

Flux d'azote dans les fermes laitières intensives de l'Espace atlantique ouest-européen : diagnostic des niveaux de pertes d'azote vers l'eau et l'air (projet *Green Dairy*)

CHAMBAUT H. (1, 3), RAISON C. (2, 3), LE GALL A. (2, 3), PFLIMLIN A. (4)

(1) Institut de l'Elevage, B.P. 70510, 49105 Angers Cedex 02

(2) Institut de l'Elevage, B.P. 85 225, 35652 Le Rheu Cedex

(3) Unité Mixte Technologique "Recherche et Ingénierie en Elevage Laitier" B.P. 85 225, 35652 Le Rheu Cedex

(4) Institut de l'Elevage, B.P. 75 595 Paris cedex 12

RESUME – Les onze régions de l'Espace atlantique participant au projet européen *Green Dairy* réalisent près d'un quart de la production laitière de l'UE-15 (Chatellier *et al.*, 2006). Bien que situées dans une même zone sous influence océanique, elles présentent une grande diversité de milieux et de structures d'exploitation : en Irlande du sud, on produit 10 000 l de lait par hectare avec des systèmes 100 % herbe ; dans la région de Porto, la double culture (maïs et RGI) produit 25 à 30 TMS / ha / an et nourrit 4 à 5 VL / ha. Les échanges entre les cent trente-neuf éleveurs laitiers impliqués dans le projet ont permis de cerner la diversité des pratiques, des contextes économiques et de positionner les atouts et contraintes des exploitations françaises de l'Ouest. Sur le plan environnemental, malgré une gestion plus économe des intrants dans les systèmes laitiers étudiés de l'ouest de la France et des excédents d'azote et de phosphore dans les exploitations parmi les plus faibles du projet (voisins de 100 kg N / ha SAU et 30 kg P₂O₅ / ha SAU), les résultats sur la qualité de l'eau ne sont pas toujours au rendez-vous. La mobilisation des données statistiques régionales (pluviométrie, pression agricole, part des surfaces agricoles et non agricoles...) sous forme cartographique donne des éléments d'explication (Pflimlin *et al.*, 2006). L'analyse des flux d'azote mesurés dans neuf stations expérimentales permet d'affiner la compréhension des processus à l'échelle de l'exploitation. Ainsi, cette étude semble indiquer un fort impact du système fourrager et du milieu sur les pertes vers l'eau. Dans les systèmes de culture fourragère français étudiés, avec des rotations prairies/cultures, les pertes d'azote varient fortement avec le drainage annuel. Elles se situent entre 30 et 60 kg N / ha SAU / an en moyenne pour des excédents voisins de 100 kg N / ha SAU / an. En revanche, les systèmes herbagers intensifs du nord, basés sur des prairies de longue durée, ont des pertes d'azote nitrique trois fois plus faibles, comprises entre 10 et 30 kg N / ha / an pour des excédents de bilan allant de 120 à 270 kg N / ha SAU / an. Ces résultats, couplés à ceux de la bibliographie, confirment la nécessité de prendre en compte non seulement les pratiques annuelles mais aussi la nature du système fourrager et les conditions de milieux pour évaluer un niveau de risque de lessivage dans les exploitations laitières.

Nitrogen fluxes in intensive dairy farms of the west Atlantic coast: diagnosis, improvements and level of losses. Main results from the Green Dairy European project

CHAMBAUT H. (1, 3), RAISON C. (2, 3), LE GALL A. (2, 3), PFLIMLIN A. (4)

