pesticide des eaux a été mis en évidence par différentes études de cas. On soulignera 2 effets importants : les haies parallèles aux courbes de niveau sont des éléments tampon dans les paysages vis à vis des écoulements de surface et bloquent, de façon analogue aux bandes enherbées, les flux de pesticides; Les haies sont ainsi considérées comme des éléments qui diminuent le risque de transfert de pesticides (Watanabe and Grismer, 2001).

Un autre effet est lié au confinement des pesticides au moment des pulvérisations par voie aérienne. De nombreux travaux montrent que les haies en bordure des champs traités sont des filtres qui évitent la dispersion des aérosols et limitent ainsi la pollution des parcelles, mais aussi des eaux (Longley et al., 1997).

### **Effet global de la haie; relation flux, concentration**

Les effets observés sur les polluants sont soit des diminutions de concentration, comme pour les nitrates dans les nappes superficielles, soit des diminutions de flux, comme la diminution du ruissellement de pesticides par diminution du flux d'eau de surface. Quelques évaluations faites notamment sur des haies récentes installées dans un objectif de protection des eaux dans le bassin versant de la lagune de Venise (Franco, 1998) évaluent l'abattement en azote dans les eaux de surface à 80 % en flux, et à 50 % en concentration dans les eaux de nappe. L'abattement est également observé sur le phosphore dissous et particulaire. Dans les eaux de surface, l'abattement est étroitement contrôlé par la diminution des débits d'eau. Dans les eaux de nappe, l'abattement est étroitement dépendant de l'accessibilité des eaux de nappes aux racines des arbres de la haie.

La modélisation du rôle des haies sur les nitrates à l'échelle de bassin versant abouti à des résultats paradoxaux au premier abord (Plouy, 2004). Il y a en effet une augmentation de la concentration moyenne des eaux à la sortie d'un bassin avec des haies comparé à un bassin similaire sans haie. Ceci s'explique de la façon suivante. La consommation de nitrate par les arbres de la haie s'accompagne d'une consommation d'eau de nappe qui provoque une baisse du niveau de cette nappe et une diminution de sa capacité de dénitrification, plus importante dans les horizons superficiels du sol. Par contre tout ceci s'accompagne d'une diminution du débit et in fine du flux annuel en nitrate dans le bassin présentant des haies (figure 5).

## **Conclusion**

En conclusion à ce survol des 3 fonctions principales sur le fonctionnement physique du milieu que les haies assurent, peut on considérer que les haies sont des structures-tampons, des éléments du paysage régulateurs des flux ? On rappellera tout d'abord que la notion de fonction-tampon (Viaud et al., 2004), très utilisée en aménagement est assez floue et recouvre des fonctions différentes (figure 6).

En introduisant une hétérogénéité de fonctionnement (par exemple surimposition de gradient hydriques locaux vers la haie à des gradients de versant amont-aval), en segmentant les paysages, les haies introduisent une complexité dans le fonctionnement des bassins, complexité qui rend délicat sa modélisation (Ticehurst et al., 2005). Cette complexité permet par exemple une meilleure conservation des sols, et une augmentation de leur taux en matière organique. Au niveau hydrologique, les haies permettent également une régulation des crues et une diminution de l'importance des événements fréquents. Par contre, elles ont un rôle mineur sur les événements rares. D'une façon générale, on considérera que les haies assurent effectivement des fonctions de régulation sur les flux physiques. Dans ces fonctions, la place de la haie dans le paysage est un critère dont l'importance a été reconnue. Par contre, une des limites des travaux actuels sur les haies est l'absence d'une typologie opérationnelle des haies, qui rendrait compte de l'efficacité de telle ou telle espèce ou mode de plantation sur telle ou telle fonction. Ce travail reste à faire.

En terme de prospective, l'étude de l'évolution à long terme de la structure et du fonctionnement des paysages avec haies prenant en compte la variabilité climatique à différentes échelles de temps (augmentation de l'hétérogénéité, aridisation) est un des challenge des années à venir.

