



Département MathNum

➤ **Faits Marquants 2024**

Introduction

C'est avec enthousiasme que nous vous présentons cette deuxième édition des faits marquants du département MathNum. Il s'agit pour la plupart de faits marquants remontés par les unités, avec un minimum de sélection et de retouches de la part de la direction de MathNum.

Ce livret permet de mettre en avant la richesse des avancées scientifiques, la dynamique des collaborations et l'implication de l'ensemble de nos chercheur.es, ingénieur.es, technicien.nes, doctorant.es et post-doctorant.es.

Il reflète la diversité des thématiques abordées et l'originalité des recherches menées au sein de MathNum. Ce recueil illustre également la vitalité des échanges entre disciplines et la manière dont nos expertises contribuent aux grandes orientations stratégiques d'INRAE.

Vous en souhaitant une très bonne lecture !

La direction du département MathNum

Les orientations scientifiques (OS) et de politique générale (OP) du document d'orientation stratégique INRAE 2030, ainsi que les grands objectifs scientifiques (GOS) du schéma stratégique du département MathNum, sont rappelés en annexe. Les plus concernés sont mentionnés dans l'encadré qui clôt chaque fait marquant.

Les unités du département MathNum

- **UR BioSP** - Biostatistique et Processus Spatiaux, Avignon
- **UMS Data Terra** - Unité Mixte Data Terra, Montpellier
- **UMS IFB-Core** - Institut Français de Bio-informatique – Core, Île de France
- **UMR ITAP** - Technologies et Méthodes pour les Agricultures de Demain, Montpellier
- **USC LaMME** - Laboratoire de Mathématiques et Modélisation d'Evry, Île de France
- **UR LISC** - Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes Complexes, Clermont-Ferrand
- **UR MaIAGE** - Mathématiques et Informatique Appliquées du Génome à l'Environnement, Île de France
- **UAR MathNum** - Département mathématiques et numérique, Toulouse
- **UMR MIA Paris-Saclay** - Mathématiques et informatique appliquées Paris-Saclay, Île de France
- **UR MIAT** - Mathématiques et Informatique Appliquées Toulouse, Toulouse
- **UMR MISTEA** - Mathématiques, Informatique et Statistique pour l'Environnement et l'Agronomie, Montpellier
- **UR OPAALE** - Optimisation des procédés en agro-alimentaire, agriculture et environnement, Rennes
- **UMR TETIS** - Recherche Ingénierie et Territoires, Montpellier
- **UR TSCF** - Technologies et systèmes d'information pour les agrosystèmes, Clermont-Ferrand



Sommaire

Introduction.....	2
Les unités du département MathNum	2
RECHERCHE.....	4
Saint-Clair Chabert-Liddell lauréat du prix Marie-Jeanne Laurent-Duhamel.	5
Prix du Meilleur article à la British Machine Vision Conference (BMVC) 2024.	7
Best paper Award à E-ACL sur le traitement des documents longs avec des grands modèles de langue.	9
Une nouvelle méthode d'ensemble pour la correction des modèles de climat.....	11
Un nouveau paradigme pour analyser et prédire l'ampleur des événements extrêmes.....	13
Une approche mécaniste pour modéliser les interactions hôte-microbiote et explorer la résilience d'une symbiose bénéfique dans l'intestin humain.	15
Prédire les phénotypes de cellules végétales grâce à la modélisation de l'allocation des ressources aux échelles cellulaires.	17
Décrypter la variabilité génétique avec les modèles à effets mixtes : nouvelles perspectives pour l'amélioration des plantes.	19
Tester les composantes de la variance dans des modèles à effets mixtes à partir de petits échantillons : identifier des leviers d'action pertinents en sélection variétale.	21
Wheat Trait and Phenotype : une ontologie pour l'étude et l'annotation sémantique de données et de textes.	23
Evaluation environnementale de l'usage du numérique en agriculture : une revue systématique de la littérature.	25
O-AMIE : un outil combinant l'ingénierie systèmes et l'analyse du cycle de vie pour l'écoconception des pratiques agricoles et l'évaluation de leurs impacts environnementaux.	27
Optimiser les rendements agricoles à l'échelle mondiale pour répondre à une demande alimentaire croissante.	29
Analyse de sensibilité globale appliquée à des modèles dynamiques de systèmes biologiques.....	31
Regrouper pour comprendre : l'analyse de sensibilité revisitée pour les modèles d'agro-écosystèmes.	33
Identifiabilité et observabilité de modèles en épidémiologie.	35
ÉVÉNEMENTS.....	37
Atelier de clôture du projet H2020 MOOD pour la veille sanitaire des maladies infectieuses.	38
La conférence PhenoHarmoniS 2024 à Montpellier.	40
24ème Forum des jeunes mathématiciennes et mathématiciens, sur le thème des mathématiques pour l'agriculture, l'alimentation, l'environnement.....	42
Les Mouettes Savantes : Promouvoir les mathématiques et l'informatique au service de l'écologie auprès des lycéennes.....	44
Organisation du 1er Hackathon dans le cadre du Forum International de Robotique Agricole (FIRA).....	46
Générateur stochastique de météo interprétable, application à un modèle de culture et au changement climatique.....	48
MIAT co-organise la conférence JOBIM 2024.....	50
Atelier thématique THEIA : Télédétection, Modélisation, Santé & Environnement.....	52
Organisation de FRCCS (4th French Regional Conference on Complex Systems) 2024 à Montpellier.	54
Assemblée Générale du département.....	56
SCIENCE OUVERTE ET RESPONSABLE - PARTENARIAT - INNOVATION	58
Remise du prix Sedimaster 2023 à Jean-Pierre Chanet.....	59
Recherche Data Gouv et AgroPortal : Vers une meilleure annotation FAIR des données du répertoire institutionnel Data INRAE.	61
OccitANum, un dispositif d'innovation soutenu par la recherche.	63
Inauguration du Laboratoire Commun IoTAE-Lab.	65
Lancement du Laboratoire International Associé «TREASUR».....	67
L'AgroTechnoPôle	69
Annexes.....	71
Orientations scientifiques (OS) d'INRAE 2030	71
Orientations de politique générale (OP) d'INRAE 2030.....	72
Grands objectifs scientifiques (GOS) MathNum 2021-2025.....	73



RECHERCHE

Saint-Clair Chabert-Liddell lauréat du prix Marie-Jeanne Laurent-Duhamel.

En 2024, Saint-Clair Chabert-Liddell a été co-lauréat du Prix Marie-Jeanne Laurent-Duhamel pour sa thèse intitulée « Apprentissage statistique de collections de réseaux pour des applications en écologie et sociologie », soutenue à AgroParisTech au printemps 2022. Ce prix, décerné par la Société Française de Statistiques (SFdS), est destiné à reconnaître la qualité du travail de thèse d'un(e) jeune statisticien(ne) francophone ayant soutenu sa thèse récemment. Saint-Clair Chabert-Liddell a conduit ses travaux au sein de l'unité mixte de recherche MIA Paris-Saclay, sous la direction de Sophie Donnet et Pierre Barbillon. Le prix lui a été remis lors des journées annuelles de la SFdS au printemps 2024, après la présentation de ses travaux en séance plénière.



CONTEXTE ET ENJEUX

La thèse apporte trois contributions originales concernant les méthodes statistiques pour l'analyse de collections de réseaux d'interactions. Ces réseaux constituent une façon naturelle de représenter, sous forme de graphes, les échanges ou relations existant entre un ensemble de nœuds représentant des espèces ou des individus. Considérer des collections de réseaux permet d'étudier des systèmes hétérogènes, composés de plusieurs sortes d'interactions impliquant différents types de nœuds. Lorsque les différents réseaux de la collection sont liés par une relation hiérarchique, on parle alors de réseaux multi-niveaux.

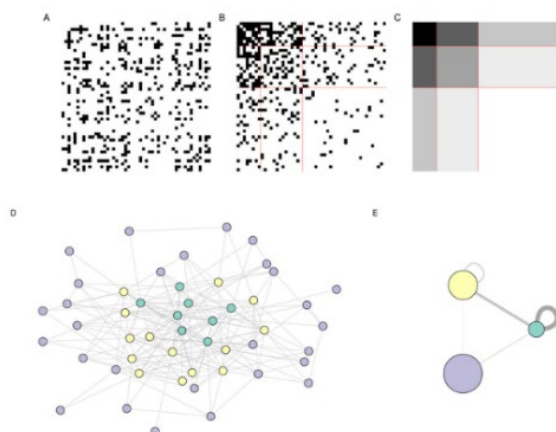


Saint-Clair Chabert-Liddell, doctorant à MIA-Paris-Saclay



RESULTATS

Le modèle à blocs stochastiques ayant prouvé sa pertinence pour modéliser l'hétérogénéité du comportement des nœuds dans un unique réseau, des extensions aux collections de réseaux et aux réseaux multi-niveaux sont proposées dans la thèse. Elles permettent d'obtenir un clustering des nœuds des réseaux en fonction de leur rôle dans l'écosystème ou le système social, et de résumer la structure du système à l'échelle mésoscopique à travers un faible nombre de paramètres. L'inférence de ces modèles est complexe et des méthodes variationnelles sont adaptées à cette fin. Des méthodes de sélection de modèles permettent également de déterminer la dépendance entre les niveaux pour les réseaux multi-niveaux et la similarité entre les structures pour les collections de réseaux. Dans une dernière partie, cette thèse propose une nouvelle méthode pour étudier la robustesse de réseaux d'interactions écologiques. Chaque réseau est modélisé par un modèle probabiliste dont les paramètres représentent la structure du réseau. Cela permet de faire le lien entre la structure de l'écosystème et sa robustesse, mais aussi de comparer les différentes robustesses d'une collection de réseaux et de corriger celle d'un réseau dont l'échantillonnage serait incomplet. Les méthodes développées sont implémentées dans des packages R et appliquées sur des données issues des sciences sociales et de l'écologie.



Clustering des nœuds des réseaux en fonction de leur rôle dans l'écosystème ou le système social.



PERSPECTIVES

Les perspectives de cette thèse sont nombreuses, tant la pertinence de considérer des réseaux en collection plutôt qu'indépendamment les uns des autres a fait ses preuves. Des extensions aux réseaux bipartites sont envisagées et l'utilisation de techniques d'apprentissage profond pour traiter de collection est une piste prometteuse qui fait suite à ces travaux.



VALORISATION

Trois articles issus de la thèse ont été publiés dans des revues internationales à comité de lecture.

RÉFÉRENCES

- > Chabert-Liddell S. C., Barbillon P., Donnet S. & Lazega E. (2021). A stochastic block model approach for the analysis of multilevel networks: An application to the sociology of organizations. Computational Statistics & Data Analysis, 158, 107179. <https://doi.org/10.1016/j.csda.2021.107179>
- > Chabert-Liddell S. C., Barbillon P. & Donnet S. (2022). Impact of the mesoscale structure of a bipartite ecological interaction network on its robustness through a probabilistic modeling. Environmetrics, 33(2), e2709. <https://doi.org/10.1002/env.2709>
- > Chabert-Liddell S. C., Barbillon P. & Donnet S. (2024). Learning common structures in a collection of networks. an application to food webs. The Annals of Applied Statistics, 18(2), 1213-1235. DOI: 10.1214/23-AOAS1831 - <https://arxiv.org/pdf/2206.00560>



Contacts : Sophie Donnet et Pierre Barbillon
 Unité : MIA-Paris-Saclay
 Département : MathNum
 Centre INRAE : Île-de-France-Versailles-Saclay
 INRAE 2030 Orientations scientifiques (OS) et Orientations de politique générale (OP) : OS 5.1 - OS 1.3
 Grands Objectifs Scientifiques (GOS) MathNum : GOS 2
 Mots-clés : Réseaux écologiques, pollinisation, écosystèmes, réseaux trophiques



Prix du Meilleur article à la British Machine Vision Conference (BMVC) 2024.

L'article *Discom-kd : Cross-modal knowledge distillation via disentanglement representation and adversarial learning*, présenté par Dino Ienco et Cassio Fraga Dantas a été sélectionné comme le meilleur article de la conférence internationale British Machine Vision Conference (BMVC) 2024, parmi les 1020 soumissions, dont seulement 263 ont été retenues.

Cet article propose une méthode innovante pour exploiter efficacement l'information multimodale décrivant un même objet, en vue d'entraîner des modèles monomodaux à travers un nouveau processus de distillation de connaissances. La méthode présente un cadre méthodologique capable d'identifier et d'extraire différents types d'informations à partir de plusieurs modalités de données. Cela permet d'améliorer l'organisation du raisonnement interne des modèles de réseaux de neurones profonds tout en maximisant la complémentarité des modalités pendant l'entraînement. Les expériences menées sur trois jeux de données standards, en comparaison avec des approches compétitives récentes, ont confirmé la pertinence et la performance de la méthode proposée. Ces résultats illustrent le potentiel de cette approche pour repousser les limites actuelles dans le domaine de la vision par ordinateur.



CONTEXTE ET ENJEUX

La British Machine Vision Conference (BMVC) est la conférence annuelle de la British Machine Vision Association sur la vision par ordinateur, le traitement d'image et la reconnaissance de formes. Elle est l'une des principales conférences internationales sur la vision par ordinateur et les domaines connexes, organisées au Royaume Uni. Cette conférence sur la vision par ordinateur s'est, au fil des ans, imposée comme un événement majeur pour la communauté scientifique internationale, reconnu pour son prestige et classé de rang A dans plusieurs classements internationaux.

La conférence s'est tenue du 25 au 28 Novembre 2024 à Glasgow au Royaume-Uni.

Ce prix récompense des travaux dans le domaine de la vision par ordinateur/intelligence, dans un contexte international très compétitif surtout vis-à-vis des acteurs non-industriels (GAFAM) et/ou des acteurs académiques majeurs (Chine, USA, UK...).



Dino Ienco reçoit le prix du meilleur article.



RESULTATS

Ce prix apporte une visibilité et un rayonnement internationaux aux travaux de l'équipe-projet INRAE-Inria EVERGREEN.



PERSPECTIVES

Fière de ce succès, l'équipe va continuer à travailler sur des approches méthodologiques similaires et leur transfert dans le domaine de la télédétection.



RÉFÉRENCES

> DisCoM-KD: Cross-Modal Knowledge Distillation via Disentanglement Representation and Adversarial Learning:
<https://arxiv.org/pdf/2408.07080>



Contact : Dino Ienco et Cassio Fraga Dantas

Unité : TETIS

Département : MathNum

Centre INRAE : Occitanie-Montpellier

INRAE 2030 Orientations scientifiques (OS) et Orientations de politique générale (OP) : OS 5.4

Grands Objectifs Scientifiques (GOS) MathNum : GOS 1

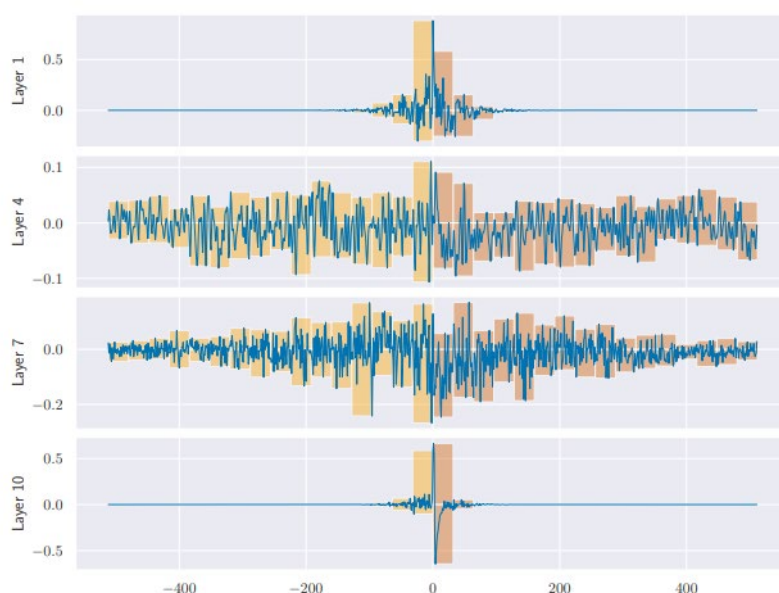
Mots-clés : Computer Vision, Deep Learning, Multi-modal/Multi-source, Artificial Intelligence

➤ Best paper Award à E-ACL sur le traitement des documents longs avec des grands modèles de langue.

La section européenne de l'Association for Computational Linguistics (EACL) est la principale association professionnelle de linguistique informatique en Europe. Lors de la 18ème conférence de l'EACL, qui s'est tenue à St. Julians, Malte, du 17 au 22 mars 2024, MIA-Paris Saclay a reçu le prix du Best Paper avec son modèle.

🔧 CONTEXTE, ENJEUX, RESULTATS

Les modèles espace-état constituent une alternative peu complexe aux transformateurs pour le codage de longues séquences et la capture de dépendances à long terme. LOCOST est un modèle avec une architecture codeur-décodeur basée sur des modèles espace-état pour la génération de texte conditionnel avec de longues entrées contextuelles. Avec une complexité de calcul de $\mathcal{O}(L \log L)$, cette architecture peut traiter des séquences beaucoup plus longues que les modèles de pointe qui sont basés sur des modèles d'attention épars. Le modèle est évalué sur une série de tâches de résumé abstraitif de longs documents. Le modèle atteint un niveau de performance comparable à 93-96% à celui des transformateurs sparse les plus performants de la même taille, tout en économisant jusqu'à 50% de mémoire pendant l'apprentissage et jusqu'à 87% pendant l'inférence. En outre, LOCOST traite efficacement les entrées dépassant 600 000 mots au moment de l'inférence, établissant de nouveaux résultats de pointe sur le résumé de livres complets et ouvrant de nouvelles perspectives pour le traitement des entrées longues.



Visualisation des noyaux correspondants à la première dimension pour plusieurs couches du modèle pré-entraîné. Les compartiments montrent la décroissance moyenne des noyaux directs et indirects. Ceci illustre les différentes échelles de chaque noyau. Les couches 1 et 10 capturent les contextualisations à courte et très courte portée, tandis que les couches 4 et 7 modélisent respectivement les contextes à très longue et très longue portée.



REFERENCES

> Le Bronnec F., Duong S., Ravaut M., Allauzen A., Chen N. F., Guigue V., Lumbreras A., Soulier L. & Gallinari P. - LOCOST: State-Space Models for Long Document Abstractive Summarization. In E-ACL 2024.
<https://vguigue.github.io/art/eacl24.pdf>.



Contact : Vincent Guigue

Unité : MIA-Paris-Saclay

Département : MathNum

Centre INRAE : Île-de-France-Versailles-Saclay

INRAE 2030 Orientations scientifiques (OS) et Orientations de politique générale (OP) : OS 5.1 - OS 1.3

Grands Objectifs Scientifiques (GOS) MathNum : GOS 2

Mots-clés : Modèle, traitement des documents longs

➤ Une nouvelle méthode d'ensemble pour la correction des modèles de climat.

Pour étudier, évaluer et anticiper le changement climatique, de nombreux modèles climatiques globaux ont été conçus, chacun modélisant le système terrestre de manière différente. Afin d'extraire un signal robuste des diverses simulations et sorties, les « méthodes d'ensemble », consistent à considérer tous les modèles à la fois et à les résumer à l'aide de statistiques multimodèles, comme des moyennes ou des médianes, éventuellement pondérées. Une collaboration entre BioSP, le LSCE et l'Université de Lausanne, conduit à l'introduction d'une nouvelle méthode d'ensemble probabiliste appelée « α pooling », vérifiant des propriétés mathématiques d'optimalité. Des comparaisons portant sur les variables Température et Précipitations sur l'Europe occidentale montrent que cette nouvelle approche mène à des performances supérieures à celles actuellement disponibles dans la littérature. Grâce à cette fonction de répartition agrégée, il est dorénavant possible de corriger les simulations climatiques par une approche « correction de biais multi-modèle ».



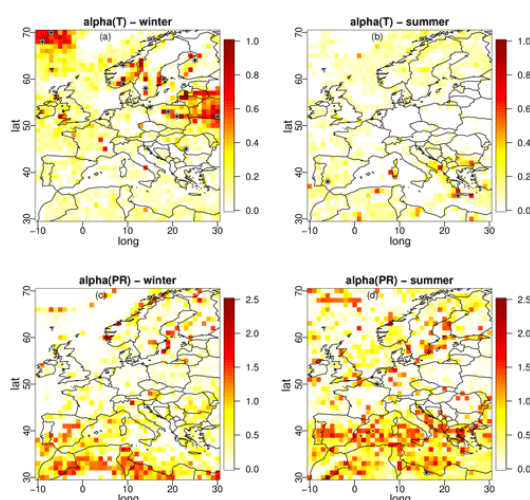
CONTEXTE ET ENJEUX

Ces dernières années, de nombreux modèles climatiques globaux ont été conçus, modélisant différemment les processus physiques de la planète Terre. La complexité des processus représentés entraîne que ces modèles sont inévitablement imparfaits et contiennent des biais. La combinaison de modèles par des méthodes d'ensemble vise à extraire un signal robuste à partir de la diversité des sorties des modèles de climat.

Parmi les méthodes d'ensemble, la moyenne arithmétique des sorties des modèles est une pratique courante, mais elle ne tient compte ni de la performance de chacun des modèles ni de la redondance possible entre ceux-ci due au fait que les modèles partagent souvent des hypothèses, des paramétrisations et même parfois des codes. Des méthodes statistiques plus avancées ont été proposées, comme la moyenne bayésienne ou la moyenne pondérée des ensembles, sans pour autant modifier substantiellement les résultats. Par ailleurs, les performances des différents modèles climatiques sont très variables dans l'espace, ce qui entraîne que les pondérations doivent également varier dans l'espace.

L'une des limites des méthodes d'ensemble actuelles est qu'elles sont basées sur la combinaison de quantités résumées telles que des moyennes, des médianes ou des quantiles. Les résultats des modèles climatiques sont cependant bien plus riches, incluant des variables climatiques horaires ou quotidiennes, à partir desquelles des distributions de probabilité peuvent être calculées. Combiner les distributions de probabilité permettrait donc de lever les verrous actuels dans l'utilisation des ensembles multi-modèles utilisés en projection climatique.

À partir du α pooling, des cartes des paramètres α obtenues dans le cadre de l'expérience ERA5 pour la température (a, b) et les précipitations (c, d) au cours des saisons hivernales (a, c) et estivales (b, d).





RESULTATS

Nous proposons une méthode innovante d'agrégation des distributions de probabilités, appelée « α pooling », que nous appliquons pour combiner les projections climatiques provenant de plusieurs modèles de climat. Cette méthode permet de construire une fonction de répartition agrégée conçue pour être aussi proche que possible de la fonction de répartition de référence. Une procédure d'optimisation détermine les paramètres caractérisant la transformation, qui comprend un paramètre de forme, α , et des poids sur chacun des modèles. Ces poids augmentent avec la proximité à la référence et diminuent pour les modèles redondants.

Sur l'Europe occidentale et pour deux variables (Température et Précipitation), l'approche « α pooling » a été comparée à la combinaison linéaire des fonctions de répartition, ainsi qu'à une méthode de correction des biais (CDF-t). Dans l'ensemble, on observe que les meilleurs résultats sont obtenus par l'approche « α -pooling » pour les deux variables. En outre, comme l'« α pooling » fournit une fonction de répartition agrégée proche d'une référence, il est possible de construire une méthode de correction de biais multi-modèles.



PERSPECTIVES

Ce premier travail sera étendu et confirmé de plusieurs façons. Tout d'abord, même si seules la température et les précipitations ont été prises en compte, d'autres variables climatiques - telles que le vent et l'humidité - peuvent être traitées avec cette stratégie d'ensemble. Ensuite, une correction « α -pooling » multivariée permettrait de fournir des fonctions de répartition inter-variables plus réalistes pour les corrections de biais. Enfin, dans une perspective de quantification des risques climatiques, il conviendrait de porter une attention particulière aux événements extrêmes.



