

# Rencontres R&D 2023



## Lundi 4 Décembre 2023

- 09h15-09h30 Hervé Roquet (DESR/DA) : *L'éthique et l'intégrité scientifique à Météo France*

*La loi de programmation de la recherche pour les années 2021 à 2030 contient un nouvel article (L. 211-2) concernant les exigences de l'intégrité scientifique, qui visent à garantir le caractère honnête et scientifiquement rigoureux des activités de la recherche publique, et à consolider le lien de confiance avec la société. Elles s'appliquent à tous les établissements publics contribuant au service public de la recherche, dont Météo-France.*

*Nous allons ici esquisser les contours pris par la mission qui a été confiée au référent à l'intégrité scientifique et les moyens réglementaires et pédagogiques qui vont être déployés afin de garantir cette intégrité pour l'ensemble des activités de recherche, que ce soit à la DESR, dans les directions thématiques ou en région.*

- 09h30-10h00 Hervé Douville (DESR/CNRM/GMGEC/CLIMSTAT) : *Pourquoi et comment contraindre les incertitudes de modélisation dans les projections du cycle de l'eau ?*

*Les ressources en eau restent à bien des égards l'angle mort des politiques de lutte face au changement climatique. A l'échelle régionale voire globale, c'est parfois le signe même des changements attendus qui demeure incertain. La variance totale dans les projections hydrologiques est par ailleurs clairement dominée par les incertitudes de modélisation.*

*Cela signifie qu'on ne sera guère plus avancé en raisonnant par niveau de réchauffement global plutôt qu'à scénario donné. Mais cela laisse aussi la possibilité de contraindre les projections dès lors que le signal recherché émerge dans les observations. Nous illustrerons cette possibilité sur la base de quelques publications récentes et formuleront quelques propositions pour renforcer cet effort au cours des prochaines décennies.*

- 10h00-10h30 Renaud Hostache (IRD/Espace-Dev) : *Analyse des influences respectives des changements climatiques et anthropiques sur la ressource en eau au travers de l'intégration de données in situ et satellitaires à la modélisation hydrologique, exemple de l'altiplano bolivien*

Contributeurs : Renaud Hostache<sup>1</sup>, Paula Pacheco Mollinedo<sup>2</sup>, Frédéric Satgé<sup>1</sup>, Marie-Paule Bonnet<sup>1</sup>  
(1-IRD/Espace-Dev, 2-Agua Sustentable)

*Le vaste bassin versant incluant le lac Titicaca, la rivière Desaguadero, le lac Poopó et le système de salines de Coipasa au cœur de l'Altiplano Andin est d'une importance primordiale, abritant divers écosystèmes et communautés fortement dépendants de ses ressources en eau. Ce système est confronté à des défis complexes, qui découlent principalement de sa vulnérabilité aux effets du changement climatique et l'un des principaux obstacles à la compréhension et à la gestion des impacts du changement climatique et des activités humaines sur les ressources en eau de l'Altiplano est le manque de données complètes et cohérentes. Dans notre étude, nous visons à évaluer comment l'intégration de données in situ, de télédétection dans la modélisation*

*hydrologique peut aider à mieux comprendre les influences des changements climatiques et anthropiques sur la dynamique hydrologique.*

### **Session Mesures et Télédétection**

- 11h00-11h20 Ludovic Bouilloud (DSO/CMR) : *Estimation de la lame d'eau par radar : Etat des lieux et perspectives*

*Le réseau radar de Météo-France est constitué de 33 radars en France métropolitaine et de 8 radars dans les territoires d'outre-mer, permettant ainsi une couverture de la quasi-totalité du territoire. Les radars météorologiques sont utilisés depuis des décennies pour l'observation des phénomènes précipitants, grâce à leur capacité à observer les phénomènes de manière relativement fine (spatialement et temporellement). Bien que toujours entachées d'erreurs inhérentes au type d'instrument (hauteur du faisceau, atténuation, représentativité, échos fixes, calibration électronique, conversion réflectivité/pluie...), les avancées scientifiques permettent une amélioration continue de la précision des lames d'eau estimées par radar, ainsi le radar est aujourd'hui un instrument indispensable pour les applications hydrologiques. Cette présentation détaillera les dernières avancées, les produits d'estimation de précipitations disponibles pour les usagers ainsi que les travaux en cours qui permettront à terme de nouvelles améliorations de l'estimation des précipitations, par exemple en zones de relief.*

- 11h20-11h40 Marielle Gosset (OMP/GET) : *RainCell, mesurer la pluie à partir des réseaux de téléphonie mobile, résultats et perspectives.*

Contributeurs : Marielle Gosset<sup>1</sup>, Dominique Faure<sup>2</sup>, Modeste Kacou<sup>3</sup>  
(1-OMP/GET 2-DSO/CMR/DEP 3-LAPA-MF (UFHB), Abidjan)