La prise en compte opérationnelles des fonctions régulatrices des haies dans la gestion et l'aménagement de l'espace rural n'a pas été abordé. Il s'agit d'un enjeu important. Un outil (TERRITEAU) qui prend en compte les haies, mais aussi d'autres structures du paysage a été récemment proposé. Il est accessible à l'adresse suivante (<http://w3.rennes.inra.fr/umrsas/>, puis Agrottransfert Bretagne).

## Bibliographie

- Baudry, J. and A. Jouin. 2003. De la haie au bocage : organisation, fonctionnement et gestion. Ministère de l'Ecologie et du Développement durable, Paris.
- Baudry, J., F. Burel, C. Thenail, and D. Le Coeur. 2000. A holistic landscape ecological study of the interactions between farming activities and ecological patterns in Brittany, France. *Landscape Urban Plann.* 50:119-128.
- Caubel, V., C. Grimaldi, P. Merot, and M. Grimaldi. 2003. Influence of a hedge surrounding bottomland on seasonal soil-water movement. *Hydrol. Process.* 17:1811-1821.
- Caubel-Forget, V., C. Grimaldi, and F. Rouault. 2001. Contrasted dynamics of nitrate and chloride in groundwater submitted to the influence of a hedge. *Comptes Rendus De L Academie Des Sciences Serie Ii Fascicule a-Sciences De La Terre Et Des Planetes* 332:107-113.
- Deckers, B. 2005. Linear, woody habitats in agricultural landscapes: spatio-temporal dynamics, plant community assembly and invasive species spread. Thesis, Catholic university of Leuven, Leuven.
- Ellis, T., T. Hatton, and I. Nuberg. 2005. An ecological optimality approach for predicting deep drainage from tree belts of alley farms in water-limited environments. *Agric. Water Manage.* 75:92-116.
- Ellis, T. W., S. Leguédou, P. B. Hairsine, and D. J. Tongway. 2006. Capture of overland flow by a tree belt on a pastured hillslope in south-eastern Australia. *Australian Journal of Soil Research* 44:117-125.
- Follain, S., B. Minasny, A. B. McBratney, and C. Walter. 2006. Simulation of soil thickness evolution in a complex agricultural landscape at fine spatial and temporal scales. *Geoderma; Advances in landscape-scale soil research* 133:71-86.
- Franco, D. 1998. Hedgerows and non point source pollution: field test and landscape planning. in J. W. Dover and R. G. H. Bunce (ed.) *Key Concepts in Landscape Ecology*. Ed. Eds., IALE UK Colin Cross Printers Ltd., Garstang, UK.,
- Gordon, L., M. Dunlop, and B. Foran. 2003. Land cover change and water vapour flows: learning from Australia. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences* 358:1973-1984.
- Hénin, S. 1980. Rapport du groupe de travail : agriculture intensive et qualité des eaux. Ministère de l'agriculture, ministère de l'environnement,
- Longley, M., T. Çilgi, P. C. Jepson, and S. N.W. 1997. Measurement of pesticide spray drift deposition into field boundaries and hedgerows: 1 Summer applications. *Environmental Toxicology and Chemistry* 16: 165-172.
- Merot, P. 1999. The influence of hedgerow systems on the hydrology of agricultural catchments in a temperate climate. *Agronomie* 19:655-669.
- Merot, P. and F. Bridet-Guillaume. 2006. Les bocages armoricains : repères sur l'évolution des thèmes de recherche depuis les années 1960. *Natures Sciences Sociétés* 14:43-49.
- Missonnier, J. 1976. Les bocages : histoire, écologie, économie. INRA, ENSA, Université de Rennes 1, Rennes.
- Plouy. 2004. Impact du réseau bocager sur les ressources en eau et la dynamique de l'azote dans les bassins versants agricoles : modélisation numérique spatialement distribuée. Mémoire de DEA Géoscience CNRS, Université Rennes 1. INRA UMR Sol Agronomie Spatialisation, Rennes.
- Thomas, Z., J. Molénat, V. Caubel, C. Grimaldi, and P. Merot. 200x. Simulating soil water dynamics under hedge trees surrounding a valley bottom wetland to exhibit the role of tree transpiration. *Hydrol. Process.*
- Ticehurst, J. L., B. F. W. Croke, and A. J. Jakeman. 2005. Model design for the hydrology of tree belt plantations on hillslopes. *Mathematics and Computers in Simulation. Second Special Issue: Selected Papers of the MSSANZ/IMACS 15th Biennial Conference on Modelling and Simulation* 69:188-212.
- Viaud, V., P. Merot, and J. Baudry. 2004. Hydrochemical buffer assessment in agricultural landscapes: from local to catchment scale. *Environ. Manage.* 34:559-573.
- Viaud, V., P. Durand, P. Merot, E. Sauboua, and Z. Saadi. 2005. Modeling the impact of the spatial structure of a hedge network on the hydrology of a small catchment in a temperate climate. *Agric. Water Manage.* 74:135-163.
- Walter, C., P. Merot, B. Layer, and G. Dutin. 2003. The effect of hedgerows in soil organic carbon storage on hillslopes. *Soil Use Manage.* 19:201-207.
- Watanabe, H. and M. E. Grismer. 2001. Diazinon transport through inter-row vegetative filter strips : micro-ecosystem modeling. *J. Hydrol.* 247:183-199.

