

SOCIÉTÉ DE RECHERCHE
 EN MODÉLISATION
 ET ENVIRONNEMENT

L'impact des activités humaines sur l'environnement est une **préoccupation contemporaine** avec des méthodes d'évaluations plus ou moins précises dans le temps. Elles mènent souvent à la préconisation de la réduction de ces activités, voire la suppression totale.

On ne peut envisager de développement durable sans développement, et les **solutions de pérennité** se trouvent bien souvent dans une adaptation des activités sur des critères ignorés jusqu'ici.

Le laboratoire de recherche privé SCHEME modélise dans l'espace et le temps, les incidences humaines et naturelles sur notre environnement, afin de permettre une **compréhension fine** des systèmes par des outils visuels. Ainsi, aujourd'hui, d'un calcul de risque nous pouvons passer à une prédiction fine de l'état de notre environnement dans 10, 20, 30 ans ou plus.

La science au service de l'environnement

SCHEME a développé des outils spécifiques à l'environnement avec des puissances de calcul aujourd'hui abordables. Son processus, exploitant toutes les phases de la démarche scientifique, aboutit à une conceptualisation du phénomène dans un **langage adapté** à son public final (maquettes, textes, dessins, graphiques...) Ainsi nous pouvons aujourd'hui modéliser les conséquences de la restauration de zones humides sur la capacité auto-épuratrice des bassins versants.



Les méthodes de SCHEME font appel à l'expérimentation virtuelle et à l'utilisation de techniques avancées d'analyses de données dans les domaines suivants :

Paysage / Qualité de l'eau

La gestion de la ressource en eau constitue une très forte demande en Europe. Par exemple dans l'ouest où les spectaculaires algues vertes animent les passions. La conjonction des expertises en informatique et en biologie de SCHEME permet, grâce aux modèles de bassin versant, de visualiser l'incidence de l'organisation du paysage sur la qualité de l'eau, et d'éviter des erreurs et de lourdes sanctions financières pour la France notamment dans le cadre de la directive européenne Nitrates.

Milieux poreux

Des simulateurs complexes permettent de modéliser des écoulements fluides de différentes natures dans les milieux poreux et les transformations engendrées par les interactions avec les différentes phases des milieux (solide, liquide, gazeux, bio film...)

Ce type d'étude s'applique au génie des procédés (par exemple au compostage industriel), à la pollution des nappes par les activités agricoles ou industrielles...

SCHEME, LA RECONQUETE DE LA QUALITE DE L'EAU SUR LES NITRATES.

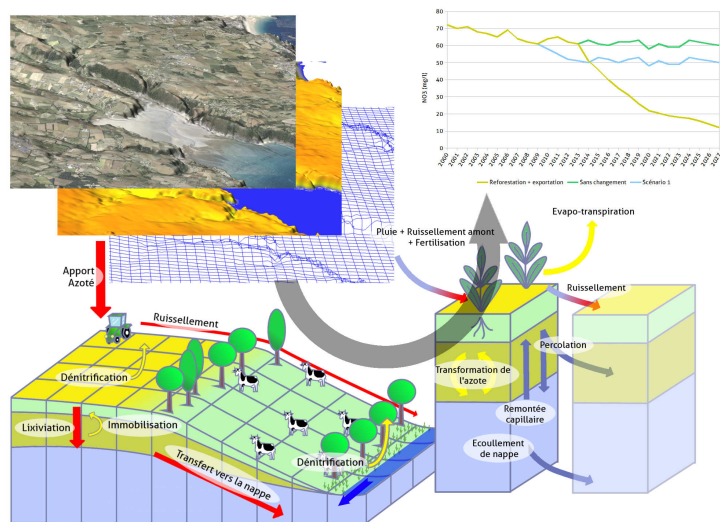
Quelles seront les concentrations en nitrate des cours d'eau dans 10, 15, 20 ans ? Une réorganisation du paysage peut-elle induire une diminution des concentrations ? Quelles seront les conséquences d'un changement de pratique agricole sur la qualité de l'eau ? Quel est l'impact duréchauffement climatique sur le bassin versant ?

Voilà les questions auxquelles SCHEME peut répondre.