(1) Institut de l'Elevage, B.P. 70510, 49105 Angers Cedex 02

SUMMARY – The eleven regions implicated in the Green Dairy European project produce about a quarter of the milk produced by the UE-15 (Chatellier *et al.* 2006). They share the same oceanic climate but with differences in soil and climate conditions and size of farms : in the Republic of Ireland, 10,000 l of milk per ha of grassland systems are produced; in the region of Porto, 4 to 5 cows can feed per hectare tank on the double crop (maize and RGI produce 25 to 30 TDM/ha in total). Exchanges between the 139 farmers implicated in the project have shown the diversity of practices and economics conditions. From an environmental point of view, French farmers implicated have the lowest nitrogen and phosphorus surplus at the farm scale (around 100 kg N/ha AA and 30 kg P₂O₅/ ha AA) but water pollution is still a great problem in these intensive areas. Collecting regional statistical data on climate and land use can help to better understand the link between milk production and water quality at the watershed basin scale (Pflimlin *et al.*, 2006). Measurements on nitrogen fluxes on nine experimental farms seem to show a strong impact of dairy fodder systems and natural conditions on leaching. In French experimental sites where annual crops are in rotation with grassland, from 30 to 60 kg N/ha AA are lost in water drainage with high variations between years due to different annual rainfalls. But in the intensive grassland system of the UK and Republic of Ireland, based on long term grassland systems, only 10 to 30 kg N/ha are lost whereas nitrogen excess at the farm scale is much higher (120 to 270 kg N/ha). These results as well as those in the literature, confirm the need to integrate the type of fodder system and natural conditions to evaluate a risk of nitrogen leaching in dairy farms.

INTRODUCTION

Cet article présente les principaux résultats sur les flux d'azote obtenus dans le cadre du projet européen *Green Dairy*. L'objectif était de former un réseau d'échanges permettant de mieux comprendre l'impact de la production laitière intensive sur l'environnement dans une même zone géographique européenne sous influence océanique. Pendant trois ans, cent trente-neuf éleveurs et une cinquantaine d'ingénieurs et chercheurs de onze régions (carte 1) ont travaillé ensemble pour quantifier différents impacts environnementaux. Les pertes d'azote vers l'air et l'eau, l'accumulation de phosphore dans les sols, les consommations d'énergie et de produits phytosanitaires nécessaires pour produire le lait ont ainsi été évaluées.

Carte 1 : Régions impliquées par le projet *Green Dairy*



1. MATERIEL ET METHODES

1.1. OBSERVATIONS EN FERMES PILOTES

Quinze à vingt fermes laitières pilotes intensives par région ont été choisies (tableau 1) et suivies pendant trois ans. Il s'agissait tout d'abord de calculer les excédents d'azote (Simon *et al.*, 1992) et de les analyser au regard des pratiques et du contexte de production de chaque exploitation. A l'issue de cette phase de diagnostic, les éleveurs ont identifié et mis en application un projet d'amélioration. Dans les Iles Britanniques et en France, les structures étudiées (SAU, quota) sont plus importantes que les moyennes régionales et leurs critères de productivité de 3 à 30 % supérieurs (chargement, lait / VL et / ha). Dans le Sud, les écarts sont encore plus forts : la production laitière annuelle est trois fois plus importante dans les fermes pilotes du fait de la surface et des performances laitières (+ 40 % de lait par vache, + 46 à 72 % de lait par ha).

Tableau 1 : Caractéristiques structurelles moyennes des fermes pilotes *Green Dairy* (comparaison aux statistiques régionales)

	Iles Britanniques ¹⁾	France ²⁾	Contreforts pyrénéens ³⁾	Nord Portugal
	GD région	GD région	GD région	GD région
SAU	112 (87)	69 (57)	45 (18)	22 (8)
Quota*	816 (530)	352 (248)	784 (172)	712 (177)
% SFP/SAU	97 (92)	68 (70)	100 (97)	100 (92)
Lait/VL/an*	6,5 (6)	7,2 (6,4)	8,7 (6,1)	8,7 (6,3)
Lait/SFP*	8,6 (6,7)	8,3 (6,4)	17,6 (10,2)	34,8 (23,8)

(¹⁾ Moyenne des statistiques régionales (1999-2003), Chatellier V., 2003

²⁾ Ecosse, République d'Irlande, Angleterre sud-ouest, ³⁾ Bretagne, Pays de la Loire, Aquitaine, ³⁾ Galice, Pays Basque espagnol

* pour 100 kg de lait stat. régionales et pour 1 000 l vendu dans les réseaux *Green Dairy* (G.D.)

Au démarrage de l'action, les éleveurs, tous volontaires, ont des gestions plus ou moins économes des intrants selon les régions. Ceci s'explique par l'environnement technico-économique agricole, la pression sociétale locale sur les questions de pollution et l'implication ou non des éleveurs dans des réseaux de conseil.

