

## RMT modélisation et Atmosphase

### Séminaire

#### « Utilisation de la modélisation

#### pour les Instituts techniques agricoles des filières animales »

Paris, mardi 22 novembre 2011 de 9h30 à 17h30

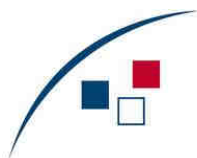
### Dossier des participants

#### Comité d'organisation :

François Brun (ACTA), David Makowski (INRA), François Piraux (ARVALIS - Institut du végétal) pour le Réseau mixte technologique (RMT) modélisation  
 Florence Garcia-Launay, Olivier Martin pour Atmosphase (INRA-PHASE)  
 Carlos Lopez (Institut de l'Élevage)  
 Michel Marcon, Alexia Aubry (IFIP – Institut du porc)  
 Isabelle Bouvarel (ITAVI)



Avec la contribution financière du compte d'affectation spéciale « Développement agricole et rural »



# Programme

9h00 : Café d'accueil

9h30 : **Introduction à la journée : objectif et programme** : David Makowski (INRA) et François Brun (ACTA, le réseau des instituts des filières animales et végétales)

9h40 : **Deux types d'outil de modélisation pour le développement agricole dans les filières animales ?** Daniel Wallach (INRA) et François Brun (ACTA)

## Partie I :

**Identification des facteurs de réussite et des verrous : exemples et discussion**

10h00 : **MELODIE**, impact environnemental des exploitations porcines et/ou bovins lait (IFIP-Institut du porc-IDELE-INRA) : points de vue croisés des partenaires.

le projet et le modèle : Philippe Faverdin (INRA)  
une utilisatrice : Sandrine Espagnol (IFIP-Institut du porc)

10h30 : **SITEL**, simulateur de troupeau en élevage laitier (IDELE-INRA) : Laure Brun-Lafleur (Institut de l'Élevage) et Philippe Faverdin (INRA).

10h50 : **BEEFBOX**, un outil de simulation des performances et des carcasses de jeunes bovins en engraissement (ARVALIS-Institut du végétal-IDELE-INRA) : Florence Garcia (INRA) et Alexis Ferard (ARVALIS-Institut du végétal)

11h10 : **Une expérience des travaux de modélisation à l'Institut de l'Élevage** : avancées et problèmes rencontrés : André Le Gall (Institut de l'Élevage)

11h30 : Discussion

11h50 : **Transfert de polluants organiques persistants vers l'œuf de poule** (ITAVI-INRA) : Agnès Fournier (INRA - URAFPA) et Angélique Travel (ITAVI)

12h10 : **Prise en compte de la variabilité de la réponse individuelle au sein du modèle InraPorc** qui simule la réponse du porc moyen à différentes conduites alimentaires (IFIP-Institut du porc-INRA) : Bertrand Vautier (IFIP-Institut du porc)

12h30 : Discussion

13h15 : Repas

## Partie II :

**Nouvelles orientations de l'INRA et des ITA et futures collaborations**

14h30 : **La modélisation dans le département PHASE de l'INRA** : pourquoi et comment ? Jean-Baptiste Coulon (INRA) et Florence Garcia-Launay (INRA PHASE)

15h00 : **Pratiques actuelles de modélisation dans les Instituts techniques agricoles des filières animales** (IDELE-IFIP-Institut du porc-ITAVI) : Bernard Fostier ou Yvon Salaün (IFIP-Institut du porc)

15h30 : Discussion

## Partie III :

**Les animations communes et les moyens à mettre en œuvre**

16h00 : **Les interactions entre modélisation et expérimentation dans les ITA des filières animales** : Jeanne Guégan (ACTA)

16h20 : **Synthèse des facteurs de réussite et des verrous** ; pistes pour les animations communes : Carlos Lopez (Institut de l'Élevage)

16h40 : Discussion sur les suites à donner et conclusion

17h30 : Fin

## Introduction à la journée : Objectif et programme.

**David Makowski (INRA) et François Brun (ACTA).**

Ce séminaire vise à faire un état des lieux des travaux collaboratifs de modélisation impliquant les Instituts Techniques Agricoles des filières animales (Institut de l'élevage, l'IFIP – Institut du porc et ITAVI et Arvalis – Institut du Végétal) et la recherche agronomique (INRA). Le premier objectif est d'identifier les facteurs de réussite de ces collaborations ainsi que les attentes des ITA et de l'INRA vis-à-vis de la modélisation de systèmes d'élevage. Le deuxième objectif est de présenter des modèles potentiellement intéressants pour les agriculteurs et/ou les ITA, et pouvant faire l'objet de collaborations entre INRA et ITA. Le troisième objectif est d'identifier les animations communes et les moyens à mettre en œuvre pour améliorer la pratique de la modélisation dans les ITA animales.

## Public cible

- Ingénieurs des Instituts Techniques Agricoles des filières animales
- Chercheurs/ingénieurs modélisateurs de l'INRA-PHASE

## Deux types d'outil de modélisation pour le développement agricole dans les filières animales?

**Daniel Wallach (INRA) et François Brun (ACTA).**

Développer des modèles de systèmes pour le développement agricole prend beaucoup de temps et mobilise des compétences diverses. Pour une utilisation efficace des ressources, il faut anticiper au mieux les différentes activités d'un projet de modélisation et définir des priorités. Il est donc intéressant de fournir des éléments pour aider à ces choix, cette planification et l'exécution des projets en profitant des expériences réelles passées.

En particulier, il convient de bien préciser et clarifier les objectifs et les utilisations de chaque outil de modélisation. Nous pouvons distinguer deux types de projet:

- Le premier type vise au développement d'un **outil d'aide à la décision** pour les agriculteurs ou les agents de développement **pour une utilisation pour leur situation spécifique.**
- Le deuxième type vise à développer un outil qui sera utilisé par les chercheurs et ingénieurs agronomes **pour évaluer les systèmes de production agricole** dans différentes situations types.

Pour être efficace, il est important de définir clairement le type de projet dès le début.

# MELODIE, impact environnemental des exploitations porcines et/ou bovins lait : points de vue croisés des partenaires.

**Partenaires : IFIP-IDELE-INRA**

**Philippe Faverdin (INRA) et Sandrine Espagnol (IFIP-Institut du porc)**

L'évaluation environnementale des systèmes de production est devenue un enjeu important afin de définir les pistes favorisant le développement de systèmes plus efficaces et plus respectueux de l'environnement. C'est pour mieux évaluer ces systèmes et les adaptations que l'on peut y apporter que le modèle de recherche MELODIE a été développé en collaboration entre plusieurs unités de recherche INRA et deux instituts techniques, l'Institut de l'Élevage et l'IFIP afin de rassembler les compétences nécessaires. En proposant une architecture générique originale faisant interagir un modèle simulant le pilotage et un modèle simulant les processus biotechniques, MELODIE offre la possibilité de décrire le fonctionnement de systèmes d'élevage très différents. Les processus décisionnels permettent à la fois de décrire des choix stratégiques à l'échelle de l'année, notamment pour définir l'assolement en vue de la gestion des stocks fourragers et des effluents dans un contexte donné, mais aussi de piloter le système chaque jour en fonction du climat et de l'état du système (gestion des ITK et de l'alimentation, notamment du pâturage). Les processus biotechniques sont représentés par un couplage de différents modèles préexistants (comme STICS pour la partie sol-culture) ou développés spécifiquement lorsque aucun modèle ne permettait de satisfaire le cahier des charges. MELODIE permet de comparer différents scénarios de conduite des élevages et de les évaluer à même structure d'exploitation et de contexte pédo-climatique ou d'étudier les capacités de résilience d'un système donné en fonction de différents scénarios climatiques. Les nombreuses possibilités de sorties du modèle en font un outil particulièrement intéressant pour l'expérimentation virtuelle sur les systèmes d'élevage, complémentaire des approches par expérimentation systèmes ou suivis d'exploitations. MELODIE constitue une base solide et évolutive pour un modèle d'exploitation d'élevage, mais son utilisation au sein d'un outil ne peut s'envisager sans en limiter le champ des questions et des réponses attendues.

**Partenaires.** P. Faverdin<sup>1,2</sup>, X. Chardon<sup>1,2,3</sup>, C. Rigolot<sup>4,5,6</sup>, C. Baratte<sup>1,2</sup>, C. Raison<sup>3</sup>, B. Piquemal<sup>1,2</sup>, R. Martin-Clouaire<sup>7</sup>, J.-P. Rellier<sup>7</sup>, A. Le Gall<sup>3</sup>, J.-Y. Dourmad<sup>4,5</sup>, P. Leterme<sup>8,9</sup>, J.-M. Paillat<sup>8,9</sup>, L. Delaby<sup>1,2</sup>, F. Garcia<sup>1,2</sup>, J.-L. Peyraud<sup>1,2</sup>, J.-C. Poupau<sup>10,11</sup>, T. Morvan<sup>8,9</sup> et S. Espagnol<sup>6</sup>

|                                    |                             |                              |
|------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 1 INRA, UMR1080,                   | 5 Agrocampus Ouest, UMR1079 | 9 Agrocampus Ouest, UMR1069  |
| 2 Agrocampus Ouest, UMR1080        | 6 IFIP - Institut du porc   | 10 INRA, UMR1302             |
| 3 Institut de l'Élevage, Monvoisin | 7 INRA, UR875               | 11 Agrocampus Ouest, UMR1302 |
| 4 INRA, UMR1079                    | 8 INRA, UMR1069             |                              |

**Projets utilisant des simulations de MELODIE :** CASDAR 2009-2011 Gestion des impacts environnementaux des élevages porcins (spécialisés ou mixtes) : construction d'un référentiel pour le pilotage de l'évolution des systèmes de production.