RÉFÉRENCES

> Vac M., Allard D., Mariéthoz G., Thao S. & Schmutz L. (2024) - Distribution-based pooling for combination and multi-model bias correction of climate simulations. *Earth System Dynamics*, 15(3), 735-762.

<https://doi.org/10.5194/esd-15-735-2024>



Contact : Denis Allard

Unité : BioSP

Département : MathNum

Centre INRAE : Provence-Alpes-Côte d'Azur

INRAE 2030 Orientations scientifiques (OS) et Orientations de politique générale (OP) : OS 5.1

Grands Objectifs Scientifiques (GOS) MathNum : GOS 1

Mots-clés : Changement climatique, modèles climatiques, approches d'ensemble, agrégation de modèles, statistiques ; correction de biais

➤ Un nouveau paradigme pour analyser et prédire l'ampleur des événements extrêmes.

L'ampleur des événements extrêmes climatiques et environnementaux détermine fortement dans quelle mesure et de quelle manière nous pouvons anticiper, atténuer et gérer leurs dommages et conséquences. Les approches d'analyse statistique traditionnelles se sont avérées trop rigides pour l'analyse des événements extrêmes complexes, et encore rarement observés, auxquels nous faisons face aujourd'hui. Grâce à un changement de paradigme récent, des statisticiens ont réussi à proposer des méthodes innovantes et tirent parti des développements récents en intelligence artificielle. Ces nouvelles approches sont applicables à de nombreuses problématiques : des exemples concrets sont la cartographie de l'étendue spatiale locale des températures extrêmes à travers le territoire français et la simulation de l'ampleur des précipitations extrêmes sous changement climatique dans le bassin versant du Danube jusqu'en 2100.



CONTEXTE ET ENJEUX

Les événements extrêmes climatiques et environnementaux, comme les canicules, sécheresses, inondations, tempêtes ou incendies de forêt, nous sidèrent par les dommages qu'ils peuvent causer à notre société, l'agriculture et les écosystèmes. Pour beaucoup de ces événements, il est attendu qu'ils deviendront plus fréquents et intenses sous l'influence du changement climatique et d'autres changements de notre environnement induits par les activités humaines. De surcroît, des impacts très sévères sont souvent le résultat d'une combinaison complexe de plusieurs types d'événements climatiques, comme les incendies de forêt favorisés par l'accumulation d'un fort déficit de pluie, de températures très élevées, d'absence d'humidité et de vitesses du vent élevées. Les méthodes traditionnelles d'analyse statistique, issues de la théorie des valeurs extrêmes, sont basées sur l'extraction de maxima (par exemple annuels) des observations journalières, suivie de l'ajustement de modèles appelés processus max-stables. Ces modèles sont justifiés par des relations limites théoriques lorsque la longueur de la période d'observation tend vers l'infinie. Cependant, ce n'est pas réaliste pour les données dont nous disposons en pratique, et cette approche représente mal la complexité des événements d'intérêt, qui ne tient pas compte du faible nombre d'événements extrêmes observés, et rend l'implémentation sur ordinateur et l'interprétation des résultats difficiles.

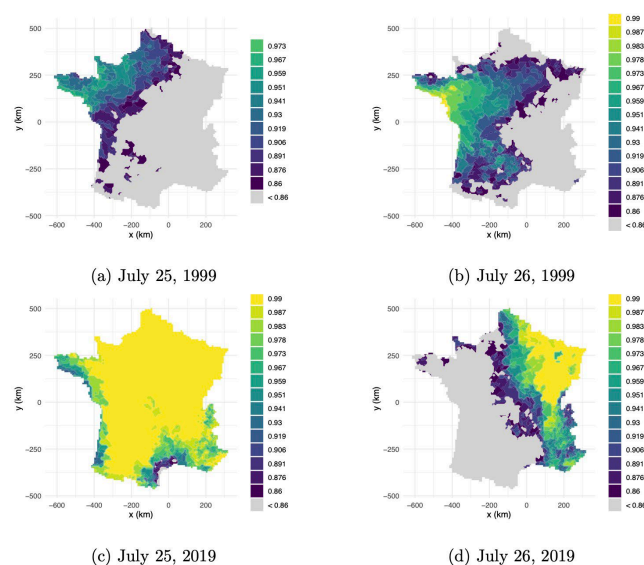


Figure 1 : Dépassements de seuil des températures journalières en France pour différents niveaux de seuil déterminés selon le climat local. Le 25 juillet 2019 fait partie de la vague de chaleur ayant établi un grand nombre de nouveaux records de température.

RESULTATS

L'adoption récente d'un nouveau paradigme d'analyse des événements extrêmes dépendants basé sur une combinaison d'outils innovants – les dépassements de seuil, les fonctionnelles de risque, la géométrie computationnelle, les méthodes puissantes d'IA – permet de mieux comprendre, cartographier et prédire l'étendue spatio-temporelle des événements extrêmes complexes.

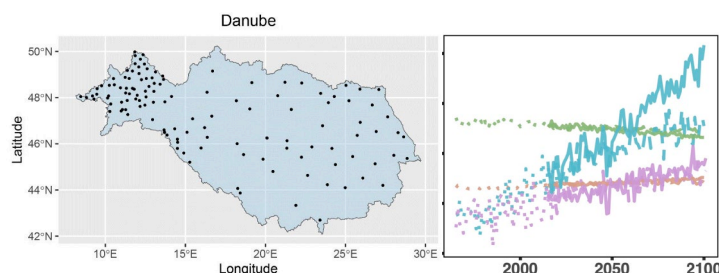


Figure 2 : A gauche : carte du bassin versant du Danube, avec les stations d'observation de précipitations utilisées pour les analyses statistiques. A droite : Étendue estimée des événements de précipitations extrêmes (avec de forts cumuls spatiaux) dans le bassin versant du Danube selon différentes saisons (printemps – vert ; été – turquoise ; automne – marron ; hiver – rose), pour les observations du passé (points) et les simulations climatiques du futur (trait continu).

PERSPECTIVES

L'application à des systèmes très complexes avec plusieurs variables (par exemple, températures, humidité du sol, et variables atmosphériques à grande échelle) ayant des interactions spatio-temporelles complexes sera abordée dans les projets en cours. Les méthodes développées seront utiles pour traiter les enjeux des risques multiples (Métaprogramme XRIQUES) et de la Chaire Geolearning (<https://chaire-geolearning.org>).

RÉFÉRENCES

- > Zhong P., Brunner M., Opitz T. & Huser R. (2024) - Spatial Modeling and Future Projection of Extreme Precipitation Extents. Journal of the American Statistical Association, 1–16. <https://doi.org/10.1080/01621459.2024.2408045>
- > Di Bernardino E., Estrade A. & Opitz T. (2024) - Spatial extremes and stochastic geometry for Gaussian-based peaks-over-threshold processes. Extremes 27, 397–435. <https://doi.org/10.1007/s10687-024-00487-z>
- > Huser R., Opitz T., & Wadsworth J. (2024) - Modeling of spatial extremes in environmental data science: Time to move away from max-stable processes. Environmental Data Science. <https://arxiv.org/abs/2401.17430>
- > Cotsakis R., Di Bernardino E., & Opitz T. (2024) - On the spatial extent of extreme threshold exceedances. <https://hal.science/hal-04735500v1/file/CotsakisDiBernardinoOpitz2024.pdf>



Contact : Thomas Opitz
Unité : BioSP
Département : MathNum
Centre INRAE : Provence-Alpes-Côte d'Azur
INRAE 2030 Orientations scientifiques (OS) et Orientations de politique générale (OP) : OS 1.4 - OS 5.1
Grands Objectifs Scientifiques (GOS) MathNum : GOS 1
Mots-clés : Changement climatique, modélisation



Une approche mécaniste pour modéliser les interactions hôte-microbiote et explorer la résilience d'une symbiose bénéfique dans l'intestin humain.

Ce travail, fruit d'une collaboration entre l'unité MaIAGE, l'Institut Micalis (équipe FiNE) et MetaGenoPolis, présente un modèle mathématique mécaniste pour étudier les interactions entre l'hôte et son microbiote intestinal. En couplant des équations différentielles ordinaires et partielles, le modèle représente les dynamiques des cryptes coliques, les flux dans une section du colon, les fonctions métaboliques microbiennes, et les réponses immunitaires innées. Cette approche permet de quantifier les impacts des apports alimentaires sur les biomarqueurs de symbiose intestinale et de modéliser les transitions entre des états bénéfiques et néfastes. L'étude met en lumière comment un régime riche en fibres favorise une résilience symbiotique, tandis qu'un régime pauvre en fibres et riche en protéines exacerbe les déséquilibres. Ce modèle apporte une avancée significative en explorant les facteurs critiques de la santé intestinale et pose un premier jalon dans la construction d'un jumeau numérique du colon.



CONTEXTE ET ENJEUX

La santé de l'hôte est profondément influencée par un dialogue complexe avec son microbiote intestinal, qui forme une communauté dense et variable de micro-organismes. Les régimes alimentaires occidentaux, souvent riches en protéines et pauvres en fibres, perturbent l'équilibre hôte-microbiote en augmentant les concentrations d'oxygène luminal et en réduisant la production de métabolites bénéfiques comme le butyrate. Ces altérations favorisent l'émergence d'un microbiote dysbiotique associé à diverses pathologies inflammatoires. Ce travail propose un modèle mécaniste intégrant les processus métaboliques microbiens, les réponses immunitaires innées et les flux intestinaux pour explorer cette dynamique complexe.

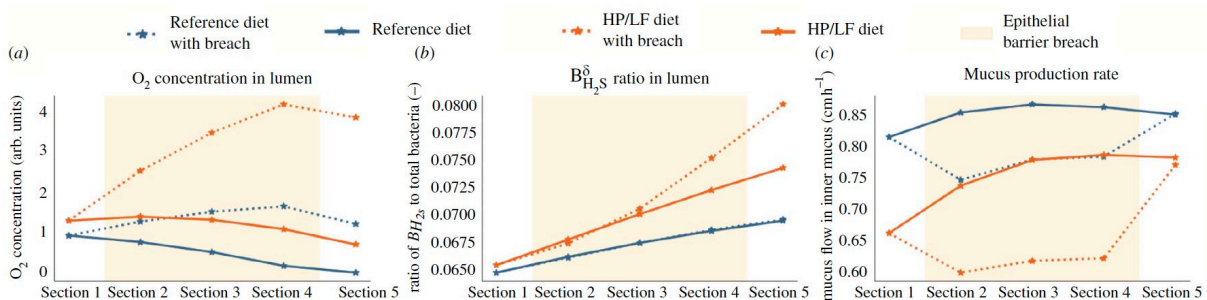


Figure extraite de M. Haghebaert et al. (2024). <https://doi.org/10.1098/rsif.2023.0756>

Cette figure montre l'impact combiné simulé d'une prolifération d'oxygène à la base de la crypte et d'une sécrétion accrue d'AMP sur 3 biomarqueurs (concentration d'oxygène dans la lumière, proportion de bactéries produisant du sulfure d'hydrogène et taux de production de mucus) le long de 5 sections intestinales sous deux régimes alimentaires différents : un régime de référence (riche en fibres, en bleu) et un régime riche en protéines et pauvre en fibres (HP/LF, en orange). L'impact des perturbations est plus sévère dans le cas HP/LF, avec un écart persistant par rapport au niveau non perturbé pour les deux premiers biomarqueurs.

RESULTATS

Le modèle proposé repose sur une approche innovante couplant différents formalismes mathématiques pour simuler les interactions entre l'hôte et son microbiote à l'échelle des cryptes coliques et d'une section du colon. Les simulations montrent que les régimes pauvres en fibres réduisent la production de butyrate, augmentent l'oxygène luminal et déséquilibrent la composition microbienne, favorisant des groupes bactériens résistants à l'inflammation. En revanche, les régimes riches en fibres améliorent la production de métabolites bénéfiques, réduisent l'inflammation et maintiennent une résilience symbiotique bénéfique. L'analyse de biomarqueurs tels que la concentration d'oxygène et les proportions de groupes bactériens résistants à l'inflammation met en évidence des transitions claires entre des états sains et dysbiotiques. Lors d'une perturbation inflammatoire simulée, comme une brèche de la barrière épithéliale, le modèle montre que les régimes riches en fibres permettent une meilleure récupération vers un état sain, tandis que les régimes pauvres en fibres exacerbent les états néfastes. Enfin, le modèle permet de relier des marqueurs de la dynamique des cryptes du côlon à l'échelle microscopique, comme par exemple la prolifération cellulaire et la production de mucus, à l'échelle macroscopique du colon, offrant ainsi une vision intégrée et prédictive des interactions symbiotiques. Ces travaux sont le fruit d'une collaboration pluridisciplinaire entre l'unité MaIAGE et l'équipe FINE de l'institut Micalis dans le cadre du projet ERC "Homo Symbiosus".

PERSPECTIVES

Ce modèle constitue un premier pas vers la construction d'un jumeau numérique du colon, en fournissant une base de simulation pour comprendre et détecter précocement les déséquilibres intestinaux et évaluer la résilience de la symbiose bénéfique entre l'hôte et son microbiote. Il fournit également un premier cadre pour explorer des stratégies nutritionnelles adaptées aux pathologies inflammatoires chroniques, en mettant en avant l'importance des apports en fibres. A l'avenir, il pourrait être adapté pour d'autres applications liées à la symbiose hôte-microbiote, notamment dans des contextes pathologiques variés, comme les maladies métaboliques ou inflammatoires chroniques de l'intestin.

RÉFÉRENCES

> Haghebaert M., Laroche B., Sala L., Mondot S. & Doré J. (2024) - A mechanistic modelling approach of the host-microbiota interactions to investigate beneficial symbiotic resilience in the human gut. Royal Society Interface, 21.215. <https://doi.org/10.1098/rsif.2023.0756>



Contact : Lorenzo Sala
Unité : MaIAGE
Département : MathNum
Centre INRAE : Île de France Jouy-en-Josas
INRAE 2030 Orientations scientifiques (OS) et Orientations de politique générale (OP) : OS 5.1 - OS 4.3
Grands Objectifs Scientifiques (GOS) MathNum : GOS 2
Mots-clés : Modélisation mécanistique, interactions hôte-microbiote, microbiote intestinal humain, modèles mathématiques, couplage EDP-EDO



Prédire les phénotypes de cellules végétales grâce à la modélisation de l'allocation des ressources aux échelles cellulaires.

Les scientifiques des unités MaIAGE (INRAE) et de l'IJPB (INRAE-AgroParisTech) ont développé un modèle d'allocation des ressources à l'échelle cellulaire et moléculaire pour la cellule photosynthétique de la feuille d'*Arabidopsis thaliana*, basé sur la méthode de modélisation sous contraintes appelée Resource Balance Analysis (<https://rba.inrae.fr/>). Ce modèle, structuré autour de différents compartiments de la cellule photosynthétique, a le potentiel d'améliorer considérablement la prédiction des phénotypes des cellules végétales dans des conditions environnementales réalistes de stress abiotiques multiples et pour différents génotypes.



CONTEXTE ET ENJEUX

La compréhension et la prédiction de la réponse des cellules végétales dans des conditions environnementales complexes sont des défis majeurs en biologie végétale. En particulier, ces défis nécessitent d'élaborer des modèles de plantes plus détaillés aux échelles cellulaires, intégrant explicitement les mécanismes moléculaires couplant les différentes sources nutritionnelles apportées à la plante (eau, azote, minéraux, etc) afin de mieux comprendre l'adaptation de la plante en conditions de stress abiotiques multiples.



RESULTATS

Un premier modèle d'allocation des ressources aux échelles cellulaire et moléculaire a été développé par les scientifiques de MaIAGE et de l'IJPB pour la cellule photosynthétique de la feuille d'*Arabidopsis thaliana*, basé sur la méthode de modélisation sous contraintes appelée Resource Balance Analysis (RBA) dédiée aux cellules eucaryotes. Ce modèle, structuré par des compartiments de la cellule photosynthétique, intègre le réseau métabolique et les principaux processus macromoléculaires impliqués dans la croissance et la survie des cellules végétales. Il tient compte explicitement de leur localisation dans les compartiments cellulaires et intègre des liens mécanistes explicites entre génotype et phénotype de la cellule végétale. Le modèle a été simulé dans des conditions environnementales variables (température, éclaircissement, pression partielle de CO₂ et d'O₂). Les résultats ont été comparés à des distributions de ressources connues, à des traits phénotypiques quantitatifs tels que la vitesse relative de croissance ou le ratio carbone/azote et aux cinétiques de fixation de CO₂ obtenues par le modèle empirique de Farquhar. Le modèle a montré une très bonne capacité de prédiction aux échelles cellulaires, tout en reproduisant des lois macroscopiques bien connues des cellules végétales comme la concentration des enzymes ou des ribosomes. Il a donc le potentiel d'améliorer considérablement la prédiction des phénotypes des cellules végétales dans des conditions environnementales réalistes, comme en limitation combinée d'apports hydriques et nutritionnels, et pour différents génotypes.



PERSPECTIVES

En utilisant des données de phénotypage et des omiques quantitatives, le modèle RBA pourra être spécialisé et calibré pour différents types de cellules végétales, différentes conditions environnementales et différents génotypes, et interfacé dans des modèles macroscopiques de plante entière (i.e. modèles structure-fonction FSPM), améliorant ainsi considérablement la capacité de prédiction de ces modèles dans des conditions de stress multiples. Il sera également utile pour étudier les organes présentant un grand intérêt agronomique, tels que les graines ou les fruits chez les végétaux. Dans un contexte de transition agroécologique et de changement climatique, il pourra contribuer à définir et prévoir les déterminants de la qualité des productions agricoles dans diverses conditions environnementales, en tenant compte de la diversité génétique.

Le modèle RBA de la cellule photosynthétique d'Arabidopsis ainsi que le logiciel (PlantCellRBA) permettant de simuler, et d'analyser la sensibilité du modèle vis à vis de variations des paramètres ont fait l'objet d'une déclaration d'invention n° DI-RV-23-0101 (Domaine d'Innovation PLANTINNOV).

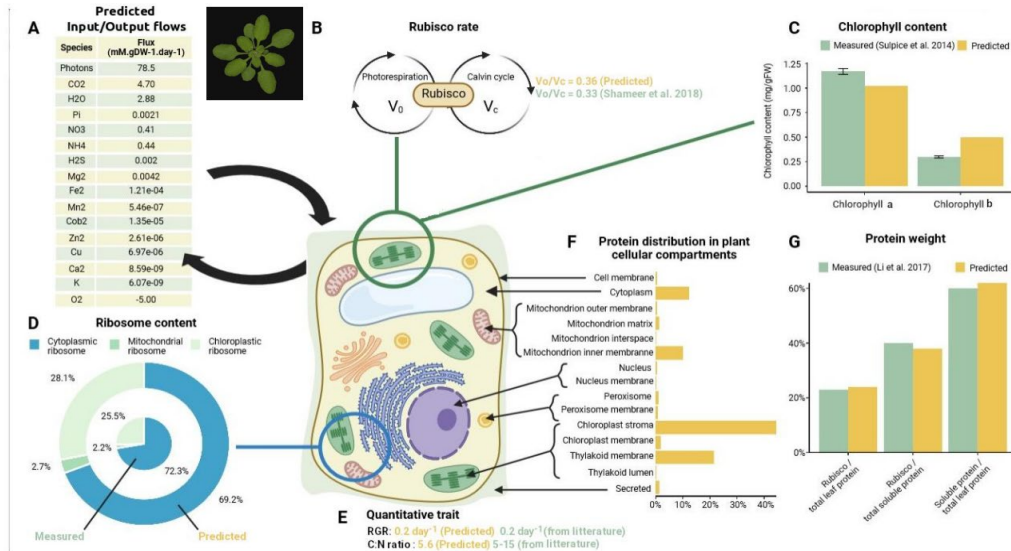


Figure extraite de la publication Goelzer et al., 2024, <https://doi.org/10.1016/j.ymben.2024.03.009>.

Simulations du modèle RBA pour une condition de croissance environnementale non limitante à 21°C (irradiance : 1000 μ E/m²/s ; pressions partielles de CO₂ : 200ubar et O₂ : 210 mbar). Les nombres indiqués dans les différents graphiques et tableaux sont un sous-ensemble des prédictions obtenues au taux de croissance relatif maximal prédit.



RÉFÉRENCES

> Goelzer A., Rajjou L., Chardon F., Loudet O. & Fromion V. - Resource allocation modeling for autonomous prediction of plant cell phenotypes, Metabolic Engineering, Volume 83, 2024, Pages 86-101, ISSN 1096-7176, <https://doi.org/10.1016/j.ymben.2024.03.009>



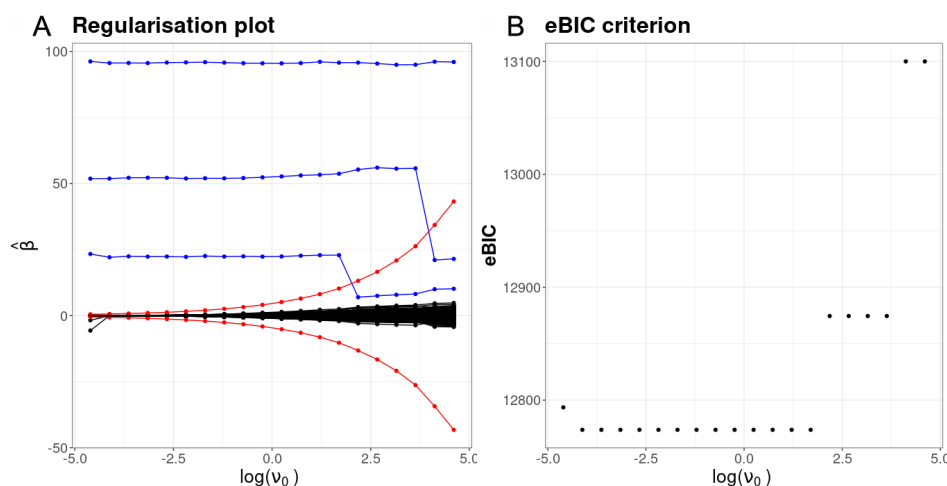
Contact : Anne Goelzer
 Unité : MaIAGE
 Départements : MathNum - BAP
 Centre INRAE : Île de France Jouy-en-Josas
 INRAE 2030 Orientations scientifiques (OS) et Orientations de politique générale (OP) : OS 5.1 - OS 1.3
 Grands Objectifs Scientifiques (GOS) MathNum : GOS 2
 Métaprogramme : DIGIT-BIO
 Mots-clés : Allocation des ressources, modélisation sous contraintes, prédiction génotype x phénotype, biologie des systèmes des plantes, stress multiples, Arabidopsis thaliana

➤ Décrypter la variabilité génétique avec les modèles à effets mixtes : nouvelles perspectives pour l'amélioration des plantes.

Les modèles non linéaires à effets mixtes sont essentiels pour analyser des données issues de mesures répétées, notamment en amélioration des plantes, où ils permettent de modéliser le développement des variétés en fonction de leur génotype et de l'environnement. Ces modèles prennent en compte la variabilité intra- et inter-individuelle, ainsi que des covariables génétiques souvent nombreuses et redondantes. Une méthodologie novatrice combinant un prior bayésien spike-and-slab Gaussien et l'algorithme SAEM (Stochastic Approximation of EM) a été développée pour sélectionner efficacement les covariables pertinentes et améliorer les performances prédictives, tout en réduisant les temps de calcul par rapport aux approches MCMC classiques. Testée sur des données réelles de génétique végétale, cette méthode a permis d'identifier des marqueurs associés à la sénescence du blé, en accord avec des analyses antérieures.

