

AIPRESHUME - Atlas Interactif des Pressions Humaines

Marie Silvestre^{1*} et Gilles Billen²

¹ UMR Sisyphé 7619, UPMC-CNRS, Paris, France, marie.silvestre@ccr.jussieu.fr

² UMR Sisyphé 7619, UPMC-CNRS, Paris, France

**personne à contacter*

1. Présentation de l'application	1
1.1. Données	1
1.2. Technologies utilisées	2
1.3. Fonctionnalités	2
1.3.1 Outils classiques	2
1.3.2 Interrogation des couches	2
1.3.3 Cartographie thématique	3
1.3.4 Bilans d'azote.....	4
2. Évolutions à venir.....	5
3. Quelques exemples d'utilisation de AIPresHume	6
3.1. Caractérisation du bassin en amont d'un point de prélèvement	6
3.2. Exportation d'azote et apports anthropiques nets au bassin versant.....	6
3.3. Bilan de N ₂ O à l'échelle du bassin	7
4. Bibliographie	8

1. Présentation de l'application

L'application AIPresHume a été initialement conçue pour la consultation simple, interactive et rapide des bases de données du PIREN Seine ayant trait aux pressions anthropiques. Deux manières de consulter la base de données ont été prévues : la possibilité de générer des cartes thématiques à la volée ainsi que la création de tableaux récapitulatifs. Par la suite, de nouvelles fonctionnalités ont été ajoutées à l'application : le calcul de bilans d'azote simplifiés et de rapports de production d'azote sur la consommation d'azote (rapport P/R). La réalisation de bilans de N₂O et de CH₄ seront prochainement intégrés à l'application.

1.1. Données

Pour que l'application soit complètement fonctionnelle, il est nécessaire de réunir un important jeu de données sur le territoire étudié. Les données utilisées par l'application sont très diverses et se présentent sous deux formats différents : des données purement géographiques au format SIG et des données qui caractérisent les objets géographiques, données dites attributaires.

Parmi les données attributaires, on trouve des données de recensement de population, agricole, etc., des données directement liées à la géographie des objets telles que la longueur des cours d'eau, la superficie des bassins, etc. ainsi que toute les données de toponymie.

Parmi les données géographiques, on trouve les limites administratives, les limites de bassins versants élémentaires, le réseau hydrographique, l'occupation du sol, l'hydrogéologie et d'autres données telles des limites de régions agricoles.

En plus du jeu de données minimum nécessaire au fonctionnement de l'application, il est possible d'intégrer d'autres données géographiques, créées par l'utilisateur, comme par exemple un ensemble de points GPS.

Afin de minimiser le volume de données à fournir à l'application, un maximum de calculs sont effectués à la première utilisation ou à la volée à chaque utilisation. Ainsi, par exemple, les données de

recensement de la population sont fournies à l'application au niveau des communes et c'est l'application qui calcule à la volée la population pour les autres niveaux d'agrégation (départements, cantons, etc.) et pour les bassins élémentaires grâce aux rapports des superficies.

Le choix a également été fait de conserver les données à leur niveau de précision d'origine. Ceci permet de minimiser les traitements préalables à l'utilisation de l'application, le "format AIPresHume" étant relativement proche de celui d'origine. Cependant, ce choix complexifie quelque peu les requêtes et les calculs.

Les données de la base correspondent à une année de référence, dépendant fortement de la disponibilité des données. Dans le cas du jeu de données Seine actuellement disponible, il s'agit de l'année 2000.

1.2. Technologies utilisées

AIPresHume est développé avec le langage de programmation Visual Basic 6 et la librairie MapObjects 2.1. L'application tourne donc sous Windows. Cependant, des soucis de compatibilité avec le nouveau système d'exploitation de Microsoft, Windows Vista, remettent en cause le langage de programmation utilisé, et une réflexion est en cours à ce sujet.

Les données géographiques utilisées pour AIPresHume sont stockées au format shapefile (.shp), l'un des formats les plus utilisés en SIG. Les données attributaires sont stockées dans une base de données MS Access. La base de données n'est pas verrouillée, les utilisateurs peuvent donc y faire des modifications, notamment en ce qui concerne les paramètres utilisés dans les calculs de bilans d'azote.

1.3. Fonctionnalités

AIPresHume propose plusieurs grands types de fonctionnalités : une série d'outils classiques pour la consultation de données géographiques, un outil d'interrogation des couches permettant d'agréger un certain nombre d'informations sur une zone sélectionnée, un outil de cartographie thématique et un outil de calcul de bilans d'azote.