## Facteurs de réussites et verrous identifiés

Rencontres dans la construction de MELODIE et liées à l'utilisation de MELODIE

| Réussites   | Difficultés  |
|---|--|
| Modélisation de phénomènes complexes avec approche multicritère multiposte  | Maîtriser les modèles sous-jacents pour bien utiliser Mélodie et interpréter les résultats   |
| Echelle d'intérêt de Mélodie (exploitation) connectée aux leviers d'actions des éleveurs  | Echelle ne prenant pas en compte la production des intrants alimentaires et la gestion totale des effluents pour des élevages qui externalisent ces postes.                |
| Production de sous modèles et équations utilisables pour d'autres outils  | Vigilance sur les limites de validité du modèle.   |
| Outil de évaluer des systèmes d'élevages non existants  | Vérification du code difficile avec un modèle aussi vaste  |
| Couplage décisions - processus sensibles au climat  | Paramétrage du modèle très complexe, peu intuitif  |
| Couplage modèle - base de données - logiciel d'analyses ( R )   | Arriver à maîtriser tous les sous-modèles dans un couplage aussi large (cas de STICS)<br>Disposer des jeux de paramètres pour renseigner différents systèmes de production |
| Diversité des situations modélisables<br>Possibilité de produire des références pour différents systèmes de production d'une même filière | Quel environnement informatique est le plus adapté à ce type de modèle ? (DIESE, RECORD VLE, C++, ...)   |
| Forte aptitude à évoluer  | Travailler avec des modèles dynamiques complexes : la méthodologie est encore largement à construire.  |
| Diversité des sorties   | Impossibilité de faire des plans d'expérience exhaustifs pour étudier le comportement du modèle.   |
| Inséré dans de nombreux projets   | Comparaison de scénarios : comment générer (en amont) et la vérifier (en sortie) la cohérence de ces scénarios ?   |
| Un collectif très riche pour couvrir les différents volets d'un projet très pluridisciplinaire  | Diversité sorties : gérer approche multicritères dynamique   |



## SITEL, simulateur de troupeau en élevage laitier.

### Partenaires : IDELE-INRA.

Laure Brun-Lafleur (Institut de l'Élevage) et Philippe Faverdin (INRA).

Avec la fin programmée des quotas et la volatilité des prix du lait et des intrants, les éleveurs ont besoin d'outils pour anticiper les conséquences de leurs décisions sur les performances du troupeau. L'objectif de ce travail était donc de développer un modèle permettant de simuler l'impact des pratiques d'élevage sur le fonctionnement et les productions du troupeau bovin laitier.

Ce modèle, SITEL, est individu-centré, dynamique et stochastique. Il simule à la fois les processus biologiques des animaux et le pilotage du troupeau par l'éleveur. Il comporte notamment un modèle de la lactation sensible à la génétique et à la conduite alimentaire et un modèle de reproduction sensible à l'état des animaux. Ce modèle est conçu pour pouvoir simuler une large gamme de systèmes et pratiques d'élevage en termes de conduite alimentaire, gestion de la reproduction, et politique de réforme et renouvellement. Le système d'information, permettant à l'éleveur de connaître l'état de son troupeau pour prendre ses décisions, est également représenté de manière explicite dans le modèle, ce qui a permis de montrer que l'effet de la qualité de l'information sur les performances du troupeau varie beaucoup en fonction du système d'élevage.

SITEL constitue ainsi un des premiers modèles permettant de simuler l'impact des différents leviers de conduite et du système d'information sur la dynamique du troupeau et ses productions, en considérant de nombreuses interactions liées à l'alimentation et la reproduction en particulier.

### **Partenaires.**

UMR INRA - Agrocampus-Ouest Production du Lait, Saint-Gilles

Institut de l'Élevage, Le Rheu

UMT Recherche et Ingénierie en Élevage Laitier (RIEL)

UR INRA Station de Génétique Quantitative et Appliquée, Jouy-en-Josas

UR INRA Biométrie et Intelligence Artificielle, Castanet-Tolosan

### **Facteurs de réussites et verrous identifiés**

|   | réussites et facteurs de réussite  | verrous, difficultés, limites du modèle   |
|---|--|---|
| <b>D'ordre scientifique et méthodologique</b> |  |   |
|   | développement du modèle  |   |
|   | <ul style="list-style-type: none"><li>- un simulateur de troupeau sensible à la génétique, à la conduite du troupeau en termes d'alimentation et de stratégie de reproduction, et à la qualité du système d'information (utilisé par l'éleveur pour prendre ses décisions).</li><li>- mise en évidence de l'intérêt de la modélisation pour étudier le rôle du système d'information</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>- choix de l'environnement pour développer de tels modèles</li><li>- difficulté de travailler avec des modèles stochastiques : mise en œuvre des simulations, validation, interprétation des sorties, praticité du conseil</li><li>- un modèle de simulation : pas de possibilité de réaliser des optimisations de conduite pour l'instant (difficile avec un modèle dynamique et stochastique)</li><li>- validation du modèle encore incomplète</li><li>- pas encore de dimension économique</li></ul> |
|   | utilisation dans des outils  |   |
|   | <ul style="list-style-type: none"><li>- un modèle qui a été construit dans l'objectif d'une application en tant qu'outil et qui n'utilise que des données disponibles en élevage</li></ul>   | <ul style="list-style-type: none"><li>- nécessité d'adapter le modèle aux futurs outils sans perdre de fonctionnalités, notamment de simplifier la saisie des données d'entrée (couplage avec bases de données existantes...), temps de calcul compatible avec du conseil en élevage</li></ul>  |
| <b>D'ordre organisationnel</b>                |  |   |
|   | <ul style="list-style-type: none"><li>- cadre de l'UMT qui facilite les échanges entre les partenaires</li><li>- thèse Cifre qui permet de consacrer du temps au développement du modèle</li></ul>   | faire cohabiter une problématique de recherche (thèse) avec l'ingénierie du modèle  |

# **BEEFBOX, un outil de simulation des performances et des carcasses de jeunes bovins en engraissement**

**Partenaires : Arvalis-IDELE-INRA**

**Florence Garcia (INRA) et Alexis Ferard (ARVALIS-Institut du végétal).**

Les trois organismes Arvalis-Institut du Végétal, l'Institut de l'Élevage et l'INRA conduisent depuis plusieurs décennies des études sur les performances des jeunes bovins en engraissement selon des facteurs de variation propres à chacun. Ces travaux ont abouti à de multiples travaux de formes variées, publications scientifiques ou de transfert et fiches références, et à une expertise qui se traduit par divers modèles de simulation de la croissance ou de l'ingestion.. Le projet Casdar Beefbox fédère les 3 instituts autour d'un objectif de construction d'un logiciel simulateur de la croissance des jeunes bovins en engraissement qui permette de capitaliser les acquis de données et d'expertise dans un outil. Celui-ci doit pouvoir répondre aux interrogations des conseillers et éleveurs quand il s'agit de raisonner leur itinéraire de production. Pour parvenir à cet objectif le projet est organisé autour de 7 actions qui vont de la construction de la base de données expérimentales commune à la procédure d'évaluation continue de l'outil final, en passant par la construction et le paramétrage du prototype ainsi que le recueil des attentes des utilisateurs par enquête. Dans ce travail, l'objectif est bien d'arriver à un outil logiciel d'aide à la décision, convivial, à destination des conseillers et des éleveurs.

Ce projet fait suite à une première collaboration Arvalis / INRA en 2007-2008 qui avait conduit au regroupement d'une partie des données disponibles et à un paramétrage adapté du modèle de croissance INRA publié en 2004 « Mecsic ». La collaboration inter-instituts fonctionne sur la base d'une complémentarité des compétences (zootechnie, modélisation, production de viande...) et des apports à la genèse du projet (modèles, données expérimentales,...). Le programme repose également en grande partie sur le travail d'un apprenti ingénieur recruté chez Arvalis qui assure l'interface entre les trois partenaires.

Après 2 ans de travail, la base de données relationnelle est construite et alimentée avec l'ensemble des données disponibles à ce jour et fait l'objet d'une protection par l'INPI. Le prototype regroupant les sous-modèles d'ingestion, de croissance et de composition bouchère est construit. Son paramétrage doit être achevé à la fin de l'année avant de l'utiliser pour les enquêtes auprès des utilisateurs. Cette étape aboutira à un cahier des charges d'un outil informatique final qui sera sous-traité.

