

# **Groupement d'Intérêt Scientifique**

**SYSTEMES DE PRODUCTION DE GRANDE CULTURE A HAUTES  
PERFORMANCES ECONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTALES**

**GIS GC-HP2E**

**RESTITUTION DU SEMINAIRE « CASCADE DE L'AZOTE »**

**1ER JUIN 2010**



## **1. Contexte et objectifs du séminaire**

### *Le GIS GC HP2E*

Rassemblant une vingtaine de partenaires du secteur des systèmes de grande culture, le GIS GC HP2E a pour mission générale de constituer une coopérative de programmation et de montage de projets coopératifs. Dans ce cadre, les actions mises en œuvre visent à :

- Favoriser les échanges entre acteurs des systèmes de grande culture ;
- Faire émerger des idées et des thématiques communes,
- Faciliter la mise en œuvre de programmes coopératifs entre partenaires pour leur donner plus d'efficacité ;
- Contribuer à la mutualisation de ressources et services ;
- Faciliter la valorisation des produits de la recherche et développement en innovations opérationnelles ;

Dans ce cadre, les séminaires de co-construction du GIS GC-HP2E ont pour objectif d'approfondir une thématique stratégique pour le GIS en associant les différents partenaires du GIS, en prenant appui, lorsque c'est pertinent, sur les propositions reçues à l'AMI 2009 et en jouant la complémentarité et la synergie avec les projets, actions ou réseaux déjà engagés sur cette même thématique. Cette forme d'animation scientifique doit à la fois permettre d'identifier les pistes d'actions non couvertes jusqu'à présent et de renforcer la dynamique d'actions communes au sein des membres du GIS. Le présent séminaire sur la « cascade de l'azote » s'inscrit dans un premier cycle de quatre séminaires<sup>1</sup>.

### *Contexte de la cascade de l'azote*

Le concept de cascade de l'azote est apparu au début des années 2000. Il est indissociable de celui d'« azote réactif ». Par opposition au diazote atmosphérique ( $N_2$ ), qui n'est pas utilisable par 99% des êtres vivants et est largement inerte d'un point de vue chimique, l'azote réactif (Nr) inclut tous les composés azotés impliqués dans des processus biologiques, photochimiques et radiatifs, présents dans l'atmosphère et la biosphère. Nr comprend donc des formes minérales réduites de l'azote (comme  $NH_3$  ou  $NH_4^+$ ), des formes minérales oxydées ( $NO_x$ ,  $N_2O$ ,  $NO_3^-$ ...), et des composés organiques (dans l'urée, les protéines, les acides nucléiques, etc.). La production d'Nr à partir de diazote atmosphérique se fait naturellement par fixation symbiotique et réaction chimique dans l'atmosphère ; la transformation inverse a lieu par dénitrification. La production d'Nr peut aussi être industrielle (par le procédé Haber-Bosch), ou liée à la combustion de combustibles fossiles. La production d'Nr a considérablement augmenté au cours du XX<sup>e</sup> siècle du fait de l'activité humaine, introduisant aujourd'hui dans la biosphère plus d'Nr que ne le fait l'ensemble des processus naturels. Ceci entraîne une perturbation générale de la circulation globale de l'azote et l'accumulation d'Nr dans

---

<sup>1</sup> Méthodologie de conception et d'évaluation variétales (12 mars 2010), Prise en compte du risque par les agriculteurs et conséquences techniques, économiques et organisationnelles (23 mars 2010), Gestion quantitative de l'eau (14 juin 2010)

certaines compartiments de l'environnement, conduisant à des problèmes environnementaux, écologiques et sanitaires de natures très diverses. La cascade de l'azote désigne le cheminement à travers les différents compartiments de la biosphère, de l'hydrosphère, de la pédosphère et de l'atmosphère, d'un atome d'azote introduit sous forme de Nr, avant qu'il ne retourne dans le réservoir de diazote atmosphérique.