1.2. MESURES EN FERMES EXPERIMENTALES

Quatorze systèmes complets intégrant le troupeau, les surfaces fourragères et les cultures de vente ont été étudiés sur neuf sites expérimentaux couvrant ainsi une grande diversité de systèmes et de milieux (tableau 2). Il s'agissait de préciser le devenir de l'excédent dans l'environnement et de faire le lien avec les indicateurs de pratiques, le système fourrager, et les conditions pédo-climatiques.

Tableau 2 : Systèmes étudiés en fermes expérimentales

Site	prairie SAU %	UGB / ha SFP	Lait / ha SAU (en kg)	Pluie mm / an sur 20 ans	%		Appréciation du lessivage
					Argile	MO	
Hillsbor.	100	2,8	12 180	892	27	10	Piézomètres
Solohead	100	2,2	11 500	995	42	17	Piézomètres Drains
Ty Gwyn	100	1,5	6 555	1 202	30	9	Bougies p.
Mabegon.	95	1,8	7 165	1 038	17	5	Reliquats
Trevarez	62	1,5	5 933	1 263	25	7	Reliquats
Derval	53	1,4	7 150	774	24	3	Reliquats
Ognoas	29	2,2	4 079	932	10	1	Drains
Béhi Alde	88	3,7	23 307	1 335	33	10	-

L'appréciation des flux d'azote s'est faite de façon similaire entre les sites par pesées et analyses des teneurs des différents produits circulant dans l'exploitation. Les pertes d'azote vers l'air ont été calculées en appliquant des coefficients d'émission issus de la bibliographie sur ces flux (Bossuet *et al.*, 2006) dont les principales sources sont reportées tableau 3.

Tableau 3 : Facteurs d'émissions gazeuses utilisés

Gaz émis	Sources bibliographiques (les segments concernés)
NH ₃	EMEP-CORINAIR, 2001 (bâtiment, stockage, épandage fumiers et engrais minéraux), IPCC.97 (pâturage), Morvan et Leterme 2001 (épandage lisier)
N ₂	EMEP-CORINAIR, 2001 (bâtiment, stockage), Webb, 2001 (pâturage et épandages), Payraudeau <i>et al.</i> , 2005 (fixation)
N ₂ O	Revue bibliographique, Hacala <i>et al.</i> , 2006
NO	Skiba <i>et al.</i> , 1997 et Payraudeau <i>et al.</i> , 2005

L'estimation des pertes d'azote par lessivage a été effectuée selon des mesures adaptées aux conditions pédo-climatiques des sites (tableau 2). L'azote a été soit mesuré dans les sols (suivi de reliquats d'azote minéral dans les sols en automne / hiver et modélisation de son transfert par Lixim) soit directement mesuré dans l'eau de bougies poreuses, des drains ou de piézomètres de surface répartis dans les parcelles. Les volumes d'eaux drainées ont été mesurés par des lysimètres à Ognoas et Ty Gwyn et calculés par bilan hydrique sur les autres sites.

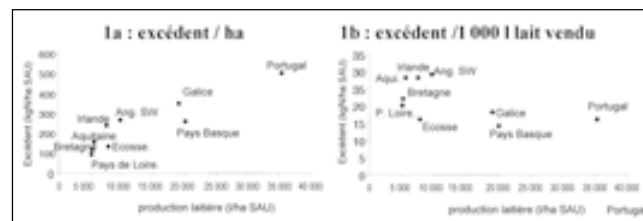
2. RESULTATS

2.1. FLUX DE MINERAUX DANS LES FERMES PILOTES

2.1.1. Excédents d'azote et production laitière

Les cent trente-neuf éleveurs des fermes pilotes produisent du lait de façon très variée et les excédents d'azote varient d'environ 100 kg / ha SAU dans les régions de l'ouest de la France, à 250 kg N / ha SAU dans les systèmes herbagers d'Irlande et d'Angleterre, à plus de 500 kg / ha SAU au Portugal. Les excédents suivent l'intensification des surfaces (figure 1a).

Figure 1 : Excédents d'azote des groupes de fermes pilotes



La hiérarchie entre systèmes de production et région est variable selon les indicateurs de risque recherchés (figure 1b). Ainsi, alors que les systèmes laitiers de l'ouest de la France ont les excédents par unité de surface parmi les plus faibles du projet, ce sont les systèmes les plus productifs du Sud qui ont le meilleur résultat ramené au litre de lait vendu.

2.1.2. Optimisation des flux

Les axes de travail pour l'optimisation des pratiques dépendent des principaux flux d'entrée.