1.3.1 Outils classiques

Ces outils sont indispensables pour la consultation de données géographiques, il s'agit du zoom, de l'affichage d'étiquettes, la recherche dans une table attributaire, l'affichage ou non d'une couche. AIPresHume permet en outre d'importer des couches géographiques qui ne sont pas présentes dans le jeu de données initial.

1.3.2 Interrogation des couches

La fonctionnalité d'interrogation des couches permet, à partir d'une zone géographique sélectionnée de manière interactive par l'utilisateur, d'obtenir un ensemble d'informations sur :

- la superficie,
- la population totale ainsi que la population rurale,
- l'occupation du sol détaillée sur une dizaine de classes,
- l'hydrogéologie détaillée sur une dizaine de classes,
- des informations générales sur l'agriculture : SAU, surface drainée, irrigable, nombre d'UGB azote,
- la répartition des surfaces cultivées sur une trentaine de classes,
- la répartition du cheptel sur une vingtaine de classes et le total d'UGB azote de chaque classe.

L'ensemble des résultats de ces interrogations peut être exporté dans un format permettant la réutilisation dans un tableur. Ainsi, par exemple l'export de données d'AIPresHume permet d'obtenir très rapidement, via un tableur, le graphique de la figure 1. Il est alors aisé de comparer des bassins versants au travers de chacune des informations fournies par cette fonctionnalité.

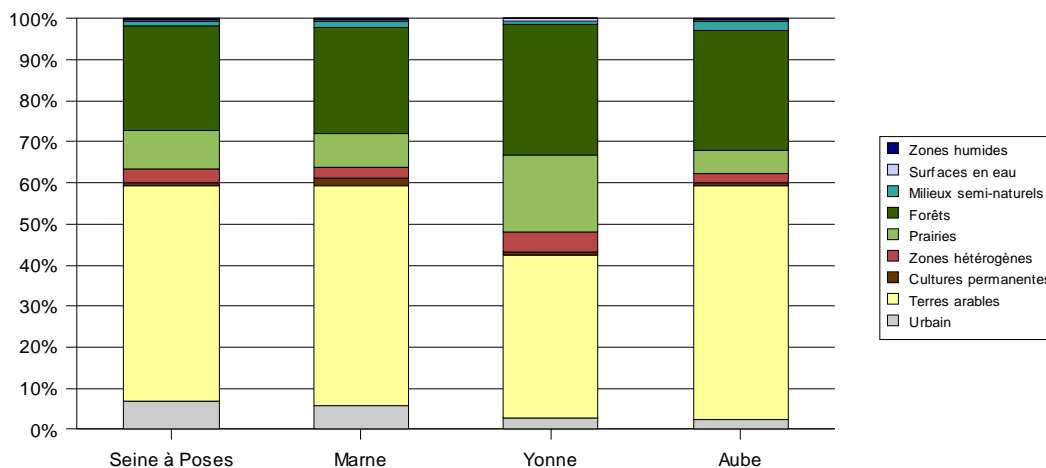


Figure 1 : Occupation du sol comparée sur les bassins de la Seine en amont de Poses, de la Marne, de l'Yonne et de l'Aube (généré par AIPresHume, données utilisées : Corine Land Cover 2000)

1.3.3 Cartographie thématique

AIPresHume permet à l'utilisateur de réaliser des cartographies thématiques en choisissant le niveau spatial d'agrégation ainsi que les classes de représentation. Un certain nombre de thématiques sont prédéfinies par l'application. Il s'agit de :

- la densité de population,
- les capacités de traitement des stations d'épuration,
- la SAU,
- la part d'une culture dans la SAU ou la superficie totale de l'objet géographique (une trentaine de cultures sont disponibles),
- la densité d'UGB azote dans la SAU ou la superficie totale de l'objet géographique (une vingtaine de catégories de cheptel sont disponibles).

Les cartes ainsi produites peuvent être exportées dans un format image pour être ensuite intégrées dans un rapport par exemple.