L'agriculture est grande consommatrice d'azote réactif, nécessaire à la croissance des organismes cultivés et élevés. La cascade de l'azote interroge l'agriculture selon au moins deux aspects, complémentaires :

- Celle de l'efficacité de l'utilisation de l'azote en agriculture. Si les procédés agricoles sont peu efficaces ils sont source, pour une production agricole donnée, d'un surcroît de la circulation d'Nr dans les différentes sphères, et d'une augmentation des concentrations locales préjudiciables.
- Celle des flux entrants et sortants d'Nr dans les espaces agricoles ou les espaces et milieux contigus, contribuant à l'alimentation des circuits de la cascade de l'azote ; ainsi que celle des flux de pertes de Nr en N<sub>2</sub> à partir des espaces agricoles ou des espaces et milieux contigus.

Elle pose également la question des formes multiples des impacts liés à l'azote et de leur déclinaison sur toute une gamme de milieux et d'échelles allant du très local (écosystème voisin) au global.

Le concept de cascade l'azote est relativement peu connu en France, en-dehors du cercle finalement restreint des chercheurs travaillant sur le cycle de l'azote et sur ses transformations, à plusieurs échelles. Le séminaire avait pour objectif de faire mieux connaître ce concept à la communauté recherche/formation/développement dans le domaine des systèmes de grande culture, et de débattre de plusieurs questions qui en découlent, notamment : quels sont les phénomènes du cycle de l'azote à étudier en priorité ? Quelles sont les échelles adéquates pour les appréhender ? Quels sont les leviers d'action pour influencer si possible la cascade de l'azote dans des sens appropriés ?

Instruire ces questions doit permettre de dégager les enjeux de la cascade de l'azote, en particulier en terme de pistes de futures actions en partenariat de recherche et développement que le GIS pourrait soutenir, notamment en relation avec les trois réponses à l'AMI de 2009 touchant au cycle de l'azote et à sa gestion.

## **2. Organisation et déroulement**

En amont du séminaire lui-même, les personnes inscrites avaient reçu une brève information sur la cascade de l'azote, ainsi que plusieurs publications leur permettant d'approfondir le cas échéant (voir annexe 1). Le séminaire était structuré de la manière suivante :

- une séquence brève de cadrage général relative aux séminaires organisés par le GIS (genèse, objectifs), et à ce séminaire en particulier ;
- trois interventions de scientifiques sur la cascade de l'azote (P. Cellier (INRA) : « Qu'est-ce que la cascade de l'azote ? Conséquences sur notre vision du cycle de

l'azote », Gilles Billen (CNRS) : « Cascade de l'azote de l'échelle régionale à l'échelle mondiale : bilans, transferts et risques environnementaux », P. Durand (INRA) : « Les leviers agronomiques disponibles à différentes échelles pour jouer sur la cascade ») suivies d'échanges ;

- des témoignages brefs de différentes parties prenantes, trois de proposants à l'AMI de 2009 sur le cycle de l'azote, trois de chercheurs et professionnels concernés par la gestion des flux d'azote (P. Leterme, RMT « Elevage et environnement » et GIS « Elevages demain » ; L. Leroy, coopérative Terrena ; P. Jannot, MEEDDM) intervenant sur la manière dont la prise en compte de la cascade de l'azote les interroge ;
- un temps de réflexion générale stimulée par les interventions précédentes, et de réflexion sur des propositions d'actions que le GIS serait susceptible de soutenir.

61 personnes d'horizons divers (recherche, instituts, chambres d'agriculture, agences et offices, ministères, coopération...) ont participé au séminaire, dont le programme détaillé figure en annexe 2.