En Irlande, les systèmes laitiers sont basés sur le pâturage et consomment peu de concentrés. Néanmoins, les chargements, supérieurs à 2 UGB / ha, conduisent les éleveurs à utiliser de fortes doses d'engrais minéral. Les excédents moyens voisins de 240 kg N / ha SAU peuvent être fortement réduits par l'introduction de trèfle dans les prairies accompagnée d'un meilleur recyclage des engrais de ferme (Raison *et al.*, 2006). Dans les Pays de la Loire et en Bretagne, les éleveurs étaient déjà engagés dans une démarche d'optimisation de leur système ce qui leur permet d'afficher des bilans inférieurs à 100 kg N / ha, et un rendement (sorties / entrées) d'azote sur la ferme de 40 %. Dans les fermes pilotes très intensives de la Corniche cantabrique, la productivité dépasse 20 000 l lait / ha et les excédents 350 kg / ha. Les entrées d'azote par les aliments concentrés représentent 60 % des entrées. Une réduction des achats d'engrais minéraux (aujourd'hui de 200 kg N / ha SAU et plus de 50 kg P₂O₅ / ha) est envisageable mais se heurte souvent à la nécessité d'accroître les capacités de stockage des déjections.

Au final, sur la période du projet, on observe une réduction des excédents liée à une baisse de la fertilisation minérale, dans les régions où ils étaient les plus forts (tableau 4). Il aurait été possible de progresser davantage sur une période plus longue.

Tableau 4 : Réduction des excédents dans les fermes pilotes

	Azote		Phosphore	
	Excédent initial (kg N/ha SAU)	Réduction obtenue (%)	Excédent initial (kg P ₂ O ₅ /ha SAU)	Réduction obtenue (%)
Irlande	269	- 15	30	0
Angleterre SO	234	- 26	38	0
Aquitaine	147	- 13	54	- 30
Galice	106	0	80	0
Portugal	224	- 27	77	- 26

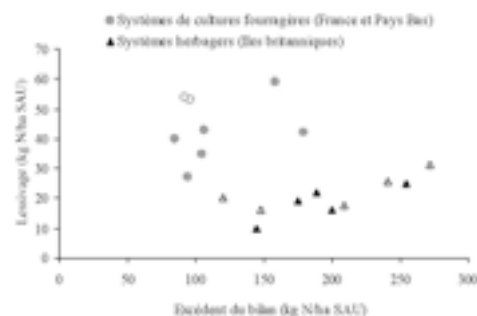
2.2 PERTES D'AZOTE VERS L'ENVIRONNEMENT

2.2.1. Pertes vers l'eau

Les systèmes bovins étudiés en fermes expérimentales ont des excédents compris entre 95 et 240 kg N / ha SAU. Les mesures de reliquats azotés nitrique et ammoniacal moyens dans les sols avant drainage sont comprises entre 20 et 370 kg N / ha / an. Afin d'approcher le risque pour l'eau, la balance agronomique moyenne du système a été mise en relation avec le niveau de reliquat d'azote minéral moyen dans les sols début drainage, donnant des comportements contrastés entre familles de systèmes. Les systèmes herbagers des Iles Britanniques présentent des reliquats voisins de 50 kg N / ha pour des balances agronomiques très variables. Inversement, les systèmes de culture fourragère français ont des reliquats azotés qui varient dans un rapport de 1 à 4 pour des balances assez voisines (Bossuet *et al.*, 2006). Dans ces conditions, les flux d'azote lessivés estimés sont de 10 et 30 kg N / ha en systèmes herbagers et varient entre 10 et 65 kg N / ha dans les systèmes de cultures fourragères. En intégrant des résultats antérieurs, disponibles sur certains sites, il est possible d'obtenir un chiffre moyen qui pondère l'effet climatique annuel (déficit hydrique important sur l'une des deux années d'étude *Green*

Dairy, Bossuet *et al.*, 2006) sans modifier la tendance observée. Le positionnement de ces résultats parmi les essais menés dans d'autres régions (Pays-Bas, Nouvelle-Zélande...) confirme cette tendance (figure 2).

Figure 2 : Relation entre excédent et lessivage différent selon le système fourrager



(Les triangles et cercles blanc représentent les fermes expérimentales suivies dans el projet Green Dairy).