*L'estimation de la pluie à partir des fluctuations des signaux micro-ondes transitant dans la partie hertzienne des réseaux de téléphonie mobile, a émergé depuis quelques années comme une méthode 'opportuniste' intéressante pour renforcer les mesures pluviométriques conventionnelles. Nous présenterons quelques résultats des équipes françaises (IRD/OMP et Météo-France) sur des expérimentations réalisées dans différents pays tropicaux (en Afrique notamment) et plus récemment en métropole. Les différentes étapes de traitement pour passer des mesures brutes d'un opérateur de téléphonie à l'intensité pluvieuse seront discutées et des comparaisons quantitatives avec des pluviographes ou la lame d'eau antilope présentées. Les perspectives scientifiques et opérationnelles autour de cette méthodologie seront discutées.*

### **Session IA 1**

- 11h40-12h00 Alain Joly (DESR/DA-PN) : *L'IA en prévision numérique du temps, un défi et des enjeux pour Météo France*

*L'accélération récente des développements en IA pour la prévision du temps nous engage collectivement vers de nouveaux horizons qui sont encore difficiles à cerner. L'IA nous a permis d'avancer durant la dernière décennie sur les pré et post-traitements pour la PNT, sur la génération de texte, sur l'analyse des images. Après les initiatives de chercheurs qui ont offert les premiers résultats avec les outils de l'IA, après la mise en place du LabIA, Météo France s'engage fermement dans la voie du développement de l'IA pour la PNT. Divers résultats préliminaires seront abordés ici, ainsi que de possibles objectifs pour les prochaines années.*

- 12h00-12h20 Renaud Hostache (IRD/Espace-Dev) : *L'intelligence artificielle pour la modélisation pluie-débit : influence de la durée et des caractéristiques hydrométéorologiques du jeu de données d'apprentissage*

Contributeurs : Renaud Hostache<sup>1</sup>, Fadil Boodoo<sup>2</sup>, Carole Delenne<sup>3</sup>  
(1-IRD/Espace-Dev, 2- Université de Montpellier, 3-Inria/LEMON)

*Les dernières décennies ont connu un développement important des outils d'apprentissage machine. En hydrologie, ces modèles sont désormais exploités dans le cadre de la prévision pluie-débit du fait de leur capacité de calcul très rapide, compatible avec les besoins de la prévision en quasi-temps réel. Dans cette étude, un modèle d'apprentissage machine (Long-Short Term Memory : LSTM) et un modèle hydrologique conceptuel (Superflex), sont comparés afin de d'analyser leurs forces et faiblesses respectives, en fonctions de la taille et de la typologie hydrométéorologique du jeu de données d'apprentissage. Pour cela, l'apprentissage est répété de façon systématique pour des durées allant de 1 à 15 ans, incluant uniquement des années sèches, pluvieuse ou standard, ou un mélange de ces trois types d'années hydrométéorologiques.*

- 12h20-12h40 Antoine Doury (DESR/CNRM/GMGEC/MOSCA) : *Émulation de la descente d'échelle des modèles climatiques globaux aux modèles climatiques régionaux. Le cas des précipitations*

Contributeurs : Antoine Doury<sup>1</sup>, Samuel Somot<sup>1</sup>  
(1-DESR/CNRM/GMGEC/MOSCA)

*Le coût des modèles de climat régionaux ne permet pas de produire suffisamment de simulations pour correctement explorer les sources d'incertitudes liées aux impacts locaux du changement climatique. Les émulateurs de RCM permettent d'apprendre, avec un réseau de neurones, la fonction de downscaling d'un RCM pour une variable donnée. L'objectif étant par la suite de l'appliquer à de grands ensemble de simulations basse résolution. Doury et al. 2022 introduit un émulateur de ALADIN pour les températures de surface. Nous avons travaillé à l'adaptation de l'émulateur pour les précipitations sur un domaine centré sur les Alpes. Dans cette présentation, nous reviendrons sur le concept même de l'émulateur, nous verrons les développements nécessaires aux précipitations et présenterons une évaluation des performances de l'émulateur.*

- 12h40-13h00 Adrien Warnan (DirOP/PI) : *PI probabiliste des pluies par PIAF-PE*

Contributeurs : Adrien Warnan<sup>1</sup>, François Bouttier<sup>2</sup>, Thibaut Montmerle<sup>1</sup>  
(1-DirOP/PI 2-DESR/CNRM/GMME/PRECIP)