CONTEXTE ET ENJEUX

Les modèles à effets mixtes permettent d'analyser des observations répétées sur plusieurs individus en attribuant la variabilité des données à différentes sources (intra-individuelle, inter-individuelle, résiduelle). La variabilité inter-individuelle est décrite à l'aide de covariables et d'effets aléatoires : les covariables reflètent les différences attribuables à des caractéristiques observées, tandis que les effets aléatoires représentent la part de variabilité non expliquée par les covariables mesurées. En amélioration des plantes, les modèles non linéaires à effets mixtes (NLME) sont utilisés pour décrire le développement des plantes en fonction de leur génotype et des conditions environnementales. Ces modèles intègrent souvent des milliers de covariables génétiques (marqueurs moléculaires), dont la plupart n'ont aucun effet sur certains traits phénotypiques. Une sélection de variables est donc essentielle pour identifier les régions génomiques pertinentes et améliorer la capacité prédictive du modèle. Cependant, la grande dimension des données génomiques impose d'aborder ce problème dans un cadre où le nombre de covariables dépasse le nombre d'individus.



Graphique de régularisation obtenu sur un modèle de croissance simulé. La Figure (A) présente les effets fixes des covariables pour chaque valeur du paramètre de régularisation sur une grille. Les lignes bleues correspondent aux trois covariables pertinentes, tandis que les lignes noires représentent les effets fixes nuls. Les lignes rouges indiquent les seuils de sélection des covariables. Une covariable est sélectionnée si la valeur estimée de son coefficient est située en dehors des deux lignes rouges. La Figure (B) montre la valeur du critère eBIC pour chaque valeur du paramètre de régularisation sur la même grille. Les covariables sélectionnées correspondent au paramètre de régularisation associé à la plus petite valeur de eBIC. La procédure SAEMVS identifie exactement le bon modèle dans cet exemple simulé. (https://github.com/Marion-Naveau/Supp_Information_SAEMVS)



RESULTATS

Des chercheurs d'INRAE et AgroParisTech ont développé une méthodologie novatrice, nommée SAEMVS, pour répondre à ces enjeux. Elle combine des approches bayésiennes et fréquentistes en s'appuyant sur un prior spike-and-slab Gaussien pour la régularisation et sur l'algorithme SAEM pour l'estimation des paramètres dans les NLME. Inspirée de la régression LASSO, cette méthode explore une grille de paramètres pour ajuster la régularisation et optimiser la sélection des variables. Par rapport aux approches MCMC classiques, l'utilisation du SAEM offre des avantages computationnels significatifs tout en maintenant des performances solides sur des données simulées. Appliquée à des données réelles, cette méthode a permis d'identifier des marqueurs génétiques associés à la sénescence du blé. Ce travail a été réalisé et financé au sein du projet ANR interdisciplinaire STAT4PLANT <https://stat4plant.mathnum.inrae.fr>.



PERSPECTIVES

Certains NLME en amélioration des plantes reposent sur des modèles écophysiologiques qui simulent précisément les étapes du développement des plantes, mais leur évaluation est numériquement coûteuse. Ces contraintes rendent les algorithmes d'inférence classiques inadaptés aux données réelles. Une solution prometteuse est le recours à la métamodélisation, qui permet de réduire significativement les temps de calcul en approximant ces modèles complexes. Déjà utilisée pour l'estimation de paramètres dans d'autres NLME, la métamodélisation pourrait rendre la méthodologie SAEMVS applicable à ces modèles écophysiologiques, offrant ainsi aux biologistes une solution adaptée à leurs problématiques.



RÉFÉRENCES

> Naveau M., Kon Kam King G., Rincet R. & al. - Bayesian high-dimensional covariate selection in non-linear mixed-effects models using the SAEM algorithm. Stat Comput 34, 53 (2024)
<https://doi.org/10.1007/s11222-023-10367-4>



Contact : Maud Delattre

Unité : MaIAGE

Département : MathNum

Centre INRAE : Île de France Jouy-en-Josas

INRAE 2030 Orientations scientifiques (OS) et Orientations de politique générale (OP) : OS 1.3

Grands Objectifs Scientifiques (GOS) MathNum : GOS 1

Mots-clés : Modèles à effets mixtes, sélection de variables, grande dimension, modèles écophysiologiques, sélection variétale



Tester les composantes de la variance dans des modèles à effets mixtes à partir de petits échantillons : identifier des leviers d'action pertinents en sélection variétale.

Pour sélectionner des variétés adaptées à différents environnements, identifier les effets individuels des génotypes est crucial. Dans le contexte de la modélisation mécaniste des interactions génotypes-environnements, cela revient à identifier les paramètres du modèle qui varient avec les génotypes. Dans cet objectif, des chercheurs en statistique d'INRAE et de l'Université de Lille ont développé une méthode de type Bootstrap qui permet de tester la nullité d'un sous-ensemble quelconque des composantes de la variance dans des modèles à effets mixtes très généraux ayant des garanties théoriques. Ces résultats s'appliquent aux cas, fréquents en pratique, où les jeux de données disponibles sont de trop petite taille pour que le cadre asymptotique soit pertinent.



CONTEXTE ET ENJEUX

Les modèles à effets mixtes sont très utiles pour modéliser différentes sources de variabilités au sein d'une population, via des effets fixes et des effets individuels. L'un des enjeux principaux en modélisation est de bien discriminer les deux types d'effets. Du point de vue statistique, il s'agit de tester la nullité des composantes de la variance du modèle. Ce problème est complexe dans le cadre général parce que les paramètres de variance testés sont sur le bord de l'espace des paramètres. Des tests ayant des garanties asymptotiques ont été proposés récemment. Cependant, dans de nombreux cas pratiques, les jeux de données disponibles sont de petite taille, remettant en cause l'applicabilité des résultats asymptotiques existants. Du point de vue pratique, être capable d'identifier les effets individuels est crucial : par exemple, dans le contexte de la modélisation des interactions génotypes environnements via des modèles de culture ou écophysiologiques, identifier les effets individuels revient à identifier les paramètres mécanistes du modèle qui varient avec les génotypes, permettant ainsi de cibler des leviers d'action privilégiés pour sélectionner des variétés adaptées à différents environnements.



RESULTATS

Des chercheurs d'INRAE et de l'Université de Lille ont développé une méthode de test de type Bootstrap pour tester la nullité d'un sous-ensemble quelconque des composantes de la variance dans des modèles à effets mixtes très généraux ayant des garanties théoriques. Ils ont considéré une version Bootstrap du test de rapport de vraisemblance et ont montré sa consistance. Ils ont également intégré une méthode de seuillage qui permet de tenir compte de la présence de paramètres de nuisance, ce qui n'était pas pris en compte dans les méthodes existantes. Ce travail a été réalisé et financé au sein du projet ANR interdisciplinaire STAT4PLANT <https://stat4plant.mathnum.inrae.fr>.



PERSPECTIVES

Comme le test proposé est robuste à la présence de paramètres de nuisance, il peut être intégré au sein d'une procédure itérative de construction de modèle à effets mixtes. Des questions fondamentales sont ainsi soulevées, en particulier concernant les garanties obtenues de la procédure de construction faisant intervenir des tests multiples.

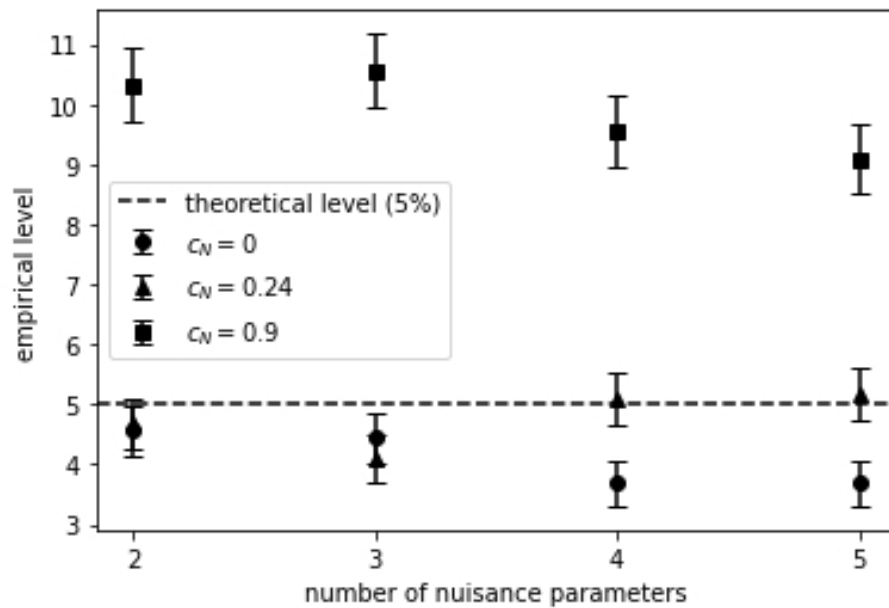


Illustration de l'influence du paramètre de seuillage dans la procédure de test des composantes de la variance sur le niveau du test en fonction du nombre de paramètres de nuisance présents dans le modèle (Guédon T., Baey C. & Kuhn E.)



RÉFÉRENCES

- > Guédon T., Baey C. & Kuhn E. (2024) - Bootstrap test procedure for variance components in nonlinear mixed effects models in the presence of nuisance parameters and a singular Fisher information matrix. Biometrika
<https://doi.org/10.1093/biomet/asae025>



Contact : Estelle Kuhn
 Unité : MaAGE
 Département : MathNum
 Centre INRAE : Île de France Jouy-en-Josas
 INRAE 2030 Orientations scientifiques (OS) et Orientations de politique générale (OP) : OS 1.3 et OS 5.1
 Grands Objectifs Scientifiques (GOS) MathNum : GOS 1
 Mots-clés : Modèles à effets mixtes, composantes de la variance, modèle mécaniste, sélection variétale



Wheat Trait and Phenotype : une ontologie pour l'étude et l'annotation sémantique de données et de textes.

Les ontologies sont au cœur des développements du web sémantique afin de standardiser les échanges de données entre machines distantes. Dans le cadre du projet ANR D2KAB, plusieurs équipes INRAE de disciplines différentes ont collaboré au développement de l'ontologie Wheat Trait and Phenotype Ontology (WTO) pour définir les classes de facteurs et les traits phénotypiques associés au blé tendre.



CONTEXTE ET ENJEUX

Les variétés de blé présentent une grande diversité de traits et de phénotypes. Les expériences de sélection variétale en lien avec le génotype sont documentées par un grand nombre d'ouvrages scientifiques et de données d'observation. Le recoupement de ces informations complémentaires est essentiel à l'étude de la relation génotype-phénotype et, plus généralement, à l'amélioration de la sélection du blé pour répondre notamment aux enjeux de changement climatique et d'alimentation.

Le portail de découverte de données international Faidare (FAIR Data-finder for Agronomic Research) a pour ambition d'agréger ces informations et d'offrir aux utilisateurs une interface pour exprimer des requêtes fédérées de manière expressive et transparente grâce à la standardisation et à la structuration du vocabulaire de traits et phénotype. Faidare utilise la Crop ontology CO_321 pour indexer les informations de terrain avec leurs protocoles et unités. Nous avons développé l'ontologie Wheat Trait and Phenotype Ontology (WTO) comme moyen adapté à l'extraction et l'indexation d'information de la littérature scientifique par des méthodes de traitement automatique de la langue (TAL) qui soit interopérable avec Crop ontology CO_321.



RESULTATS

WTO est le résultat d'un travail interdisciplinaire de longue haleine. Elle décrit les facteurs environnementaux et les traits phénotypiques dans toute leur diversité en 748 classes : développement, agronomie, résistance au stress, qualité boulangère, etc.. Les classes de résistances aux maladies fongiques sont notamment très détaillées. L'abondance des classes et des synonymes en fait une ressource sémantique complète dont la navigation est facilitée par sa structure profonde.

Notre workflow d'extraction d'information de la littérature basé sur AlvisNLP extrait et normalise les mentions de traits phénotypiques par les classes de WTO, interrogeables par le moteur de recherche bibliographique AlvisIRSamBlé opéré par la plateforme Migale.

Pour évaluer la qualité de l'extraction, nous avons créé le corpus Taec (*Triticum aestivum* corpus) annoté manuellement par les mentions de taxon et de traits phénotypiques de 520 documents suivant des consignes détaillées

L'intégration de données expérimentales et textuelles dans Faidare a nécessité l'alignement complexe des classes des deux ontologies WTO et CO_321 par un travail interdisciplinaire étroit. L'alignement est représenté dans le standard SSSOM (Simple Standard for Sharing Ontological Mappings)- standard à l'évolution ce travail a contribué – et justifié par la formalisation de règles explicites d'alignement. WheatGenomicsSLKG est un premier prototype intégré réalisé en RDF grâce à la conversion de WTO en SKOS/OWL

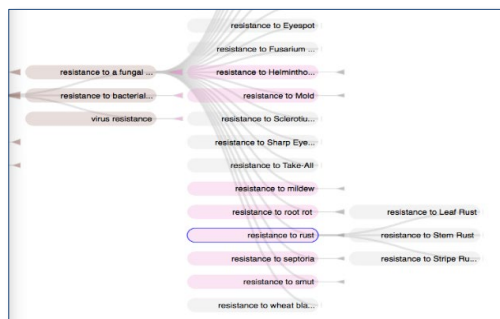


PERSPECTIVES

Nos projets de partenariat avec l'URGI et PlantBioinfoPF complèteront nos résultats par un workflow d'annotation sémantique des allèles/gènes et cultivars pour le blé tendre et l'élargiront à d'autres espèces cultivées.

L'ontologie WTO et le corpus TaeC seront proposés pour l'organisation d'une shared task en normalisation d'entité (ou entity-linking) à CLEF (Conference and Labs of the Evaluation Forum) en 2025 avec l'objectif de comparer les performances de méthodes de TAL.

L'ontologie WTO, son alignement avec CO_321 et le corpus TaeC sont publiés sur le dépôt RDG. Ces résultats ont été obtenus dans le projet ANR ANR-18-CE23-0017 D2KAB (Data to Knowledge in Agriculture and Biodiversity). L'intégration et la mise en production dans le portail Faidare sont programmées à court terme. WTO a inspiré la structure de l'ontologie des traits phénotypique du riz dans le cadre d'une collaboration avec l'Université d'Agriculture Huazhong, Wuhan, qui se poursuit.



Figures : Un exemple de recherche d'information utilisant WTO pour identifier les variétés et leur génotype en lien avec un trait de résistance aux bioagresseurs.



REFERENCES

<http://doi.org/10.15454/1.4382637738008071E12>

Données

- > WTO AgroPortal: <https://tinyurl.com/4bcksm84>
- > AlvisIR : <https://bibliome.migale.inrae.fr/wheat/alvisir/webapi/search>
- > Triticum aestivum trait Corpus, (Taec) : <https://doi.org/10.57745/GCYG3Q>
- > Alignment of WTO and CO_321 ontology classes : <https://doi.org/10.57745/ZLJYQO>
- > Nédellec C., Sauvion C., Bossy R., Borovikova M., Deléger L. (2024) - TaeC: a Manually annotated text dataset for trait and phenotype extraction and entity linking in wheat breeding literature. Plos One. June 2024. 10.1371/journal.pone.0305475
- > Nédellec C., Aubin S., Sauvion C., Ibanescu L., Bravo S., Le Gouis J., Marcel T., Pommier C., Bossy R., Alaux M. (2024) - Mapping bread wheat trait ontologies for semantic interoperability. F1000Research. <https://doi.org/10.12688/f1000research.154860.1>
- > Yacoubi Ayadi N., Bernard S., Bossy R., Courtin M., Gates Happi Happi B., Larmande P., Michel F., Nédellec C., Roussey C., Faron C. (2024) - A Unified Approach to Publish Semantic Annotations of Agricultural Documents as Knowledge Graphs. Smart Agricultural Technology, 2024.100484, ISSN 2772-3755, <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100484>.



Contact : Claire Nédellec

Unité : MaIAGE

Département : MathNum

Centre INRAE : Île de France Jouy-en-Josas

INRAE 2030 Orientations scientifiques (OS) et Orientations de politique générale (OP) : OS 5.1, OS 1.3, OS 2.2, OP 1.3

Grands Objectifs Scientifiques (GOS) MathNum : GOS 1

Mots-clés : Ontologie, blé, trait, sélection variétale, traitement de la langue, intégration de données, alignement d'ontologie, graphe de connaissance

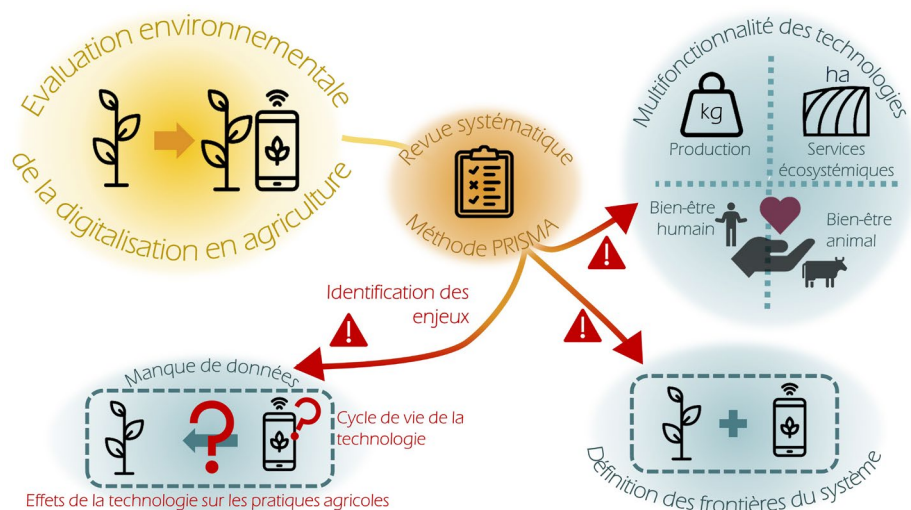
➤ Evaluation environnementale de l'usage du numérique en agriculture : une revue systématique de la littérature.

L'usage de technologies numériques en agriculture est mis en avant comme levier pour accélérer la transition agroécologique. Cependant, les impacts environnementaux de ces technologies sont encore peu connus. Cette revue systématique de la littérature scientifique a visé à identifier et analyser les études ayant réalisé une évaluation environnementale quantitative de l'usage du numérique en agriculture. La grande majorité de ces études ont montré que l'usage des technologies numériques permettait de réduire les impacts environnementaux du système agricole en raison de gains d'efficacité ou de réductions d'intrants. L'analyse de ces études a mis en évidence plusieurs questions d'ordre méthodologique pour améliorer la robustesse des résultats, notamment en ce qui concerne les frontières du système et la collecte des données (manque d'informations sur la production, l'usage et la fin de vie de la technologie numérique, mais aussi sur les changements de pratiques induits par la technologie numérique), et leur généralisation (analyse de sensibilité et d'incertitude).



CONTEXTE ET ENJEUX

Les technologies numériques peuvent être utilisées tout au long de la chaîne de valeur agricole, de la production à la distribution, et dans l'ensemble des filières végétales et animales. La diversité actuelle des solutions numériques constitue une opportunité pour accompagner la transition agroécologique. Cependant, les impacts environnementaux de l'usage de ces technologies sont encore peu connus. Cette revue systématique de la littérature scientifique vise à identifier et analyser les études ayant réalisé une évaluation environnementale quantitative de l'usage du numérique en agriculture.



Résumé graphique – Revue systématique de la littérature scientifique sur les impacts environnementaux de l'usage de technologies numériques en agriculture

RESULTATS

Dans les 69 études sélectionnées par la méthode PRISMA (une norme de réalisation de revue systématique de la littérature), la plupart des technologies étudiées concernent la production végétale, et l'optimisation des intrants (ex. optimisation des fertilisants ou eau). Près d'un tiers des technologies sont des robots ou des outils d'automatisation (ex : tracteur autonome). Plus de la moitié des études identifiées ont mis en œuvre le cadre de l'analyse du cycle de vie (ACV) comme méthode d'évaluation environnementale. La plupart des études visent à quantifier les impacts environnementaux de l'introduction d'une technologie numérique dans un système agricole en utilisant comme base de comparaison une unité fonctionnelle en kg ou en ha (parfois les deux). Les limites du système incluent rarement le cycle de vie de la technologie numérique, se concentrant sur les étapes de production agricole. La modélisation de la technologie repose souvent sur des hypothèses pour pallier le manque de données. De même, des hypothèses sont fréquemment utilisées pour quantifier les effets des technologies numériques sur les pratiques agricoles et les rendements attendus, par manque de recul sur la manière dont le numérique modifie le système agricole. La grande majorité de ces études ont montré que l'introduction de technologie numérique permettait de réduire les impacts environnementaux du système agricole en augmentant le rendement et/ou en diminuant les intrants. Néanmoins, ces résultats sont rarement consolidés par des analyses de sensibilité et d'incertitudes.

PERSPECTIVES

Ces premiers travaux montrent la nécessité d'améliorer la robustesse des ACV menées sur les impacts environnementaux de l'usage de technologies numériques en agriculture, notamment sur la modélisation de la technologie numérique et des changements de pratiques agricoles induits. Afin d'approfondir les connaissances sur ces impacts, des ACV sur de nouveaux cas d'étude sont en cours de réalisation dans le cadre de la thèse de Clémence Huck (financée par le projet OccitANum). Des analyses de sensibilité et d'incertitudes seront également mises en œuvre pour discuter de la possibilité de généraliser les résultats à d'autres contextes.

VALORISATION

Publication scientifique dans Journal of Cleaner Production.

REFERENCES

> Huck C., Gobrecht A., Salou T., Bellon-Maurel V. & Loiseau E. (2024) - Environmental assessment of digitalisation in agriculture: A systematic review. Journal of Cleaner Production, 472. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143369>.



Contact : Eléonore Loiseau, Alexia Gobrecht

Unité : ITAP

Départements : MathNum - AgroEcoSystem

Centre INRAE : Occitanie-Montpellier

INRAE 2030 Orientations scientifiques (OS) et Orientations de politique générale (OP) : OS 5.3 - OS 5.2.

Grands Objectifs Scientifiques (GOS) MathNum : GOS 3

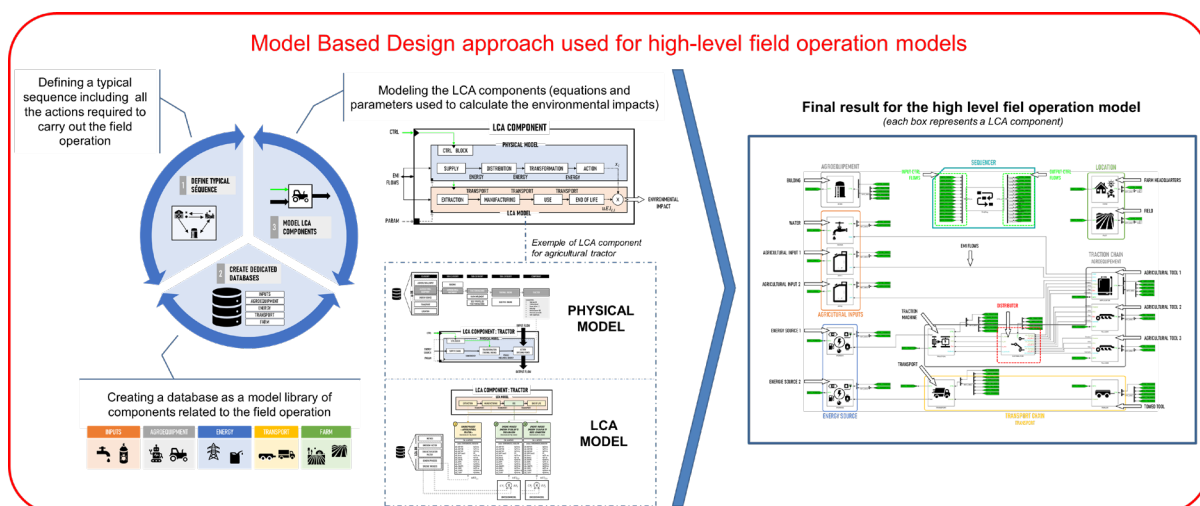
Mots-clés : Agriculture numérique, Analyse du Cycle de Vie (ACV), impacts environnementaux

➤ O-AMIE : un outil combinant l'ingénierie systèmes et l'analyse du cycle de vie pour l'écoconception des pratiques agricoles et l'évaluation de leurs impacts environnementaux.