### 3. Eléments de synthèse des discussions

- a. La cascade de l'azote apporte un regard nouveau sur le cycle de l'azote. Ce nouveau regard est notamment lié à une évaluation nouvelle des impacts (notamment sur la santé) de l'azote réactif sous ses différentes formes, à une vision plus intégrée (une amélioration des effets imputables à une forme d'azote réactif peut être due à une détérioration sur une autre forme éventuellement plus néfaste), et à une meilleure connaissance de son devenir (poursuite de la cascade ou sortie sous forme de diazote) selon les milieux et les conditions. Il amène à interroger les programmes de recherche et les actions de développement agronomiques à plusieurs niveaux : comment prennent-ils en charge la diversité des formes d'azote réactif (en particulier  $\text{NO}_x$  et  $\text{NH}_3$ ) ? Les sorties du système agricole privilégiées sont-elles correctement traitées (le lieu où de l'azote réactif quitte le système agricole - notamment les « zones périphériques » de l'activité agricole au niveau du territoire - n'est pas indifférent, puisqu'il détermine le devenir de l'azote réactif) ? Compte tenu de la variabilité spatio-temporelle des phénomènes entrant dans la cascade, les échelles de travail actuellement privilégiées sont-elles pertinentes ? Compte tenu des conséquences de ruptures de milieux sur le devenir de l'azote réactif, n'est-il pas nécessaire de travailler à différentes échelles (y compris l'échelle du territoire) sur des milieux hétérogènes ? Travaille-t-on suffisamment en termes de flux ? Intègre-t-on suffisamment au sein d'un territoire les différentes activités impliquées dans la cascade de l'azote, ne serait-ce que les activités de production végétale et d'élevage ?
- b. Les accumulations néfastes d'azote réactif liées à l'agriculture et à l'alimentation ont des causes multiples : systèmes de production, modes d'alimentation, transports et concentrations de produits agricoles et d'engrais, flux d'eau et de gaz « diluant » l'azote réactif... Les travaux à petite échelle permettant d'évaluer les parts respectives et les interactions entre ces différentes causes ne sont pas

encore très développés, et n'intègrent souvent que peu de compétences agronomiques.

- c. Les effets des pratiques agricoles et d'élevage (y compris celles qui ne visent pas la gestion de l'azote) sur certains points clés de la cascade, comme la partition  $N_2/N_2O$ , sont encore mal connus ; on retrouve peu en conditions réelles la traduction de ce qui est connu en conditions contrôlées (effets de la pression partielle en oxygène, de la concentration en nitrate). Parallèlement des notions comme la « capacité tampon d'un paysage », ou le « stockage d'azote » sont encore peu précises et sujettes à ambiguïtés et débats (par exemple stockage : jusqu'à quand ; peut on raisonnablement parler de stockage de nitrate dans les aquifères, ... ?)
- d. Il demeure également des inconnues majeures sur des questions du type : les fuites d'azote réactif sont-elles différentes dans des systèmes dans lesquels l'azote réactif provient du procédé Haber-Bosch, et dans des systèmes où il est issu de la fixation symbiotique ? Si oui, pour quelles raisons (moindre transport de l'azote, meilleure efficacité d'une source d'azote pour la production végétale, effets associés indirects liés aux systèmes mis en place, activation de systèmes de régulation des activités minéralisantes, ...) ? Par ailleurs, qu'est-ce qui est à l'origine de la forte variabilité d'efficacité d'utilisation de l'azote (par ha et par kg produit) entre exploitations agricoles pratiquant le même système de production ?
- e. Les trois projets déposés à l'AMI et ayant trait à la gestion de l'azote ou à son devenir traitent de trois échelles très différentes. Des interactions positives sont possibles, qui devraient être facilitées par le rattachement commun à l'UMT  $N_2O$ . En parallèle, différents opérateurs, dont des opérateurs économiques, disposent de données sur les flux d'azote aux échelles de l'exploitation agricole et du territoire. En quoi le bon positionnement de l'échelle d'étude (infra parcelle, parcelle, exploitation, territoire, ...) nous aide à lever le problème de l'incertitude dans la quantification des flux en cause dans la cascade ?
- f. **Plusieurs pistes d'action ont été identifiées, dans lesquelles le GIS HP2E peut avoir des rôles à des degrés différents :**
  1. Réalisation d'un inventaire (dynamique) des travaux menés en France sur l'azote par différents organismes ou ensembles d'organismes, et permettant d'alimenter les questions posées par la cascade de l'azote. Le GIS pourrait être maître d'œuvre de cette action.
  2. Réalisation d'une analyse comparative des conséquences sur la cascade de l'azote, et simultanément sur d'autres sorties d'intérêt, de deux modes d'utilisation d'un territoire, l'un privilégiant des sources d'azote issues de la fixation symbiotique, l'autre recourant à de l'azote issu d'Haber-Bosch. Cette étude, confiée à un collectif, aurait plusieurs vertus : (i) familiarisation collective avec un travail finalisé par la cascade de l'azote, (ii) identification des lieux de résidence des données permettant de faire ce type d'analyse, (iii) identification des points de blocage dans un tel type de travail, (iv) contribution de réponse à une question vive, (v) identification de pistes de travail pour le futur. Le GIS pourrait commanditer et financer une telle étude, à laquelle participeraient des organismes membres du GIS d'horizons variés. Il faudrait néanmoins veiller à ne pas extrémiser les deux systèmes (« business as usual » / agrbio) et clarifier en