*La prévision immédiate des précipitations est effectuée à Météo-France par le produit PIAF-RR, basé sur une fusion entre des extrapolations temporelles de lames d'eau observées et les lames d'eau prévues par le modèle AROME-PI. Ce produit permet une prévision jusqu'à 3h d'échéance, dans le sens où le poids des deux prédicteurs dépend de leurs performances récentes. De manière à prendre en compte une partie des incertitudes croissantes selon l'échéance des prévisions, dues notamment aux erreurs de modélisation et déplacements dans les extrapolations, une approche probabiliste a depuis été élaborée. Des ensembles PIE (Prévision Immédiate d'Ensemble) ont ainsi été mis en place à partir de membres constitués (i) de perturbations spatiales anisotropes dépendantes du déplacement des précipitations prévues par la prévision déterministe PIAF-RR, (ii) de prévisions PIAF-RR antérieures valides aux mêmes instants.*

## **Session Gestion des pluies intenses et des crues**

- 14h00-14h20 François Bouttier (DESR/CNRM/GMME/PRECIP) : *Vers une anticipation à échéance 1-6h des risques de pluies intenses quasi-stationnaires*

Contributeurs : François Bouttier<sup>1</sup>, Marc Mandement<sup>1</sup>  
(1-DESR/CNRM/GMME/PRECIP)

*La prévision numérique des précipitations intenses souffre encore fréquemment d'incertitudes, y compris à échéance inférieure à 6 heures. Nous proposons ici une méthode d'amélioration de ces prévisions, fondée*

sur une adaptation originale de la technique de sensibilité ensembliste appliquée à un système de prévision météorologique opérationnel (PE AROME de Météo-France). Cela inclut un diagnostic automatique des sources d'erreurs lors d'épisodes convectifs méditerranéens quasi-stationnaires. Sur des situations catastrophiques passées, nous mettons en évidence le rôle de différents paramètres atmosphériques peu prévisibles, en amont et quelques heures avant le déclenchement des pluies les plus intenses. Les résultats corroborent des travaux précédents sur les pluies méditerranéennes : les paramètres incriminés sont notamment le vent, la température et l'humidité de basses couches sur mer. L'apport de notre méthode est l'identification en temps réel de ces sensibilités, qui dépendent du cas considéré.

Nous testons ensuite la faisabilité d'une repondération bayésienne des membres des prévisions d'ensemble à l'aide des observations les plus récentes, ce qui dans une mise en œuvre temps réel permettrait de sélectionner les scénarios météorologiques les plus probables afin d'améliorer la pertinence des alertes de pluie/inondation à courte échéance.

- 14h20-14h40 Nils Poncet (DESR/CNRM/GMGEC/MOSCA) : *Simulation des crues méditerranéennes avec des modèles de climat régionaux à convection profonde résolue : résultats préliminaires et perspectives*

Les crues méditerranéennes ont un impact majeur en France. Avec l'essor des modèles de climat régionaux à convection profonde résolue améliorant la simulation des épisodes de précipitations extrêmes, les bénéfices de l'usage de ces modèles pour la simulation des crues méditerranéennes passées et futures peuvent être questionnés.

En forçant des modèles hydrologiques avec des simulations climatiques d'ALADIN et d'AROME sur un bassin méditerranéen, la valeur ajoutée d'AROME par rapport à ALADIN pour la simulation des crues méditerranéennes est évaluée. Nous déterminons aussi l'impact du choix du modèle climatique sur le signal de l'intensité des crues futures et leurs caractéristiques.

- 14h40-15h00 François Bouttier (DESR/CNRM/GMME/PRECIP) : *Prévision d'ensemble des fortes pluies par scénarios optimaux*

Contributeurs : François Bouttier<sup>1</sup>, Kéryl Clain<sup>2</sup>, Florian Dupuy<sup>3</sup>  
(1-DESR/CNRM/GMME/PRECIP, 2- DIROP/MPA, 3- ENM/ECOLE)

Les prévisions d'ensemble fournissent une information complexe et souvent difficile à valoriser par les non-spécialistes, d'autant plus que la profondeur des archives de prévision actuelles est limitée. On présente quelques méthodes réalistes d'élaboration de produits accessibles d'aide à la prévision des pluies impactantes: par apprentissage statistique sur l'archive récente de prévisions PE AROME et ciblage soigneux des fonctions d'utilité, il est possible d'extrapoler aux intensités extrêmes des règles optimales simples pour utiliser les probabilités de dépassement de seuils, et produire des cartes de prévisions pseudo-déterministe adaptées au grand public. On peut aussi en tirer des métriques concrètes des performances des systèmes de prévisions actuels et des futurs systèmes IA.