## **Facteurs de réussites et verrous identifiés**

Le projet étant en cours, nous avons identifié les facteurs de réussite de la collaboration et les verrous à l'utilisation de la modélisation dans les instituts partenaires, sur lesquels la suite du projet nous apportera plus de recul.

Comme éléments positifs nous pouvons citer le pré-projet qui a permis d'inscrire les objectifs communs dans la durée, l'existence d'un modèle de croissance déjà développé à l'INRA, la complémentarité des compétences, l'objectif partagé de construction d'un logiciel « carrossé » et de mise en place d'une procédure d'évaluation et d'évolution de l'outil. Nous espérons que le logiciel développé pourra trouver un support de valorisation (Chambres, Bovins croissance ?) qui permette une utilisation élargie. Néanmoins cela ne contribuera pas forcément à l'utilisation et au renforcement des compétences en modélisation dans les instituts techniques. Il existe des incertitudes sur la présence de futures personnes ressources (CDD, mobilité,...) et la modélisation sera utilisée indirectement, via l'outil commun, dans les instituts techniques.

# Une expérience des travaux de modélisation à l'Institut de l'Elevage : avancées et problèmes rencontrés

André Le Gall (Institut de l'Elevage)

## La modélisation, un outil complémentaire pour les études sur les systèmes d'élevage

Les travaux de modélisation conduits à l'Institut de l'Elevage ont eu une double finalité :

- **Disposer d'outils de simulation pour les études sur les systèmes d'élevage**, complémentaires des approches plus classiques basées sur l'expérimentation et les observations et/ou enquêtes en fermes commerciales. Il s'agit ainsi de disposer d'outils d'expérimentation virtuelle permettant l'évaluation ex ante de systèmes d'élevage testés en fermes expérimentales, le test de variantes en complément de l'expérimentation, l'intégration du temps long, ....
- **Déboucher sur des outils d'aide à la décision**, soit pour asseoir l'expertise des ingénieurs de l'Institut de l'Elevage, soit pour le conseil en élevage.

## Un investissement principalement autour de trois projets

L'investissement de l'Institut de l'Elevage s'est ainsi focalisé au cours des années autour de trois projets :

- **Projet Mélodie** (Modélisation des Elevages en Langage Objet pour la Détermination des Impacts Environnementaux). Ce projet a rassemblé les équipes de l'Inra (UMR PL et UMR SENAH), de l'IFIP et de l'Institut de l'Elevage. Il visait à construire un modèle permettant d'évaluer les impacts environnementaux (eau, air, sol) des systèmes d'élevage bovins et porcins. Ce projet s'est appuyé sur deux thèses, l'une pilotée par l'UMR PL et l'Institut de l'Elevage (X. Chardon) et l'autre pilotée par l'UMR SENAH et l'IFIP (C. Rigolot). Ce projet a été conduit dans le cadre de l'UMT RIEL (Recherche et Ingénierie en Elevage Laitier).
- **Projet SITEL** (Simulateur de Troupeau en Elevage Laitier). Ce projet a été conduit par l'UMR production de lait et l'Institut de l'Elevage, dans le cadre de l'UMT RIEL, dont c'était aussi l'un des axes de travail. Le projet s'est également appuyé sur une thèse (L. Brun-Lafleur). Le projet visait à modéliser le fonctionnement du troupeau laitier pour anticiper les conséquences de son pilotage sur les livraisons de lait.
- **Projet Beef Box**. Ce projet a été conduit par l'URH de Theix, Arvalis et l'Institut de l'Elevage dans le cadre d'un projet CAS DAR. Ce projet avait pour objectif de développer un outil de simulation des performances et des carcasses de jeunes bovins en engraissement.

Par ailleurs, l'Institut de l'Elevage s'est impliqué dans d'autres projets touchant peu ou prou à la modélisation : évaluation du bien être dans le cadre du projet Welfare Quality avec l'URH (I. Veissier), Methasim avec l'Ifip, Azosystème dans le cadre du RMT Fertilisation et Environnement,....

## Des avancées notables

Ces travaux de modélisation, à travers ces trois projets, ont permis des avancées notables :

- **Les travaux de modélisation ont été conduits en étroite collaboration avec l'Inra** (UMR PL, URH), dans le cadre de projets partagés. Cette collaboration a été largement facilitée par les UMT et notamment l'UMT RIEL, qui a offert un cadre de collaboration stable.
- **Ces travaux ont débouché sur les modèles**, qui fonctionnent réellement avec des données accessibles. Compte tenu de la complexité des questions et des ambitions des projets, la réussite de ces projets n'était pas jouée d'avance.
- **Les modèles construits ont permis un assemblage de connaissances et de modèles plus sectoriels**, intégrés à l'échelle d'une exploitation d'élevage (Mélodie), du troupeau laitier (SITEL), du lot d'animaux (Beef Box), intégrant la complexité des systèmes agricoles. C'est particulièrement vrai dans le cadre de Mélodie.
- Les modèles, notamment Mélodie et SITEL, permettent d'intégrer **le temps long, la variabilité interannuelle, les phénomènes d'accumulation** que des modèles plus statiques ne permettent pas d'appréhender. Par ailleurs, la combinaison du système de pilotage et du système biotechnique constitue aussi une avancée significative.

## Des difficultés et interrogations

On peut aussi faire état de difficultés et interrogations :

- Les modèles produits fonctionnent correctement mais, dans certains cas, **nécessitent des améliorations des sous modèles** (par exemple de Stics prairies) pour être plus robustes. Ces modèles, à pas de temps journalier comme Mélodie produisent aussi un grand nombre de sorties, qu'il faut synthétiser et agréger.
- **Les modèles ne sont pas encore parfaitement carrossés pour une utilisation** facile par nos ingénieurs et ne sont donc pas complètement appropriés par les équipes. La réalisation d'interfaces « utilisateurs » devrait lever cette difficulté.
- **Ces travaux de modélisation nécessitent des investissements en temps non négligeables**, qui se sont traduits dans les différents projets par la mise à disposition de personnes dédiées, notamment des doctorants. A l'issue du travail de thèse, il faut organiser le relais pour que le projet de modélisation puisse se poursuivre et être l'objet d'améliorations, carrossage, etc...En fait, ces travaux nous interpellent sur **l'organisation et la gestion de nos compétences et notamment sur les ressources humaines à affecter à la modélisation** par rapport aux autres approches expérimentales.
- Au sein de nos instituts techniques agricoles, qui doivent déboucher sur de l'opérationnel, **des équilibres sont à trouver** entre des modèles plutôt orientés « recherche », permettant notamment de faire de l'expérimentation virtuelle et des modèles plus simples, destinés à devenir des outils d'aide à la décision. Dans le même ordre d'idée, nous avons **la nécessité de déboucher sur les outils opérationnels**, que ce soit pour l'expérimentation virtuelle, la création d'expertise ou le conseil. Nous devons ainsi passer du modèle à l'outil et accepter que ce sont deux phases différentes et donc deux projets différents.
- Enfin, il reste à préciser aussi **les questions de propriété intellectuelle**, notamment lorsque les modèles sont repris dans des outils de conseil ou d'autres ensembles de modélisation.

# **Transfert de Polluants Organiques Persistants vers l'œuf de poule : influence des caractéristiques des polluants et du statut physiologique de l'animal**

**Partenaires : ITAVI-INRA.**

**Agnès Fournier (INRA - URAFPA) et Angélique Travel (ITAVI)**

Les poules pondeuses sont susceptibles d'être exposées à une grande diversité de polluants organiques persistants (POP) potentiellement présents dans leur environnement. La principale voie d'exposition à ces molécules lipophiles est la voie orale, avec l'ingestion soit d'aliment soit de matrices environnementales (notamment le sol) contaminés. Le niveau de cette ingestion est l'un des trois points critiques de l'évaluation du risque de transfert de ces molécules vers l'œuf. Les deux autres points sont la biodisponibilité du polluant d'une part et sa distribution au sein de l'animal d'autre part. Notre projet, mené à l'échelle de l'animal concerne ces deux derniers points.

Les récentes crises sanitaires relatives à la contamination des œufs par les POP ont motivé la conception d'outils permettant soit d'en faciliter la gestion, soit d'en limiter l'incidence. Dans ce contexte, nos travaux ont porté sur l'identification et la hiérarchisation des facteurs influençant le transfert des POP ingérés vers l'œuf. Ces facteurs sont liés à la nature de la matrice ingérée (sol ou aliment), aux caractéristiques de l'animal (taux de ponte, état d'engraissement) et aux caractéristiques de la molécule (lipophilicité, susceptibilité à la métabolisation).

La modélisation a tout d'abord été utilisée comme outil de recherche pour explorer l'impact de certaines caractéristiques physiologiques de la poule sur le transfert de POP à l'échelle de l'animal. Pour cela, un modèle mathématique constitué de deux sous-modèles a été élaboré. Un sous-modèle physiologique représente les variations dans le temps de la taille des compartiments lipidiques de la poule, ainsi que la fréquence de ponte. Parallèlement, dans un sous-modèle de transfert de POP, les quantités de POP présentes dans les différentes parties de la poule sont représentées par des compartiments et les échanges de POP entre les compartiments sont représentés par des flux qui dépendent de la dynamique lipidique de l'animal.