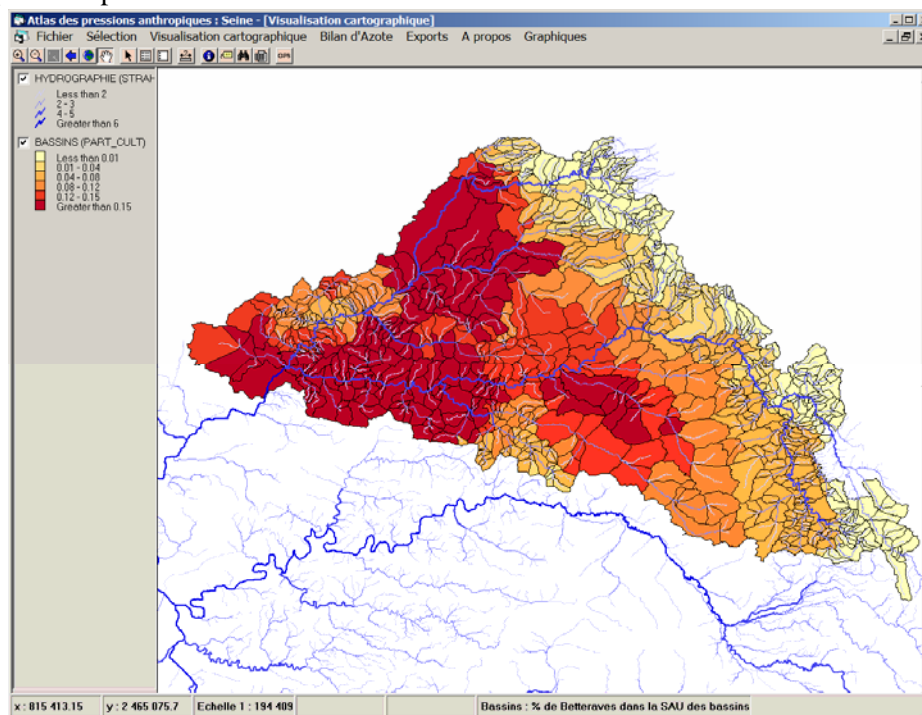


Figure 2 : Exemple de carte AIPresHume – Part de la culture de betteraves dans la SAU des bassins versants élémentaires de l'Oise amont et l'Aisne en 2000

1.3.4 Bilans d'azote

Sur un territoire et un niveau de discrétisation choisi par l'utilisateur, AIPresHume permet de calculer des bilans d'azote par poste.

Les bilans d'azote et les rapports P/R sont calculés à partir des données de recensement de la population et de recensement agricole ainsi que des données d'occupation du sol et de pratiques agricoles. Un certain nombre de paramètres utilisés dans les calculs sont également stockés dans la base de données et accessibles à l'utilisateur pour modifications éventuelles.

Chaque poste est calculé de la manière suivante :

- **les déjections des êtres humains** : elles se calculent à partir du recensement de la population et d'un coefficient d'azote produit par an et par personne.
- **la production du cheptel** : pour ce poste sont considérés les productions de viande, d'oeufs et de lait. La production de viande est calculée à partir des effectifs, d'un coefficient de production de viande par espèce et d'un coefficient de teneur en azote de la viande. Les productions de lait et d'oeufs sont calculées à partir d'une quantité de lait et d'oeufs produits et des coefficients de teneur en azote.
- **les déjections du cheptel** : elles sont calculées à partir des effectifs du cheptel et d'un coefficient de rejet d'azote dans les déjections, par an et par animal.
- **la production des cultures** : elles sont calculées grâce à la superficie, au rendement annuel et au contenu en azote des produits récoltés de chaque culture, y compris la production estimée des surfaces directement pâturées.
- **la fixation atmosphérique d'azote par les cultures** : elle est calculée à partir des superficies des cultures et d'un coefficient de fixation atmosphérique par unité de surface et par an pour chaque culture.
- **la fertilisation azotée minérale des cultures** : pour ce calcul on utilise les doses moyennes de fertilisation minérale annuelle appliquées sur les cultures et la superficie des cultures. Les doses moyennes sont définies par culture et par région agricole.
- **la fertilisation azotée organique des cultures** : elle est calculée avec les doses moyennes de fertilisation organique annuelle appliquées sur les cultures dans chaque petite région agricole, la part des surfaces épandues pour chaque culture de chaque petite région agricole, les superficies de chaque culture et la part d'azote dans la fertilisation organique.
- **la production de la forêt** : on considère qu'elle est homogène et elle est calculée grâce à la superficie de la forêt, toutes essences confondues, et à un coefficient de production de biomasse azotée par an rapporté à la superficie.
- **la consommation de la forêt** : on considère qu'elle est équivalente à la consommation d'azote, elle est donc calculée de la même manière. L'exportation de bois est donc négligée dans les calculs

L'utilisateur a le choix du ou des postes qu'il souhaite calculer. AIPresHume génère alors la table des résultats et l'utilisateur a la possibilité de les cartographier.