## **Session Le Projet Explore 2**

- 15h30-15h50 Eric Sauquet (INRAE) : *Présentation du projet de simulations hydrologiques Explore2*

Contributeurs : Eric Sauquet<sup>1</sup> et al.<sup>2</sup>  
(1-INRAE/RiverLy, 2- Consortium BRGM, CNRS, EDF, ENS, INRAE, IPSL, IRD, Météo-France, Sorbonne Université)

Le projet Explore2, porté par INRAE et l'Office International de l'eau, s'inscrit dans la suite de l'étude Explore 2070 (2010-2012) grâce à laquelle les acteurs de la recherche, autour du Ministère de l'écologie, avaient établi des premiers scénarios prospectifs de disponibilités des ressources en eau à l'échelle de la France à horizon 2070. Officiellement lancé en juillet 2021, le projet Explore2 a pour objectif, d'ici 2024, d'actualiser les connaissances sur l'impact du changement climatique sur l'hydrologie à partir des

publications du GIEC (CMIP5), mais aussi d'accompagner les acteurs des territoires dans la compréhension et l'utilisation de ces résultats pour adapter leurs stratégies de gestion de la ressource en eau. Cette présentation propose de rappeler l'historique et l'organisation du projet et les hypothèses retenues dans un premier temps, et les premiers résultats concernant l'hydrologie, dans un second temps.

- 15h50-16h10 Lola Corre (DCSC/EMA) : *Explore2 : un ensemble de projections climatiques pour la ressource en eau*

Contributeurs : Lola Corre<sup>1</sup>, Paola Marson<sup>1</sup>, Jean-Michel Soubeyroux<sup>2</sup>  
(1-DCSC/EMA, 2-DCSC/Direction)

Le volet « Climat » du projet Explore2 traite de la production d'un ensemble projections climatiques à haute résolution corrigées de leurs biais par rapport aux observations. Ces projections ont vocation à forcer des modèles hydrologiques pour éclairer les futurs possibles de la ressource en eau en France métropolitaine. Cette présentation vise à décrire la sélection des simulations (projections EURO-CORDEX incluant et étendant le jeu DRIAS-2020), qualifier les changements futurs par rapport à l'ensemble CMIP6 et analyser les changements pour quelques variables climatiques d'intérêt, en tenant compte des incertitudes.

- 16h10-16h30 Simon Munier (DESR/CNRM/GMME/SURFACE) & Fabienne Rousset (DCSC/EMA) : *Projections hydro-climatiques Explore 2 sur la France métropolitaine*

Contributeurs : Fabienne Rousset<sup>1</sup>, Simon Munier<sup>2</sup>  
(1- DCSC/EMA, 2- DESR/CNRM/GMME/SURFACE)

Cette présentation propose un focus sur les résultats de simulation hydro-climatiques obtenues avec les modèles hydro(géo)logiques développés à Météo-France, dans le cadre du projet Explore2. En particulier, seront présentées les chaînes de modélisation SIM2, ISBA-CTRIP et Aquif-FR, notamment utilisées pour simuler les variables hydrologiques telles que l'indice d'humidité du sol, le débit des rivières et le niveau des nappes souterraines. Les évolutions de ces variables en climat futur pour différents horizons futurs et scénarios RCP seront présentées.

- 16h30-16h50 Eric Sauquet (INRAE) : *Les résultats d'Explore2 élargis au consortium*

Voir plus haut

### ***Session Mettre le pied à l'êtr-IA***

- 16h50-18h00 Théo Tournier & Frank Guibert (DSM/LabIA) : *Du neurone humain à Pangu-Weather: petit plongeon ... par la pratique*

Perceptron, fonction d'activation, rétropropagation du gradient, fonction de perte, transformers, réseaux antagonistes génératifs, autant de mots barbares qui seront expliqués pour faire un premier pas dans le monde du Deep-Learning. Nous partirons du fonctionnement d'un neurone humain, pour ensuite entraîner un réseau de neurones capable de réaliser des tâches de plus en plus complexes à travers des exemples concrets et des démonstrations pratiques. Enfin nous nous intéresserons au fonctionnement des algorithmes médiatiques comme DALL-E, Chat-GPT, ou encore Pangu-Weather pour vous montrer qu'ils sont loin d'être intelligents !