Le taux de ponte influence directement, et de façon proportionnelle, le niveau de contamination des tissus de la poule à l'état d'équilibre. Le niveau d'engraissement (% de lipides dans le poids vif) a un rôle de dilution en cas de période de non ponte et influence de façon marquée la vitesse de décontamination des tissus lors de l'épuration suivant une période d'exposition. Pour une molécule caractérisée par un degré de biotransformation et une distribution donnée entre les différents compartiments de l'animal (tissus, plasma, œuf...), les variations de concentration dans les œufs à un temps donné sont donc dépendantes : 1- de la quantité de molécule absorbée (pilotée par la quantité de matrice ingérée, sa teneur en POP, le taux d'absorption et la biodisponibilité relative caractéristique de la matrice ingérée) et 2- des caractéristiques physiologiques de la poule.

L'application de ce modèle à des cas concrets met en évidence l'intérêt d'un tel outil dans le cadre de l'évaluation et de la gestion des risques en élevage (par exemple, évaluation du temps nécessaire à la décontamination de produits animaux contaminés, afin que leurs teneurs en contaminants soient conformes à la réglementation)

De plus, étant basé sur la physiologie de la poule, ce modèle peut être appliqué à différentes molécules, sous condition de présence de jeux de données de transfert chez la poule pondeuse afin d'ajuster les paramètres de flux propres à la molécule.

## **Partenaires.**

UR AFPA (Agnès FOURNIER, Catherine JONDREVILLE, Cyril FEIDT)

ITAVI (Angélique TRAVEL)

INRA MoSAR (Olivier MARTIN, Laurence PUILLET)

Ce projet a été initié et mené dans le cadre du projet CASDAR n°7106, intitulé « Sécuriser les systèmes de production avicole vis-à-vis de contaminants organiques ubiquistes ». Ce travail de modélisation (Action 3 du projet) a été porté par l'UR AFPA dans le cadre d'une thèse CIFRE ITAVI (Thèse d'Agnès Fournier).

## **Facteurs de réussites et verrous identifiés**

Sécuriser la production avicole, anticiper les risques de contamination et éventuellement gérer les crises sanitaires représentent de réels enjeux pour la filière. Le présent projet de modélisation a donc bénéficié du soutien de la filière (ITAVI et interprofession œuf) et suscité un vif intérêt de la part de l'administration, régulièrement confrontée à la gestion des crises sanitaires. Porté par l'UR AFPA, ce projet a nécessité la collaboration de différents partenaires. Notamment, le travail de conception du modèle a été conduit avec le concours de l'UMR MoSAR et les modalités modélisées et testées ont été validées par la filière (ITAVI).



La complémentarité des compétences de chacun des partenaires a permis l'élaboration d'un premier modèle intégrant la physiologie de l'animal à l'échelle de sa vie en élevage (ponte et engraissement) et le transfert de contaminants à l'échelle de l'animal.

Les limites de ce modèle sont principalement liées à la rareté des données dans la bibliographie. En effet, les données existantes sont souvent issues d'études toxicologiques dans lesquelles les animaux sont soumis à des doses élevées pendant des périodes courtes, et ne correspondent pas à la réalité de terrain (exposition chronique à de faibles doses).

Cette rareté des données est constatée à plusieurs niveaux :

- les données « entrées-sorties » qui pourraient permettre la validation des modèles,
- les données concernant le transport et la métabolisation de la molécule au sein de l'animal, qui pourraient permettre de concevoir un modèle plus mécaniste.

Générer de telles données permettrait de mieux caractériser la pharmacocinétique de la molécule et d'affiner le modèle.

La validation du modèle actuel est impossible au vu des moyens à disposition. Cependant, le modèle pourrait être mis à l'épreuve par son application lors de gestion de crises.

| Domaine  | Facteurs de réussite                     | Verrous identifiés  |
|--|--|---|
| <b>Méthodologique</b>                                    |  |   |
| - données physiologiques                                 |  | Peu de données récentes, correspondant aux poules d'élevage actuel                                  |
| - données de contamination                               | Mise en place d'expérimentations in vivo | Peu de données<br>Validation impossible par absence de données<br>Coût des analyses de contaminants |
| <b>Collaborations</b>                                    |  |   |
| - apport méthodologique de modélisation                  | UMR MoSAR – UR AFPA                      | Temps   |
| - apport connaissance physiologique                      | ITAVI – UR AFPA                          |   |
| - apport « technique d'élevage »                         | ITAVI – UR AFPA                          |   |
| - apport de connaissance « POP »                         | UR AFPA                                  |   |
| - application du modèle – simulation de gestion de crise | UR AFPA                                  |   |

En ce qui concerne les collaborations, l'appui d'un modélisateur (en biologie, physiologie) en complément des compétences relevant des contaminants et de la physiologie animale, est indispensable pour la réalisation de tels travaux.

# Prise en compte de la variabilité de la réponse individuelle au sein du modèle INRAPORC qui simule la réponse du porc moyen à différentes conduites alimentaires

**Partenaires : IFIP-INRA.**

**Bertrand Vautier (IFIP-Institut du porc)**

Le modèle InraPorc permet de simuler des profils de croissance et d'ingéré. Ces profils peuvent être ajustés individuellement ou sur une moyenne des poids et des consommations d'une bande. Ce profil moyen d'une bande est un mauvais estimateur des besoins nutritionnels de l'ensemble de la bande, car les animaux ayant des besoins supérieurs à la moyenne ne pourront pas réaliser leur croissance estimée. Une solution est d'utiliser le modèle InraPorc sur une série de profils reproduisant l'hétérogénéité générique d'une bande. De cette façon il est possible d'observer la variabilité des réponses à une stratégie alimentaire et d'évaluer les besoins de l'ensemble d'une bande.

L'étape clé de cette démarche étant l'obtention d'un générateur de bandes virtuelles, la présentation portera sur :

- L'évaluation de 8 bandes élevées à la station de l'IFIP (Romillé). Ces bandes permettent d'étudier les liens entre individus du point de vue de leur profil de croissance
- Découpage de la variabilité des profils en un vecteur moyen des paramètres InraPorc et une matrice de covariance des paramètres autour de leurs moyennes.
- Sélection de vecteurs moyens et matrice de covariance et génération de bandes issues de ce modèle générique.

## **Partenaires.**

INRA : Ludovic Brossard, Jaap van Milgen

IFIP : Nathalie Quiniou, Bertrand Vautier

## **Facteurs de réussites et verrous identifiés**

| <b>Facteurs de réussite</b>                                | <b>Verrous</b>   |
|--|--|
| Cohésion entre participants (longue collaboration)         | Besoin de rechercher d'autres compétences (portage de méthode d'analyse factorielle) |
| Complémentarité des compétences (nutrition – modélisation) | Vérification des données   |
| Démarche validée par travaux précédents                    |  |
| Proximité géographique des sites (INRA – IFIP – Elevage)   |  |

## **La modélisation dans le département PHASE de l'INRA : pourquoi et comment ?**

**Jean-Baptiste Coulon (INRA) et Florence Garcia-Launay (INRA).**

Deux éléments de contexte mettent en avant la modélisation dans les travaux futurs du département PHASE. D'une part, la nécessité pour les chercheurs travaillant à l'échelle de la cellule, de l'organe ou de l'animal d'intégrer un nombre croissant de données pour décrire, comprendre et prédire le fonctionnement de ces structures (biologie prédictive), et d'autre part l'évolution du contexte de l'élevage qui pose de nouvelles questions aux chercheurs. Il s'agit notamment de concevoir et d'évaluer de nouveaux systèmes et pratiques répondant aux différents enjeux de l'élevage futur. Il faut pour cela représenter le fonctionnement des systèmes, en concevoir de nouveaux et les évaluer sur de nombreux critères simultanément. La modélisation, associée à l'expérimentation et à l'observation in situ est un outil incontournable pour cela. Enfin, la modélisation doit être considérée comme une alternative, lorsque cela est possible, à l'expérimentation animale, notamment dans le cas d'expériences lourdes et invasives.

Pour fédérer les travaux dans ce domaine et optimiser ses productions, le département a mis en place une animation transversale consacrée à la modélisation et souhaite investir dans les plateformes méthodologiques en cours de développement à l'INRA. L'Animation Transversale Modélisation systémique du département PHASE (Atmosphère) rassemble plus de 130 inscrits. En plus de journées annuelles d'échange des résultats, des actions de formation et d'information y sont engagées ainsi que des réflexions sur l'utilisation de la modélisation dans le département. Ainsi, Atmosphère a engagé une réflexion sur les opportunités créées par la plateforme RECORD ainsi qu'un état des lieux des travaux de modélisation menés dans le département. Un travail d'enquête encore en cours et probablement non exhaustif a ainsi permis de recenser plus de 83 modèles développés dans le département PHASE au cours des 10-15 dernières années, qui permettent de simuler le métabolisme de différents nutriments (n=18), les performances d'animaux à travers leurs fonctions (ingestion, digestion, croissance, lactation, reproduction...) (n=29), ou encore les performances des troupeaux (n=18) ou des exploitations (n=18) dans les territoires agricoles, en fonction des conditions environnementales et des pratiques des éleveurs. Les 21 modèles déjà inclus dans un logiciel fonctionnent pour leur grande majorité à l'échelle de l'animal, tandis que les modèles troupeaux, exploitations et bassins versants n'ont quasiment pas fait l'objet d'outils logiciels. Adapter et intégrer ces modèles en co-construisant des logiciels d'aide à la décision peut contribuer à l'utilisation de la modélisation dans les instituts techniques et répondre à des problématiques de gestion des troupeaux ainsi que d'optimisation des performances économiques et environnementales des systèmes d'élevages.