Le rapport P/R (Production / Respiration ou plus exactement Autotrophie / Hétérotrophie) considère la quantité d'azote qui est produite sur celle qui est consommée dans un territoire donné. Ce rapport permet de définir le caractère autotrophe – qui produit plus qu'il ne consomme d'azote – ou hétérotrophe – qui consomme plus qu'il ne produit – de ce territoire (Billen et al., 2007).

La production d'azote correspond à :

- la production des cultures.
- la production de la forêt.

La consommation d'azote correspond à :

- la consommation du cheptel : on considère qu'elle correspond à la production d'azote du cheptel (production de viande, d'oeufs et de lait) et aux déjections.
- la consommation des êtres humains : on considère qu'elle correspond aux déjections.
- La consommation de la forêt.

Les résultats sont visualisables sous forme de cartes ou de tableau. Voici ci-dessous un exemple de carte générée par AIPresHume. On y distingue nettement les zones fortement autotrophes en vert et les zones hétérotrophes en rouge du bassin de la Seine.

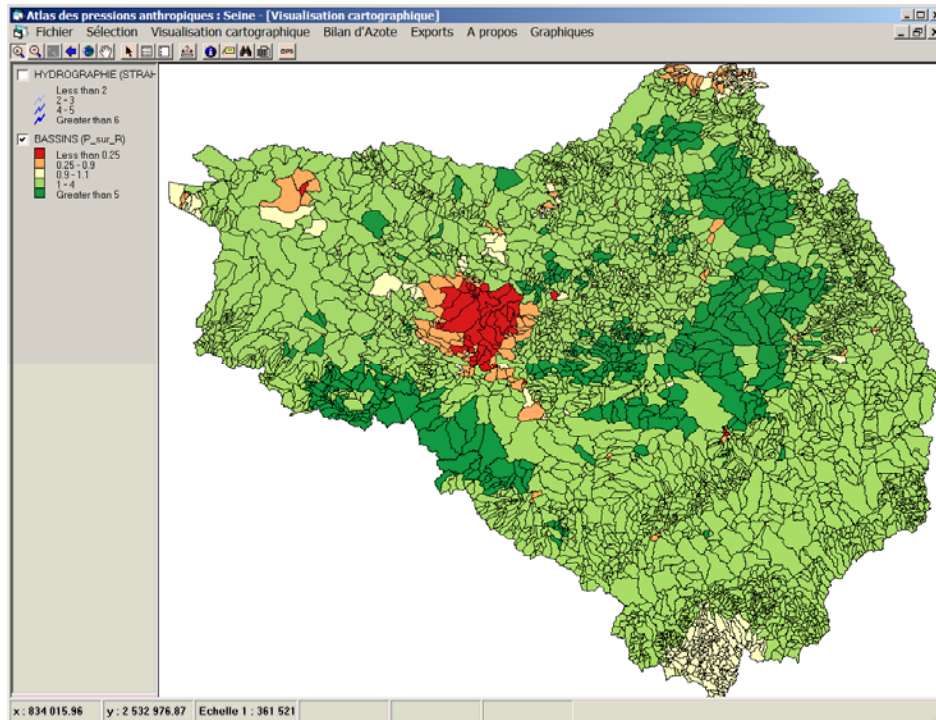


Figure 3 : Exemple de carte AIPresHume, rapport P/R sur le bassin de la Seine en 2000

2. Évolutions à venir

AIPresHume est actuellement en évolution constante. En plus de la réflexion qui est actuellement en cours au sujet du langage de programmation utilisé, de nombreuses nouvelles fonctionnalités et améliorations seront au menu de la prochaine version. Voici quelques unes des nouveautés prévues.

Des bilans de N_2O et de CH_4 vont venir enrichir l'application. Ces bilans se baseront sur l'occupation du sol ainsi que sur les effectifs du cheptel. Il sera possible d'établir des cartes d'émissions de ces gaz sur le territoire choisi.