amont les objectifs communs assignés à ces systèmes de production (ou alors il faudra être capable d'évaluer leurs performances économiques, y compris à des échelles macro, ce qui ne semble pas facilement réalisable en l'état actuel des connaissances).

3. Réalisation d'une analyse des sources de variation de l'efficacité d'utilisation de l'azote à l'échelle d'une exploitation agricole. Les points (iv) et (v) ci-dessus restent valables pour cette étude. Le GIS pourrait commanditer et financer une telle étude, à laquelle participeraient des organismes membres du GIS d'horizons variés.
4. Montage d'un programme de recherche ou de recherche/développement, visant à déboucher sur une modélisation à l'échelle territoriale permettant d'évaluer des scénarios d'utilisation du territoire du point de vue des conséquences sur la cascade de l'azote. Ce programme pourrait comprendre (dans un axe plutôt analytique) des opérations de recherche ou de recherche/développement à l'échelle de la parcelle (effets des techniques sur le rapport  $N_2/N_2O$ , observatoire des émissions à l'échelle parcellaire, mais aussi travaux nouveaux sur  $NO_x$  ou  $NH_4+$ , liens avec les travaux en génétique végétale sur l'efficacité d'utilisation de N, ingénierie microbiologique...), ainsi que la réalisation (dans un axe plus opérationnel) d'un modèle territorial liant activités agricoles, gestion des zones non agricoles, et devenir de l'azote. Le GIS pourrait aider au montage de ce projet, en liaison avec le GIS « Elevages demain ». Ce projet pourrait être porté au niveau européen, par exemple au niveau du Topic KBBE 2011.1.4 : *Towards land management of tomorrow. Innovative forms of mixed farming for optimized use of energy and nutrients.*
5. Participation d'agronomes à des travaux de scénarisation des flux d'azote à des échelles macroscopiques. Les marges d'action du GIS sont faibles sur ce point, mais on peut espérer que l'organisation du séminaire a déjà pu être un ferment en ce sens ; le GIS peut aussi envisager de faire circuler de manière régulière aux participants au séminaire, ou à une liste mél plus large à construire, les initiatives dont il aurait connaissance.