2.2.2. Pertes vers l'air

Les émissions d'azote estimées par voie gazeuse, toutes formes confondues, représentent de 40 à 113 kg N / ha / an pour les systèmes étudiés soit de 4,7 à 7,4 kg N / 1 000 l lait (tableau 5). Cette évaluation n'intègre pas les émissions gazeuses provenant du milieu naturel (dénitrification des sols). Les émissions chiffrées sont davantage liées à la production laitière par hectare qu'à celle de l'animal et sont donc bien reliées à l'excédent du bilan apparent de l'azote.

Tableau 5 : Pertes vers l'air dans les fermes expérimentales

Site	Lait (t/VL)	Rejet* (kg N/VL)	UGB/ha SAU	Emissions de NH ₃ , N ₂ , N ₂ O, NO	
				kg N/ha	kg N/ 1 000 l lait
Hillsborough	5,6	120	2,8	92	7,3
Solohead	6,5	129	2,2	88	7,4
Ty Gwyn	6,1	132	1,5	43	6,4
Mabegondo	7,4	98	1,8	37	5,1
Trévarez	6,6	110	1,4	40	6,5
Derval	8,3	132	1,2	46	6,2
Ognoas	7,7	115	1	31	7,3
Behi Alde	9,9	132	3,7	113	4,7

*Bilan à l'animal avant déduction des pertes d'azote vers l'air

Les pertes d'azote ammoniacal sont la principale forme d'azote émis (60 % des émissions vers l'air en moyenne), suivies du dioxyde d'azote, gaz inoffensif. Les émissions de protoxyde d'azote anthropiques sont nettement plus faibles (entre 2 et 11). Toutefois, il convient d'indiquer les incertitudes qui entourent ces valeurs : autour de 15% pour N-NH₃ et de 30 % pour N-N₂O (Payraudeau in Bossuet *et al.*, 2006).

3. DISCUSSION

Cette étude menée sur l'Espace atlantique ouest de l'Europe montre la grande variabilité des excédents d'azote dans les exploitations laitières intensives des régions étudiées avec une tendance à leur accroissement avec celle de la productivité laitière à l'hectare, résultats conformes aux études antérieures. Cependant, la lecture des performances environnementales des élevages est fortement influencée par le critère choisi. Ainsi, les structures très productives du Sud ont souvent de bons résultats exprimés au litre de produit alors que les exploitations françaises ont de meilleurs résultats exprimés par unité de surface. Ces éléments peuvent

paraître parfois s’opposer selon que l’on recherche la fonction productive de l’agriculture vouée à nourrir une population mondiale grandissante alors que les surfaces disponibles agricoles se réduisent, ou au contraire, sa fonction de gestion d’un territoire (préservation de la ressource en eau, patrimoine paysager, tissu social...)

Le travail mené en fermes expérimentales a mis en évidence deux situations contrastées. D’une part, les systèmes herbagers intensifs de prairies de longue durée, qui lessivent entre 10 et 30 kg N / ha SAU, malgré un excédent d’azote important. D’autre part, les systèmes basés sur les cultures fourragères en France dans des sols limono-sableux, plus sensibles au lessivage où 30 à 60 % de l’excédent d’azote est lessivé soit 30 à 50 kg N / ha pour un excédent deux fois moindre. Ces écarts pourraient provenir de la combinaison des effets systèmes et conditions climatiques. Les systèmes herbagers, basés sur de la prairie de longue durée organisent sans doute davantage d’azote comme l’indique la teneur en matière organique élevée des sols. Inversement, les rotations de culture fourragère avec retournement de prairie stimulent la minéralisation de l’azote et, avec le changement d’état des couverts, celui-ci n’est pas toujours suffisant développé pour capter l’azote disponible. D’autre part, dans les Iles Britanniques, les conditions climatiques sont plus favorables à la pousse de l’herbe et ces différences ont été exacerbées durant l’étude avec un déficit hydrique estival marqué sur les trois sites français. Il est également probable que les conditions pédo-climatiques soient plus favorables à la dénitrification dans les fermes herbagères (sols plus lourds, pluviométrie bien répartie sur l’année ...) et que ce départ d’azote ait insuffisamment été chiffré par les modèles utilisés pour estimer les pertes d’azote vers l’air. En effet, le chiffrage total des pertes d’azote vers l’air et l’eau obtenu comparé à l’excédent moyen annuel du bilan d’exploitation fait apparaître des différences parfois importantes. Ainsi, les pertes d’azote chiffrées vers l’air et l’eau sont au total nettement inférieures à l’excédent du bilan dans les systèmes herbagers intensifs (tableau 6). Au contraire, dans les systèmes de cultures fourragères étudiés, la situation semble plus équilibrée en moyenne. Cependant, l’excédent du bilan peut être inférieur aux pertes vers l’air et l’eau d’une année. Les systèmes étudiés se situent probablement dans une situation de minéralisation nette de l’azote qui peut-être liée à l’inertie du milieu et aux pratiques antérieures.