**Mardi 5 Décembre 2023**

***Session Effets de l'anthropisation***

- 09h00-09h20 Jean-Christophe Calvet (DESR/CNRM/GMME/VEGEO) : *Représentation détaillée de l'irrigation dans ISBA*

Contributeurs : Jean-Christophe Calvet<sup>1</sup>, Clément Albergel<sup>2</sup>, Bertrand Bonan<sup>1</sup>, Arsène Druel<sup>3</sup>, Anthony Mucia<sup>4</sup>, Simon Munier<sup>5</sup>

(1-DESR/CNRM/GMME/VEGEO, 2- ESA, 3- INRAE, 4- University of Nebraska, 5- DESR/CNRM/GMME/SURFACE)

*La phénologie des cultures et l'irrigation sont intégrées dans le modèle de surface terrestre ISBA, capable de fonctionner à l'échelle mondiale. L'objectif de la représentation de l'irrigation est d'améliorer la simulation de l'humidité du sol, de l'indice de surface foliaire, de la productivité primaire brute, de l'évapotranspiration et de la température à la surface du sol. Il s'agit également de permettre au modèle de produire une quantité d'eau d'irrigation annuelle réaliste, afin de suivre et prévoir l'état des ressources en eau. L'historique de ces développements est présenté. Des études de cas sont présentées sur le sud-ouest de la France et le Nebraska aux États-Unis. Les simulations avec et sans le nouveau schéma sont comparées à différentes observations par satellite.*

- 09h20-09h40 Bertrand Decharme, Jeanne Colin (DESR/CNRM/GMGEC/EST) : *Modélisation de la ressource mondiale en eau et impact de l'irrigation*

Contributeurs : Maya Costantini<sup>1</sup>, Bertrand Decharme<sup>1,2</sup>, Jeanne Colin<sup>1</sup>

(1-DESR/CNRM/GMGEC/EST 2-DESR/CNRM/GMME/SURFACE)

*La ressource mondiale en eau représente la totalité l'eau douce continentale exploitable par l'être humain. Elle est stockée en très grande majorité dans les aquifères. Dans nos travaux avec l'aide de modèles climatiques globaux, nous essayons de comprendre 1) l'évolution de cette ressource mondiale en eau face au changement climatique et 2) l'impact de l'irrigation sur cette évolution. Pour atteindre cet objectif, des projections climatiques d'évolutions de la ressource en eau (principalement souterraine) sont analysées. Ces projections indiquent une augmentation de la ressource mondiale en eau à l'horizon 2100. Cependant, cette vision globale est trompeuse et la ressource en eau devrait s'appauvrir dans de nombreuses régions du monde. La prise en compte des estimations de prélèvements en eau liés à l'irrigation vient aussi chambouler cette vision globale dans les régions intensivement irriguées.*

- 09h40-10h00 Simon Munier (DESR/CNRM/GMME/SURFACE) : *Représentation des barrages-réservoirs dans CTRIP*

*Les impacts anthropiques sur les ressources en eau, et notamment les effets des barrages-réservoirs sur les écoulements dans le réseau hydrographique, sont encore mal connus et sont généralement négligés ou fortement simplifiés dans les modèles hydrologiques tels qu'ISBA-CTRIP. Un modèle de réservoir paramétré, appelé DROP (Dam-Reservoir OPERATION), a été développé récemment et intégré à CTRIP pour calculer les lâchers hebdomadaires en fonction des débits entrants, des demandes en eau et de l'objectif de gestion. Le modèle a été appliqué sur l'ensemble des réservoirs espagnols. Les résultats ont révélé la contribution positive du modèle à la représentation du cycle saisonnier de la variation du débit et du stockage d'eau, en particulier pour les réservoirs d'irrigation à grande capacité de stockage.*

- 10h00-10h20 Laure Raynaud (DESR/CNRM/GMAP/PREV) : *Prise en compte des incertitudes météorologiques dans les modèles d'irrigation*

Contributeurs : Bachar Tarraf<sup>1</sup>, François Brun, Laure Raynaud<sup>1</sup>, Sébastien Roux  
(1-DESR/CNRM/GMAP/PREV)

*L'agriculture est fortement influencée par les aléas climatiques et est également exposée aux risques liés aux conditions météorologiques. En particulier, la sécheresse apparaît plus fréquemment comme une contrainte et une tendance dans l'agriculture en Europe. Les outils d'aide à la décision (DST) sont donc plus fréquemment utilisés dans la gestion de l'irrigation en conjonction avec les prévisions météorologiques. L'utilisation actuelle des DST repose sur des prévisions météorologiques déterministes qui ne prennent pas en compte les incertitudes associées. L'utilisation des prévisions météorologiques d'ensemble apparaît comme une évolution naturelle pour améliorer la prise en compte de ces incertitudes. Nous présenterons l'apport des ensembles dans le cadre du modèle d'irrigation WaLIS pour la vigne, ainsi qu'une comparaison de plusieurs approches de calibrage des prévisions.*

## Session IA 2

- 11h00-11h20 Jérôme Monnier (INSA) : *Réduction de modèles de dynamique de plaines d'inondation (surrogate) par méthode hybride POD-réseaux de neurones.*

Contributeurs : Jérôme Monnier<sup>1</sup>, M. Allabou<sup>1</sup>, R. Bouclier<sup>1</sup>, P.-A. Garambois<sup>2</sup>  
(1-IMT-INSA, 2-INRAE)