Un poste de dépôt atmosphérique des nitrates sera rajouté aux calculs de bilan d'azote. Les données, pour le bassin de la Seine, se baseront sur les données de l'EMEP (Co-operative programme for monitoring and evaluation of long range transmission of air pollutants in Europe).

Le jeu de données de base de AIPresHume va s'enrichir d'une nouvelle couche d'information géographique sur les sols. Les informations sur la répartition spatiale des types de sols seront disponibles via l'outil d'interrogation des couches.

Dans une prochaine version de AIPresHume il sera possible d'importer une couche puis de calculer la répartition de cette couche sur une zone sélectionnée par l'utilisateur.

L'ajout de graphiques est prévu, ils permettront de visualiser rapidement les résultats de calculs effectués par AIPresHume. Ainsi par exemple, lors d'un calcul de bilan d'azote, il sera possible de visualiser sur un diagramme la contribution des différents postes (population, cheptel, cultures, etc.) au bilan total.

La gestion de données pluriannuelles est en cours de réflexion. Ceci permettrait notamment de réaliser des cartes d'évolutions. Le principal souci étant la disponibilité de l'ensemble des données pour différentes années.

3. Quelques exemples d'utilisation de AIPresHume

3.1. Caractérisation du bassin en amont d'un point de prélèvement

Des campagnes du type « snap-shots » sont régulièrement organisées pour appréhender la qualité de l'eau à l'échelle du bassin hydrographique. Ces campagnes sont réalisées à environ 70-80 stations réparties dans les sous-bassins des ordres 1 aux ordres 6-7 dans des conditions météorologiques et hydrologiques stables (bas débit, haut débit, par exemple). Comme les variables de qualité (MES, N, P, Si,...) de l'eau mesurées en ces stations sont le reflet des caractéristiques géomorphologiques et anthropiques, il est évidemment intéressant de caractériser finement les bassins en amont de chacune des stations. De telles campagnes, effectuées dès 1991 pour comprendre la dynamique du développement phytoplanctonique dans un réseau hydrographique, ont été renouvelées en 2006-2007, mais avec l'utilisation d'un GPS, ce qui permet de retrouver facilement la station d'une campagne à l'autre. Le logiciel AIPreshume a été conçu pour permettre de fournir, moyennant la saisie des coordonnées géographiques des points de prélèvements, toutes les informations contenues dans la base de données associée, relatives au bassin versant situé en en amont (ordre de la rivière, population, occupation des sols, lithologie, etc.). Ces caractéristiques peuvent alors être utilisées comme variables explicatives des résultats d'analyse effectuées sur l'eau ou le sédiment du point de prélèvement.

3.2. Exportation d'azote et apports anthropiques nets au bassin versant

L'accroissement considérable des quantités d'azote réactif mises en circulation dans la biosphère est actuellement un sujet d'inquiétude grandissante. A l'échelle mondiale, la fixation anthropique d'azote atmosphérique par l'industrie des engrais, par les combustions à haute température (moteurs à explosion, génération thermique d'électricité) et par la culture des légumineuses, a conduit à doubler le taux naturel de fixation d'azote réactif, conduisant à une perturbation majeure du cycle de l'azote mondial, qui se traduit par un très large spectre de dysfonctionnements environnementaux : contamination nitrique des eaux superficielles et souterraines, eutrophisation marine, pollution atmosphérique par les oxydes d'azote et l'ammoniac, pluies acides et retombées azotées conduisant à une perte de diversité des espaces naturels,...etc (Galloway et al.,1995, 2002). Pour étudier localement ces perturbations du cycle de l'azote, il est utile de quantifier les apports nets d'azote d'origine humaine dans un territoire donné (un bassin versant par exemple). Le NANI (Net Anthropogenic Nitrogen Input) est ainsi défini comme la somme des apports d'azote par la fixation d'azote atmosphérique par les cultures, par le dépôt atmosphérique de nitrate (le dépôt d'azote ammoniacal résulte le plus souvent du transport à faible distance d'ammoniac émis localement), par l'épandage d'engrais azotés inorganiques, par le bilan des importations et exportations de produits alimentaires pour l'homme et le bétail (ce qui revient à comparer la production agricole locale avec les besoins nutritionnels de la population humaine locale et du cheptel). Howarth et al (1996) et Boyer et

al ; (2002) ont montré sur une série de bassins versants américains que l'exportation d'azote par les rivières est étroitement liée au NANI dans leur bassin versant.