## **Annexe 1 - Informations complémentaires fournies avant le séminaire**

Plusieurs publications transmises au moment de l'inscription donnaient des éléments d'approfondissement, elles étaient présentées de la manière suivante :

- L'article de Galloway *et al.* dans Biosciences (2003) donne une description complète de l'accumulation d'Nr, des phénomènes de cascade, et de leurs conséquences.
- Le fascicule UNESCO (2007) et l'article de Townsend & Howarth (Scientific american, 2010) donnent le même type d'informations sous une forme très simplifiée ; c'est le cas également du rapport pour les Nations-Unies (UNEP, 2007) qui donne en outre des informations régionalisées par continent.
- L'article de Cellier *et al.* dans OCL (2008, en français) aborde la cascade de l'azote dans la perspective de la contribution de l'agriculture au changement climatique.
- L'article de Galloway *et al.* dans Science (2008) donne une actualisation chiffrée des flux, et des gains à attendre de différentes stratégies.

Etait également transmises les références d'actions collectives organisées touchant à la cascade de l'azote :

- ESF-NinE: <http://www.nine-esf.org/node/16>
- INI : <http://initrogen.org/>

## **Annexe 2 - Programme du séminaire**

9h00-9h30 Accueil des participants

9h30-9h40 OUVERTURE DE LA JOURNEE  
Présentation des objectifs du GIS et du séminaire  
*Antoine MESSÉAN (INRA, GIS GC HP2E)*

*Animateurs : Thierry DORE (AGROPARISTECH) & François LAURENT (ARVALIS)*  
LA CASCADE DE L'AZOTE

9h40-10h30 Qu'est-ce que la cascade de l'azote ? Conséquences sur notre vision du cycle de l'azote  
*Pierre CELLIER (INRA)*

10h30-10h45 Pause café

10h45-11h35 Cascade de l'azote de l'échelle régionale à l'échelle mondiale : bilans, transferts et risques environnementaux  
*Gilles BILLEN (CNRS)*

11h35-12h25 Les leviers agronomiques disponibles à différentes échelles pour jouer sur la cascade  
*Patrick DURAND (INRA)*

12h25-12h50 Débat général

12h50 – 14h00 Buffet déjeunatoire

LES TRAVAUX EN COURS ET LES QUESTIONS NOUVELLES GÉNÉRÉES PAR LA PRISE EN COMPTE DE LA CASCADE DE L'AZOTE : LE POINT DE VUE DE SIX ACTEURS

14h00-14h15 Réduire les émissions de N<sub>2</sub>O par les sols : programme de l'UMT N<sub>2</sub>O et approches analytiques  
*Catherine HENAULT (INRA) & Francis FLENET (CETIOM)*

14h15-14h25 L'outil d'aide à la décision Syst'N pour renseigner les flux d'azote au sein du système de culture  
*Sylvie RECOUS & Sylvain PELLERIN (INRA, RMT Fertilisation et Environnement)*

14h25-14h35 Transfert vers le développement d'un outil de raisonnement de la gestion de l'azote à l'échelle du paysage agricole  
*Jean-Louis DROUET (INRA)*

14h35-14h45 Cascade de l'azote et activités du RMT Elevage et environnement  
*Philippe LETERME (CETIOM) & Jean-Louis PEYRAUD (INRA)*

14h45-14h55 Les enjeux qualitatifs et quantitatifs de la maîtrise des flux d'azote vers les aquifères, vus par leurs gestionnaires  
*Philippe JANNOT (MEEDDM/DEB)*

14h55-15h05 La gestion des flux d'azote dans une zone d'activité d'un opérateur économique : le point de vue d'une coopérative  
*Lancelot LEROY (TERRENA)*

#### DISCUSSION GÉNÉRALE

15h05-15h35 Questions nouvelles posées par la cascade de l'azote

15h35-16h05 Etat des lieux et des acteurs : qui peut et qui veut faire quoi ?

16h05-16h20 Pause café

16h20-16h50 Compétences disponibles, compétences à mobiliser ou à créer

16h50 - 17h15 SYNTHÈSE DU SÉMINAIRE ET CONCLUSIONS EN TERMES DE PLAN D'ACTIONS POUR LE GIS