Développé dans le cadre du Laboratoire Partenariat Associé I-Smart entre INRAE et Sherpa Engineering, O-AMIE (Outil d'Analyse et de Gestion des Impacts Environnementaux), a été conçu pour évaluer les impacts environnementaux d'opérations culturales et d'itinéraires techniques agricoles impliquant différents types d'agroéquipements (traditionnels et robotisés) avec un double objectif : 1/ Aider à l'écoconception et à la validation de systèmes opérants impliqués en agriculture (i.e. les agroéquipements tels que tracteur, robot, matériel agricole...); 2/ Evaluer les impacts environnementaux de systèmes procédés mobilisant ces systèmes opérants (tels que des itinéraires techniques, opérations culturales, etc.). Le modèle conceptuel de l'outil repose sur le couplage des méthodes d'ingénierie système basée sur des modèles (MBSE, MBD) et d'Analyse du Cycle de Vie. Il a été développé avec Matlab®, Simulink® et la plateforme PhiSim (Sherpa Engineering).

CONTEXTE ET ENJEUX

L'agriculture est un des secteurs qui contribue au dépassement des limites planétaires, notamment au regard de ses impacts sur la gestion de l'eau et le changement climatique. Elle doit, comme d'autres secteurs, faire sa transition, ce qui représente un défi pour le secteur des agroéquipements et de la robotique agricole, plutôt adapté à des pratiques conventionnelles. Pour mener à bien la transition de ces systèmes de nature complexe, il est nécessaire de pouvoir disposer d'outils adaptés. Développé dans le cadre du Laboratoire Partenariat Associé I-Smart entre INRAE et Sherpa Engineering, O-AMIE (Outil d'Analyse et de Gestion des Impacts Environnementaux) a été conçu pour évaluer les impacts environnementaux d'opérations culturales et d'itinéraires techniques agricoles impliquant différents types d'agroéquipements (traditionnels et robotisés).



Approche pour évaluer les impacts environnementaux d'opérations culturales et d'itinéraires techniques agricoles impliquant différents types d'agroéquipements



RESULTATS

O-AMIE est un outil couplant les méthodes d'Ingénierie systèmes et d'Analyse du Cycle de Vie visant à aider à l'écoconception et à la validation de systèmes opérants impliqués en agriculture (i.e. les agroéquipements tels que tracteur, robot, matériel agricole...) et à évaluer les impacts environnementaux de systèmes procédés mobilisant ces systèmes opérants (tels que des itinéraires techniques, opérations culturales, etc.).

L'outil présente deux fonctionnalités principales :

- 1/ l'évaluation des impacts environnementaux du système considéré, le calcul des impacts et le traitement des résultats ;
- 2/ l'écoconception du système, optimisant les paramètres du système considéré au regard de critères environnementaux (design optimization).

L'originalité de cet outil repose sur une modélisation fine des inventaires de flux sur la base de modèles physiques qui permettent d'obtenir des données d'inventaires proches de la réalité physique de terrain et non pas sur l'utilisation de données moyennes comme c'est actuellement le cas dans les ACV agricoles. Il permet également de simuler un nombre important de scénarios sur une courte période et d'identifier de manière dynamique les impacts environnementaux en temps réel au cours de la réalisation de l'opération culturale concernée.

L'outil est basé sur le couplage d'une modélisation physique et ACV de composants unitaires. Ces composants peuvent être combinés pour modéliser différents systèmes procédés ou opérants. Cette approche modulaire permet à un utilisateur de modéliser différents scénarios d'opérations culturales (et par extension d'itinéraires techniques) et d'évaluer leurs impacts environnementaux au moyen d'indicateurs de type ACV.

L'outil est conçu à l'aide du logiciel de calcul matriciel Matlab® et de la toolbox Simulink® dédiée à la modélisation système, ainsi que de la plateforme de modélisation multi-physique PhiSIM, développée par Sherpa Engineering.



PERSPECTIVES

À l'heure actuelle, l'outil permet d'évaluer les impacts de pratiques de désherbage et de fertilisation. Les prochaines étapes de développement d'O-AMIE visent à consolider le développement de l'interface de saisie des itinéraires techniques et l'interface graphique de présentation des résultats d'impacts environnementaux, les modèles physiques des agroéquipements (notamment des robots agricoles) et la modélisation des autres opérations culturales (semis, récolte...).

RÉFÉRENCES

> Pradel M., David R., Gaudin F. (2024) - O-AMIE: A tool combining systems engineering and life cycle assessment to eco-design agricultural practices and assess their environmental impacts, Computers and Electronics in Agriculture, Volume 227, Part 1, 2024, ISSN 0168-1699. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109558>



Contact : Marilyns Pradel

Unité : TSCF

Départements : MathNum - AgroEcoSystem

Centre INRAE : Clermont-Auvergne-Rhône-Alpes

INRAE 2030 Orientations scientifiques (OS) et Orientations de politique générale (OP) : OS 5.3

Grands Objectifs Scientifiques (GOS) MathNum : GOS 3

Mots-clés : Analyse du Cycle de Vie, Ingénierie Système, Model-based Design, Opérations culturales, Agroéquipements

➤ Optimiser les rendements agricoles à l'échelle mondiale pour répondre à une demande alimentaire croissante.

Une étude INRAE menée en collaboration avec l'université du Minnesota révèle des disparités à l'échelle du globe entre les rendements agricoles actuels et leur potentiel technique, soulignant l'importance d'optimiser les pratiques agricoles face à une demande mondiale croissante d'ici 2050. Les chercheurs mettent en lumière des potentiels de croissance des récoltes pour plusieurs cultures, notamment pour le maïs, le manioc et le sorgho, tout en alertant sur le risque de stagnation des rendements du riz en Asie. Les résultats sont parus le 26 janvier dans Nature Food.



CONTEXTE ET ENJEUX

Si la population et la demande alimentaire ont tendance à stagner en Europe, ce n'est pas le cas dans tous les pays du monde. Une nouvelle étude menée par des chercheurs d'INRAE et de l'université du Minnesota a quantifié le potentiel de croissance des rendements agricoles futurs à l'échelle mondiale.

La croissance démographique et les changements de régime alimentaire prévoient une augmentation substantielle de la demande alimentaire mondiale d'ici 2050, variant de +35 à +60 % selon des estimations récentes. L'expansion des terres cultivées, souvent au détriment des prairies et des forêts, engendre des impacts environnementaux majeurs, exacerbant les problèmes climatiques et de biodiversité. De plus, la disponibilité limitée de nouvelles terres cultivables rend ce scénario non durable pour l'humanité. Ainsi, l'augmentation des rendements apparaît comme une solution cruciale pour satisfaire la demande alimentaire future.

L'étude a examiné les potentiels d'augmentation des rendements de 10 cultures majeures à l'échelle mondiale. À partir d'une analyse statistique d'une base de données agricole mondiale, les chercheurs ont cartographié les écarts entre les rendements réels obtenus entre 1970 et 2010 et les rendements potentiellement atteignables en tenant compte des conditions pédoclimatiques locales.

RESULTATS

Des disparités significatives, selon les cultures et les régions. Ainsi, pour le maïs, le sorgho ou le manioc, le rendement réel reste éloigné du rendement atteignable dans de nombreuses régions, notamment en Asie, en Afrique et en Amérique centrale. Pour ces cultures, le risque de stagnation concerne moins de 40 % de la surface mondiale.

Cependant, la situation est plus préoccupante pour le riz, une céréale cruciale dans l'alimentation mondiale. Plus de 80 % des surfaces cultivées actuelles de riz pourraient connaître une stagnation des rendements, principalement en Asie. En Afrique par contre, des potentiels significatifs d'augmentation de rendement du riz existent, en particulier autour du golfe de Guinée.

Pour le blé, la situation est contrastée, avec des zones géographiques où le rendement a déjà atteint un plateau, comme par exemple en France, et des zones où la productivité reste éloignée du rendement potentiel, notamment en Inde et dans certaines régions d'Amérique du Nord et d'Afrique.

PERSPECTIVES

Les scientifiques soulignent l'importance de guider les politiques agricoles à l'échelle mondiale en fonction de ces résultats. Ces orientations nécessitent de s'appuyer sur un fort investissement dans la recherche et la mise en place de systèmes agricoles durables.

RÉFÉRENCES

> Gerber J.S., Ray D.K., Makowski D. & al. (2024) - Global spatially explicit yield gap time trends reveal regions at risk of future crop yield stagnation. Nat Food 5, 125–135. <https://doi.org/10.1038/s43016-023-00913-8>.



Contact : David Makowski
Unité : MIA-Paris-Saclay
Département : MathNum
Centre INRAE : Île-de-France-Versailles-Saclay
INRAE 2030 Orientations scientifiques (OS) et Orientations de politique générale (OP) : OS 1.1
Métaprogramme : CLIMAE
Grands Objectifs Scientifiques (GOS) MathNum : GOS 2
Mots-clés : Production agricole, productivité, céréales



Analyse de sensibilité globale appliquée à des modèles dynamiques de systèmes biologiques.

Deux chercheurs de l'unité MaIAGE proposent de nouveaux estimateurs statistiques de trois types d'indices de sensibilité communément utilisés pour l'étude de modèles complexes : indices de Sobol, indices totaux et indices de Shapley. L'approche est illustrée sur deux cas d'études : (i) un réseau Booléen représentant la dynamique d'un réseau de régulation cellulaire ; (ii) un système d'équations différentielles ordinaires modélisant l'infection d'une population bactérienne par un bactériophage. Bien que gourmande en simulations du système, la méthode est bien adaptée pour analyser les modèles mathématiques de systèmes biologiques complexes, pointant notamment les paramètres les plus influents ainsi que leurs potentiels effets combinés sur le comportement dynamique du système.



CONTEXTE ET ENJEUX

L'analyse de sensibilité globale recouvre un ensemble de méthodes mathématiques permettant d'évaluer l'effet d'un ou plusieurs facteurs d'entrée sur une ou plusieurs sorties d'un système complexe. Bien que très utilisés dans certains domaines applicatifs, les indices de sensibilité globale restent majoritairement utilisés en pratique au premier ordre : pour distinguer les facteurs sensibles, donc clés pour l'analyse. Relativement peu explorée, l'estimation d'indices d'ordres supérieurs est intéressante car elle permet de mettre en évidence de possibles effets combinés de certains facteurs d'entrées sur la sortie du système. Ceci devient particulièrement utile lors de l'analyse de systèmes dynamiques déterministes, comme des équations différentielles modélisant des systèmes biologiques complexes : les indices de sensibilité globale deviennent alors un nouvel outil d'analyse pertinent dans l'arsenal du modélisateur.



RESULTATS

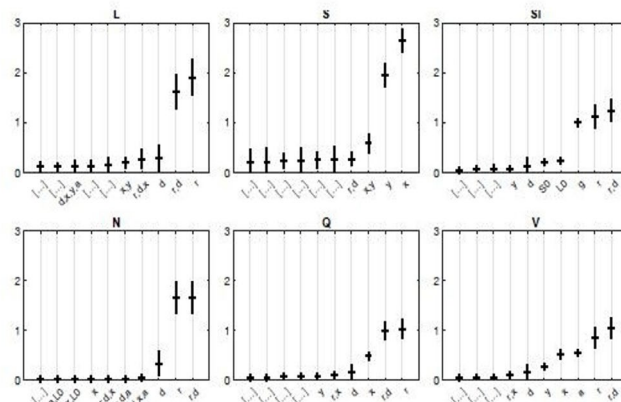
Grâce à une analyse théorique reliant trois types d'indices classiques, nous calculons des estimateurs des indices de Sobol, des indices totaux et des indices de Shapley. Dans tous les cas, nous obtenons directement les matrices de variance-covariance, permettant ainsi d'évaluer précisément la qualité de l'estimation. Nous proposons de plus un ensemble de fonctions informatiques (téléchargeables) permettant de calculer les estimateurs à partir de jeux de données issus de la simulation d'un système quelconque. Nous proposons deux cas d'étude distincts. Le premier est un réseau Booléen modélisant un réseau génétique de décision entre différents destins cellulaires. Les indices permettent alors d'approcher l'ordre de grandeur des vitesses des différents processus biochimiques en jeu, ce qui est souvent inaccessible pour ce type de systèmes. Le second est un système différentiel modélisant l'invasion d'une population bactérienne par un phage. Nous montrons notamment comment les indices calculés peuvent alors fournir des indications précieuses sur la dynamique du système, en révélant par exemple l'interaction clé entre deux paramètres pour décider du type d'équilibre atteint par le système (invasion ou non invasion de la population).



PERSPECTIVES

Ce travail est la collaboration de deux chercheurs en mathématiques appliquées aux spécialités bien différentes : statistique et systèmes dynamiques. Il soulève plusieurs pistes de recherche à l'interface entre ces deux domaines. En particulier, l'utilisation judicieuse d'indices de sensibilité globale, en conjonction avec des techniques d'analyse plus classiques, devrait permettre d'analyser des modèles mathématiques variés, dans différents champs applicatifs d'INRAE.

$$\begin{cases} dL/dt = & r(1 - N/k)L - xL - dL, \\ dS/dt = & r(1 - N/k)S - aVS - dS, \\ dS^l/dt = & r(1 - N/k)S^l - xS^l + gaVS - dS^l, \\ dQ/dt = & x(L + S^l) + (1 - g)aVS - lQ - dQ, \\ dV/dt = & ylQ - aV(N + Q) - dV, \end{cases}$$



En haut : système de cinq équations différentielles modélisant l'invasion d'une population bactérienne S par un phage tempéré V dans le gut de souris. Les variables L et Sl représentent des populations de lysogènes (bactéries infectées avec phage dormant). En bas : indices de Sobol principaux des combinaisons de paramètres sur les 5 variables de l'équilibre du système atteint (N représente la population bactérienne totale $N = S + Sl + L$).
Mazo G. & Tournier L. (2024).

VALORISATION

Nous proposons un ensemble de fonctions informatiques (en Matlab) permettant de calculer nos estimateurs à partir de jeux de données d'un système quelconque. Ce programme, disponible au téléchargement, permet de calculer rapidement les indices pour une quinzaine de paramètres d'entrées. Nos codes sont libres d'accès : leur diffusion dans la communauté permettra d'ouvrir de nouvelles perspectives de collaborations dans d'autres domaines applicatifs.

RÉFÉRENCES

> Mazo G. & Tournier L. (2024) - An inference method for global sensitivity analysis. Technometrics, 1-31.
<https://doi.org/10.1080/00401706.2024.2431113>



Contact : Gildas Mazo, Laurent Tournier

Unité : MaIAGE

Département : MathNum

Centre INRAE : Île de France Jouy-en-Josas

INRAE 2030 Orientations scientifiques (OS) et Orientations de politique générale (OP) : OS 5.1

Grands Objectifs Scientifiques (GOS) MathNum : GOS 1

Mots-clés : Analyse de sensibilité globale, Indice de Sobol, Equation différentielle ordinaire, Réseau Booléen, Biologie des systèmes



Regrouper pour comprendre : l'analyse de sensibilité revisitée pour les modèles d'agro-écosystèmes.

« Diviser pour régner » est une approche efficace pour résoudre des problèmes, notamment algorithmiques. Dans le cas des modèles numériques, typiquement ceux simulant des agro-écosystèmes, nous lui opposons toutefois la philosophie de « regrouper pour mieux comprendre ». Regrouper les simulations des modèles d'agro-écosystèmes, par exemple des courbes de croissance de biomasse ayant la même forme ou des cartes de concentration de pesticides ayant des motifs comparables. Mieux comprendre le rôle des entrées de ces modèles dans l'obtention de certains comportements d'intérêt, tels que des courbes décroissantes à long terme ou des cartes présentant des concentrations faibles et homogènes.

Pour aborder ces questions, nous avons couplé des approches de classification, appliquées sur des sorties complexes de modèles numériques, et les méthodes statistiques d'analyse de sensibilité, couramment utilisées pour caractériser l'influence des paramètres des modèles. Cette approche originale, est appelée « Cluster-Based GSA ». Elle est développée par des chercheurs des UMR MISTEA et EMMAH.



CONTEXTE ET ENJEUX

Les modèles numériques d'agro-écosystèmes ont la particularité d'avoir des sorties multiples et de structures complexes, comme des sorties temporelles ou spatiales. L'analyse des modèles numériques, qui est nécessaire aussi bien dans le processus d'évaluation des modèles que dans celui de leur bonne utilisation, se heurte à ces structures complexes qui posent des challenges notamment aux méthodes classiques d'analyse de sensibilité des modèles.



RESULTATS

Nous avons introduit une méthode générique d'analyse de sensibilité, combinant des techniques de classification et d'analyse sensibilité globale reposant sur la décomposition de la variance.

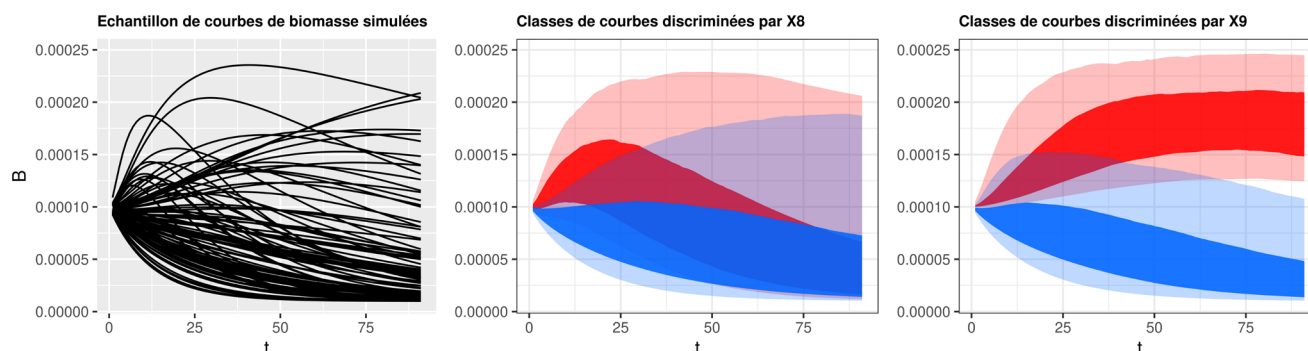
Cette approche, qui repose sur l'idée clé de transformer les sorties des modèles en une mesure d'appartenance à des classes, permet de simplifier les structures complexes et de les rendre compatibles avec les méthodes classiques d'analyse de sensibilité. Elle peut être déclinée pour des sorties simulées de natures variées et pour différents types de classifications. D'un côté, la classification peut être donnée par l'utilisateur du modèle. De l'autre, elle peut être apprise sur les données de simulations, soit pour analyser des comportements dominants des sorties de modèles (algorithme CB-GSA), soit pour essayer de révéler des classes de comportements particulièrement discriminées par les variations d'un groupe de paramètres en particulier (algorithme mRSA).



PERSPECTIVES

Les algorithmes génériques CB-GSA et mRSA sont appliqués dans le cadre d'une collaboration initiée au sein de #DigitAg entre INRAE, ACTA et Météo France sur l'analyse des prévisions de stress hydrique de vignobles. Ils seront également mobilisés dans pour l'étude des apports de Biochar dans des réseaux de fossés agricoles dans le cadre du projet région Eau Charb'oc, piloté par l'UMR LISAH.

Les travaux ont été présentés lors des congrès internationaux SAMO'18, ICROP'20 et SAMO'22, et ont donné lieu à deux publications dans des numéros spéciaux dédiés à l'analyse de sensibilité des modèles. Les algorithmes sont accessibles sur GitLab et GitHub, et sont mobilisés dans le cadre de plusieurs projets appliqués.



Analyse des courbes de biomasse zymogène produites par le modèle de décomposition de la matière organique CANTIS sur un plan d'expérience numérique impliquant les variations de 10 paramètres. Nous montrons à gauche un échantillon de courbes simulées et à droite les résultats de l'application de l'algorithme mRSA aux entrées X8 (constante de Michaelis-Menten pour la décomposition de la matière organique soluble) et X9 (taux de décomposition de la biomasse zymogène). La comparaison des 2 classes de courbes (rouges et bleues) calculées par l'algorithme mRSA montre que X8 pilote l'occurrence de courbes de biomasse qui commencent par croître, alors que X9 pilote quant à lui l'occurrence de courbes associées aux niveaux élevés de biomasse. (Roux S., Loisel P. & Buis S.)

REFERENCES

- > Roux S., Loisel P. & Buis S. (2025) - Maximizing Regional Sensitivity Analysis indices to find sensitive model behaviors. International Journal for Uncertainty Quantification, 15(1), <https://doi.org/10.1615/Int.J.UncertaintyQuantification.2024051424>
- > Roux S., Buis S., Lafolie F. & Lamboni M. (2021) - Cluster-based GSA: Global sensitivity analysis of models with temporal or spatial outputs using clustering. Environmental Modelling & Software, 140, 105046, <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105046>



Contact : Sébastien Roux
 Unité : MISTEA
 Départements: MathNum - AgroEcoSystem
 Centre INRAE : Occitanie-Montpellier
 INRAE 2030 Orientations scientifiques (OS) et Orientations de politique générale (OP) : OS 5.1
 Grands Objectifs Scientifiques (GOS) MathNum : GOS 2
 Mots-clés : Analyse de sensibilité, classification, indice de Sobol

Identifiabilité et observabilité de modèles en épidémiologie.

En épidémiologie mathématique, une approche classique consiste à proposer un modèle, adopter des valeurs de la littérature pour certains paramètres puis estimer les autres paramètres et variables non mesurées du modèle à partir de données collectées, à l'aide d'algorithmes d'optimisation. Cependant, il peut arriver que cette reconstruction ne soit pas unique, même lorsque les données ne sont pas entachées d'erreurs. Cet ouvrage passe en revue les propriétés d'identifiabilité et observabilité des modèles, et les méthodes d'analyse qui garantissent l'unicité et valident cette approche. Les résultats sont illustrés sur plusieurs modèles, classiques et moins classiques, de l'épidémiologie.



CONTEXTE ET ENJEUX

L'automatique (ou « science de la commande des systèmes ») étudie des modèles dynamiques sous forme de systèmes « entrées-sorties » paramétrés, éventuellement soumis à des perturbations exogènes. Deux grandes familles de problèmes sont étudiées :

- 1- A partir de grandeurs mesurées au cours du temps (considérées comme des « sorties » du modèle), l'automatique s'intéresse à l'identification des paramètres et à la reconstruction des variables internes du modèle.
- 2- A l'aide de commandes (les « entrées » du modèle), l'automatique s'intéresse au pilotage des systèmes en temps réel, dans un but de régulation ou d'optimisation d'un critère de performances. Cette approche, qui s'appuie sur des représentations de systèmes réels à l'aide de modèles entrées-sorties, est bien développée en aéronautique, robotique, génie des procédés..., mais est encore peu utilisée en épidémiologie.