Pour tester l'applicabilité de cette relation au bassin de la Seine, nous avons calculé le NANI d'une série de sous-bassins à l'aide du logiciel AIPrésHume. Les bassins sélectionnés sont ceux pour lesquels existent des données de qualité d'eau et de débit permettant d'évaluer par ailleurs l'exportation hydrique d'azote à l'exutoire. Cette analyse permet de montrer (Figure 4) que les rivières n'exportent à l'exutoire qu'une fraction, comprise entre 10 et 50% des apports anthropogéniques d'azote au bassin versant. La rétention apparente d'azote est d'autant plus forte que le débit spécifique est important.

Cette approche est le point de départ d'une recherche, actuellement en cours dans un cadre international, sur le devenir de l'azote anthropogénique dans les territoires régionaux.

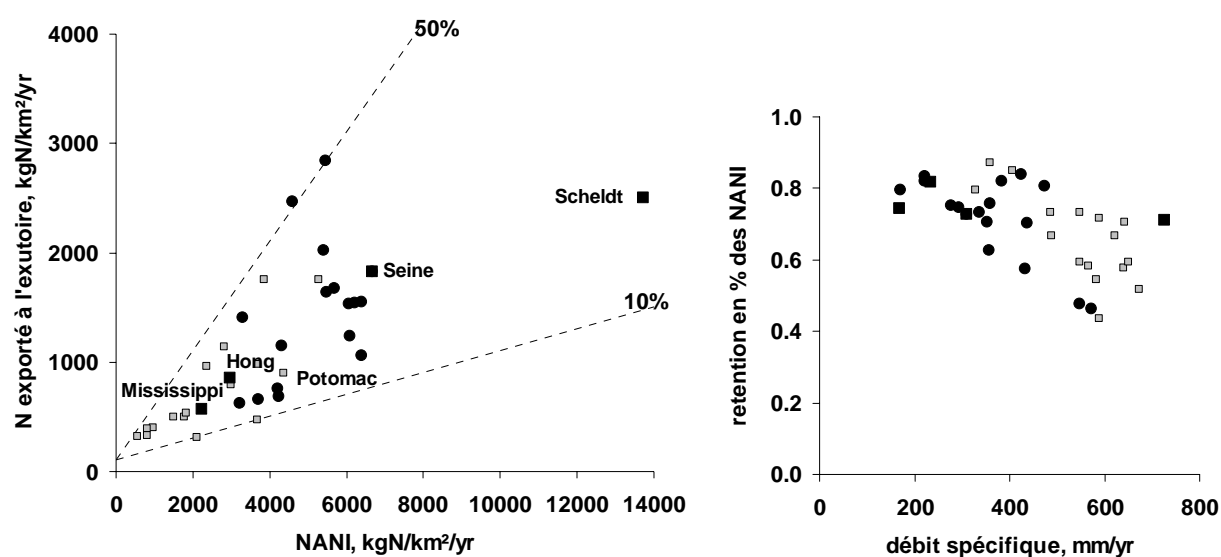


Figure 4 : Relation observée pour une série de rivières entre la quantité d'azote exportée annuellement à l'exutoire et les apports nets d'azote anthropogéniques à leur bassin versant. (cercles noirs : sous-bassins emboîtés de la Seine ; carrés gris, bassins de la côte Est des Etats Unis (Boyer et al, 2002)). Panneau de droite : Taux apparent de rétention totale d'azote dans le bassin versant en fonction du débit spécifique pour les mêmes bassins.

3.3. Bilan de N₂O à l'échelle du bassin

Les campagnes snap-shots réalisées en 2006-2007 étaient tout particulièrement conçues pour comprendre les variations spatiales et saisonnières de la dénitrification et des émissions de N₂O. On a ainsi montré par exemple que les formes de l'azote inorganique (NO₃, NO₂, NH₄) et du N₂O dissous dans l'eau varient en fonction du pourcentage de terres arables (Figure 5): les concentrations en nitrate (NO₃) et en oxyde nitreux (N₂O) augmentent clairement, mais plus en hiver pour le NO₃ alors que l'augmentation est plus visible en été pour le N₂O. Schématiquement ici, c'est en effet en hiver que les fertilisants sont les plus lessivés et d'autant plus que les surfaces agricoles dominent, alors que la production du N₂O qui dépend de processus microbiologiques, avec une forte dépendance à la température, est plus élevée en été.