## La modélisation dans les instituts de production animale : attendus, expérience et enjeux

### Yvon SALAÛN (IFIP-Institut du porc)

La modélisation (qu'il faudrait sans doute définir) est une pratique déjà ancienne dans les Instituts techniques animaux. Dès le début des années 80, la démocratisation de l'informatique et l'avènement des PC permettent la mise en œuvre d'outils, le plus souvent conçus pour l'aide à la décision, mobilisant des modèles.

Il s'agit le plus souvent de représenter et simuler le fonctionnement d'un système de production animale (SPA) pour appréhender les variations de résultat (technique/ économique/ environnemental) de ce système (sur la base d'un ou plusieurs indicateurs) selon le niveau de variables d'entrée (structurelles ou de fonctionnement).

Ces outils peuvent être de statut très variable, depuis le simple tableur jusqu'à l'application informatique dédiée (basic puis C++). Cette production d'outils s'est poursuivie jusqu'à aujourd'hui.

#### **Ce qui est attendu de la modélisation :**

- Construire des outils d'aide à la décision utilisables et utilisés

Ils peuvent opérer à différentes échelles (fonction spécialisée/animal/groupe d'animaux/ troupeau /exploitation) et tenter de répondre à des interrogations diverses telles que concevoir des SPA optimisés, optimiser une fonction de production, appuyer l'expertise d'un technicien en vue d'un diagnostic ou encore offrir un support à l'apprentissage.

Selon l'objectif, les modèles sont, respectivement et le plus souvent, des modèles de simulation mécanistes (ensemble d'équations rendant compte de relations de cause à effet), parfois des outils visant à optimiser une fonction de résultat, par simulation ou programmation linéaire (formulation d'aliments composés...), ou plus rarement des modèles empiriques (établis sur la base de liens statistiques entre entrées et sorties, ou statuant sur des écarts à un standard).

Enfin, il s'agit le plus souvent de modèles biotechniques et, plus rarement, décisionnels.

- Les modèles sont aussi utilisés pour comprendre le fonctionnement de systèmes complexes et les interactions qui y sont à l'œuvre, à différentes échelles fonctionnelles ou spatiales (l'animal/le SPA/le territoire), avec vocation de guider les évolutions à promouvoir.

- La prévision enfin mobilise souvent la modélisation, avec des acceptions différentes selon qu'il s'agit de prévoir l'état futur d'une donnée (prix d'intrant ou de produit) ou le fonctionnement d'un système complexe (effets d'accumulation sur le long terme ; sensibilité /robustesse évaluée par la mise en œuvre de composantes stochastiques) ou encore d'expérimenter virtuellement un système non observable en l'état.

**Les compétences disponibles** sont un peu le talon d'Achille des instituts : si l'ingénierie informatique ne semble pas le facteur limitant, la difficulté à spécialiser des moyens humains pour la mise en œuvre de la modélisation est réelle, les compétences restant un peu dispersées et partielles (entrée thématique ; difficulté à capitaliser). Les rapprochements opérés sur ce sujet avec les équipes de l'INRA (plusieurs UMT, RMT, plate-forme modélisation, projets communs, thèses co-financées ou co-gérées...) pallient partiellement ces faiblesses ; mais le relais R/R&D est encore insuffisant.

**A l'aune de l'expérience** accumulée, on peut se risquer à un regard critique sur la pratique de la modélisation : la réalisation de modèles d'aide à la décision est sans doute le champ où les succès ont été les plus visibles, à la condition toutefois que l'utilisateur (questionnement, capacités) et l'usage (rapport coût d'usage/efficacité) dictent la conception de l'outil, en général, et du modèle lui-même (qui n'en est que le noyau dur), en particulier. Le rôle de pourvoyeur de connaissances peut aussi être tenu par les modèles (exemple de l'utilisation de Mélodie pour l'évaluation multi-critères de SPA archétypaux, à vocation générique), avec toutefois parfois des interrogations sur le coût d'acquisition de cette connaissance. Le lien est aussi à renforcer entre modélisation et expérimentation (dans les deux sens).

#### **Et demain ?**

La réalisation de modèles prend de l'importance dans l'activité des instituts et cette tendance devrait se poursuivre, dans les différentes dimensions évoquées. A côté des modèles destinés à l'aide à la décision (de l'échelle de fonctions spécialisées au système), de nouveaux champs d'application s'ouvrent, comme le pilotage en temps réel (de l'alimentation, des conditions de milieu, ...) associant mesures instantanées et règles de pilotage. Quelques premiers pas en ce sens sont évoqués au cours de ce séminaire.

Des domaines peu explorés jusqu'ici pourraient l'être davantage, telle la représentation de la décision (dans le champ de l'analyse économique par exemple : prévision de prix, ...), les modèles réalisés à ce jour étant essentiellement de nature biotechnique.



## **Les interactions entre modélisation et expérimentation dans les ITA des filières animales.**

**Jeanne Guégan (ACTA).**

Cette présentation est l'occasion d'identifier les interactions entre modélisation et expérimentation recensées dans les instituts techniques agricoles des filières animales. Son objectif est de lancer la discussion à partir des témoignages que nous avons recueillis.

Le projet « Profiter des outils innovants de modélisation pour mieux valoriser les données expérimentales des instituts techniques agricoles » s'inscrit dans le volet 2 du RMT Modélisation, axé sur les synergies entre modélisation, expertise et expérimentation. Son objectif est d'évaluer dans quelle mesure on pourrait mieux profiter des avantages de la modélisation et mieux valoriser les dispositifs d'expérimentation pour répondre aux questions que les Instituts Techniques Agricoles doivent aborder. Nous travaillons actuellement à l'analyse des dispositifs expérimentaux et de leurs interactions avec la modélisation. Pour ce faire, nous avons procédé à des entretiens avec différents experts des instituts techniques, et nous avons diffusé une enquête afin d'élargir notre champ de réflexion.

Ces entretiens et enquête ont permis d'identifier les interactions existantes entre modélisation et expérimentation, expliquées à la lumière de plusieurs exemples concrets. Les données expérimentales peuvent être mises au service de la modélisation, dans le cadre du développement ou de la validation de modèles. Les modèles peuvent aussi être mis au service de l'expérimentation, en aidant au pilotage des essais, à la réduction de l'effort expérimental, et à l'orientation des programmes ; ils permettent parfois de générer des variables difficiles ou très coûteuses à mesurer. Enfin, l'articulation des deux méthodes facilite la généralisation des résultats et la formulation d'une expertise.

Dans la pratique, la gestion de ces interactions entre modélisation et expérimentation soulève des questionnements, voire se heurte à des freins de différentes natures. Des questions méthodologiques apparaissent pour les modélisateurs, notamment le manque de représentativité des données collectées en station expérimentale ou la disponibilité des données pour contrer la variabilité individuelle des animaux. Les expérimentateurs, quant à eux, peuvent avoir des difficultés à s'approprier les outils développés, ou se poser la question de la fiabilité des modèles qu'ils utilisent dans le cadre de leurs essais. Globalement, le développement et l'utilisation des modèles sont exigeants en main d'œuvre.

Des solutions sont envisageables et/ou ont été mises en œuvre dans des instituts : mise en place de bases de données fournissant des données en quantité et en qualité, faciles à remobiliser, combinaison de différents moyens d'acquisition de références, concertation dès le départ entre modélisateurs et futurs utilisateurs, journées de formation... L'introduction de ces pistes de réflexion devrait lancer la discussion.