*Nous élaborons une méthode de base réduite pour la réduction du modèle des équations des eaux peu profondes en utilisant la décomposition orthogonale appropriée (POD) et les réseaux neuronaux artificiels (NN). Cette méthode suit une stratégie hors ligne et en ligne : la base réduite POD ainsi que l'entraînement du réseau neuronal sont effectués dans une étape hors ligne. En outre, l'erreur du modèle réduit est apprise à l'aide d'une approche similaire basée sur les réseaux neuronaux. La combinaison de ces ingrédients fournit une approche prometteuse pour élaborer des modèles d'écoulement superficiel de substitution pour des simulations hyper rapides de la dynamique des plaines d'inondation. La méthode est non intrusive (par rapport au solveur d'écoulement). Elle est illustrée sur un réel : une inondation de l'Aude en 2018.*

- 11h20-11h40 Yoël Zerah (OMP/CESBIO) : *Inversion bayésienne de modèles physiques par apprentissage profond, application à l'estimation de variables biophysiques de la végétation à partir d'images optiques Sentinel-2.*

Contributeurs : Yoël Zerah<sup>1</sup>, Silvia Valero<sup>1</sup>, Jordi Inglada<sup>1</sup>  
(1-OMP/CESBIO)

*Les satellites d'observation de la Terre, tels que Sentinel-2, produisent une quantité considérable de données permettant de caractériser et suivre les surfaces continentales. Des modèles permettent de simuler des observations satellites à partir de paramètres biophysiques du sol. Toutefois, les approches traditionnellement utilisées pour inverser ces modèles sont limitées, en raison de leur coût calculatoire, ou de leur dépendance à une base d'apprentissage pré-simulée. Notre approche, basée sur les Auto-encodeurs Variationnels, permet un entraînement sur des données satellitaires réelles pour inverser ces modèles à grande échelle, avec une estimation simultanée de l'incertitude de prédiction.*

- 11h40-12h00 Léa Berthomier (DSM/LabIA) : *Espresso : Estimation des précipitations par satellite par Deep Learning*

Contributeurs : Léa Berthomier<sup>1</sup>, Laurent Perier<sup>2</sup>, Frank Guibert<sup>1</sup>  
(1-DSM/LabIA, 2-DIROP/CMS/LOG)

*Espresso est un produit d'Estimation des précipitations par satellite développé par les équipes DSM/LabIA et DIROP/CMS de Météo-France. Ce produit utilise des méthodes d'IA, plus précisément des réseaux de neurones profonds, pour fournir une estimation des pluies en temps réel, sur l'ensemble du globe. Le produit utilise en entrée des données des satellites géostationnaires dans l'infrarouge, qui sont disponibles toutes les 10 à 30 minutes sur l'ensemble du planisphère. L'estimation des pluies a été calibrée grâce à des données de la mission GPM de la NASA, qui dispose d'un radar embarqué sur le satellite. Les performances du produit sont très satisfaisantes et supérieures aux produits concurrents existants tel que IMERG, GSMAP ou PERSIANN.*

## **Session Agromet & eau**

- 13h30-13h50 Marc Tardy (DSM/CS/AGRO): *Impacts des changements du cycle de l'eau sur l'agriculture*

*La plupart des productions agricoles de France métropolitaine nécessitent des apports d'eau importants. Elles sont également sensibles aux événements hydrologiques extrêmes (sécheresses et inondations). De plus, les besoins en eau des plantes varient en fonction de leur stade de développement. L'agriculture est déjà, et sera de plus en plus impactée par les modifications du cycle hydrologique induites par le changement climatique. Cet exposé aborde différentes conséquences de ces changements, sur le rendement, la qualité des aliments produits, le travail du sol... pour les principaux types de cultures, ainsi que les mesures d'adaptation mises en place par les agriculteurs.*

- 13h50-14h10 Nicolas Métayer (Solagro) : *Plateforme CANARI-France.*

Contributeurs : Nicolas Métayer<sup>1</sup>, Patrick Josse<sup>2</sup>, Anne-Laure Gibelin<sup>3</sup>  
(1- Solagro, 2- DCSC/D, 3- DSM/CS/AGRO)

*Afin d'accompagner les filières agricoles dans une démarche d'adaptation au changement climatique, Météo-France et Solagro mettent à disposition un nouveau service climatique nommé CANARI-France (Climate ANALysis for Agricultural Recommendations and Impacts). Ce portail web en accès libre est destiné à tous acteurs agricoles, que ce soit les agriculteurs ou bien leurs conseillers techniques, souhaitant calculer simplement et rapidement des indicateurs agro-climatiques locaux à partir de projections climatiques. Le service s'appuie sur le jeu de projections climatiques DRIAS2020 et en fonction du type de culture ou d'élevage, de visualiser l'évolution de 120 indicateurs agro-climatiques paramétrables, des plus génériques aux plus spécifiques selon la filière agricole adressée. CANARI-France compte déjà plus de 2 200 utilisateurs appartenant à une très grande diversité d'organismes agricoles.*