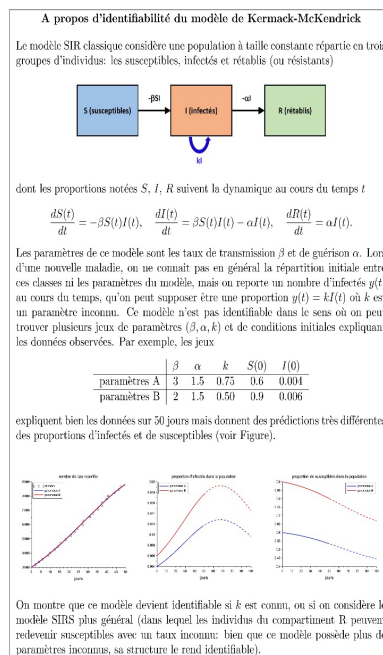
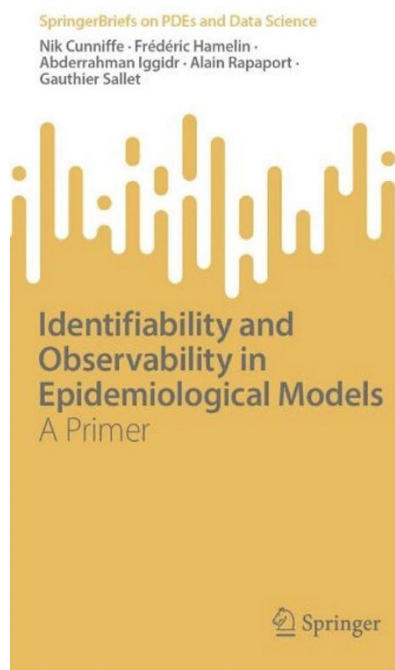
RESULTATS

Cet ouvrage, qui s'adresse aux épidémiologistes modélisateurs et mathématiciens, revisite les concepts d'identifiabilité et d'observabilité des systèmes pour les modèles en épidémiologie, et présente notamment un développement complet des méthodes pour le célèbre modèle SIR de Kermack-McKendrick sous ses différentes formes. En particulier, il est montré que lorsque le modèle n'est pas identifiable pour certaines mesures, il est possible d'avoir un très bon ajustement aux données pour plusieurs jeux de paramètres, mais qui conduisent à des prédictions fort différentes. Ceci souligne la nécessité de mener une étude d'identifiabilité préalable à tout ajustement aux données (ce qui n'est pas toujours effectué dans la littérature). L'identifiabilité et l'observabilité sont des propriétés intrinsèques aux modèles qui sont déterminées à l'aide de calculs algébriques sur les équations du modèle. D'autre part, le concept d'« observateur », permettant de reconstruire au cours du temps les variables non mesurées du modèle à partir des mesures, est également exposé avec différentes techniques de construction illustrées sur plusieurs modèles en épidémiologie. Finalement, des considérations pratiques, en lien avec l'étude de sensibilité des modèles, sont présentées.



PERSPECTIVES

L'écriture de cet ouvrage a permis de mettre en évidence un certain nombre de questions ouvertes ou partiellement traitées, spécifiques au domaine de l'épidémiologie, comme l'estimation robuste de la dynamique d'un nouveau pathogène au tout début de son invasion (mathématiquement, l'équilibre sans pathogène est une singularité dans l'observabilité des modèles), ou la prise en compte, en plus des mesures d'incidence, des réinfections et séroprévalences, qui ont donné lieu au projet de recherche NOCIME (New Observation and Control Issues Motivated by Epidemiology), financé par l'ANR pour 2024-2027.



Ouvrage sur les propriétés d'identifiabilité et observabilité de modèles en épidémiologie.

VALORISATION

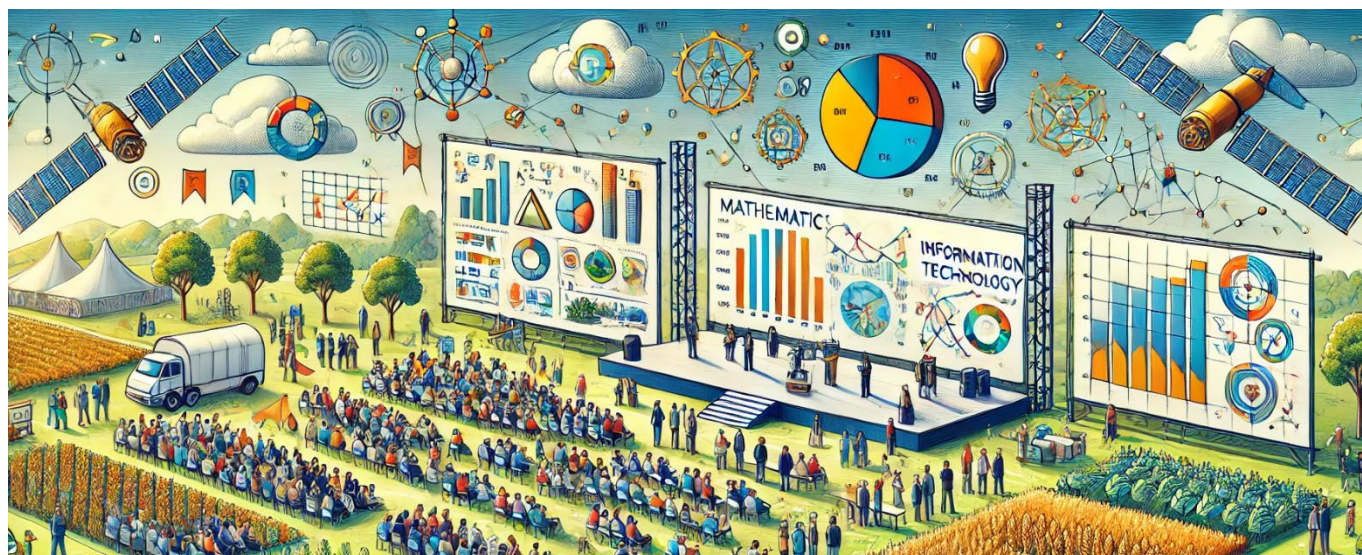
L'identification des paramètres et la reconstruction des variables sont naturellement utilisées pour établir des prévisions sur l'évolution des épidémies, mais également pour l'aide à la décision (distanciations sociales, vaccinations...), notamment pour appliquer des lois de commande établies sous forme de rétroaction (cf. par exemple la minimisation du pic épidémique).

RÉFÉRENCES

> Cunniffe N., Hamelin F., Iggidr A., Rapoport A. & Sallet G. (2024) - Identifiability and Observability in Epidemiological Models. Springer Nature, SpringerBriefs on PDEs and Data Science ISBN 978-981-97-2538-0



Contact : Alain Rapoport
 Unité : MISTEA
 Département : MathNum
 Centre INRAE : Occitanie-Montpellier
 INRAE 2030 Orientations scientifiques (OS) et Orientations de politique générale (OP) : OS 4.2 - OS 5.2
 Grands Objectifs Scientifiques (GOS) MathNum : GOS 2
 Mots-clés : Modèles mathématiques pour l'épidémiologie, identifiabilité et observabilité des systèmes, identification de paramètres, synthèse d'observateurs



ÉVÉNEMENTS



Atelier de clôture du projet H2020 MOOD pour la veille sanitaire des maladies infectieuses.

Le projet européen H2020 MOOD MOnitoring Outbreak for Disease Surveillance in a Data Science Context (2020-2024) a eu pour ambition de renforcer les capacités d'intelligence épidémique pour faire face aux maladies infectieuses émergentes et ré-émergentes. Ce projet s'appuie sur des approches interdisciplinaires et sur le concept "One Health" pour répondre aux défis posés par la surveillance et la gestion des risques sanitaires dans un monde de plus en plus interconnecté. L'atelier scientifique final de clôture du projet, organisé à l'Istituto Superiore di Sanità à Rome en novembre 2024, a permis de réunir des experts internationaux pour discuter des avancées, des outils innovants et des perspectives futures dans ce domaine critique.



CONTEXTE ET ENJEUX

Le projet européen H2020 MOOD (2020-2024), impliquant 24 partenaires de 12 nationalités, s'inscrit dans le cadre des efforts internationaux pour améliorer la veille sanitaire et la gestion des risques infectieux. Le projet met l'accent sur l'utilisation de données massives, de nouveaux outils et de modèles innovants pour renforcer l'intelligence épidémique, tout en adoptant une approche interdisciplinaire sous le cadre conceptuel de "One Health". L'objectif principal est de répondre aux défis croissants posés par les maladies émergentes et ré-émergentes à l'échelle européenne.



Les participant.e.s à l'atelier scientifique final de clôture du projet MOOD



RESULTATS

L'atelier final du projet MOOD s'est déroulé sur deux journées, organisées autour d'un programme scientifique structuré et riche:

- Quatre sessions scientifiques ont exploré les défis de la veille sanitaire, les approches interdisciplinaires et les avancées technologiques.
- La présentation des résultats phares du projet MOOD, a mis en lumière les avancées scientifiques et les outils opérationnels développés.
- Un focus a porté sur la plateforme MOOD, ses fonctionnalités et les outils innovants qu'elle propose pour la surveillance épidémique. Des démonstrations concrètes ont illustré son potentiel pour aider à la gestion et à l'anticipation des crises sanitaires.
- Une table-ronde réunissant partenaires du projet MOOD, représentants de projets européens connexes, et organisations internationales, a permis d'identifier les questions émergentes en matière de veille sanitaire, de partager des retours d'expérience, et de définir des priorités stratégiques pour les recherches et actions futures.

Le projet MOOD a atteint ses objectifs avec succès en fournissant des techniques d'exploration de données et d'analyse permettant d'utiliser le Big Data provenant de sources multiples pour améliorer la détection, la surveillance et l'évaluation des maladies infectieuses émergentes d'importance pour l'Europe. Le projet a donné lieu à plus de 140 publications scientifiques et 60 ensembles de données disponibles via OpenAIRE - Open Access Infrastructure for Research in Europe. Le résultat final du projet est la plateforme MOOD. En réunissant les utilisateurs des agences de santé et des chercheurs, il a été possible d'améliorer l'efficacité des pratiques de surveillance, de regarder vers l'avenir en créant et animant un large réseau d'utilisateurs en Europe et au-delà, d'assurer la pérennité et l'évolution de la plateforme MOOD à travers une association internationale à but non lucratif (INPA).



PERSPECTIVES

Les échanges lors de cet événement de clôture ont permis de poser les bases pour :

- Poursuivre le développement et l'amélioration des outils d'intelligence épidémique, avec une orientation vers l'opérationnalisation.
- Renforcer la collaboration entre chercheurs, décideurs et organisations européennes dans le cadre d'une approche "One Health".
- Identifier des axes de recherche prioritaires, tels que l'impact des changements climatiques sur les maladies infectieuses, l'intégration et la normalisation de données multi-modales et la modélisation des risques sanitaires globaux.



VALORISATION

Les résultats du projet MOOD ont été valorisés à travers :

- La diffusion de travaux scientifiques dans des conférences et journaux.
- La plateforme MOOD, mise à disposition des acteurs de la santé publique pour une utilisation opérationnelle.
- Des formations à un large public. sur la plateforme MOOD et l'outil PadiWeb
- Des recommandations stratégiques pour les projets futurs et les politiques publiques européennes.



Contact : Maguelonne Teisseire

Unité : TETIS

Département : MathNum

Centre INRAE : Occitanie-Montpellier

INRAE 2030 Orientations scientifiques (OS) et Orientations de politique générale (OP) : OS 5

Grands Objectifs Scientifiques (GOS) MathNum : GOS 1

Mots-clés : Sciences des données, intelligence épidémiologique, fouille de texte

La conférence PhenoHarmoniS 2024 à Montpellier.

La conférence PhenoHarmoniS 2024 a réuni 85 participants de 16 pays et 29 institutions. L'objectif principal était de promouvoir l'interopérabilité et la préparation des données pour l'intelligence artificielle (IA) au profit de domaines tels que le phénotypage, la gestion de l'eau, l'agroécologie et la transparence des filières agroalimentaires. Les discussions ont mis en lumière l'importance de données de qualité, traçables et contextualisées, respectant les principes FAIR et CARE pour des applications éthiques et efficaces. L'intégration d'ontologies et de graphes de connaissances a été identifiée comme cruciale pour réduire les biais et améliorer la précision des modèles aussi bien en agriculture qu'en transformation des aliments. La conférence a permis d'identifier de futures collaborations scientifiques et des priorités pour les années à venir notamment sur la standardisation des données et leur exploitation interdisciplinaire, ainsi que la favorisation de l'utilisation d'une IA performante dans les filières agricoles.



CONTEXTE ET ENJEUX

La conférence PhenoHarmoniS 2024 organisée conjointement par l'UMR MISTEA et l'Alliance Bioversity-CIAT s'est tenue en mai à Montpellier. Cette conférence s'inscrit dans un contexte d'évolution rapide des technologies numériques dans les systèmes agricoles et alimentaires. Elle avait pour objectif de rassembler des experts internationaux pour aborder les enjeux liés à l'interopérabilité des données et à leur préparation pour une utilisation efficace par l'intelligence artificielle. Les présentations et les discussions ont particulièrement porté sur les standards nécessaires, la sémantique, les annotations, les flux de données, la curation et la transformation des informations notamment dans des domaines comme la gestion de l'eau, l'agroécologie ou encore la transparence des filières agroalimentaires.



RESULTATS

La conférence a rassemblé 85 participants de 16 pays, représentant 29 institutions, favorisant des échanges riches et la définition de nouvelles collaborations scientifiques. Elle a permis de faire un état de l'art et d'identifier les enjeux pour ces prochaines années sur les données qui vont nourrir l'IA dans les filières agricoles.



PERSPECTIVES

La conférence a permis d'identifier les thématiques où des actions et collaborations sont à développer :

- La structuration des données pour l'IA. Les discussions ont mis en évidence l'importance de données contextualisées et de qualité pour les modèles d'IA, incluant des caractéristiques comme la traçabilité, l'interopérabilité, la machine-readability et surtout le respect des principes CARE (Collective benefit, Authority to control, Responsibility, Ethics) pour de futures applications éthiques et transparentes.
- Les ressources sémantiques et ontologies. L'intégration de ressources sémantiques telles que des ontologies (ex. CropOntology, FoodOn, SOSA) et des graphes de connaissances a été soulignée comme essentielle pour améliorer la précision des modèles et réduire les biais. Ces outils permettent également d'améliorer les modèles prédictifs dans des domaines comme l'agriculture de précision et les jumeaux numériques.
- L'évolution des standards de données. Un accent a été mis sur la nécessité de définir des standards pour garantir que les données soient compréhensibles par les machines et utiles pour des applications interdisciplinaires en IA.



VALORISATION

Suite à PhenoHarmoniS 2024, des projets internationaux devraient voir le jour sur cette thématique de l'utilisation efficace des données pour l'IA dans les filières agricoles et dans lesquels l'institut pourra jouer un rôle important.



REFERENCES

> Site internet : <https://www.hdigitag.fr/evenements/phenoharmonis-workshop-20242>



Contact : Pascal Neveu
Unité : MISTEA
Départements : MathNum
Centre INRAE : Occitanie-Montpellier
INRAE 2030 Orientations scientifiques (OS) et Orientations de politique générale (OP) : OS 5.4
Grands Objectifs Scientifiques (GOS) MathNum : GOS 2
Mots-clés : Données, sémantique, intelligence artificielle

➤ 24ème Forum des jeunes mathématiciennes et mathématiciens, sur le thème des mathématiques pour l'agriculture, l'alimentation, l'environnement.

Le « 24ème Forum des jeunes mathématiciennes et mathématiciens » s'est tenu du 20 au 22 novembre 2024 à l'Université de Montpellier sur le thème des « Mathématiques pour l'environnement, l'agriculture et l'alimentation », organisé par les unités MISTEA, IMAG et MOISA. Les objectifs étaient de promouvoir les contributions des femmes aux mathématiques, d'encourager les jeunes mathématiciennes à se sentir légitimes dans un contexte professionnel largement masculin et de promouvoir les travaux de recherche en mathématiques au service des enjeux de l'environnement, l'agriculture et l'alimentation. Le Forum a combiné exposés scientifiques, sensibilisation aux stéréotypes et aux déterminants de la confiance en soi, ateliers sur les débouchés professionnels des mathématiques auprès des lycéen.ne.s et des étudiant.e.s, ainsi que des conseils pour les jeunes chercheuses et chercheurs concernant leurs travaux et leur choix de carrière. Ce format a largement contribué au succès de cet événement.



CONTEXTE ET ENJEUX

Il n'est pas facile de susciter des vocations en mathématiques, et encore moins auprès des jeunes filles. L'objectif de ce forum était donc de soutenir les jeunes mathématicien.ne.s, de donner davantage de visibilité à leurs travaux, de promouvoir les contributions des femmes aux mathématiques, et d'encourager les jeunes mathématiciennes à se sentir légitimes dans un contexte professionnel largement masculin.

Ce forum, assuré chaque année à l'initiative de l'association « Femmes et Mathématiques » en partenariat avec la Mission pour la Place des femmes du CNRS a également été l'occasion de promouvoir les travaux de recherche en mathématiques au service des enjeux de l'environnement, l'agriculture et l'alimentation.



Présentations durant le Forum



RESULTATS

Cette manifestation a rassemblé 55 mathématiciennes et mathématiciens francophones qui travaillent dans le domaine de l'environnement, l'agriculture et l'alimentation. Le troisième jour, se sont joints plus d'une quarantaine d'étudiant.e.s en licence ou master de mathématiques et environ 300 élèves du secondaire.

Trois conférencières talentueuses (Anne-Laure Dalibard, Anne-Laure Fougères et Céline Casenave), ont présenté leurs travaux en sessions plénières : l'occasion de revenir sur leurs parcours respectifs qui sont autant d'exemples de réussites auxquels les participant.e.s ont pu s'identifier. Les quatre sessions réservées aux présentations des travaux scientifiques de jeunes chercheuses et chercheurs, ainsi que les ateliers qui leur étaient dédiés ont été l'occasion d'échanges privilégiés avec les chercheuses confirmées et les intervenantes qui leur ont donné de nombreux conseils pour la suite de leur carrière, aussi bien dans le milieu académique que dans le secteur privé. Colette Guillopé a animé une session ciblée sur les candidatures sur des postes académiques, et Véronique Maume-Deschamps a présidé une table ronde sur les mathématiques en entreprise.

Les trois journées ont été jalonnées par des interventions pour promouvoir la parité et déconstruire les biais genrés. L'intervention de Violaine Dutrop, de L'institut EgalGone, a souligné leurs conséquences sur les trajectoires professionnelles et la façon dont ils entretiennent les écarts de salaire entre les hommes et les femmes. Camille Baude a animé la fresque du sexisme, un atelier immersif pensé pour détricoter les mécanismes sexistes et enrayer ces réflexes en se projetant dans une société égalitaire. La prestation de la compagnie Synergie Théâtre a permis d'aborder très concrètement les violences sexistes et sexuelles au travail dans le cadre d'un théâtre-forum qui a libéré la parole sur ce sujet et suscité des discussions riches et constructives. Enfin, Natacha Portier a sensibilisé les participant.e.s à l'éventail des manifestations du syndrome de l'imposture (qui concerne plus particulièrement les femmes) et à la façon insidieuse dont il freine les évolutions professionnelles de celles et ceux qui en sont victimes.

Parallèlement l'exposition "Mathématiques, informatique... avec elles !" était installée dans le hall du bâtiment 36.

La dernière journée du Forum a combiné des ateliers et des animations « grand public » destinés à sensibiliser les étudiant.e.s et les lycéen.ne.s à l'éventail des débouchés professionnels des mathématiques. Des interventions leur étaient spécifiquement dédiées : speed-meeting avec les jeunes chercheuses, deux conférences, chasse au trésor et ateliers mathématiques animés par des enseignant.es chercheur.ses de l'Université de Montpellier, des doctorantes et doctorants, ainsi que par des médiateurs scientifiques de l'ISDM. Chaque lycéenne et lycéen est reparti.e avec la brochure sur les métiers des mathématiques ainsi qu'une BD « Les décodeuses du numérique ».

VALORISATION

La tenue de ce Forum aura permis de :

- 1) Répondre aux objectifs de politique générale du département MathNum pour favoriser la diversité de genre dans le numérique ;
- 2) Donner de la visibilité aux mathématicien.ne.s du département qui travaillent sur ces domaines, en vue d'améliorer la diversité dans les recrutements ;
- 3) Fédérer le réseau mathématique montpellierain autour des thématiques d'INRAE, et autour de la question de la place de la femme dans les mathématiques.

REFERENCES

> Site internet - <https://forum2024.sciencesconf.org/?lang=fr>



Contact : Meïli Baragatti

Unité : MISTEA

Département : MathNum

Centre INRAE : Occitanie-Montpellier

INRAE 2030 Orientations de politique générale (OP) : OP 3.3

Grands Objectifs Scientifiques (GOS) MathNum : GOS 2

Mots-clés : Femmes et mathématiques, environnement, agriculture, alimentation

➤ Les Mouettes Savantes : Promouvoir les mathématiques et l'informatique au service de l'écologie auprès des lycéennes

Le projet "Les Mouettes Savantes" visait à convaincre vingt lycéennes, d'une part de l'importance des mathématiques et de l'informatique dans la résolution des problèmes liés à l'écologie et à l'environnement et, d'autre part, qu'elles ont toute leur place dans ce domaine qui souffre d'une sous-représentation des femmes.

Le projet a pris la forme d'un séjour de 5 jours à la station biologique de Paimpont, au cours duquel les lycéennes se sont familiarisées avec les outils informatiques et l'analyse de données pour résoudre des problèmes issus de l'écologie et de l'environnement proposés par des chercheuses. Les participantes ont travaillé en petits groupes sur des questions telles que la réduction de l'empreinte carbone dans l'alimentation, la mesure de l'abondance et des préférences des espèces animales, l'évolution des températures. Les résultats obtenus ont été présentés sous forme d'exposés au reste du groupe en fin de séjour. Pour cette première édition, un film a été réalisé pour relater l'événement et en faire sa promotion.



Les lycéennes en séjour à la station biologique de Paimpont pour découvrir les mathématiques et l'informatique pour l'écologie et l'environnement



CONTEXTE ET ENJEUX

Les mathématiques associées à l'informatique sont omniprésentes dans tous les domaines de l'activité humaine. Pourtant, de moins en moins de lycéens et encore moins de lycéennes choisissent de poursuivre les mathématiques dans les options de première et de terminale. Cette tendance risque d'accentuer la sous-représentation des femmes dans les métiers liés aux mathématiques et plus généralement au numérique, suscitant de vives inquiétudes sur les questions de parité hommes-femmes dans ces domaines. Par ailleurs, la crise climatique et l'effondrement de la biodiversité nécessitent de former les jeunes générations pour répondre aux enjeux et aux défis en cours et à venir. Les mathématiques et l'informatique font partie des outils indispensables pour aborder ces questions.



RESULTATS

Le projet "les Mouettes Savantes" vise à sensibiliser des lycéennes sur l'intérêt de la modélisation mathématique et sa mise en œuvre informatique pour faire face aux enjeux écologiques et environnementaux.

En 2024, ce projet a pris la forme d'un séjour de 5 jours à la station biologique de Paimpont au cours duquel les lycéennes se sont initiées aux outils informatiques et à l'analyse de données afin de répondre à une problématique issue de la biologie, de l'écologie ou de l'environnement. Les lycéennes ont été réparties en 3 groupes pour aborder les sujets suivants :

- Quels sont les leviers pour limiter notre empreinte carbone grâce à notre alimentation ?
- Comment évaluer la diversité des espèces animales présentes en un site à partir de techniques d'observation peu invasives ?
- Comment prédire l'évolution de la température en 2050 à partir des températures mesurées jusqu'à aujourd'hui ?