## Liste des participants

| Nom Prénom                   | Courriel                                   | Institut                    |
|------------------------------|--|-----------------------------|
| Aubry Alexia                 | alexia.aubry@ifip.asso.fr                  | IFIP                        |
| Baratte Christine            | christine.baratte@rennes.inra.fr           | INRA                        |
| Baumont René                 | baumont@clermont.inra.fr                   | INRA                        |
| Bossuat Hervé                | herve.bossuat@acta.asso.fr                 | ACTA                        |
| Brossard Ludovic             | ludovic.brossard@rennes.inra.fr            | INRA                        |
| Brun François                | francois.brun@acta.asso.fr                 | ACTA                        |
| Brun-Lafleur Laure           | laure.brun-lafleur@idele.fr                | IDELE                       |
| Brunschwig Philippe          | philippe.brunschwig@idele.fr               | IDELE                       |
| Cabon Gildas                 | g.cabon@arvalisinstitutduvegetal.fr        | Arvalis                     |
| Carel Yannick                | y.carel@arvalisinstitutduvegetal.fr        | Arvalis                     |
| Champciaux Pascal            | pascal.champciaux@clermont.inra.fr         | INRA                        |
| David Valérie                | valerie.david@idele.fr                     | IDELE                       |
| Dollé Jean-Baptiste          | jean-baptiste.dolle@idele.fr               | IDELE                       |
| Espagnol Sandrine            | sandrine.espagnol@ifip.asso.fr             | IFIP                        |
| Faverdin Philippe            | philippe.faverdin@rennes.inra.fr           | INRA                        |
| Ferard Alexis                | a.ferard@arvalisinstitutduvegetal.fr       | Arvalis                     |
| Ferrand Marion               | marion.ferrand@idele.fr                    | IDELE                       |
| Fournier Agnès               | agnes.fournier@ensaia.inpl-nancy.fr        | ITAVI/Nancy Université      |
| Francis W. Posseme Nguelongo | nguelongo@yahoo.fr                         | Inst. Tech. d'élevage Maroc |
| Frédéric Douhard             | douhard@agroparistech.fr                   | INRA-AgroParisTech          |
| Garcia Florence              | florence.garcia@clermont.inra.fr           | INRA                        |
| Giger-Reverdin Sylvie        | sylvie.giger-reverdin@agroparistech.fr     | INRA-AgroParisTech          |
| Guégan Jeanne                | jeanne.guegan@acta.asso.fr                 | ACTA                        |
| Jaap van Milgen              | jaap.vanmilgen@rennes.inra.fr              | INRA                        |
| Jacqueroud Marie-Pierre      | marie-pierre.Jacqueroud@idele.fr           | IDELE                       |
| Jacques Agabriel             | jacques.agabriel@clermont.inra.fr          | INRA                        |
| Jean-Baptiste Coulon         | jean-baptiste.coulon@clermont.inra.fr      | INRA                        |
| Jondreville Catherine        | catherine.jondreville@ensaia.inpl-nancy.fr | INRA/Nancy Université       |
| Le Gall André                | andre.legall@idele.fr                      | IDELE                       |
| Lopez Carlos                 | carlos.lopez@idele.fr                      | IDELE                       |
| Lucbert Jacques              | jacques.lucbert@idele.fr                   | IDELE                       |
| Magne Marie-Angéline         | marie-angelina.magne@toulouse.inra.fr      | ENFA-INRA                   |
| Makowski David               | makowski@grignon.inra.fr                   | INRA                        |
| Malpaux Benoît               | benoit.malpaux@tours.inra.fr               | INRA                        |
| Marcon Michel                | michel.marcon@ifip.asso.fr                 | IFIP                        |
| Martin Olivier               | olivier.martin@agroparistech.fr            | INRA-AgroParisTech          |
| Palazon Roger                | roger.palazon@idele.fr                     | IDELE                       |
| Pascal Salvetti              | pascal.salvetti@unceia.fr                  | UNCEIA                      |
| Perochon Laurent             | laurent.perochon@clermont.inra.fr          | INRA                        |
| Piraux François              | f.piraux@arvalisinstitutduvegetal.fr       | Arvalis                     |
| Pottier Eric                 | eric.pottier@idele.fr                      | IDELE                       |
| Puillet Laurence             | laurence.puillet@rennes.inra.fr            | INRA                        |
| Randimbivololona Clio        | crandimbivololona@siac.fr                  | AgraPresse                  |
| Salaun Yvon                  | yvon.salaun@ifip.asso.fr                   | IFIP                        |
| Skiba Fabien                 | f.skiba@arvalisinstitutduvegetal.fr        | Arvalis                     |
| Travel Angélique             | travel.itavi@tours.inra.fr                 | ITAVI                       |
| Valancogne Alain             | alain.valancogne@rennes.inra.fr            | INRA                        |
| Vautier Bertrand             | bertrand.vautier@rennes.inra.fr            | INRA                        |
| Wallach Daniel               | daniel.wallach@toulouse.inra.fr            | INRA                        |



## La modélisation à L'Institut de l'Élevage

### ○ Quels sont les thèmes sur lesquels des outils de modélisation sont mobilisés ?

L'Institut de l'Élevage utilise les outils de modélisation dans les domaines suivants :

- *L'évaluation des impacts environnementaux*  
L'Institut de l'Élevage, l'INRA (UMR PL et UMR SENAH) et l'IFIP ont développé un outil de simulation des impacts environnementaux des exploitations laitières et/ou porcines : MELODIE. L'objectif de ce modèle est de simuler en dynamique, sur un pas de temps long, les flux d'éléments (C, N, P, K, Cu, Zn) vers l'eau, l'air et le sol. Il permet d'évaluer *ex ante* et en multicritères des stratégies de production en relation avec la variabilité climatique. Cet outil offre de nombreuses possibilités d'utilisation pour la recherche et le développement. Des champs difficilement accessibles par l'expérimentation pourront être étudiés (effet long terme, variabilité des conditions pédoclimatiques) associés à des scénarios trop prospectifs pour être mis en application sur le terrain. Il servira à terme à l'étude de l'impact sur l'environnement de systèmes d'exploitation innovants suivis sur des longues périodes (20 à 30 ans).
- *La conduite de systèmes laitiers :*  
Un travail de thèse en cours a pour objectif l'élaboration d'un modèle stochastique dynamique individus-centrés afin d'étudier les conséquences des pratiques d'élevage sur le fonctionnement et les productions d'un troupeau laitier. Ce modèle pourra conduire à terme à la production d'outils d'aide à la décision dans les choix de conduite des systèmes laitiers afin d'accroître les capacités d'anticipation pour répondre aux attentes des éleveurs et des transformateurs. Ce travail est mené au sein de l'équipe système laitier de l'UMR PL dans le cadre de l'Unité Mixte Technologique « Recherche et Innovation en Elevage laitier » RIEL associant l'INRA et l'Institut de l'Élevage.
- *L'élaboration de références technico-économiques de systèmes d'élevages*  
L'Institut de l'Élevage a conçu un outil de simulation OSMOSE qui permet de formaliser la connaissance acquise sur le fonctionnement des élevages suivis dans les réseaux d'élevages et d'harmoniser l'élaboration de références technico-économiques par l'intermédiaire de la production de cas-types. Ce travail s'inscrit dans le cadre de l'animation du dispositif des Réseaux d'Élevage pour le conseil et la prospective (RECP) mené en partenariat avec l'APCA et les chambres

d'agriculture. Il sera utilisé par les ingénieurs de l'Institut de l'Élevage et par les ingénieurs départementaux des réseaux. Il fournira des références à destination des éleveurs et permettra de réaliser des études d'impact de modifications d'itinéraires techniques, de conjonctures économiques particulières à destination des pouvoirs publics ou des fédérations professionnelles.

- *La conduite de troupeaux caprins laitiers (ATEC)*  
Un modèle de simulation empirique de prévision de la production laitière d'un troupeau caprin réparti selon différents lots d'animaux a été développé à partir d'un référentiel de courbes de lactation. Ce produit destiné aux techniciens du Contrôle Laitier Caprin permettra un ajustement de la production aux contraintes de gestion (livraison ou transformation du lait) tout en offrant une gestion plus souple de la conduite des lots par la sortie d'animaux en cours de lactation et le contrôle des lactations longues.

### **Zoom : Melodie et expérimentation virtuelle**

Un outil de modélisation tel que MELODIE permet la réalisation de simulations planifiées afin d'évaluer l'impact environnemental de systèmes de production dans des conditions contrôlées. Ces expérimentations virtuelles fournissent des résultats difficiles à obtenir dans le cadre des expérimentations terrain.

#### **Premières applications :**

Deux types de systèmes fourragers {« Maïs », « Herbe »} associés à trois niveaux de concentrés {« Haut », « Moyen », « Bas »} ont fait l'objet de simulations afin de relier le bilan de l'azote aux pertes environnementales. Le potentiel génétique du troupeau a été fixé à 40 kg/j au pic de lactation (multipares), 30 kg/j (primipares). Les effectifs d'animaux ont été simulés quotidiennement à l'aide du modèle GEDEMO avec des taux de renouvellement respectivement de 35% et 30%. Les rendements moyens ont été simulés par STICS en utilisant les séries climatiques du Rheu entre 1983 et 2006.

Les simulations sur le long terme ont permis de mettre en évidence une variabilité intra-système, sur le bilan et le lessivage de l'azote, plus importante que la variabilité inter-systèmes en raison d'une forte variabilité interannuelle. Elles confirment également le lien entre l'excédent du bilan, le stock d'azote organique dans le sol et le lessivage en relation avec la variabilité interannuelle.

Les plans d'expérience pourront être complétés en intégrant des répétitions intra-système et année de sorte à disposer d'une variance intra-système ajustée des effets annuels.

**Partenaires :** INRA UMR PL

**Contact :** Christelle Raison, Institut de l'Élevage  
[christelle.raison@inst-elevage.asso.fr](mailto:christelle.raison@inst-elevage.asso.fr)

### ○ Quels types de modélisation ?

Les approches sont diverses, modélisation systémique (au niveau de l'exploitation considérée en tant que système), modèles individus-centrés, modèles statistiques mais également des modèles de simulation empiriques et de la formalisation de connaissances.