- 14h10-14h30 Mathieu Regimbeau (DSM/CS/AGRO): *Impact du changement climatique dans le domaine des feux de forêt et végétation*

Contributeurs : Mathieu Regimbeau<sup>1</sup>, Bernard Chapnik<sup>1</sup>  
(1- DSM/CS/AGRO)

*En asséchant la végétation, le changement climatique entraîne une augmentation du danger météorologique de feux de forêt. Les conditions de propagation et d'intensité des feux de forêt étant fortement liées aux conditions météorologiques, différentes études de Météo-France ont analysé l'évolution de cet aléa à l'échelle de la Métropole au cours du siècle passé et pour les prochaines décennies. Il augmente depuis les années 1960 et devrait encore augmenter au cours du XXI<sup>e</sup> siècle. Cette présentation vise à décrire les principaux résultats des compléments et actualisations réalisés en 2021-2022 à partir des projections climatiques DRIAS-2020. Ce nouveau jeu de données FeuMétéo-2022 est ainsi disponible sur le portail DRIAS.*

- 14h30-14h50 Franck Souverain (DSM/CS/AGRO): *Utilisation du SWI pour la flexibilité des dates d'épandage des nitrates*



Contributeurs : Franck Souverain<sup>1</sup>, Anne-Laure Gibelin<sup>1</sup>, Mathieu Regimbeau<sup>1</sup>  
(1-DSM/CS/AGRO)

*La réglementation concernant la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole définit des périodes d'interdiction d'épandage des fertilisants azotés. Sa révision récente permet d'ajuster annuellement la date de reprise des épandages en fonction d'indicateurs agrométéorologiques. Dans ce contexte, le MASA a commandé une étude à Météo-France, en vue de construire un futur dispositif opérationnel automatisé de déclenchement annuel de la flexibilité agrométéorologique. Cette étude s'appuie sur la prévision d'ensemble de SWI (Soil Wetness Index). Différents scénarios de déclenchement de la flexibilité ont été définis en fonction de plusieurs critères de décision, menant à différentes fréquences de déclenchement à l'échelle départementale. Les fréquences prévues sont comparées à la réanalyse, et la sensibilité aux différents critères de décision est analysée.*

- 14h50-15h10 Anne-Laure Gibelin (DSM/CS/AGRO) : *Modélisation de la durée d'humectation : de la R&D vers la mise en place d'un nouveau produit agrométéorologique*

Contributeurs : Anne-Laure Gibelin<sup>1</sup>, Sébastien Prats<sup>1</sup>, Marc Tardy<sup>1</sup>, Franck Souverain<sup>1</sup>, Mathieu Regimbeau<sup>1</sup>  
(1-DSM/CS/AGRO)

*L'humectation des feuilles d'une plante, ainsi que sa durée, sont des facteurs de risque de développement de maladies des cultures. Ce phénomène est très variable dans le temps et l'espace, et sa mesure reste difficile. Pour pallier ces difficultés, Météo-France a développé 2 modèles simulant la durée d'humectation, avec l'ambition de disposer d'un produit de référence calculé à partir de paramètres météorologiques standards. CART4 est un modèle statistique, mis au point à partir de la longue série de mesures du CNRM. BHLE est un modèle physique, basé sur la modélisation d'un bilan hydrique simplifié à l'échelle de la feuille. Les approches des 2 modèles sont d'abord exposés, ainsi que leur confrontation aux mesures d'une dizaine de sites installés par la DSO répartis sur le territoire métropolitain. Enfin, les différentes données opérationnelles disponibles sont présentées.*

### **Session IA 3**

- 15h40-16h00 Timothée Corchia (DESR/CNRM/GMME/VEGEO) : *Valeur ajoutée de l'apprentissage automatique dans l'assimilation d'observations satellitaires dans le modèle ISBA*

Contributeurs : Timothée Corchia<sup>1</sup>, Bertrand Bonan<sup>1</sup>, Nemesio Rodriguez-Fernandez<sup>2</sup>, Gabriel Colas<sup>3</sup> et Jean-Christophe Calvet<sup>1</sup>  
(1-DESR/CNRM/GMME/VEGEO, 2-OMP/CESBIO, 3-DESR/CNRM/GMME/VILLE)