Elles ont pour cela été encadrées par des chercheuses du domaine (A. Bonnet, M-P. Etienne, et J. Legrand). Cette semaine a aussi été l'occasion de discuter avec les chercheuses présentes. Des sorties de découverte de la région ont aussi été organisées : randonnée contée en Forêt de Brocéliande, château de Comper, accrobranche au lac de Trémelin.

Le comité d'organisation est composé de quatre chercheuses et enseignantes-chercheuses, spécialistes de la modélisation et l'apprentissage statistique pour les sciences du vivant :

- Anna Bonnet, MCF Sorbonne Université, LPSM
- Sophie Donnet, DR INRAE, Unité MIA-Paris-Saclay
- Marie-Pierre Etienne, MCF AgroCampus Ouest, IRMAR
- Juliette Legrand, MCF Université Bretagne occidentale, LMBA

Toutes quatre étaient déjà très investies dans les actions de médiation et de parité. Deux professeures de lycée ont aidé à entrer en contact avec les lycées franciliens et bretons.

Les lycéennes ont été recrutées sur leur motivation, en classe de seconde, dans des lycées de Rennes et du sud de l'Île-de-France.

VALORISATION

En plus des bienfaits d'une expérience humaine et scientifique, les élèves ont restitué leurs travaux à leurs camarades sous forme d'un exposé. Par ailleurs, pour cette première édition, et afin de donner de la visibilité à notre initiative, un professionnel a réalisé un film d'une dizaine de minutes, actuellement en cours de montage il sera rapidement disponible sur YouTube.

REFERENCES

- > Site internet : <https://marieetienne.github.io/lesmouettessavantes/>
- > Vidéo : <https://www.youtube.com/watch?v=tYjVIsT2Qmo>



Contact : Sophie Donnet
Unité : MIA-Paris-Saclay
Département : MathNum
Centre INRAE : Île-de-France-Versailles-Saclay
INRAE 2030 Orientations scientifiques (OS) et Orientations de politique générale (OP) : OP 3
Mots-clés : Responsabilité sociétale, Filles et Numérique

➤ Organisation du 1er Hackathon dans le cadre du Forum International de Robotique Agricole (FIRA).

L'unité TSCF a organisé en partenariat avec le Grand Défi Robotique Agricole et les sociétés Opal-RT et 4DV le premier Hackathon consacré au développement d'algorithmes de navigation autonome, intègres et sûrs. L'objectif était de proposer des algorithmes de planification de trajectoire, de reconnaissance et d'évitement d'obstacles, afin de contribuer à l'essor de robots agricoles sûrs et efficaces. Ce hackathon, s'est déroulé en 2 phases :

- une phase de qualification, entre novembre 2023 et janvier 2024,
- une phase de compétition durant le Forum International de Robotique Agricole (FIRA), du 6 au 8 février 2024

Le challenge exploite la forge logicielle ouverte et partagée de l'unité, qui a vocation à être déployée dans le cadre des projets collaboratifs issus du PEPR Agroécologie et numérique et du Grand Défi Robotique Agricole.

CONTEXTE ET ENJEUX

Le déploiement des robots agricoles pour accompagner la transition agroécologique nécessite le développement d'algorithmes garantissant la sécurité des tâches de navigation autonome. L'importance de telles fonctionnalités et les verrous scientifiques associés, dans un contexte de milieux naturels, amènent à considérer le codéveloppement. Aussi, pour stimuler les avancées dans ce domaine, un Hackathon a été organisé conjointement avec le Grand Défi Robotique Agricole et les sociétés Opal-RT et 4DV. Celui-ci se base sur des fonctionnalités robotiques déjà implémentées dans une forge logicielle partagée. Celle-ci, gérée par l'unité et construite dans le cadre du Roboterrium, est mutualisée avec les actions du Grand Défi Robotique Agricole, les projets menés au sein du PEPR Agroécologie et numérique, ainsi que les travaux à venir du programme PARSADA.

RESULTATS

La phase de qualification s'appuie sur la plateforme de simulation basique, construite dans le cadre du Roboterrium (ANR Equipex+ Tirrex) coordonné par l'unité, et hébergé au sein de l'AgroTechnoPôle. La phase de compétition a recours à des outils de simulation plus évolués, mis à disposition gracieusement par les partenaires industriels.

Dix équipes ont participé aux phases qualificatives et trois ont été retenues pour la finale en présentiel sur le site du FIRA 2024 à Toulouse. Elles ont pu exploiter les algorithmes mis à disposition et proposer de nouvelles approches, dont certaines sont mises à disposition de la communauté. Au-delà de la participation au challenge, cet Hackathon a aussi été l'occasion de faire connaître la forge logicielle, puisqu'un pic de téléchargement des logiciels a été enregistré durant la période, dépassant le nombre de candidats. C'est aussi l'occasion de communiquer auprès du grand public sur l'état d'avancement de la robotique en milieux naturels et agricoles.

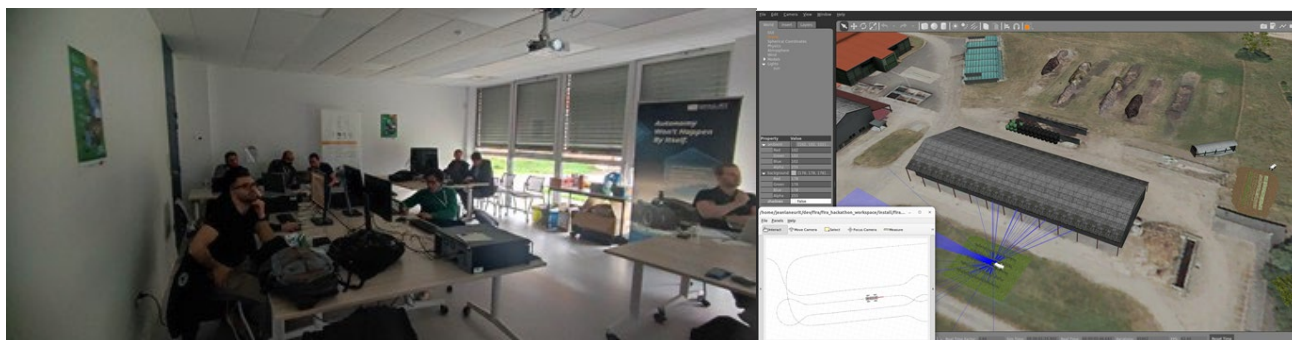


Les équipes à la finale du hackathon au FIRA 2024 à Toulouse



PERSPECTIVES

Le succès de l'édition 2024 a amené l'équipe d'organisation du FIRA à renouveler l'expérience en 2025, avec un autre challenge, basé sur le maintien d'intégrité.



Les équipes durant le Challenge hackaton



VALORISATION

Ce travail permet également d'évaluer l'utilisabilité et la robustesse de nos outils partagés afin de proposer des moyens mutualisés de codéveloppement au sein de la communauté robotique. Il s'agit de concrétiser une véritable action de science ouverte et participative.



RÉFÉRENCES

- > Forge Hackathon : <https://github.com/FiraHackathon>
- > Communiqué de presse: https://world-fira.com/wp-content/uploads/2023/12/PR-World-FIRA-2024-Announcements_Nov-23.docx.pdf



Contact : Jean Laneurit
Unité : TSCF
Départements : MathNum - AgroEcoSystem
Centre INRAE : Clermont-Auvergne-Rhône-Alpes
INRAE 2030 Orientations scientifiques (OS) et Orientations de politique générale (OP) : OS 5.3
Grands Objectifs Scientifiques (GOS) MathNum : GOS 3
Mots-clés : Robotique agricole, hackathon, agroéquipements innovants, science ouverte, forge logicielle, équipements d'excellence

Générateur stochastique de météo interprétable, application à un modèle de culture et au changement climatique.

Les générateurs stochastiques de météo sont des modèles statistiques utiles pour étudier la variabilité climatique de variables météo spatio-temporelles.

E. Gobet (École polytechnique), D. Métivier (INRAE MISTEA) et S. Parey (EDF R&D) ont construit un générateur de pluie spatiale capable d'apprendre par lui-même les régimes de temps sur la zone Euro Atlantique. Le générateur a été utilisé pour étudier des extrêmes climatiques, ex. : sécheresses, dans le climat actuel et pour des scénarios de changements climatiques.

Le générateur a été étendu à d'autres variables météo pour être couplé avec le modèle de culture STICS (INRAE AgroEcoSystem). Avec l'exemple du maïs, cela a permis de générer un grand nombre de scénarios météo, de tester la sensibilité climatique du maïs et d'identifier les périodes clés de sa croissance, par exemple la première quinzaine de juin. Ce jeu de données et ces questions ont été le sujet d'un Hackaton GenHack 3 sur les modèles génératifs de Machine Learning organisé par l'École polytechnique auquel D. Métivier a participé.

Le couplage entre modèle agronomique et générateur statistique météo ouvre la voie à une nouvelle direction de recherche interdisciplinaire.



CONTEXTE ET ENJEUX

Les Générateurs Stochastiques de Météo (ou Stochastic Weather Generators, SWG) sont des modèles statistiques conçus pour générer des séquences synthétiques de données météorologiques réalistes, basées sur des observations de sites d'entraînement. Ils permettent d'étudier la variabilité climatique tout en étant plus légers que les modèles climatiques traditionnels basés sur la physique, ce qui rend possible la génération de très nombreuses séries climatiques. En particulier, les SWG peuvent produire des événements météorologiques extrêmes, permettant ainsi une meilleure évaluation des risques associés.

Associé à d'autres systèmes, ils permettent de tester la sensibilité à des entrées climatiques, notamment dans les extrêmes, ex. : modèle phénologique/culture ou de rivière (pour refroidir les centrales nucléaires).

Enfin, les SWG peuvent être entraînés sur des produits de scénarios climatiques, comme ceux envisagés par le GIEC. Bien que les modèles climatiques utilisés pour générer ces scénarios représentent globalement bien les tendances futures de la météo, ils sous-estiment souvent les événements extrêmes. Ainsi, les SWG entraînés sur ces scénarios futurs permettent d'étudier facilement la variabilité climatique et les extrêmes futurs.

Cependant, les SWGs manquent d'interprétabilité dans la structure du modèle statistique et se limitent généralement à des zones géographiques réduites, ex. : région ou ville. De plus, il est difficile pour les SWG traditionnels de reproduire les extrêmes de précipitation, encore plus spatialement. Enfin, les applications des SWGs sont encore peu nombreuses.



RESULTATS

E. Gobet (École polytechnique), D. Métivier (INRAE MISTEA) et S. Parey (EDF R&D) ont construit un générateur SWG de pluie multisites à l'échelle de la France entière. Le SWG est capable d'apprendre grâce à des états cachés des régimes de temps qui ont été comparés aux fameuses oscillations sur la zone Euro Atlantique. Le générateur a été utilisé pour étudier des extrêmes climatiques, ex. : sécheresses, dans le climat actuel et pour des scénarios de changements climatiques.

Ce SWG peut être étendu facilement pour générer simultanément plusieurs variables météo ex. : température, évapotranspiration, et être couplé avec des modèles tels que le modèle de culture STICS (INRAE AgroEcoSystem). Cela a permis la création d'un dataset utilisé pour le Hackathon GenHack3. Les participants devaient construire un modèle génératif sensible à la météo sur la période de croissance du maïs d'avril à octobre pour prédire le rendement annuel sur plusieurs champs.

PERSPECTIVES

Le couplage entre modèle agronomique et SWG ouvre la voie à une nouvelle direction de recherche interdisciplinaire. En particulier, un stage dans ce thème sera financé par CLIMAE et co-encadré entre l'UMR AGAP et MISTEA.

Une autre piste vise à améliorer la résolution spatiale du SWG et d'inclure un modèle plus complet de température (Thèse de Caroline Cognot, encadrement : L. Bel (MIA Paris), S. Parey et D. Métivier).

VALORISATION

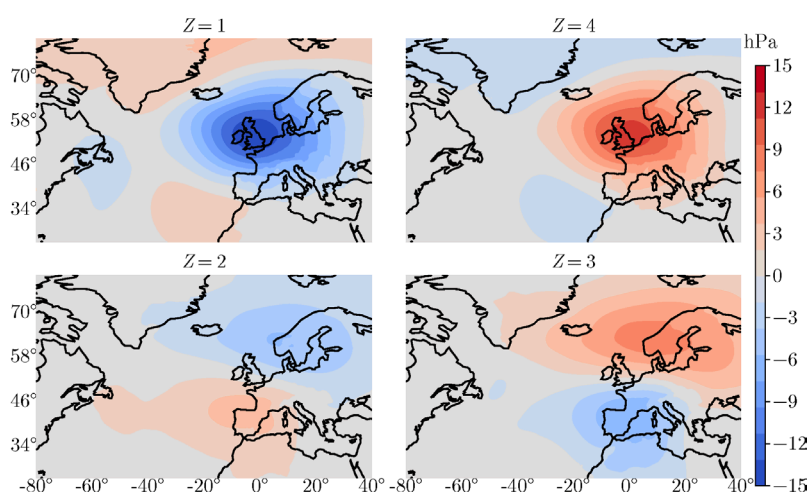
- Article soumis à Advances in Statistical Climatology, Meteorology and Oceanography
- Plenary Talk à 15th International Meeting on Statistical Climatology à Météo France

Open science :

- Package StochasticWeatherGenerators.jl avec documentation. Un tutoriel reproduit exactement les figures du papier et l'autre pour montrer comment coupler le modèle avec le modèle STICS.
- Dataset du Hackaton GenHack3 (en cours de publication sur Data.gov)

REFERENCES

- > Article : <https://hal.inrae.fr/hal-04621349>
- > Package <https://github.com/dmetivie/StochasticWeatherGenerators.jl>
- > DataSet (à venir)
- > Hackathon <https://www.polytechnique.edu/en/genhack-3-hackathon-generative-modelling>



Carte des anomalies de pression sur la zone Euro Atlantique (pendant l'hiver) en fonction des quatre régimes Z trouvés par le SWG de [1] qui n'a été entraîné que sur dix stations en France. Les quatre états observés sont semblables aux quatre régimes de l'oscillation Nord-Atlantique connus par les climatologues.



Contact : David Metivier
Unité : MISTEA
Départements : MathNum
Centre INRAE : Occitanie-Montpellier
INRAE 2030 Orientations scientifiques (OS) et Orientations de politique générale (OP) : OS 1.4 et OP 1.3
Métaprogramme : CLIMAE
Grands Objectifs Scientifiques (GOS) MathNum : GOS 2
Mots-clés : Générateur météo, modèle statistique, changement climatique, interdisciplinaire, hackathon

MIAT co-organise la conférence JOBIM 2024.

JOBIM (Journées Ouvertes en Biologie, Informatique et Mathématiques) est l'événement annuel qui fédère la communauté et les acteurs de la bioinformatique française, rassemblant 300 à 500 participants. Cette conférence est l'occasion de découvrir les avancées scientifiques et techniques de cette thématique aux frontières de la biologie, de l'informatique, des mathématiques et de la physique. L'unité MIAT, et notamment les équipes SaAB et GenoToul-Bioinfo, a participé au comité d'organisation et au comité de programme de la session 2024, qui s'est tenue à l'Université Paul Sabatier de Toulouse, et a réuni plus de 450 personnes venant de toute la France. La nouveauté de l'année a été la mise en œuvre de la retransmission en visio-conférence et de l'enregistrement de toutes les présentations.



CONTEXTE ET ENJEUX

La transition vers le numérique est une demande forte des membres de l'Institut. Le séquençage, notamment, est largement utilisé par les laboratoires et demande des compétences particulières pour l'analyse de leurs données. JOBIM (Journées Ouvertes en Biologie, Informatique et Mathématiques) se propose de présenter les travaux récents de la communauté, afin de découvrir les dernières innovations et partager les bonnes pratiques. INRAE a pour habitude de sponsoriser ces journées, et l'Institut est fortement représenté parmi ses participants.



RESULTATS

Cette année, nous avons reçu largement plus de 470 inscriptions en présence, jauge maximale de l'infrastructure d'accueil, en plus des participants connectés en visio-conférence. Ceci est la preuve du succès de la conférence. Plus de 40 contributions orales ont été proposées, ainsi que plus de 200 posters. Huit mini-symposiums (IA, jumeaux numériques, etc.), se proposant d'approfondir une thématique donnée, ont également été soumis. Les journées étaient également ouvertes aux membres du secteur privé, et nous avons accueilli plusieurs entreprises sur site afin de promouvoir les liens entre les secteurs de l'industrie et de l'académie. Nous avons également organisé plusieurs événements sociaux culturels (visites de la ville), ludiques (retrogaming, karaoké, urban challenge), ou même artistiques (origami), qui ont permis de créer des liens entre participants.



PERSPECTIVES

Grâce à une conférence qui a rencontré son public, l'événement a permis de confirmer Toulouse comme une place importante de la bioinformatique/biostatistique, mais également de montrer qu'INRAE était un acteur majeur sur ces thématiques.



REFERENCES

- > Site internet de l'événement : <https://jobim2024.sciencesconf.org/>
- > Événement INRAE : <https://www.inrae.fr/evenements/jobim-2024>



Photo des participant.es à JOBIM 2024 prise à l'Université Paul Sabatier, Toulouse



Contact : Matthias Zytnicki

Unité : MIAT

Département : MathNum

Centre INRAE : Occitanie-Toulouse

INRAE 2030 Orientations scientifiques (OS) et Orientations de politique générale (OP) : OS 5.1 et OP 1.3

Grands Objectifs Scientifiques (GOS) MathNum : GOS 1, GOS 2 et GOS 3

Mots-clés : Bioinformatique, biostatistique, biologie

➤ Atelier thématique THEIA : Télédétection, Modélisation, Santé & Environnement.

Suite à un premier atelier « [Télédétection et Risques Maladies Infectieuses](#) » organisé fin 2022, le [groupe d'experts Theia Santé](#) (ex-Centre d'expertise scientifique RMI) a organisé un nouvel atelier thématique en juin 2024 à Montpellier afin de réunir tous les acteurs en lien avec télédétection, modélisation, santé et environnement



CONTEXTE ET ENJEUX

L'émergence ou la diffusion de nombreuses maladies infectieuses peuvent être influencées par des facteurs environnementaux, ou des modifications des écosystèmes, selon différentes échelles de temps et d'espace. Les ateliers thématiques Theia lancés en 2021 ont pour ambition de fédérer la communauté sur une thématique ciblée, comme ici le lien entre environnement et approche « une santé », de présenter les travaux récents de la communauté, de favoriser les échanges entre scientifiques et utilisateurs, d'identifier les produits issus d'observation de la Terre les plus pertinents, de diffuser des retours d'expérience, d'identifier des limites et des freins dans la communauté, pour imaginer de nouvelles réponses méthodologiques à des questions scientifiques, et aux besoins opérationnels des utilisateurs.



RESULTATS

Suite à un premier atelier « Télédétection et Risques Maladies Infectieuses » organisé fin 2022, le groupe d'experts Theia Santé (ex-Centre d'expertise scientifique RMI) a organisé un nouvel atelier thématique cette année. Il s'est déroulé à la Maison de la Télédétection à Montpellier les 19 et 20 juin 2024 et était destiné à tous les acteurs qui s'intéressent aux liens entre télédétection, modélisation, santé et environnement : acteurs de la lutte anti-vectorielle, agences nationales, collectivités territoriales, acteurs du privé, et communauté scientifique.

Cet événement avait pour objectif de faire un point sur les méthodes exploitant des données issues de l'Observation de la Terre (OT) dans des contextes d'application en santé. Les besoins respectifs des territoires Nord et Sud ont été abordés, en lien avec l'ART GéoDEV, réseau de pôles de compétences pour l'observation spatiale des territoires et de l'environnement au Sud. Il était divisé en deux temps, avec des présentations de travaux de recherche récents dans le domaine (19 juin), suivies d'ateliers de démonstration et de formation à des outils et chaînes de traitement du triptyque « télédétection, environnement, et santé » (20 juin).

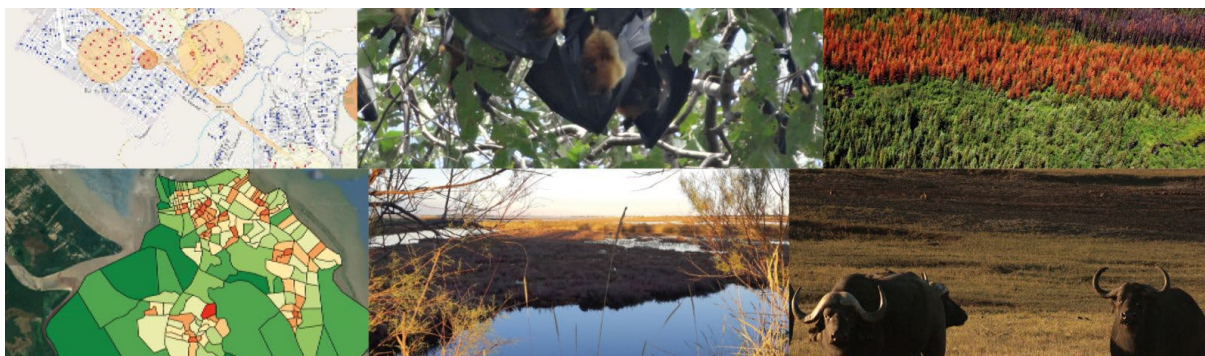


Illustration : THEIA



PERSPECTIVES

Les collaborations vont se poursuivre entre les acteurs institutionnels scientifiques et les acteurs de la santé publique, santé animale et santé des forêts.



VALORISATION

Suite à l'atelier, les supports de présentation et les enregistrements vidéo ont été communiqués sur le site web de THEIA.



REFERENCES

- > Annonce sur le site de l'UMR TETIS : <https://umr-tetis.fr/index.php/fr/actualites/atelier-thematique-theia-sante>
- > Programme et présentations : <https://www.theia-land.fr/sante/19-20-juin-2024-atelier-thematique-teledetection-modelisation-sante-environnement/>



Contact : Renaud Marti
Unité : TETIS
Département : MathNum
Centre INRAE : Occitanie-Montpellier
INRAE 2030 Orientations scientifiques (OS) et Orientations de politique générale (OP) : OS 4.1 et OP 1.1
Grands Objectifs Scientifiques (GOS) MathNum : GOS 2
Mots-clés : Observation de la Terre, télédétection, santé, environnement, cartographie

➤ Organisation de FRCCS (4th French Regional Conference on Complex Systems) 2024 à Montpellier.

La FRCCS (French Regional Conference on Complex Systems) est une conférence qui prend de plus en plus d'importance et vise à rassembler une communauté dynamique et interdisciplinaire de chercheurs travaillant sur la modélisation et l'analyse des systèmes complexes. La 4ème édition de cet événement, dont la portée est internationale depuis plusieurs années, a été organisée du 29 au 31 mai 2024 dans l'amphithéâtre du Campus Saint Priest à Montpellier, avec une forte participation des membres de TETIS, en collaboration avec l'association CSS France et l'Université de Montpellier.



CONTEXTE ET ENJEUX

L'organisation de cette conférence s'inscrit pleinement dans le contexte technologique et scientifique actuel où des approches de plus en plus holistiques, en lien avec différents types de systèmes complexes, nécessitent des échanges interdisciplinaires, notamment entre les disciplines maîtrisant les outils et concepts développés en analyse et modélisation des systèmes complexes (par exemple, mathématiques, informatique, physique statistique) et les disciplines pouvant enrichir les concepts de la complexité et permettre de mieux appréhender les liens entre les modèles et la réalité (par exemple, sociologie, économie, histoire, gestion, archéologie, géographie, linguistique).