Un modèle de la qualité de l'eau dynamique et spatialisé : TNT2

Afin de répondre à ces questions, SCHEME utilise le modèle TNT2 développé par l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA). De part son positionnement en termes de complexité et de représentation du cycle de l'azote à l'échelle du paysage, TNT2 est particulièrement adapté pour répondre aux questions de gestion de la qualité de l'eau sur la problématique azote/nitrate. Il permet, par l'expérimentation virtuelle et en prenant en compte la spécificité du bassin versant étudié, de tester l'impact de scénarios de changements qu'ils soient liés : au climat, aux pratiques agricoles, à l'organisation spatiale et/ou temporelle de ces dernières. Le niveau de discrétisation spatiale permet une représentation explicite des différents éléments du paysage : parcelle agricole, haie, zone humide... Leurs positionnements peuvent avoir une importance

majeure vis-à-vis des processus impliqués dans le cycle de l'azote (e.g. la dénitrification dans les zones humides). De plus, malgré la complexité du modèle, les temps de calculs restent «raisonnables», et permettent une exploration temporelle en accord avec les temps de réponse du système bassin versant : de 10 à 100 ans. Grâce à notre cluster de calcul, nos résultats de modélisation TNT2 peuvent être accompagnés d'intervalles de confiance et de mesures de la crédibilité du modèle.



De l'information spatiale à la modélisation des concentrations

Caractéristiques

TNT2, *Topography-based Nitrogen Transfer and Transformations*, (Beaujouan et al., 2002 ; Oehler 2007) est un modèle agro-hydrologique distribué maillé basé sur 2 modèles fonctionnant séparément mais synchronisés d'après un principe « producteur-consommateur », et communiquant à chaque pas de temps de calcul. Le premier modèle est un modèle hydrologique distribué : TNT, le second est un modèle agronomique de culture : STICS (Brisson et al., 1998). Il décrit, au pas de temps journalier et à l'échelle de la maille, l'organisation latérale et verticale des écoulements de l'eau dans le bassin versant, la croissance des plantes en fonction des conditions pédoclimatiques, les transferts et les biotransformations de l'azote dans le sol et le sous-sol.

Hydrologie

Le module hydrologique (TNT) reprend en grandes parties les hypothèses du modèle hydrologique TOP-MODEL (Beven et Kirkby, 1979; Beven, 1997) en abandonnant l'hypothèse de recharge uniforme de la

nappe, pour représenter l'hétérogénéité des intrants azotés et des chemins de l'eau. Le bassin versant est décomposé en un ensemble de mailles correspondant à la plus petite unité du modèle. Celui-ci prend en compte une double porosité (de rétention et de drainage), et les calculs se font à pas de temps journalier, en suivant un arbre de drainage mono directionnel (une maille se déverse dans une seule maille) ou multi-directionnel (une maille peut se déverser dans plusieurs mailles) qui conditionne l'orientation des flux. Cet arbre dépend directement de la topographie de surface, et est calculé à partir d'un modèle numérique de terrain.

Le modèle nécessite donc une description :

- du milieu physique : relief, profondeur du sol et du sous-sol, porosité, conductivité,
- du milieu agricole : types de culture,
- des variables de forçages : calendrier des pratiques culturales : semis, récolte, apports d'azote,
- des variables climatiques : pluie, température, évapotranspiration potentielle.

Agronomie

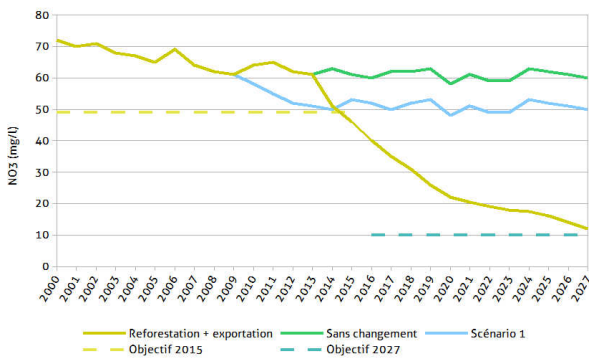
Les principes du modèle « agronomique » STICS (Brisson et al., 1998) ont été repris. Ce modèle a été choisi car il permettait notamment de simuler l'impact d'un stress hydrique et azoté sur la croissance des plantes.

L'originalité de cet outil réside dans :

- son adaptabilité : il peut traiter de nombreuses cultures (blé, maïs, soja, sorgho, lin, prairies, tomate, betterave, tournesol, pois, colza, fraisier, carotte, laitue,...)
- sa robustesse : capacité à simuler des conditions pédoclimatiques variées sans générer de biais importants, au détriment parfois de la précision locale.
- sa modularité « conceptuelle » : possibilité d'ajouter de nouveaux modules. Cette modularité a pour objectif de faciliter les évolutions ultérieures. Un module « prairie » a été spécialement développé, se basant sur un potentiel de production décadaire issu de références régionales.

Résultats

Exemple de simulation de l'évolution des concentrations en nitrate d'un cours d'eau sur 26 ans, selon différents scénarios de changements de pratiques agricoles.