Figure 1 : Carte du bilan local érosion/dépôt après 100 et 1200 ans sur un versant sans haie et avec haies, sous un couvert uniforme (LCB = Variation de l'épaisseur du sol) - [Follain et al., 2006].

Figure 2 : Comparaison de l'état d'humidité du sol en début de reprise des pluies pour 2 transects proches, l'un avec une haie, l'autre sans haie, situés en bordure de fond de vallée. [Caubel et al., 2001].

Figure 3 : Diminution relative du flux d'eau annuel en fonction de la pluviosité annuelle pour différentes densité de linéaire de haies. Résultat de simulation sur 10 ans [Viaud et al., 2005].

Figure 4 : Effet de la haie de ceinture de fond de vallée sur l'extension de la zone saturée.

Figure 5 : Modélisation du flux de nitrate à l'exutoire d'un bassin à charge constante sur la SAU et pour différentes densités de bocage [Plouy, 2004].

Figure 6 : Typologie des différents effets tampon [Viaud et al., 2004].

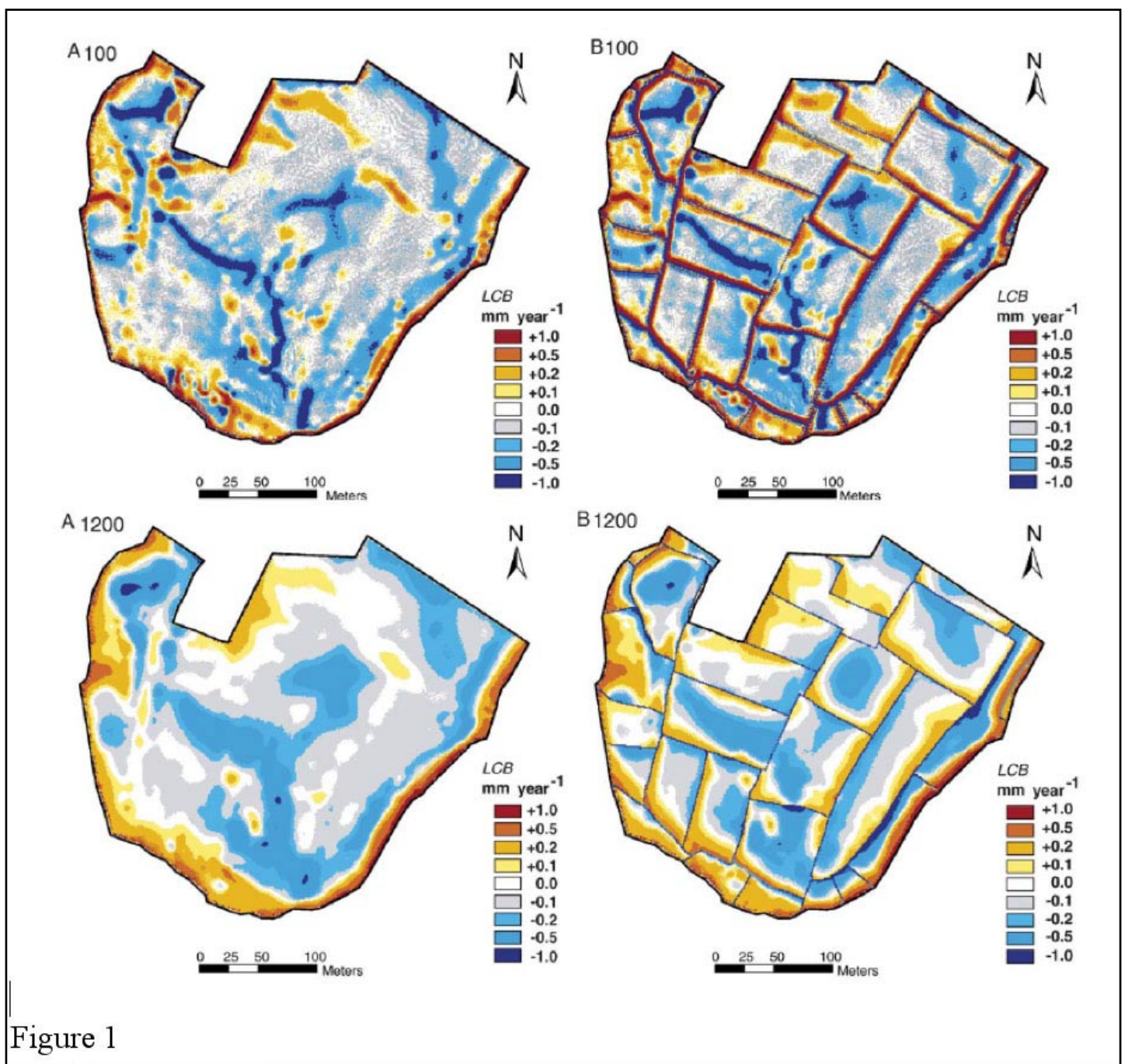


Figure 1

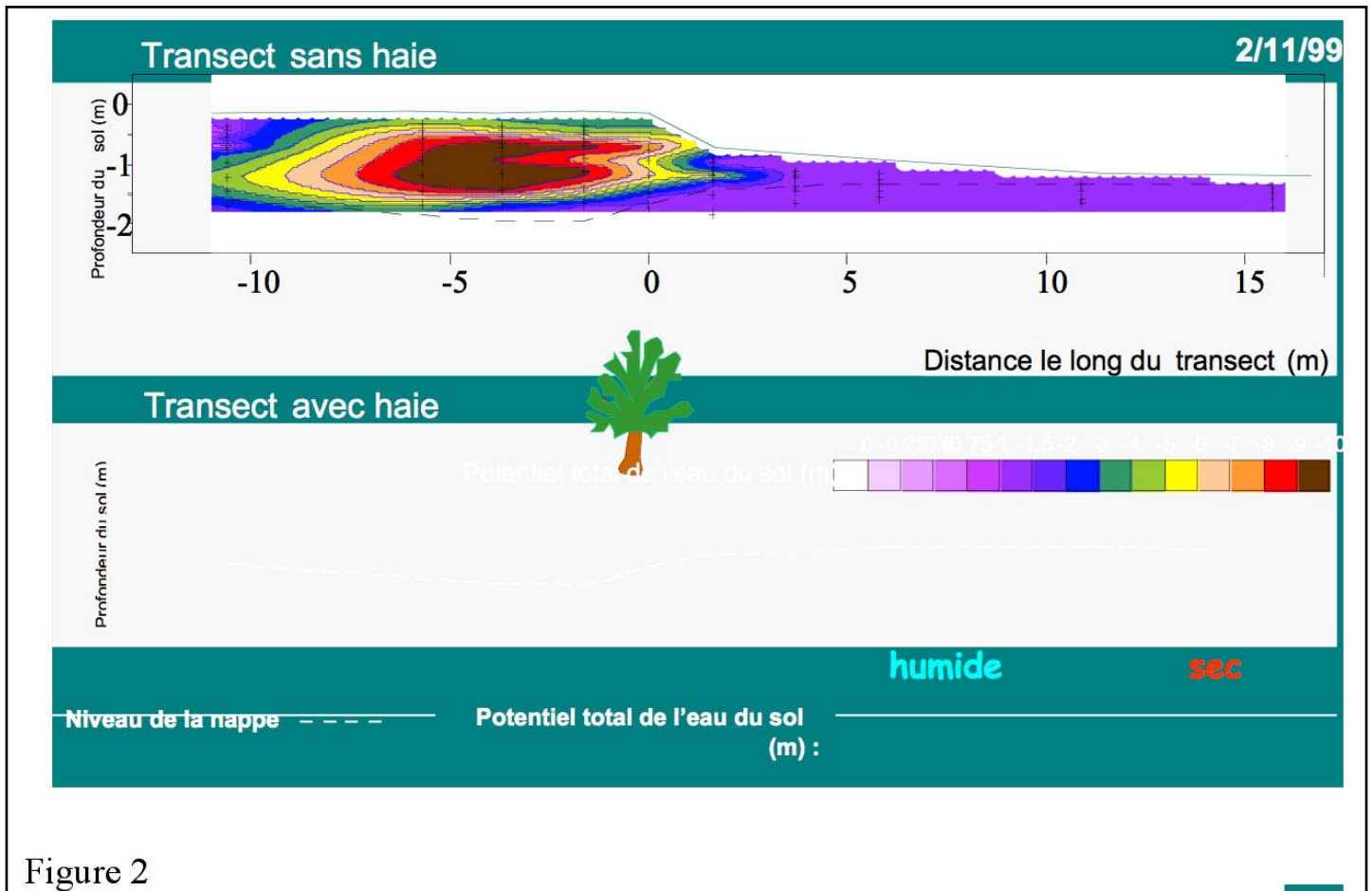


Figure 2

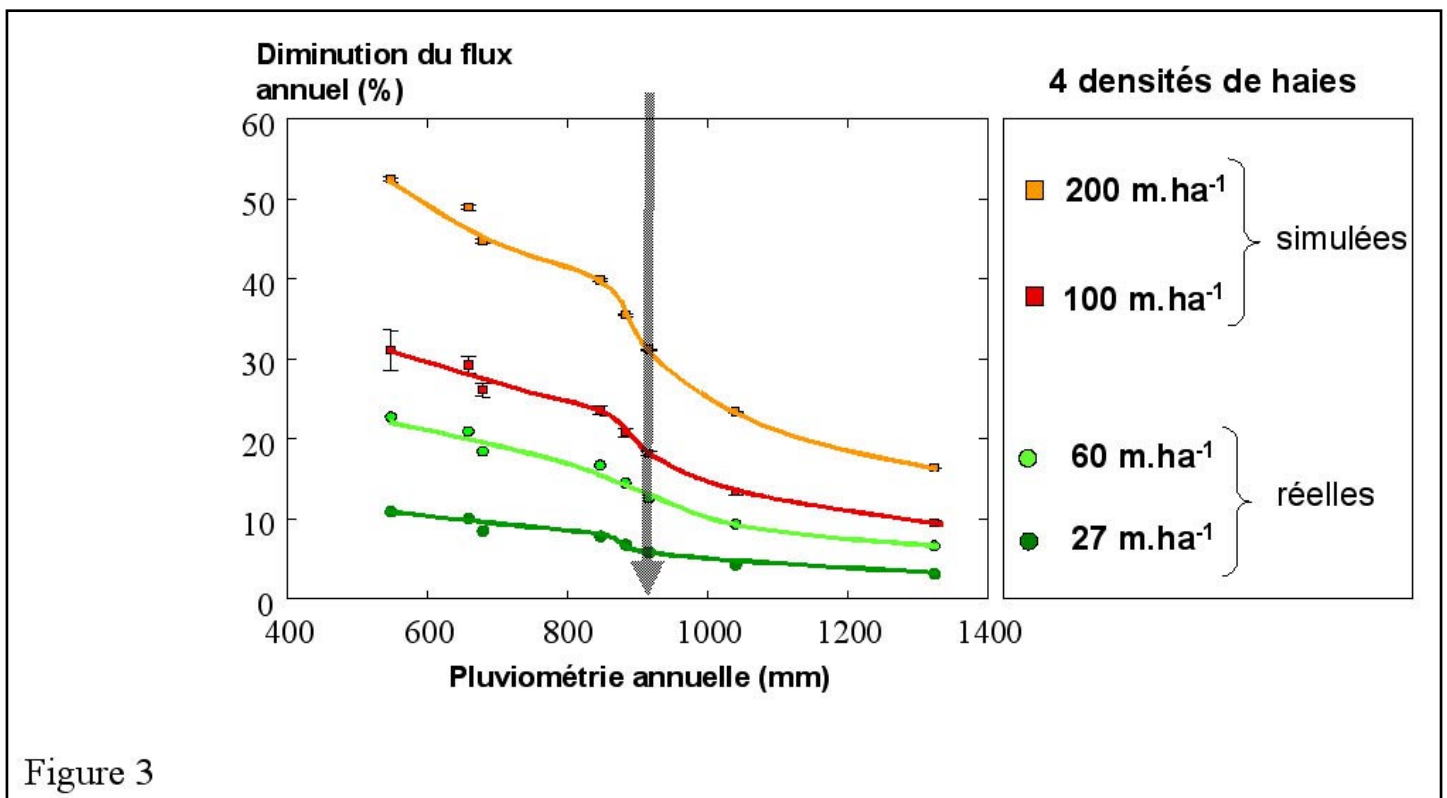


Figure 3

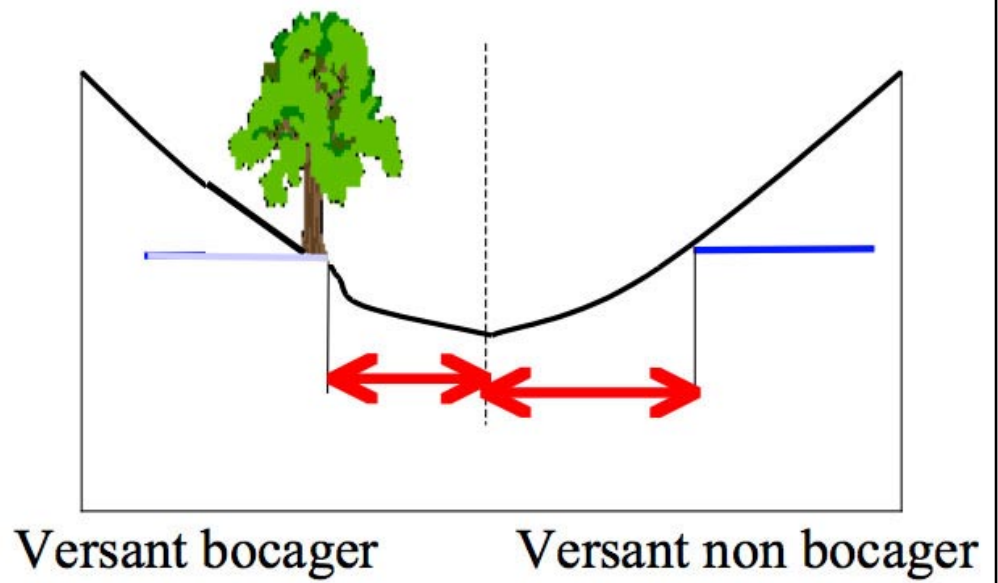