RESULTATS

Environ 100 chercheurs provenant des différents pays d'Europe ont participé, ainsi que plusieurs conférenciers invités : Petter Holme de l'Aalto University (Finlande), Sonia Kéfi de l'Université de Montpellier (France), Natasa Przulj du Supercomputing Center de l'University College London (Royaume-Uni), Boleslaw K. Szymanski du Network Science and Technology Center de la Rensselaer Polytechnic Institute (États-Unis) et Ingmar Weber de la Saarland University (Allemagne).



*Discours introductif de la conférence avec Marianne Huchard (directrice du LIRMM) et Roberto Interdonato (CIRAD – UMR TETIS)
Réception de bienvenue avec une l'exposition « Beauty in Complexity »*

- Édition de deux numéros spéciaux sur des revues internationales, Applied Network Science (Springer Nature) et Frontiers in Big Data :

<https://link.springer.com/collections/feehbdcabf>

<https://www.frontiersin.org/research-topics/63976/interdisciplinary-approaches-to-complex-systems-highlights-from-frccs-202324/impact>

- Édition de proceedings : <https://zenodo.org/records/12800167>

REFERENCES

> Site internet de l'évènement : <https://iutdijon.u-bourgogne.fr/ccs-france-2024>

> Proceedings : <https://zenodo.org/records/12800167>

> Deux numéros spéciaux sur des revues internationales, Applied Network Science (Springer Nature) et Frontiers in Big Data, sont aussi associés à la conférence.



Discours de clôture de la conférence par Roberto Interdonato (CIRAD – UMR TETIS)



Contact : Roberto Interdonato et Maxime Lenormand

Unité : TETIS

Département : MathNum

Centre INRAE : Occitanie-Montpellier

INRAE 2030 Orientations scientifiques (OS) et Orientations de politique générale (OP) : OS 5.1

Grands Objectifs Scientifiques (GOS) MathNum : GOS 2

Mots-clés : Systèmes complexes, analyse de réseaux complexes

➤ Assemblée Générale du département.

Le département MathNum a organisé son Assemblée Générale à la Grande Motte, du 9 au 11 octobre 2024. L'événement a réuni près de 180 personnes, incluant tous les personnels scientifiques et les gestionnaires des unités MathNum. Cet événement a été l'occasion de présenter des projets scientifiques et d'ingénierie et d'échanger sur les enjeux futurs pour le département.



Photo de groupe réalisée par l'équipe de l'unité TETIS avec leur drone

PROGRAMME

L'événement, qui s'est déroulé sur deux jours et demi, a couvert un large panel de thématiques:

- **Une allocution d'ouverture par Carole Caranta** – Directrice générale déléguée science et innovation (DGDSI) d'INRAE
- **La recherche à Montpellier** : allocutions de Sylvain Labbé, président du Centre Occitanie-Montpellier d'INRAE et de Marie-Stéphane Tixier, directrice générale déléguée à la recherche de l'Institut Agro Montpellier ; présentations des unités ITAP par Arnaud Hélias, MISTEA par Nadine Hilgert et TETIS par Pierre Maurel
- **Des présentations de projets scientifiques** en lien avec les nouveaux instruments de la recherche
- Une session de **présentation de posters par les doctorant.es** et les **équipes MathNum**
- Les **chantiers d'ingénierie** dans le département notamment OpenSilex, la Forge INRAE, SK8
- **L'Intelligence Artificielle et les jumeaux numériques** : des thématiques importantes pour le département et exemples de projets
- **La frugalité numérique** : l'empreinte environnementale et les enjeux de la frugalité numérique de nos recherches, dans MathNum et au-delà
- **Les Femmes et le Numérique** : des exemples d'action de nos unités pour promouvoir les mathématiques et les sciences du numérique auprès des jeunes filles et étudiantes.
- **Des ateliers thématiques** : fronts de recherche 2025-2030, Ingénierie numérique, partenariat-Innovation, réunion des Gestionnaires d'unités.

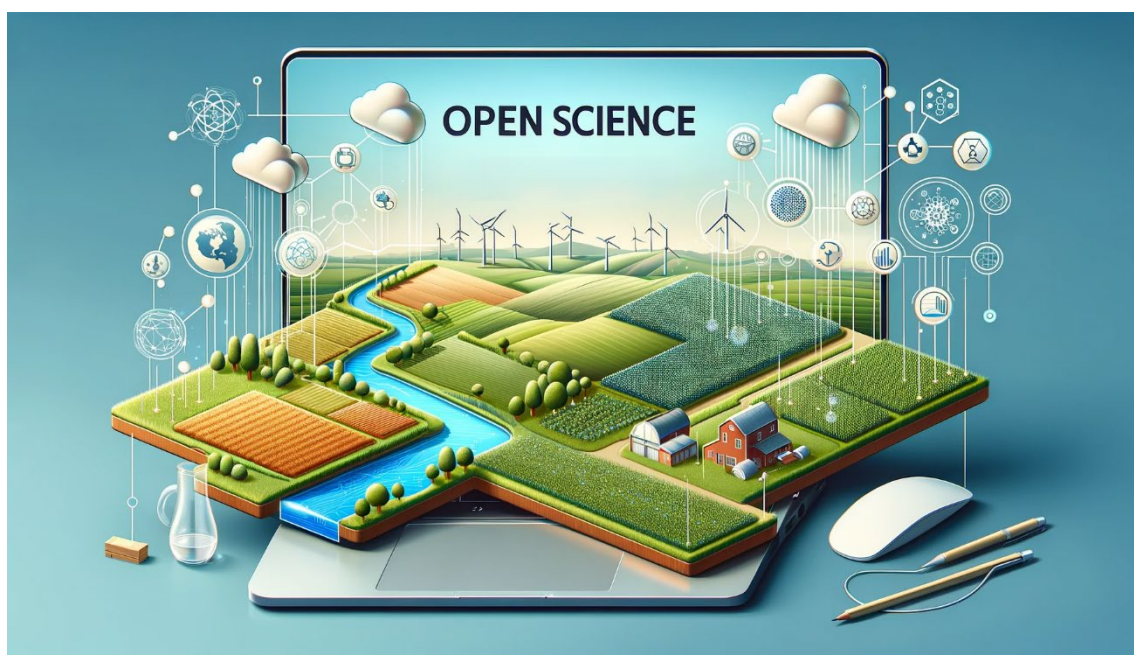


Quelques moments des journées

 **Prochaine édition en 2026**



Contact : Hervé Monod
 Département : MathNum
 Centres INRAE : Occitanie-Toulouse, Occitanie-Montpellier



SCIENCE OUVERTE ET RESPONSABLE PARTENARIAT - INNOVATION



Remise du prix Sedimaster 2023 à Jean-Pierre Chanet.

Le prix SEDIMASTER 2023 a été remis à Jean-Pierre Chanet, membre de l'unité TSCF et Chef Adjoint du Département MathNum, le 4 octobre 2024 en marge du Sommet de l'élevage de Cournon d'Auvergne. Cette distinction, décernée par le Syndicat National des Entreprises de Services et Distribution du Machinisme Agricole, d'Espaces Verts, et des Métiers spécialisés (SEDIMA), vient récompenser une carrière exemplaire au service du développement des nouvelles technologies numériques pour le développement d'agroéquipements innovants, jalonnée de nombreuses avancées scientifiques (réseaux de capteurs, Internet des objets (IoT), intégration de données...). De plus elle met en lumière l'intérêt applicatif des développements théoriques menés à TSCF, que Jean-Pierre a dirigé pendant plus de 10 ans, et la volonté partagée des membres de l'unité de mener des recherches destinées à doter l'agriculture d'outils réellement utiles à la transition agroécologique.



CONTEXTE ET ENJEUX

Le prix Sedimaster récompense chaque année une personnalité qui a valorisé, par une action ou par sa fonction, la filière des agroéquipements. Créé en 1990 par le SEDIMA, ce prix permet de distinguer un acteur important pour la filière, qui a eu de grandes contributions pour la développer et la faire rayonner. Il permet également de mettre la lumière sur des activités particulièrement importantes que ce soit pour une avancée particulière, ou un ensemble de contributions particulièrement remarquables.

*Jean-Pierre Chanet reçoit le prix
SEDIMASTER 2023*



RESULTATS

Le 25 juin 2024, un jury constitué des représentants des principales organisations du secteur des agroéquipements s'est réuni à Paris pour décerner le SEDIMASTER 2023. Celui-ci a été attribué à Jean-Pierre Chanet, reconnaissant ainsi l'ensemble de ses travaux menés à l'échelle nationale et européenne, durant plus de 30 ans, qui font de lui un acteur majeur au sein de cette filière. Ce prix souligne notamment deux actions importantes auxquelles Jean-Pierre Chanet a contribué :

- la création de l'association Robagri, en faveur d'une filière de robotique agricole en France et qui coordonne aujourd'hui le Grand Défi Robotique Agricole ;
- le projet de plateforme AgroTechnoPôle ayant pour objectif d'accélérer les innovations en matière de transition agroécologique.

A ce titre, cette distinction met également en avant la capacité fédératrice de Jean-Pierre Chanet, au service du collectif. Sous son impulsion, l'unité TSCF est devenue « leader national dans le domaine de la robotique et de la fertilisation agricole » et bénéficie d'une reconnaissance internationale. Aussi, le prix SEDIMASTER 2023 constitue également une récompense pour le collectif qu'il a su mobiliser et qui s'est investi avec force dans ces actions de recherche et de développement pour les agroéquipements. Il montre ainsi le rayonnement de l'unité à travers les actions qu'elle porte auprès de nouvelles filières liées aux agroéquipements.



PERSPECTIVES

La reconnaissance apportée par le prix SEDIMASTER 2023 permettra, au travers de Jean-Pierre Chanet de faire rayonner plus avant les thématiques et actions portées par le collectif et d'asseoir ses capacités d'action au travers des différents projets qu'elle porte au sein des Grands Instruments de Recherche (AgroTechnoPôle, Grand Défi, PEPRs, SADDEA, Parsada). De telles distinctions sont importantes pour souligner le travail et les investissements de l'unité, ainsi que pour renforcer son influence dans ses différentes activités.



REFERENCES

> Communiqué de presse : <https://www.sedima.fr/espace-presse/category/communiqués-de-presse/presse/sedimaster-2023>



Contacts : Roland Lenain et Jean-Pierre Chanet

Unité : TSCF

Départements : MathNum - AgroEcoSystem

Centre INRAE : Clermont-Auvergne-Rhône-Alpes

INRAE 2030 Orientations scientifiques (OS) et Orientations de politique générale (OP) : OS 5.3

Grands Objectifs Scientifiques (GOS) MathNum : GOS 3

Mots-clés : Agriculture numérique, agroéquipements innovants, systèmes d'information, robotique agricole



Recherche Data Gouv et AgroPortal : Vers une meilleure annotation FAIR des données du répertoire institutionnel Data INRAE.

Félicitations ! Vous avez réussi à collecter, organiser et traiter vos données. Maintenant, il est temps de les partager avec vos pairs. Vous vous trouvez devant votre écran et une question cruciale se pose : quels mots-clés choisir pour rendre votre travail accessible, compréhensible, échangeable et réutilisable ? Et comment prendre ces mots-clés dans un vocabulaire standard et structuré ? Grâce à la mise en place d'un connecteur entre l'entrepôt de données institutionnel Data INRAE et le catalogue de ressources sémantiques AgroPortal, les utilisateurs de Data INRAE pourront dorénavant plus facilement enrichir leurs descriptions de données avec des termes précis et normalisés dans des vocabulaires contrôlés, tels que le Thésaurus INRAE, automatiquement servi par AgroPortal. Cette innovation améliore la visibilité des données en facilitant leur annotation par l'accès à des données fiables et structurées. Ce projet, mené par la DipSO et MISTEA, s'inscrit dans le cadre du projet européen FAIR-IMPACT qui participe à la mise en place de l'European Open Science Cloud (EOSC), et dont INRAE porte le groupe de travail sur les ontologies et métadonnées.



CONTEXTE ET ENJEUX

Faciliter le partage de données est un enjeu majeur pour la recherche. Les principes FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable) visent à améliorer l'organisation et la description des données, les rendant plus visibles, exploitables et réutilisables. Le projet européen FAIR-IMPACT soutient cette initiative en aidant des communautés de recherche variées à adopter ces principes pour différents types d'objets de recherche. Les vocabulaires contrôlés, ou plus largement les artefacts sémantiques (ontologies, terminologies, thésaurus, etc.), sont des ressources clés dans cette démarche. Ils permettent de structurer et de relier les informations de manière compréhensible par les humains et les machines. C'est dans ce contexte que s'inscrit le projet de la mise en place d'un connecteur entre le dépôt de données institutionnel Data INRAE (<https://entrepot.recherche.data.gouv.fr/dataverse/inrae>) et le catalogue d'artefacts sémantiques AgroPortal (<https://agroportal.lirmm.fr>).



RESULTATS

Le connecteur Data INRAE - AgroPortal vient d'être déployé. En se connectant avec AgroPortal, catalogue d'artefacts sémantiques consacré aux domaines de l'agronomie et de l'agriculture, l'entrepôt de données Data INRAE améliore non seulement la visibilité de ses données mais également sa conformité aux principes FAIR. Concrètement, ce connecteur donne aux créateurs de jeux de données un accès à des termes et concepts issus de vocabulaires contrôlés, hébergés dans AgroPortal (notamment le thésaurus INRAE). En sélectionnant les vocabulaires pertinents d'AgroPortal, le dépositaire de données peut dorénavant choisir des mots-clés issus de ressources sémantiques et limiter ainsi les variantes orthographiques qui nuisent à la caractérisation des données. Les liens (URI) et les informations associées à ces mots clés sont enregistrés et connectés avec d'autres métadonnées, favorisant la recherche « sémantique » e.g., par synonymes ou à l'avenir grâce à la hiérarchie du vocabulaire.

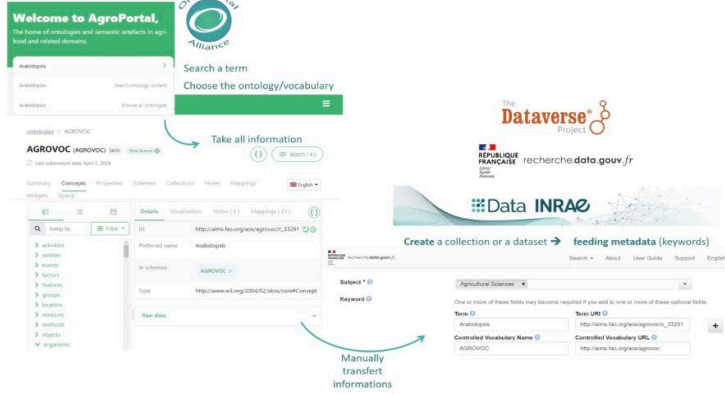


PERSPECTIVES

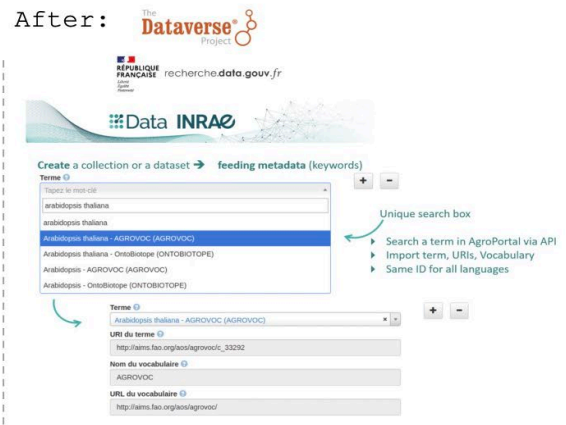
Les résultats de ce projet ouvrent des perspectives très larges. Le développement du connecteur facilite la complétion des métadonnées et enrichit les termes disponibles pour les communautés en agronomie et agriculture. Ces améliorations vont au-delà du secteur agricole, car le connecteur Data INRAE - AgroPortal est compatible avec des logiciels sous-jacents des plateformes respectives Dataverse (pour Data INRAE) et OntoPortal (pour AgroPortal), permettant ainsi de l'appliquer à divers domaines scientifiques. Enfin, grâce à sa fonctionnalité multilingue, ce projet accroît la visibilité de l'initiative à l'international.

Development of the connector DataINRAE - AgroPortal

Before:



After:



Evolution de l'intégration des annotations dans Data INRAE, avant et après la mise en place du connecteur Data INRAE - AgroPortal.

VALORISATION

- Présentation du connecteur Data INRAE – AgroPortal au « French National Roadshow » organisé par le projet européen FAIR-IMPACT : <https://fair-impact.eu/events/fair-impact-events/french-data-repositories-and-their-use-semantics>
- Publication d'une page internet sur le portail du projet européen FAIR-IMPACT (anglais) et sur le site de l'INRAE (français): <https://ist.intranet.inrae.fr/vie-du-reseau/ist-actu/archives-articles-ist-actu/inrae-contribue-a-la-mise-en-place-de-pratiques-fair-au-niveau-francais-et-europeen>



REFERENCES

- > Site internet du répertoire institutionnel de données Data INRAE : <https://entrepot.recherche.data.gouv.fr/dataverse/inrae>
- > Site internet du répertoire de données sémantiques AgroPortal : <https://agroportal.lirmm.fr>
- > Site internet du projet FAIR-IMPACT: <https://fair-impact.eu>
- > Page de présentation du connecteur Data INRAE-AgroPortal (anglais) : <https://fair-impact.eu/use-cases/leveraging-agroportal-ontologies-ease-metadata-completion-and-data-discovery-data-inrae>



Contact : Clément Jonquet et Nina Grau

Unité : MISTEA

Département MathNum - DipSO

Centre INRAE : Occitanie-Montpellier

INRAE 2030 Orientations scientifiques (OS) et Orientations de politique générale (OP) : OS 5.4 - OP 2.2 - OP 1.3 - OP 2.4

Grands Objectifs Scientifiques (GOS) MathNum : GOS 1

Mots-clés : Vocabulaires contrôlés, métadonnées, sémantique, catalogue d'artéfacts sémantiques, AgroPortal , partage de données, science ouverte, Research Data Gouv, Data INRAE, indexation sémantique

➤ OccitANum, un dispositif d'innovation soutenu par la recherche.

Les technologies numériques sont encore peu utilisées en agriculture, malgré une offre foisonnante. Les raisons en sont une inadéquation entre les outils disponibles et les attentes des agriculteurs. OccitANum propose d'expérimenter en grandeur nature, sur le terrain, l'apport des technologies numériques à la transition agroécologique et à l'alimentation durable en Région Occitanie. Après 4 ans d'existence, OccitANum est devenu un dispositif d'innovation original soutenu par la recherche permettant de coconstruire et diffuser un numérique responsable, utile et adapté en agriculture. OccitANum permet le développement de nombreux travaux de recherche dans différentes disciplines et permet le croisement des regards de sciences humaines et sociales (design, ergonomie, économie, sciences de gestion) et de sciences de l'ingénieur (agronomie, SPI, numérique). Le développement d'un numérique high-lowtech / lowcost permettra une meilleure envirotypage des pratiques des agriculteurs et favoriser une approche on farm experiment.



CONTEXTE ET ENJEUX

Les technologies numériques sont encore peu utilisées en agriculture, malgré une offre foisonnante. Les raisons en sont une inadéquation entre les outils disponibles et les attentes des agriculteurs (en termes financiers, de facilité d'usage, de services rendus, etc.) et une méconnaissance des coûts et bénéfices de ces outils et services pour les usagers. OccitANum propose d'expérimenter en grandeur nature, sur le terrain, l'apport des technologies numériques à la transition agroécologique et à l'alimentation durable en Région Occitanie. OccitANum met en œuvre une démarche innovante d'intelligence collective, d'innovation ouverte et de science participative. C'est ainsi que 13 living-labs associant entreprises de l'AgTech, collectivités, recherche, agriculteurs, facilitateurs de l'innovation, acteurs du développement agricole ont été constitués sur tout le territoire de la Région Occitanie, pour répondre à des problématiques précises de 7 filières de production.



RESULTATS

Après quatre ans d'existence, OccitANum est devenu un dispositif d'innovation original soutenu par la recherche, permettant de co-construire et diffuser un numérique responsable, utile et adapté en agriculture. Si la recherche sous-tend le dispositif d'innovation, elle bénéficie également des actions qui y sont menées. Ainsi, OccitANum offre des cas d'études à quatre projets Européens (CODECS, CSA All Ready, Partnership Agroecology, Rethink Action), deux projets PEPR (LINDDA, CoEDitAg), quatre thèses (Clémence Huck, Giulia Volpini, Alexis Bourguignon, Clément Zind) et trois post-docs (Laurie Dunn, Mauro Florez, Jean Larbaigt). OccitANum participe régulièrement aux réunions Franco-Canadiennes MeALL et le dispositif a été présenté à l'étranger à de multiples occasions en 2023 et 2024. Suite aux articles de présentation du dispositif, les premiers articles sur les méthodologies d'évaluation des coûts et bénéfices sont en cours (Huck & al., 2024, Florez et al, 2024). OccitANum fait l'objet d'un pilotage par l'impact suivant la méthode ASIRPA-tr (thèse de Volpini G.), et bénéficie du regard porté par les ergonomes (en lien avec le projet PEPR LINDDA) pour mieux comprendre les facteurs de réussite et les freins potentiels de ce nouveau dispositif et envisager une réplique. OccitANum permet ainsi le croisement des regards de sciences humaines et sociales (design, ergonomie, économie, sciences de gestion) et de sciences de l'ingénieur (agronomie, SPI, numérique).

PERSPECTIVES

OccitANum poursuit son rôle de dispositif original d'innovation soutenu par la recherche. Il vient d'être renforcé par l'entrée d'Agropolis International en tant que support de médiation Sciences-Société. Plusieurs projets s'orientent sur le développement de technologies numériques high-lowtech / lowcost co-construites avec les utilisateurs ; d'autres s'attachent à évaluer les coûts et bénéfices de technologies numériques en usage en agriculture ; enfin, les technologies numériques collectent les données pertinentes lors des expérimentations à la ferme menées par des agriculteurs innovants cherchant à mettre en œuvre des pratiques agroécologiques tout en limitant l'impact sur le travail de l'agriculteur, permettant de les documenter. L'On-Farm Experiment s'appuiera ainsi que le High Low-tech pour comprendre la complexité des pratiques agroécologiques.