Nos études nous permettent d'obtenir différents types de résultats. Des séries chronologiques à l'exutoire du bassin versant (débit, concentration), des séries chronologiques en un point quelconque du bassin versant (même type de variable), ou encore des cartes présentant les valeurs instantanées, cumulées ou moyennées de certaines variables (stock de nitrate dans le sol, taux

de dénitrification...). Pour chaque grand type de sortie, un grand nombre de variables est disponible. Les variables hydrologiques, type : hauteur d'eau de la nappe, quantité d'azote dans la nappe ou en transit, ruissellement, etc. peuvent être étudiées ainsi que les variables agronomiques et biologiques tel que : la quantité d'azote contenue dans la plante entière, le rapport azote sur carbone de la matière organique fraîche, la quantité d'azote minéral dénitrifiée, etc.

Références

SCHEME a été missionné par l'INRA afin de modéliser l'impact des scénarios de reconquêtes de la qualité de l'eau sur les 14 bassins versants en problématique « algues vertes » de Bretagne. Par ailleurs, l'équipe possède une forte expérience en Nouvelle Zélande où elle a participé à développer TNT2 au sein du National Institute of Water and Atmospheric Research (NIWA).



SCHEME, MODELISATION EN GENIES DES PROCEDES.

Etudier le mode de dispersion atmosphérique d'un polluant. Dimensionner et optimiser les procédés de méthanisation, de bio-séchage ou de compostage. Simuler l'aéraulique d'un bio-réacteur. Définir les paramètres effectifs d'un milieu poreux à partir d'images obtenus par tomographie à rayon X.

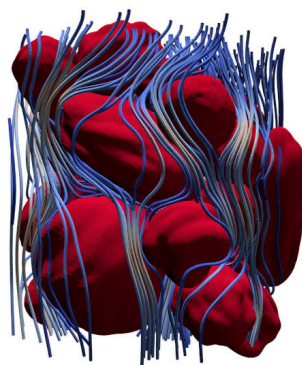
Voilà quelques exemples d'applications que SCHEME est capable de modéliser et simuler.

Le transport multi-échelle en milieu poreux

Un domaine fort de l'activité de SCHEME est la modélisation du transport réactif en milieu poreux. C'est-à-dire, la simulation des écoulements de fluides de différentes natures dans les milieux poreux et les transformations chimiques et/ou biologiques qui en découlent. Ces transformations sont engendrées par les interactions entre les constituants des différentes phases du milieu ou les constituants du ou des fluides mis en œuvre. Les modèles mathématiques résultants de l'étude de ces différents phénomènes fortement couplés sont résolus par l'intermédiaire de simulateurs complexes dits « Multiphysic Computational Fluid Dynamics ». Ces outils permettent de simuler et conceptualiser des applications industrielles en lien avec l'environne-

ment et le génie des procédés tel que : les bio-réacteurs (e.g. compostage industriel, méthanisation, bio-séchage), la biofiltration, la gazéification en lit fixe, les transferts de polluant dans les nappes, etc.

Afin de répondre à ces problématiques SCHEME utilise le solveur OpenFOAM® (Open Field Operation And Manipulation). Il s'agit d'une boîte à outils multi-physique et open source principalement axée sur la résolution des équations de la mécanique des fluides, par la méthode des volumes finis. Ce solveur est codé en C++ (programmation orientée objet) et dispose d'outils de parallélisation lui permettant de prendre en compte des géométries complexes 3D.



Simulation 3D à la petite échelle des lignes de courant d'un écoulement fluide en milieu poreux

OpenFOAM® regroupe plus de 200 programmes qui s'attachent aux différentes étapes du traitement numérique d'une problématique donnée :

Préprocesseur :

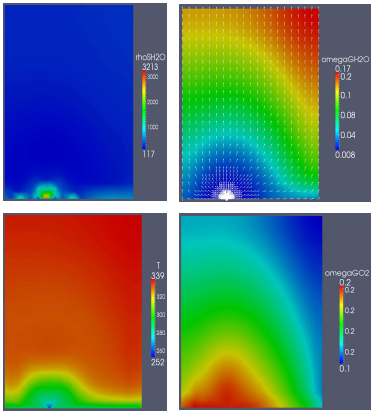
- mailleur (blockMesh, snappyHexMesh...)
- convertisseur de maillage (Ansys, Salomé, ideas, CFX, Star-CD, Gambit, Gmsh...)