*Dans le contexte du réchauffement climatique, la fréquence et l'intensité des événements extrêmes tels que les sécheresses augmentent, et une meilleure modélisation de la réponse de la végétation au climat est nécessaire. Une solution consiste à assimiler les observations satellitaires dans les modèles des surfaces terrestres afin de combiner toutes les sources d'information disponibles. Ce travail présente une méthode d'assimilation des données sigma0 d'ASCAT dans ISBA à l'aide de l'outil LDAS-Monde. Dans un premier temps, des opérateurs d'observation sont construits à l'aide de l'apprentissage automatique. Des réseaux de neurones (NN) sont entraînés en utilisant comme entrées des variables modélisées par ISBA et des observations satellitaires. Les opérateurs d'observation sont ensuite mis en œuvre dans LDAS-Monde, le rendant capable d'assimiler les sigma0.*

- 16h00-16h20 Bruno Pradel (DSM/LabIA) : *Prévision immédiate de réflectivité par deep-learning*

*Dans cette présentation, nous présenterons les résultats d'un projet réalisé en collaboration LabIA et DIROP/PI d'une production de prévision immédiate de réflectivités radar qui est actuellement en intégration chez DIROP/PI.*

*La prévision immédiate de réflectivité par advection est une composante essentielle du produit de fusion PIAF utilisé actuellement en production. Cette méthode repose sur l'application d'un vecteur vitesse, calculé sur les dernières images reçues, pour déplacer les cellules de réflectivités observées en temps réels. Nous présenterons la nouvelle méthode développée, utilisant l'algorithme DeepLabV3+ et un post-traitement par transfert d'histogramme, et discuterons des résultats obtenus.*

- 16h20-16h40 Jérôme Monnier (INSA) : *Algorithme d'identification de débit des rivières à partir de données altimétriques (SWOT) et multi-source.*

Contributeurs : Jérôme Monnier<sup>1</sup>, K. Larnier<sup>2</sup>  
(1-IMT-INSA, 2- IMT-INSA / CS Group / Hydro Matters)

*L'estimation des débits  $Q(x, t)$  des rivières non jaugées, en particulier celles dont la bathymétrie est inconnue  $b(x)$ , à partir de mesures altimétriques uniquement (y compris les données de type SWOT), est un problème inverse mal posé. Nous développons ici un algorithme pour estimer  $Q(x, t)$  sans informations préalables sur le débit autres que des ensembles de données globales ouvertes. Une première estimation basée sur un réseau neuronal est employée pour définir la première supposition d'un algorithme d'assimilation variationnelle des données. Ce dernier s'appuie sur le modèle d'écoulement de Saint-Venant et vise à calculer les inconnues complètes (débit  $Q(x, t)$ , bathymétrie  $b(x)$ , coefficient de frottement  $K(x, t)$ ) à une échelle fine. Des expériences numériques ont été analysées pour 29 portions de rivières hétérogènes dans le monde.*

## **Session Innovation et Start-up**

- 16h40-17h00 Présentation des starts-up de l'incubateur

- KEYROS : Servane Gueben-Venière et Erwan Jossic, *Keyros prolonge la traduction de données brutes en informations intelligibles au service de la gestion de crise.*

*En s'appuyant sur l'exemple du projet de recherche ANR Oracles en cours, qui réunit Météo France, le BRGM, l'IGN et Keyros, cette présentation a pour objectif de montrer un exemple concret de collaboration interdisciplinaire, appliqué à la gestion de crise en cas de submersion marine. Autrement dit, il s'agit de montrer quelles sont les phases successives de transformations d'une donnée « brute » de prévision météo marine en informations intelligibles et directement appropriables par les différents profils d'utilisateurs finals.*

*Ce même cheminement intellectuel a abouti à l'utilisation de la temporalité comme langage cartographique pertinent en cas de crue.*

- HD RAIN : Maxime Turko, *HD Rain*

*HD Rain (<https://hd-rain.com/>) est une jeune entreprise fondée en 2018, qui compte aujourd'hui une quinzaine d'employés répartis à Toulouse et à Paris. Elle fournit des mesures et des prévisions de précipitations à haute résolution spatiale (500m) et temporelle (1min). Ces mesures sont issues d'une technologie innovante se basant sur la mesure de l'atténuation produite par les gouttes de pluie sur les signaux provenant de satellites de télévision. Les modèles de Deep Learning développés permettent de générer des cartes de pluie en temps réel et de prévision (1h à 2h). Afin d'offrir une expertise météorologique plus complète, HD Rain a déployé depuis plus de 1 an de nouvelles stations avec un capteur de température,*

*pression et humidité. HD Rain exporte sa technologie depuis plusieurs années sur plusieurs pays et territoires (sud de la France, Andorre, Monaco, Côte d'Ivoire, Géorgie, Brésil).*

- 17h00-18h00 ***Quelles évolutions de la recherche pour quels produits innovants ?***