Tableau 6 : Relations entre les indicateurs de pratiques et les pertes

Site	Rejet/VL kg N/an après pertes vers l’air	Pression kg N orga+miné/ ha SAU	Excéd. bilan kg N/ha	Lessiv. kg N/ha	Emissions gazeuses kg N/ha
Hillsborough.	109	503	241	22	92
Solohead	117	452	209	17	88
Ty Gwyn	120	155	97	17	43
Mabegondo	89	162	135	33	37
Trévarez	100	226	102	63	40
Derval	120	177	95	37	46
Ognoas	105	224	96	8	31

CONCLUSION

Un travail à l’échelle européenne dans une même zone pédo-climatique sous influence océanique et selon une méthodologie commune, croisant les fermes commerciales, les stations expérimentales et le traitement de statistiques régionales, permet de mieux comprendre les déterminants de la production laitière et de situer son impact sur l’environnement. Des marges de progrès dans les fermes parfois importantes doivent permettre de réaliser des économies sur les intrants et de limiter les pertes de minéraux vers l’environnement. Une analyse environnementale élargie aux aspects phytosanitaires et de consommations d’énergie fossile a également pu être menée durant le projet. Elle semble conforter les atouts des systèmes herbagers intensifs du nord des Iles Britanniques basés sur des prairies de longue durée (moindre surfaces traitées par des produits phytosanitaires, quantités de fuel utilisées plus faibles). Des études approfondies sur le devenir de l’azote excédentaire, et notamment sur les formes gazeuses émises sont cependant nécessaires pour s’assurer de la durabilité de ces systèmes d’un point de vue environnemental.

Remerciements aux partenaires du projet en France, les Chambres d’Agriculture de Bretagne, Pays de la Loire, Aquitaine et aux experts de l’INRA et de l’IFEN ainsi qu’aux nombreux partenaires européen : Teagasc, ARINI, SAC, IGER, Neiker, CIAM, UTAD.

Chatellier V., Pflimlin A., 2006. Rapport de synthèse Rennes *Green Dairy*, p13-27

EMEP-CORINAIR, 2001. *Emission Inventory Guidebook – Third Ed., chap. 10. European Environment Agency.* Copenhagen, Denmark

Bossuet I, Chambaut H., Le Gall A, Raison C., 2006. Rapport de synthèse Rennes *Green Dairy*, p 69–98.

Hacala S, réseaux d’élevage, Le Gall A., 2006. Fourrages, 186 , 215-227

IPCC, 1997. *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Chapter 4. The Intergovernmental Panel on Climate Change.* Paris, France. 140 p.

Morvan T., Leterme P., 2001. Vers une précision opérationnelle des flux d’azote résultant de l’épandage de lisier. *Ingénieries.* 26, 17-26

Payraudeau S., Van der Werf H.M.G., Vertès F., 2006, *Agric. Syst.*

Payraudeau S., Van Der Werf H.M.G., Vertes F., 2005. *Int. J. Agricultural Resources, Gouvernance and ecology, Vol5 Nos 2/3, 224-245*

Pflimlin A., Irle A., Mirabal Y., 2006. Rapport de synthèse Rennes *Green Dairy*, p 99–121

Raison C., Pflimlin A., Le Gall A. 2006. Rapport de synthèse Rennes *Green Dairy*, p 45–67

Simon J.C., Le Corre L., 1992. Fourrages, 129, 79-94

Skiba U., Fowler D., Smith K.A., 1997. *Nutrient Cycling in Agroecosystems.* 48, 139-153

Webb J., 2001. *Environmental Pollution,* 111, 395-406