Solveur :

- écoulement incompressible / compressible
- écoulement multiphasique
- combustion, électromagnétique, structure
- transfert de chaleur
- plusieurs approches de turbulence (DNS, RANS, LES)

Post traitement :

- visualisation sous ParaView
- exportation vers d'autres plateformes de post-traitement (Fluent, Fieldview, EnSight...)
- échantillonnage 1D ou 2D



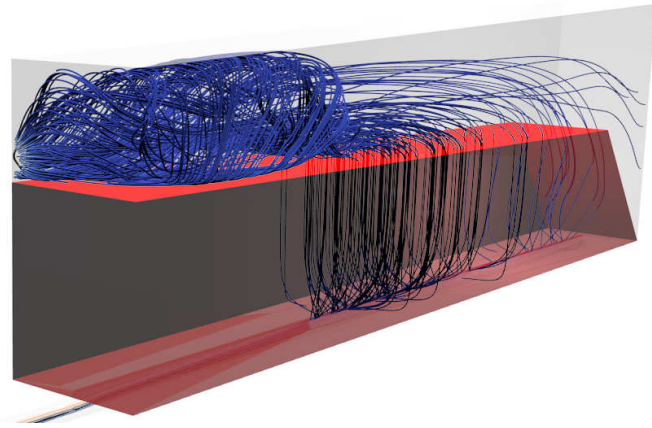
Résultats

Modèles de transports réactifs 2D et 3D :

- Compostage
- Méthanisation
- Bio-séchage

Notre valeur ajoutée se fait à la fois par le développement de nouveaux solveurs et solutions numériques ainsi que par la réalisation d'une expertise de haut niveau grâce aux simulations que nous réalisons. Cette expertise peut porter, par exemple, sur l'aéroulque ou l'hydraulique d'une partie ou de la totalité d'un procédé ou sur le dimensionnement et l'optimisation de celui ci.

Nous avons d'ailleurs développé un modèle de casier de compostage permettant de dimensionner ces derniers d'un point de vue structure et équipements. Il nous permet aussi de tester les phénomènes de décomposition de différents déchets et d'évaluer de nouveaux processus au sein de ce bio-réacteur.

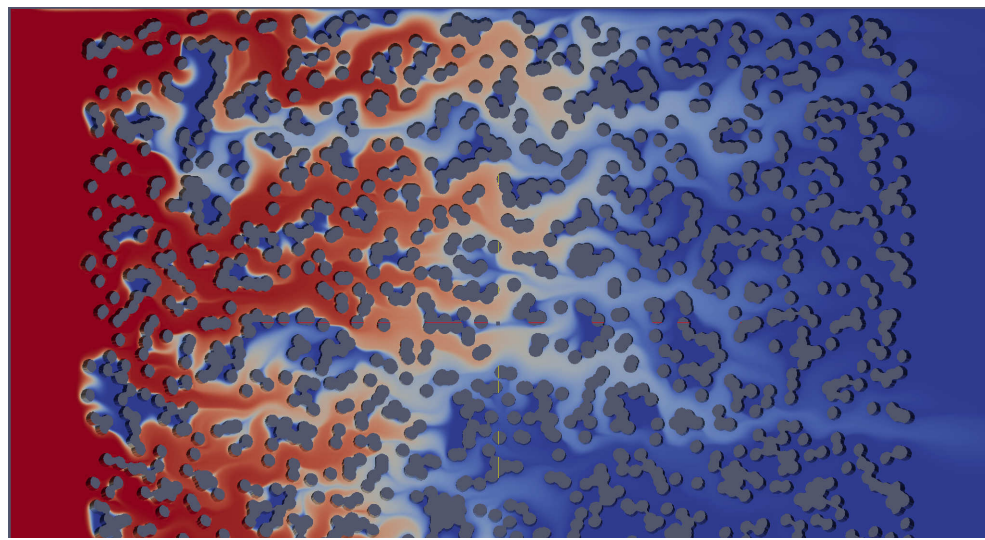


Simulation 3D de l'aéroulque d'un casier de compostage (visualisation des lignes de courant)

Références

SCHEME a été missionné par CYLERGIE filiale de recherche de GDF SUEZ afin de développer un modèle de compostage industriel en casier et de participer à l'élaboration d'un modèle de prédiction de la qualité d'un combustible.

Simulation à la petite échelle de la dispersion d'un polluant à travers un milieu poreux modèle



SCHEME travaille
en étroite collaboration
avec l'INRA de Rennes,
l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse
et le National Institute of Water
and Atmospheric Research de Nouvelle Zélande.

Crisalide Lauréat Concours CRISALIDE Eco Activités



Contacts :

Florent Hénon

Directeur scientifique milieux poreux
florent.henon@scheme-rd.fr

François Oehler

Président / Directeur scientifique paysage
francois.oehler@scheme-rd.fr

Paul Laîné

Directeur technique et développement d'affaires
paul.laine@scheme-rd.fr



85 rue de Saint Briec / Le Nucléole / 35000 Rennes
Tel : 02 99 59 53 14 / scheme@scheme-rd.fr

SAS au capital de 20100€ - SIRET: 790 563 084 00017 RCS Rennes

**LABELLISÉ PAR
RENNES
LA NOVOSPHÈRE**
L'énergie de créer et d'innover ensemble
rennes-novosphere.com