#### **Zoom : Evaluation environnementale multicritères et analyse d'incertitude**

L'utilisation de modèles suppose de bien connaître le niveau de précision de leurs prédictions. Un travail va être mené dans le cadre de trois projets CASDAR conduits à l'Institut de l'Élevage, sur l'évaluation des impacts environnemental des systèmes de production animale, mesurés, à partir de l'Analyse de Cycle de Vie (ACV), à l'échelle de l'exploitation agricole.

Ces sources d'incertitude proviennent des données brutes, des facteurs d'émission et de conversion des données d'activité en quantités de polluants ainsi que des facteurs de caractérisation permettant de convertir les quantités de polluants en quantification d'impact (équivalent CO<sub>2</sub>).

La variabilité sur les différentes sources d'incertitude sera estimée par générations selon des lois de probabilité (méthode de Monte Carlo) et une analyse de sensibilité permettra de mesurer la contribution de l'incertitude de chacune des sources à l'incertitude globale du système.

- Dans un premier temps les estimations porteront sur les niveaux d'erreur des émissions de gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>).

- Dans un second temps des estimations d'erreur seraient calculées au niveau de l'exploitation sur des indicateurs d'impacts de pratiques agricoles (eutrophisation, acidification, toxicité terrestre, énergie, occupation des surfaces).

**Partenaires** : Les chambres d'agricultures, INRA (UMR PL, UMR SAS, UMR EGC)

**Contacts** : Christelle Raison

[christelle.raison@inst-elevage.asso.fr](mailto:christelle.raison@inst-elevage.asso.fr)

Jérôme Pavie

[jerome.pavie@inst-elevage.asso.fr](mailto:jerome.pavie@inst-elevage.asso.fr)

Roger Palazon

[roger.palazon@inst-elevage.asso.fr](mailto:roger.palazon@inst-elevage.asso.fr)

### ○ Comment est organisé le travail de modélisation ?

Les travaux de modélisation ayant trait à la conduite des troupeaux bovins laitiers dans le système « Exploitation » et à son impact sur l'environnement sont menés en étroite collaboration avec l'UMR PL de l'INRA dans le cadre de l'UMT RIEL ainsi qu'avec l'UMR SENAH. L'UR BIA a également apporté son soutien pour les aspects conceptuels de simulation des systèmes pilotés. Les outils OSMOSE et ATEC ont été développés en interne. Les travaux sont menés par les différentes équipes de projets avec des sollicitations, le cas échéant, auprès du Service Biométrie de l'Institut sur des aspects statistiques. Certains ingénieurs ont également suivi les formations de modélisation proposées par le club de modélisation INRA-ACTA-ICTA.

### ○ Quelles sont les grandes attentes vis-à-vis de la modélisation ?

La modélisation offre des perspectives très prometteuses notamment pour étudier l'impact de conduites innovantes sur du long terme impossibles à tester avec l'outil expérimental classique (MELODIE). A ce titre la planification d'expérimentations virtuelles basées sur l'utilisation d'un modèle permet d'accumuler des références à moindre coûts. Elle permet également de formaliser et structurer la connaissance et de rationaliser ainsi la production de références (OSMOSE). C'est enfin un outil d'aide à la décision permettant des choix raisonnés entre différentes conduites ou itinéraires techniques (ATEC).

#### **Zoom : La modélisation du fonctionnement d'un troupeau laitier**

Ce modèle en cours de développement est un modèle individu-centré basé sur un module « lactation » qui simulera sur le long terme les performances d'un animal en fonction de son type génétique et des décisions de conduite et d'un module « troupeau piloté » intégrant la gestion des animaux non productifs (vaches tarées, génisses).

Le premier module, basé en partie sur le modèle d'évaluation génétique développé à Jouy, permet d'intégrer des facteurs liés à la vache (race, numéro de lactation, âge au vêlage) et à la gestion de la reproduction (mois de vêlage, durée de tarissement) pour estimer la quantité et la composition du lait potentiel moyen produit par une vache. Le lait potentiel est ensuite intégré dans un modèle de lactation plus large qui prend en compte l'effet de l'alimentation et gère la répartition des nutriments entre les différentes fonctions de l'animal.

Les premières simulations permettront d'évaluer le modèle sur des situations connues pour vérifier la cohérence du modèle d'action.

A terme, le modèle permettra de comparer différents systèmes d'élevage laitiers et de tester l'importance de différentes règles de décision sur le comportement du troupeau laitier.

**Partenaires** : INRA UMR PL, UMR BIA

**Contacts** : Laure Brun-Lafleur (doctorante)

[laure.brun-lafleur@inst-elevage.asso.fr](mailto:laure.brun-lafleur@inst-elevage.asso.fr)

Valérie Brocard

[valerie.brocard@inst-elevage.asso.fr](mailto:valerie.brocard@inst-elevage.asso.fr)

### ○ Quelle est la stratégie de diffusion des outils ou des résultats de modélisation vers le conseil, les éleveurs ?

Les outils de modélisation sont principalement des outils de recherche sur la conduite des systèmes de production. Le produit ATEC est le seul à s'inscrire dans une démarche d'aide au conseil vis-à-vis des techniciens chargés de l'appui technique auprès des éleveurs caprins. Certains modèles devraient toutefois déboucher à terme sur des outils de conseil opérationnels pour les techniciens.

#### **Rédaction et contacts:**

Carlos Lopez (IE), [carlos.lopez@inst-elevage.asso.fr](mailto:carlos.lopez@inst-elevage.asso.fr)

François Brun (ACTA), [francois.brun@acta.asso.fr](mailto:francois.brun@acta.asso.fr)

Information sur le RMT modélisation : [www.modelia.org](http://www.modelia.org)





## La modélisation à l'IFIP – institut du porc

### ○ Quels sont les thèmes sur lesquels des outils de modélisation sont mobilisés à l'IFIP ?

Les outils de modélisation mis en place à l'IFIP concernent essentiellement les thèmes suivants :

- *Evaluation des impacts environnementaux* : la modélisation menée au travers du projet MELODIE permet d'évaluer l'impact des exploitations sur l'eau, l'air et le sol, en simulant notamment les flux d'éléments (C, N, P, K, Cu et Zn). D'autres projets de modélisation devraient voir le jour dans les prochains mois, concernant des modèles d'indicateurs environnementaux complémentaires de la Gestion technico-économique (exemple : Bilan Réel Simplifié ou BRS), des modèles de calcul des émissions de gaz à effet de serre (Ges-tim), ou encore des modèles permettant de mesurer les impacts environnementaux via des analyses de cycle de vie (ACV).
- *Questions énergétiques* : la modélisation des consommations énergétiques dans différents types de bâtiments d'élevage et selon différentes conditions climatiques, permet de proposer un outil informatisé (web) pour réaliser un diagnostic énergétique en élevage et mieux maîtriser le coût. Une démarche similaire est mise en place pour déterminer l'intérêt technico-économique de la méthanisation dans différents contextes d'élevage (METHASIM).
- *Gestion de l'élevage* : la modélisation de la croissance et de la consommation des porcs issus de différentes lignées génétiques permet de proposer des stratégies alimentaires adaptées au stade physiologique de l'animal (InraPorc®). Par ailleurs, ces modèles permettent de calculer des paramètres (GMQ, IC) standardisés permettant les comparaisons de performances entre élevages.
- *Economie de l'élevage, analyse de la conjoncture* : des calculateurs de coûts sont développés (le plus souvent sous Excel) pour évaluer l'impact économique d'une pratique sur le résultat économique de l'élevage. Des modèles spécifiques permettent par ailleurs de réaliser des prévisions du prix du porc et du prix de l'aliment.

### **Zoom : InraPorc®**

L'outil InraPorc® permet de modéliser la croissance et la consommation des porcs pour estimer leurs besoins nutritionnels et proposer les stratégies alimentaires les mieux adaptées.

Le logiciel est développé par l'INRA, et l'IFIP met en œuvre les moyens expérimentaux (station d'expérimentation) et d'analyse (à partir des données des stations d'évaluation de performances), et réalise, pour différents profils d'animaux, l'évaluation des paramètres du modèle selon la méthode établie.

**Principaux résultats à ce jour :** Les utilisateurs d'InraPorc®, en particulier les nutritionnistes des firmes d'aliments, paramètrent le profil animal de leur choix à partir de critères qu'ils téléchargent via le site Internet de l'IFIP ([www.ifip.asso.fr](http://www.ifip.asso.fr)) rubrique Repères techniques / Alimentation / InraPorc®).

**Partenaires :** INRA.

**Contact :** Nathalie QUINIOU, IFIP-institut du porc, Pôle techniques d'élevage, [nathalie.quiniou@ifip.asso.fr](mailto:nathalie.quiniou@ifip.asso.fr)

### ○ Comment est organisé le travail de modélisation à l'IFIP ?

Le degré d'implication de l'IFIP dans le travail de modélisation est variable selon les projets. Certains modèles sont développés par l'INRA ou d'autres structures et l'IFIP a en charge l'évaluation des paramètres liés à l'élevage porcin et/ou l'application à différents systèmes (MELODIE, Ges-tim, ACV, METHASIM, Inraporc®).