Atelier ASIRPA tr. Réfléchir le projet in itinere par son impact avec les partenaires d'OccitANum.
Travail de thèse de G Volpini encadrée par PB Joly et M Matt



VINACKATHON : coorganisé par la Mêlée Numérique, OccitANum, DigitAg et INRAE le 22 Octobre 2024 à Montpellier. Ce hackathon a accueilli douze agriculteurs et une soixantaine de coaches qui les ont accompagnés dans l'identification et la conception de solutions numériques pour répondre à leurs préoccupations. Le prix « Agroécologie et Numérique » délivré par OccitANum et DigitAg a été attribué au domaine de l'Enclos de la Croix pour son intérêt à développer des systèmes de suivi de la biodiversité dans ses parcelles

VALORISATION

- > Bellon-Maurel V. & al. (2023) - OccitANum , an archipelago Living-Lab to evaluate and co-design digital technologies as enablers of the agroecological transition. International Forum on Agroecosystem Living Labs, Montreal, 4-6 Octobre 2024.
- > Gobrecht A. & al. (2023) - A Multilevel Evaluation Approach of Agroecological Living Labs: The OccitANum Case. International Forum on Agroecosystem Living Labs, Montréal, 4-6 Octobre 2024
- > Bergez J.E., Sine M. & Mambrini M. (2022) - Les voies de l'innovation en agriculture numérique : les living labs et Digifermes®, des dispositifs pour la co-innovation. Annales des Mines - Enjeux Numériques, (19), 103-121
- > Huck C., Gobrecht A., Bellon Maurel V. & Loiseau E. (2024) - Environmental assessment of digitalisation in agriculture: A systematic review, J. of Cleaner Production, Vol 47225, nr143369:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965262402818X>
- > Florez M., Gauche K., Bellon-Maurel V., Larbait J. & Gobrecht A. (2024) - Harvesting humanity: Exploring the human-centred effects of digitalization in agriculture. XXIX Conférence de l'Association Information et Management (AIM) : Travailler avec l'IA ou malgré l'IA ? 24 Mai 2024, Montpellier, La Grande-Motte, France



Contact : Véronique Bellon-Maurel
Unité : ITAP
Départements : MathNum - AgroEcoSystem
Centre INRAE : Occitanie-Montpellier
INRAE 2030 Orientations scientifiques (OS) et Orientations de politique générale (OP) : OS 5.3 - OS 5.2 - OP 1.1
Grands Objectifs Scientifiques (GOS) MathNum : GOS 3
Mots-clés : Living Lab, acceptabilité du numérique, agroécologie, high lowtech, évaluation de la durabilité de la digitalisation des pratiques



Inauguration du Laboratoire Commun IoTAE-Lab.

Le laboratoire IoTAE-Lab, inauguré le 26 juin 2024, se positionne comme un acteur clé dans le domaine des systèmes IoT durables, avec une approche axée sur le développement de solutions de mesure continue et à distance pour surveiller l'environnement. Face aux défis du réchauffement climatique et de la gestion des ressources naturelles, le laboratoire explore des solutions de mesure connectées, robustes et énergétiquement autonomes, capables de fournir des informations pertinentes pour le suivi et la prise de décision. Les travaux de recherche se concentrent autour de l'optimisation énergétique des systèmes IoT, l'utilisation de l'intelligence artificielle locale pour une gestion efficace des données, et le déploiement de réseaux de capteurs dans des environnements contraints. À travers ce laboratoire, le LPCA (Laboratoire de Physique de Clermont Auvergne - UCA, CNRS) et TSCF (Unité de Recherche Technologies et Systèmes d'Information pour les Agro-Systèmes - INRAE) collaborent avec l'entreprise Linxens pour développer des solutions d'instrumentation environnementale à la fois durables dans leur utilisation et responsables dans leur fabrication.



CONTEXTE ET ENJEUX

Le laboratoire IoTAE-Lab se positionne stratégiquement pour répondre aux enjeux du développement durable, en fournissant des outils de mesure continue et à distance des données environnementales via des capteurs. Dans un contexte marqué par le réchauffement climatique et la raréfaction des ressources, l'industrie exprime un besoin croissant en solutions de surveillance à distance, notamment pour la gestion des ressources naturelles, la préservation de la biodiversité et l'aide à la prise de décision en agriculture.

Pour répondre à ce besoin, le laboratoire se distingue par son approche axée sur l'amélioration des systèmes IoT en articulant ses travaux autour de l'optimisation énergétique incluant des solutions de récupération d'énergie, l'intelligence artificielle embarquée pour une gestion efficace des données au plus près des capteurs, et le déploiement de réseaux de capteurs dans des environnements isolés et/ou contraints avec le développements de solutions s'appuyant sur des communications satellitaires. L'accent est mis aussi sur la création d'architectures électroniques modulaires adaptées aux besoins de l'environnement tout en promouvant des solutions durables et responsables.



RESULTATS

Le laboratoire IoTAE a été inauguré le 26 juin 2024, après un démarrage des travaux en janvier 2024 qui ont rapidement progressé vers la conception d'une carte électronique présentant la particularité d'être adaptable aux applications souhaitées grâce à sa modularité. Dans le but d'optimiser l'efficacité énergétique de cette carte, plusieurs prototypes élémentaires ont été développés pour évaluer le coût énergétique et les performances des microcontrôleurs embarqués. Les prochaines étapes consisteront à intégrer des modules de communication et d'acquisition de données, ainsi qu'à déployer ce dispositif connecté sur le terrain.



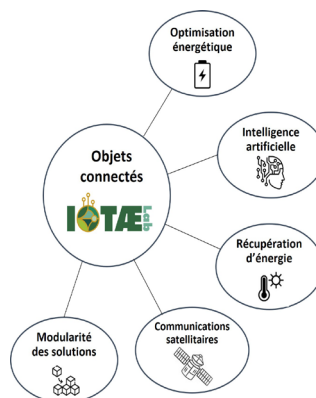
PERSPECTIVES

Les perspectives du laboratoire IoTAE-Lab s'articulent autour de deux axes majeurs : l'intégration de l'intelligence artificielle dans les systèmes embarqués et le développement matériel. À court terme, l'objectif est de développer des prototypes avancés intégrant des réseaux de neurones sur des microcontrôleurs. En matière de matériel, l'approche modulaire sera maintenue, avec une démarche écoresponsable dans le choix des composants. Les premiers développements incluront un module de gestion énergétique avancé, capable de récupérer et gérer intelligemment l'énergie, ainsi que des fonctions avancées nécessitant une étroite collaboration entre les développements IA. Enfin, des innovations à long terme, comme la conception de puces en microélectronique pour des fonctions spécifiques ouvriront la voie à des avancées technologiques significatives au-delà de la durée initiale du projet.

Le laboratoire IoTAE-Lab se positionne d'ores et déjà comme un acteur clé dans la recherche sur les systèmes IoT durables, avec une approche axée sur la gestion énergétique, l'autonomie et l'intégration d'intelligences embarquées. En réponse aux enjeux environnementaux actuels, le laboratoire développe des solutions de mesure continue et à distance via des capteurs connectés. Il s'inscrit dans une démarche de développement durable et responsable, en promouvant des architectures électroniques modulaires et interopérables. Un accord de partenariat a été établi pour définir les rôles et responsabilités, avec de premières valorisations prévues dès l'année prochaine.



Inauguration du Labcom IOTAE qui a eu lieu le 26 juin devant 70 personnes, en présence notamment du Président de l'UCA, le Président du Centre INRAE, le directeur de l'Unité TSCF, et un représentant de l'entreprise Linxens.



Thématiques de recherche du laboratoire commun IoTAE-Lab



REFERENCES

> Communiqué de presse: <https://www.inrae.fr/actualites/objets-connectes-laboratoire-commun-entre-recherche-publique-societe-linxens>



Contact : Laure Moiroux Arvis

Unité : TSCF

Départements : MathNum - AgroEcoSystem

Centre INRAE : Clermont-Auvergne-Rhône-Alpes

INRAE 2030 Orientations scientifiques (OS) et Orientations de politique générale (OP) : OS 5.3 et OP 1.1

Grands Objectifs Scientifiques (GOS) MathNum : GOS 3

Mots-clés : IoT, réseaux de capteurs sans fil, objets connectés autonomes, suivi environnemental, acquisition de données, aide à la décision agricole et environnementale

➤ Lancement du Laboratoire International Associé « TREASUR: Toward Resilient and Efficient Agricultural Systems Using Robotics ».

Le laboratoire international associé entre INRAE et NARO vise à développer des solutions robotiques agricoles durables, adaptées aux défis environnementaux et agricoles que rencontrent la France et le Japon. Face à des enjeux tels que le vieillissement de la main-d'œuvre agricole, le besoin d'augmenter la productivité tout en réduisant l'empreinte écologique, et la sécurité alimentaire, les deux instituts de recherche s'unissent pour concevoir des robots agricoles autonomes et efficaces. Les travaux se concentrent sur quatre axes de la robotique : l'adaptation comportementale aux conditions du terrain, l'analyse de la traversabilité et des protocoles de sécurité, la gestion des outils agricoles, et l'optimisation de la consommation énergétique.

Cette collaboration favorise un partage des expertises, INRAE apportant ses compétences en algorithmes de contrôle adaptatif et en modélisation, et NARO son savoir-faire en détection et analyse d'obstacles. L'objectif final est de concevoir des systèmes capables de réaliser des tâches agricoles intensives tout en optimisant l'utilisation des ressources naturelles et en limitant les émissions de CO2 et de produits chimiques. De plus, ce projet permet de former la nouvelle génération de chercheurs et de renforcer la visibilité des deux instituts sur la scène internationale.



CONTEXTE ET ENJEUX

La collaboration entre INRAE et NARO répond à des défis urgents dans le secteur agricole de la France et du Japon, notamment la pénurie de main-d'œuvre, la pression pour une production alimentaire durable, et la réduction des impacts environnementaux. La France, leader agricole européen, cherche à adopter une agroécologie qui équilibre productivité et préservation de l'écosystème. Cependant, elle doit relever des défis tels que la dégradation des sols, la perte de biodiversité et des émissions élevées de gaz à effet de serre. Le Japon, quant à lui, doit améliorer son autosuffisance alimentaire, actuellement faible, et maximiser l'utilisation de ses terres agricoles limitées. Les deux pays se tournent vers l'innovation technologique, spécifiquement les solutions robotiques agricoles autonomes, pour atteindre ces objectifs de durabilité, d'optimisation des ressources et d'efficacité énergétique.



RESULTATS

Les principaux résultats attendus incluent le développement de robots capables de s'adapter automatiquement aux conditions variées des terrains agricoles grâce à des algorithmes de contrôle avancés. Ces robots seront dotés de systèmes de navigation capables de traverser des environnements complexes tels que des rizières ou des vergers tout en garantissant la sécurité, grâce à des protocoles de détection d'obstacles et de gestion des collisions, capables de traverser la végétation de manière sécurisée. De plus, le projet prévoit l'automatisation de la gestion des outils agricoles pour que les robots puissent les changer de manière autonome, augmentant ainsi leurs polyvalence et efficacité. L'analyse et la réduction de la consommation énergétique font également partie des objectifs, afin de minimiser l'impact environnemental de ces machines.



INRAE et NARO à l'IEEE International Conference on Robotics and Automation 2024 (ICRA)
 De gauche à droite : Wonjae Cho (NARO) ; Johann Laconte (TSCF INRAE) ; Cyrille Pierre (TSCF INRAE)
 Auteur : Johann Laconte

PERSPECTIVES

À l'avenir, cette coopération vise à augmenter l'indépendance des robots, créant des systèmes capables de gérer des tâches variées de manière autonome, de l'installation et changement d'outils agricoles au suivi des besoins des cultures en temps réel. Avec les résultats attendus décrits ci-dessus, la perspective principale est d'arriver à une intégration robotique assez poussée pour proposer une preuve de concept complète, permettant à une flotte de robots de gérer une culture agricole sans intervention humaine.



INRAE en visite à NARO, Japon – Implémentation des algorithmes INRAE sur le robot tracteur de NARO
De gauche à droite : Cyrille Pierre (TSCF INRAE) ; Tom Montagnon (TSCF INRAE) ; Wonjae Cho (NARO)



NARO en visite à INRAE, France, site de Montoldre – Démonstration des robots et des algorithmes INRAE
De gauche à droite : Kurashiki Keita (NARO) ; Wonjae Cho (NARO) ; Van Nang Nguyen (NARO) ; Cyrille Pierre (TSCF INRAE) ; Roland Lenain (TSCF INRAE)

VALORISATION

Les résultats de cette recherche seront valorisés en publiant les travaux dans des conférences et revues de rang international (par exemple, IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)), renforçant ainsi la visibilité internationale des deux instituts. La collaboration est de plus renforcée par le co-encadrement d'une thèse de doctorat portant sur les sujets susmentionnés. Les résultats des recherches seront transposables aux industries, proposant des algorithmes qui auront pu être testés dans diverses conditions, sur les sols français et japonais.

RÉFÉRENCES

- > Agreement « TREASUR: Toward Resilient and Efficient Agricultural Systems Using Robotics » - Annexe Scientifique (<https://nextcloud.inrae.fr/s/xYyN3exoNQR3dPF>)
- > Actualité: <https://tscf.clermont.hub.inrae.fr/actualites/visite-de-tscf-a-naro-une-collaboration-internationale-prometteuse>



Contact : Johann Laconte
Unité : TSCF
Départements : MathNum - AgroEcoSystem
Centre INRAE : Clermont-Auvergne-Rhône-Alpes
INRAE 2030 Orientations scientifiques (OS) et Orientations de politique générale (OP) : OS 5.3 et OP 2.3
Grands Objectifs Scientifiques (GOS) MathNum : GOS 3
Mots-clés : Robotique ; Collaboration Internationale ; LIA

➤ L'AgroTechnoPôle, une plateforme au service de tous les acteurs pour le développement de solutions technologiques et numériques pour la transition agroécologique.

La transition agroécologique est aujourd'hui une priorité affirmée des pouvoirs publics et partagée par de plus en plus d'acteurs socio-économiques, dans laquelle les agroéquipements ont un rôle clé à jouer pour l'adoption de nouvelles pratiques agricoles visant la triple performance économique, environnementale et sociale.

Ainsi, pour accompagner cette transition, l'AgroTechnoPôle se positionne comme une plateforme de recherche technologique singulière au service du développement de nouvelles solutions pour répondre aux enjeux de l'agriculture de demain. AgroTechnoPôle est une plateforme innovante créée par INRAE pour accélérer le développement de nouvelles technologies agricoles. Elle rassemble des chercheurs, ingénieurs et industriels pour travailler ensemble sur des projets de pointe. Les six domaines clés de recherche sont : la robotique agricole, la décarbonation des machines, la gestion des adventices, l'impact des machines sur les sols, les technologies de fertilisation et de semis, ainsi que l'utilisation de l'internet des objets et de l'intelligence artificielle en agriculture. Elle se dote de nouvelles infrastructures, notamment autour de pistes d'évolution, de bancs de semis et d'évaluation de solutions innovantes de désherbage ciblé, et d'une piste d'évolution d'agroéquipement autonomes. Ces travaux ont commencé en septembre 2024 et devraient s'achever en décembre.



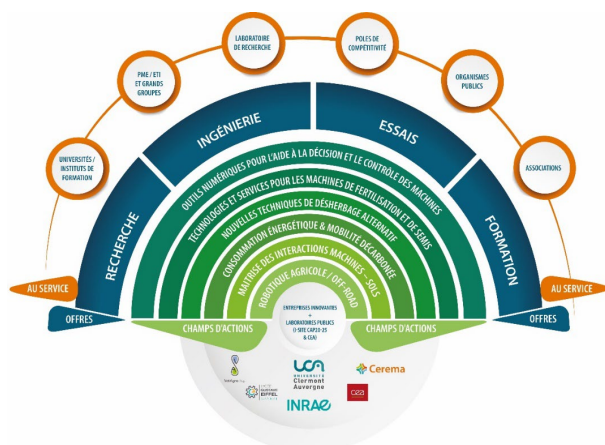
CONTEXTE ET ENJEUX

L'AgroTechnoPôle travaille avec un large réseau de pôles de compétitivité, de centres de recherche, d'universités, d'entreprises et de collectivités territoriales. La structure répond à plusieurs enjeux stratégiques qui sont cruciaux pour l'avenir de l'agriculture. Voici les principaux enjeux que la plateforme vise à relever :

- 1 - Transition vers une agriculture durable :
- 2 - Optimisation des rendements et de la productivité
- 3 - Réduction de l'empreinte carbone et adaptation au changement climatique
- 4 - Numérisation et modernisation de l'agriculture
- 5 - Innovation et compétitivité
- 6 - Renforcement de la collaboration entre acteurs de l'agriculture
- 7 - Formation et montée en compétences

La formation continue est un enjeu central pour la réussite de la transition vers une agriculture plus moderne et plus durable.

AgroTechnoPôle souhaite proposer des programmes de formation pour les acteurs du secteur, afin qu'ils puissent se familiariser avec les nouvelles technologies, les pratiques durables et les outils numériques.



RESULTATS

Depuis les premières idées en 2016 -2017 et sa création officielle en 2021 matérialisée par la signature d'un accord de consortium réunissant un ensemble de partenaires publics et privés, la plateforme AgroTechnoPôle a su fédérer une partie des acteurs des agroéquipements (AXEMA, ROBAGRI, Constructeurs) et des acteurs académiques pour construire les premières bases de collaborations. Ainsi, la plateforme d'innovation a procédé à la définition et à la conception de nouvelles infrastructures de recherche en collaboration étroite avec l'ensemble de ses membres partenaires. Ces infrastructures permettront le développement et l'évaluation des nouvelles technologies et agroéquipements dans le domaine de la robotique agricole, de la stabilité des engins et de leur sécurité, du désherbage et de la gestion des adventices, des techniques de semis, de la performance énergétique, de la conservation des sols, etc... Des outils de simulation polyvalents sont aussi développés pour accélérer le développement des technologies. Au-delà des infrastructures, des outils et méthodes sont aussi développés. Parmi eux, on citera les méthodes de tests et protocoles ARPA référencés dans la norme ISO 18497:2024 pour une partie d'entre eux et portées à connaissance des groupes de travail de l'OCDE sur les codes tracteurs mettant en avant les travaux précurseurs de la France dans le domaine.

Parmi les évènements marquants, il faut retenir (outre l'inauguration de la plateforme en septembre 2023) la réalisation de la première tranche de travaux concernant les pistes d'évolution des machines, l'espace d'évolution sécurisé des agroéquipements autonomes, les bancs de tests sur le matériel de désherbage innovant, mis en œuvre au deuxième semestre 2024.

PERSPECTIVES

Fort de ce consortium établi et des travaux réalisés, l'AgroTechnoPôle débute en 2025 une nouvelle phase qui doit lui permettre d'accroître sa renommée, d'élargir son réseau de partenaires, de mettre en service les infrastructures développées dans la première phase, de proposer les compétences et expertises associées à l'ensemble des acteurs de la filière et d'envisager de nouveaux projets de recherche et d'infrastructures en phase avec les enjeux visés.



Site de l'[AgroTechnoPôle](#)



Contact : Philippe Héritier

Unité : TSCF

Départements : MathNum - AgroEcoSystem

Centre INRAE : Clermont-Auvergne-Rhône-Alpes

INRAE 2030 Orientations scientifiques (OS) et Orientations de politique générale (OP) : OS 5.3

Grands Objectifs Scientifiques (GOS) MathNum : GOS 3

Mots-clés : Partenariat, infrastructures, agroéquipements innovants, robotique agricole, conception, évaluation

Annexes

Orientations scientifiques (OS) d'INRAE 2030

OS 1 - Répondre aux enjeux environnementaux et gérer les risques associés

- OS 1.1. Changement climatique : intégrer les démarches d'atténuation et d'adaptation
- OS 1.2. Biodiversité : un patrimoine mieux préservé et un levier d'action davantage mobilisé
- OS 1.3. Compréhension et mobilisation des mécanismes d'adaptation du vivant pour la sélection génétique et la préservation de la biodiversité
- OS 1.4. Evaluation et gestion des risques naturels et climatiques

OS 2 - Accélérer les transitions agroécologique et alimentaire, en tenant compte des enjeux économiques et sociaux

- OS 2.1. Renforcer la compréhension des processus des transitions et enjeux d'autonomie
- OS 2.2. Progression vers des agricultures sans pesticide de synthèse
- OS 2.3. Transition des élevages
- OS 2.4. Construction des qualités des régimes alimentaires
- OS 2.5. Une alimentation saine et durable accessible et valorisante pour tous

OS 3 - Une bioéconomie basée sur une utilisation sobre et circulaire des ressources

- OS 3.1. Cycles du carbone, de l'azote et du phosphore dans les écosystèmes terrestres
- OS 3.2. Cycle de l'eau, relations entre grand et petit cycles
- OS 3.3. Traitement et usages des biomasses, coproduits, eaux usées et résidus organiques
- OS 3.4. Produits biosourcés : de nouvelles relations marchandes et dynamiques sociales

OS 4 - Favoriser une approche globale de la santé

- OS 4.1. Emergences et réémergences des maladies transmissibles, au sein et entre les systèmes environne- mentaux, agricoles et alimentaires
- OS 4.2. Pollutions, contaminants et exposome
- OS 4.3. Une nutrition préventive pour la santé publique et environnementale

OS 5 - Mobiliser la science des données et les technologies du numérique au service des transitions

- OS 5.1. Systèmes complexes et évolutifs
- OS 5.2. Capteurs et systèmes d'acquisition d'information
- OS 5.3. Des agroéquipements pour la transition agroécologique
- OS 5.4. Technologies de l'information, réseaux et nouveaux pouvoirs

Orientations de politique générale (OP) d'INRAE 2030

OP 1 - Placer la science, l'innovation et l'expertise au cœur de nos relations avec la société pour renforcer notre culture de l'impact

OP 1.1. Innover par la recherche partenariale en favorisant la co-construction et la coréalisation

OP 1.2. Anticiper les grands défis et éclairer les débats sociétaux et les politiques publiques par l'expertise scientifique

OP 1.3. Ouvrir la science et partager les connaissances

OP 2 - Être un acteur engagé dans les sites universitaires en France et un leader dans les partenariats européens et internationaux

OP 2.1. Des écosystèmes académiques régionaux aux dispositifs de coordination nationale

OP 2.2. Une présence et une coopération européennes essentielles

OP 2.3. Une recherche de référence à l'international

OP 2.4. Infrastructures de recherche

OP 3 - La stratégie « Responsabilité Sociale et Environnementale » (RSE) : une priorité collective

OP 3.1. La stratégie RSE porteuse de sens et d'identité

OP 3.2. INRAE, acteur investi dans la préservation de l'environnement

OP 3.3. INRAE, employeur engagé

OP 3.4. INRAE, acteur ouvert et transparent

Grands objectifs scientifiques (GOS) MathNum 2021-2025

■ **GOS 1 - MAITRISER LES METHODES POUR ACQUERIR, GERER ET INTEGRER DONNEES ET CONNAISSANCES FACE A LA MULTIPLICATION DES SOURCES D'INFORMATION**

Priorités :

- Enrichir et diversifier les sources de données
- Favoriser l'interopérabilité et l'intégration des données
- Intégrer les avancées les plus récentes en statistique et en IA sur les méthodes d'apprentissage
- Traiter des données dépendantes spatio-temporelles ou structurées sur des réseaux
- Optimiser l'acquisition de nouvelles données

■ **GOS 2 - DEVELOPPER LES METHODES DE MODELISATION ET D'ANALYSE EN VUE DE COMPRENDRE ET ANTICIPER LES TRAJECTOIRES DE SYSTEMES COMPLEXES**

Priorités :

- Développer les cadres conceptuels et les méthodes pour modéliser les trajectoires de systèmes complexes
- Passer à l'échelle des modèles en mobilisant tous les leviers
- Développer la quantification des incertitudes et l'évaluation des risques
- Multiplier les interfaces entre approches données / modèles

■ **GOS 3 - CONCEVOIR, DECIDER ET AGIR A PARTIR DU NUMERIQUE**

Priorités :

- Piloter des systèmes biologiques dans l'incertain
- Hybrider des modèles à base de connaissances et de données dans le cadre de démarches participatives
- Hybrider la robotisation et l'Intelligence Artificielle
- Maîtriser les flux aériens dans les bâtiments et en extérieur par la modélisation et la commande (aéraulique)

Département MathNum

Centre de Recherche INRAE Occitanie-Toulouse

24 Chemin de Borde Rouge - Auzeville - CS 52627

31 326 Castanet-Tolosan Cedex

Tél. : 05 61 28 54 38 – mathnum-dpt@inrae.fr

Page internet département

Intranet département

[Portail MathInfo](#)

[LinkedIn département](#)

[Site institutionnel](#)



**INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE POUR
L'AGRICULTURE, L'ALIMENTATION ET L'ENVIRONNEMENT**