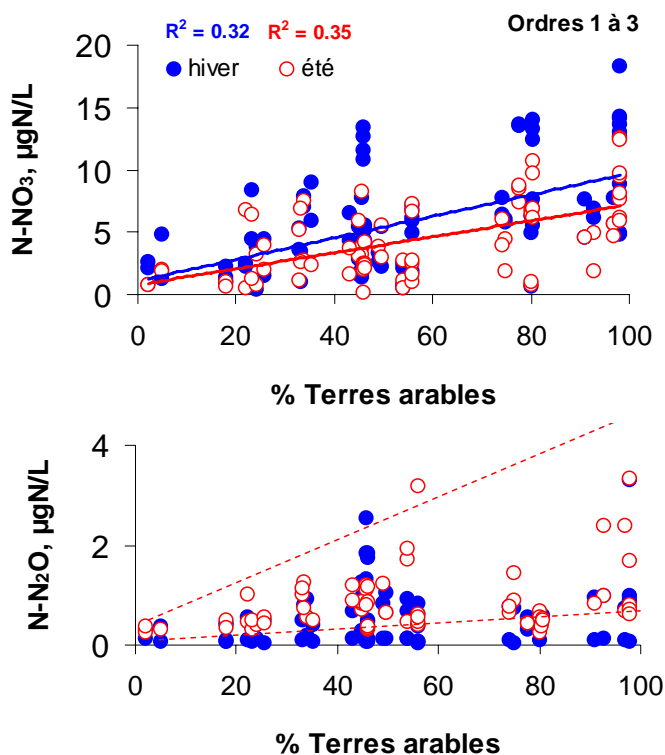


Figure 5 : Variations des concentrations en nitrate (NO₃) et en oxide nitreux (N₂O) en fonction du pourcentage de terres arables en amont des stations de prélèvement en hiver et en été (année 2007).

Par ailleurs, nous avons montré que les émissions de N₂O dans le bassin de la Seine sont plus importantes dans le bassin que dans le réseau hydrographique (Garnier et al., 2006). Alors que le premier bilan avait été réalisé à partir du pourcentage d'émission de N₂O en fonction des apports en fertilisants sur les terres agricoles, le logiciel AIPresHume permet d'établir un bilan spatialisé des émissions de N₂O en utilisant une approche complémentaire, basée sur des mesures directes des émissions de N₂O en fonction de l'occupation des sols. Une synthèse bibliographique est actuellement en cours contenant les émissions pour les prairies (fertilisées, pâturées, etc.), les cultures (différents types), les forêts, etc.). Les premiers résultats montrent que les valeurs du précédent bilan sont dans la gamme basse de celles estimées à ce jour.

4. Bibliographie

- Billen G., Garnier J., Mouchel J-M., Silvestre M. (2007) The Seine System: introduction to a multidisciplinary approach of the functioning of a regional river system. *The Science of the Total Environment*, 375:1-12
- Boyer, E.W., C. L. Goodale, N.A. Jaworski and R.W. Howarth (2002), Anthropogenic nitrogen sources and relationships to riverine nitrogen export in the northeastern U.S.A. *Biogeochemistry* 57/58: 137-169.
- Galloway, J.N., Schlessinger, W.H., Levy, H., Michaels, A. and Schoor, J.J. (1995). Nitrogen fixation: anthropogenic enhancement – environmental response. *Global Biogeochemical Cycles*. 9: 235-252.
- Galloway, J.N. and Cowling, E.B. (2002). Reactive Nitrogen and The World: 200 years of Change. *Ambio*. 31: 64-71.
- Garnier J., Cébron A., Tallec G., Billen G., Sebilo M, Martinez A. (2006). Nitrogen behaviour and nitrous oxide emission in the tidal Seine River estuary (France) as influenced by human activities in the upstream watershed. *Biogeochemistry*, 77: 305 - 326
- Howarth R. W., Billen G., Swaney D., Townsend A., Jaworski N., Lajtha K., Downing J.A., Elmgren R., Caraco N., Jordan T., Berendse F., Freney J., Kudeyarov V., Murdoch P., Zhu Z.L. (1996), Regional nitrogen budgets and riverine N&P fluxes for the drainages to the North Atlantic Ocean: Natural and human influences, *Biogeochemistry*, 35, 75-139.
- Silvestre M., Billen G. (2007) AIPresHume : Atlas Interactif des pressions humaines - Notice d'utilisation.