D'autres modèles sont développés par l'IFIP, en totalité (calculateurs de coûts, prévisions de prix) ou basés en partie sur des modèles existants (Diagnostic énergie, BRS).

### ○ Quelle est la stratégie de diffusion des outils ou des résultats de modélisation vers le conseil, les producteurs ?

Les modèles ou les résultats des travaux de modélisation menés à l'IFIP sont utilisés le plus souvent en interne pour alimenter des études, et peuvent être alors diffusés aux partenaires via les résultats de ces études. Certains modèles aboutissent à la réalisation d'outils développés en interne par les ingénieurs ou les informaticiens de l'IFIP, et peuvent être mis à disposition de partenaires (techniciens de terrain), en général avec l'appui de formations spécifiques (exemple : METHASIM).

**Zoom : Diagnostic énergie en bâtiment porcin**

L'IFIP a développé à cette fin en interne un modèle permettant, selon les caractéristiques des bâtiments et les paramètres climatiques, d'évaluer la consommation énergétique d'un élevage.

Ce modèle fonctionne à partir de paramètres liés à l'ambiance dans les bâtiments d'élevage, et des résultats fournis par le logiciel *Staldivent*, lequel modélise spécifiquement les consommations énergétiques pour le chauffage et la ventilation, souvent mal connues des éleveurs. Ce logiciel développé par une société danoise et adapté aux élevages français par l'IFIP, permet d'établir la cinétique des consommations selon des données climatiques horaires et les caractéristiques propres du bâtiment (type d'isolant, épaisseur d'isolant, type de parois, type de couverture, taille des salles, débits de ventilation, consignes de chauffage et de ventilation, etc.).

**Principaux résultats à ce jour :** Le diagnostic énergie est appliqué par les ingénieurs de l'IFIP à des cas concrets d'élevages, pour fournir un conseil personnalisé. L'outil utilisé est diffusé principalement à des techniciens de groupements de producteurs spécialisés en bâtiment et/ou environnement, lors de formations spécifiques mises en place par l'IFIP.

**Partenaires :** Institut de l'Élevage et ITAVI, CRA Bretagne et Pays de la Loire, Danish exergy Technology (commercialisation du logiciel *Staldivent*). Projet financé en partie par l'ADEME.

**Contact :** Patrick MASSABIE, IFIP-institut du porc, Pôle techniques d'élevage,  
[patrick.massabie@ifip.asso.fr](mailto:patrick.massabie@ifip.asso.fr)

○ **Quelles sont les grandes attentes vis-à-vis de la modélisation pour l'IFIP ?**

La modélisation est avant tout appréciée en tant qu'alternative à l'expérimentation animale en élevage et comme aide à la décision. Elle permet de tester différentes situations nutritionnelles (InraPorc®), d'évaluer dans plusieurs contextes climatiques différents types de bâtiments ou des choix techniques les concernant : type de matériau, degré d'isolation optimal (diagnostic énergie), ou encore d'optimiser le pilotage de la climatisation. Par ailleurs, la modélisation permet de disposer de données difficiles à obtenir par la mesure directe, en raison de la précision des mesures ou de leur coût (CO<sub>2</sub>, humidité, ...).

Les études d'impact environnemental intègrent de nombreux paramètres (analyses multicritères), qui entraînent de nombreuses mesures, dont certaines complexes à réaliser, ce qui génère un coût élevé. La modélisation peut alors se substituer à l'expérimentation, et permettre de réaliser rapidement des calculs complexes faisant intervenir de nombreux paramètres. Elle permet ainsi de représenter le fonctionnement de systèmes complexes et de raisonner les impacts potentiels

afférents. Par ailleurs, la stochasticité des modèles et la possibilité de réaliser de multiples simulations permettent d'appréhender la sensibilité des systèmes à la variation des conditions de milieu, ce qui est peu réalisable en expérimentation réelle.

Enfin, la modélisation est un bon outil pédagogique : elle intègre l'ensemble des connaissances disponibles sur le fonctionnement du système étudié (animal, bâtiment, ...) et son résultat est en général représenté simplement.

**Zoom : METHASIM**

Ce projet en cours (AAP CASDAR 2007-2009) vise à développer un calculateur pour déterminer l'intérêt technico-économique de la méthanisation dans différents contextes de production animale et à acquérir des références. Ce calculateur permettra :

- de représenter de manière précise le projet de méthanisation et les conditions de son insertion dans le système de production (types de substrats disponibles, rendements attendus, cogénération, utilisation de l'énergie thermique produite...)
- de déterminer les temps de retour et taux de rendement interne des investissements envisagés ;
- de mieux identifier, lors de études de faisabilité, les attendus et pré-requis indispensables, afin de mieux cibler les attentes et de faire émerger plus rapidement les projets de méthanisation ;
- et plus généralement, de faire des études prospectives sur l'intérêt, ou non, de développer la méthanisation dans les élevages français en proposant plusieurs scénarios selon l'évolution du coût des énergies, des coûts d'investissement et de fonctionnement, des disponibilités d'approvisionnement en matière organique, des synergies locales,...

**Principaux résultats à ce jour**

Acquisition de références, organisées en bases de données, permettant de faciliter la saisie des paramètres du modèle (exemples : données climatiques, pouvoir méthanogène de substrats possibles). Le calculateur sera accessible fin 2009 via un outil web, en cours de développement par l'IFIP pour le compte de l'ensemble des partenaires. Il sera destiné aux conseillers agricoles spécialisés (environnement, bâtiment) pour l'aide au conseil des éleveurs. Ce calculateur a vocation à réaliser ce que l'on appelle un pré-diagnostic (étude préalable fixant les contours techniques du projet, avant toute réalisation). Un guide d'accompagnement sera rédigé.

**Partenaires :** AILE, Chambre Régionale d'Agriculture, IFIP (organisme pilote), Institut de l'Élevage, ITAVI, SOLAGRO, TRAME

**Contact :** Pascal Levasseur, IFIP-institut du porc, Pôle techniques d'élevage,  
[pascal.levasseur@ifip.asso.fr](mailto:pascal.levasseur@ifip.asso.fr)

**Rédaction et contacts:**

François Brun (ACTA), [francois.brun@acta.asso.fr](mailto:francois.brun@acta.asso.fr)

Alexia Aubry (IFIP), [alexia.aubry@ifip.asso.fr](mailto:alexia.aubry@ifip.asso.fr)

Information sur le RMT modélisation : [www.modelia.org](http://www.modelia.org)



Avec la contribution financière  
du compte d'affectation spéciale  
«Développement agricole et rural»

## *Communiqué de presse*

# Utilisation de la modélisation pour les Instituts techniques agricoles des filières animales

Séminaire, mardi 22 novembre 2011 de 9h30 à 17h30  
Conférence Hermès 11, rue de la Vistule 75013 PARIS  
Métro : Maison Blanche (Ligne 7)

L'ACTA, le réseau des instituts des filières animales et végétales, a le plaisir de vous annoncer la tenue du prochain séminaire organisé dans le cadre du Réseau mixte technologique modélisation ([www.modelia.org](http://www.modelia.org)).

Ce séminaire propose de faire un état des lieux des travaux collaboratifs de modélisation impliquant les Instituts techniques agricoles : Institut de l'Élevage, IFIP - Institut du porc, ITAVI et ARVALIS – Institut du végétal, et la recherche agronomique (INRA).

Les objectifs sont :

- identifier les facteurs de réussite de ces collaborations ainsi que les attentes des ITA et de l'INRA vis-à-vis de la modélisation de systèmes d'élevage,
- présenter les nouvelles orientations de l'INRA et des ITA, en termes d'objets de recherche et en termes de problématiques, afin de discuter des futures collaborations,
- spécifier les animations communes et les moyens à mettre en œuvre pour améliorer la pratique de la modélisation dans les ITA des filières animales.

Cette journée d'échanges s'adresse principalement aux ingénieurs des filières animales et aux chercheurs et enseignants.

Le programme détaillé est disponible à l'adresse : <http://www.acta.asso.fr/?d=7830>

L'inscription est gratuite et obligatoire à l'adresse :  
<http://www.modelia.org/moodle/course/view.php?id=50>

Contact presse : M.-C. Sela-Paternelle - E-mail : [sela-paternelle@acta.asso.fr](mailto:sela-paternelle@acta.asso.fr), tél. : 01 40 04 50 46  
Contact technique : François Brun - E-mail : [Francois.Brun@acta.asso.fr](mailto:Francois.Brun@acta.asso.fr)

**Pour mémoire ACTA**, le réseau des instituts des filières animales et végétales représente :

- 16 instituts techniques agricoles qualifiés dont l'ACTA tête du réseau.
- Les outils professionnels de recherche appliquée et de transfert technologique au service des filières agricoles.
- Une forte présence sur le territoire national avec plus de 200 implantations en région.
- Une force de 1115 ingénieurs et techniciens.
- Un budget de 180 millions d'euros en 2009 dédiés à la recherche agricole appliquée.