Figure 4

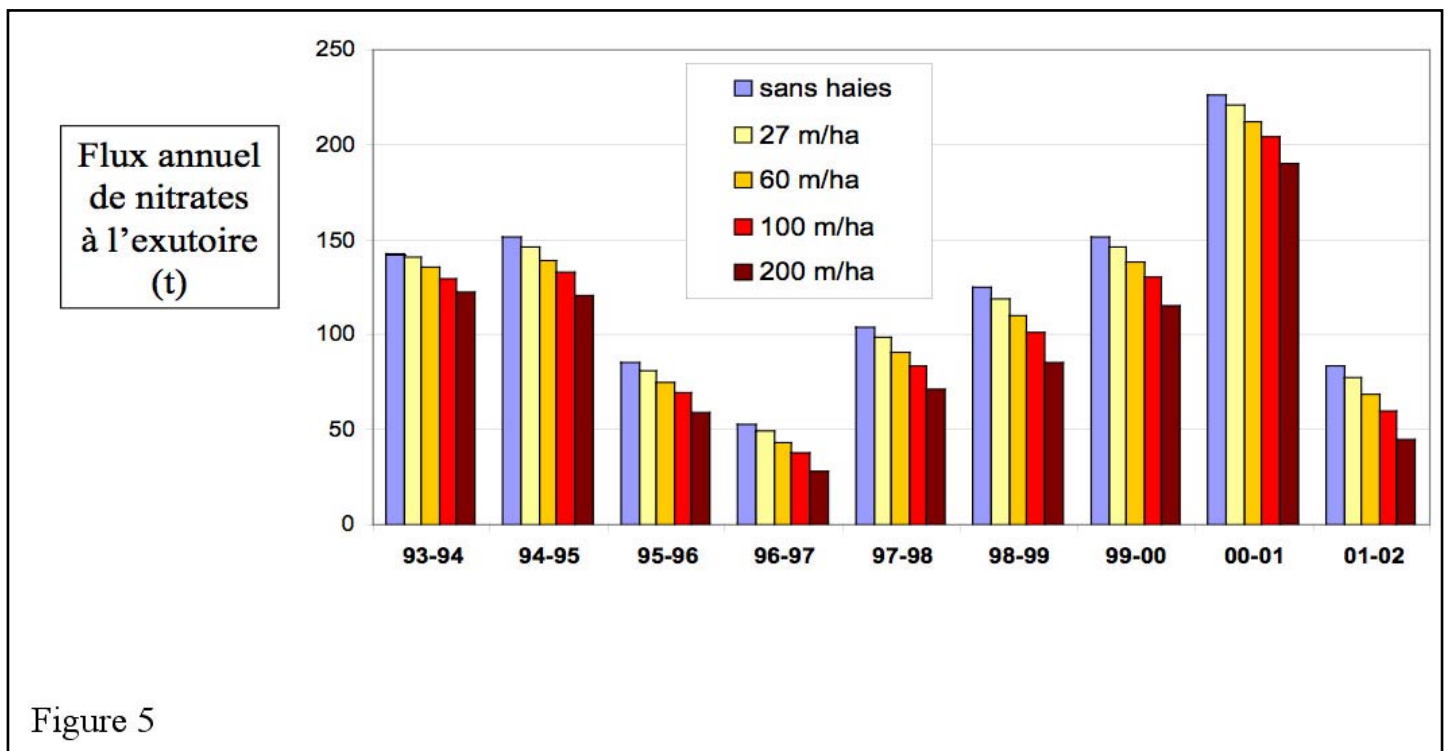
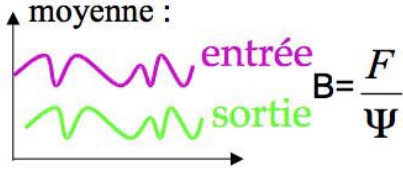


Figure 5

**effets « tampon »**

- Diminution de la valeur moyenne :



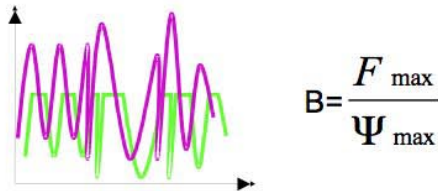
Paramètre étudié

Exemple

Moyenne

Décroissance de la concentration en nitrate dans les zones humides

- Diminution des maxima :



Valeurs extrêmes

Ecrêtement des crues dans des réservoirs

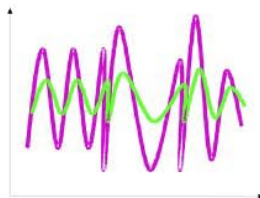
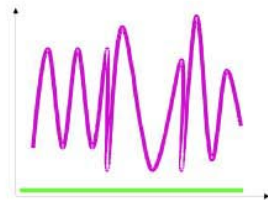
- Augmentation des minima :



Valeurs extrêmes

Soutien des étiages

- Barrière à la propagation du signal : Valeurs extrêmes Stockage des particules éri



$$\frac{\Delta}{\Delta\Psi}$$

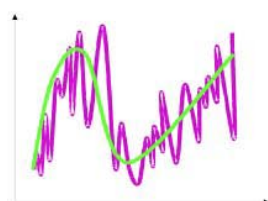


Figure 6