



HAL
open science

Modélisation hydrologique et impacts du changement climatique. Enjeux, méthodes et applications

Guillaume Thirel

► **To cite this version:**

Guillaume Thirel. Modélisation hydrologique et impacts du changement climatique. Enjeux, méthodes et applications. Séminaire de l'AST Zone Critique de l'OMP, Feb 2023, Toulouse, France. hal-04004002

HAL Id: hal-04004002

<https://hal.inrae.fr/hal-04004002>

Submitted on 24 Feb 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

A large, light teal watermark of the letters 'AST' is visible in the background on the left side of the slide.

➤ Modélisation hydrologique et impacts du changement climatique. Enjeux, méthodes et applications

Guillaume Thirel (INRAE, UR HYCAR, Antony)

Séminaire AST Zone Critique

13/02/2023



Mon parcours

Activités de recherche de l'UR HYCAR et de l'équipe HYDRO

Les modèles hydrologiques GR

Mes travaux de recherche

- Des outils libres
- De la robustesse des modèles hydrologiques
- Une étude d'impact du changement climatique récemment achevée
- L'intégration des usages de l'eau : vers des stratégies d'adaptation au changement climatique

➤ D'hydrométéorologue...

- 2006 : stage de fin d'études au Centre d'Etudes de la Biosphère (CESBIO) à Toulouse
 - Encadrement : Vincent Rivalland, Valérie Borrell, Gérard Dedieu
 - Préparation de SEVE V0 : Modélisation de la redistribution latérale de l'humidité et couplage avec les transferts verticaux
- 2006-2009 : thèse au Centre National de Recherche en Météorologie (CNRM/Météo-France) à Toulouse
 - Amélioration des prévisions d'ensemble de débits sur la France avec SIM
- 2009-2012 : postdoctorat au Joint Research Centre (JRC) à Ispra, Italie
 - Assimilation de données satellite d'enneigement dans un modèle hydrologique pour la prévision



> A hydroclimatologue ?

- Depuis 2012 : chargé de recherche à Irstea/INRAE dans l'UR HYCAR, à Antony
 - Modélisation hydrologique et changement climatique
 - Stratégies d'adaptation au changement climatique

- Depuis le 1^{er} septembre 2021 : accueil scientifique au CNRM, à Toulouse

To better reflect
its missions,
Cemagref
becomes Irstea.



INRAE

Modélisation hydrologique et impacts du changement climatique

13 février 2023 / Séminaire AST ZC GET / Thirel Guillaume



Mon parcours

Activités de recherche de l'UR HYCAR et de l'équipe HYDRO

Les modèles hydrologiques GR

Mes travaux de recherche

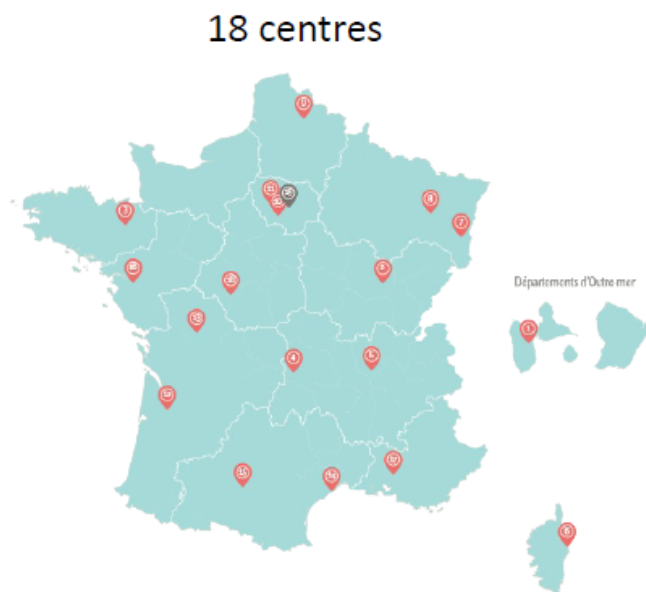
- Des outils libres
- De la robustesse des modèles hydrologiques
- Une étude d'impact du changement climatique récemment achevée
- L'intégration des usages de l'eau : vers des stratégies d'adaptation au changement climatique

> INRAE

INRA + Irstea = INRAE depuis le 1^{er} janvier 2020

Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'alimentation et l'Environnement

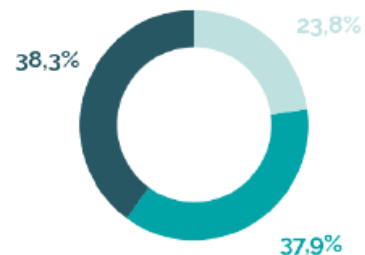
INRAE est un EPST



Plus de 10 000 agents



2811
agents contractuels
(ETPT)



- > 1990 chercheurs
- > 3165 ingénieurs et assistants ingénieurs
- > 3186 techniciens



INRAE

Modélisation hydrologique et impacts du changement climatique

13 février 2023 / Séminaire AST ZC GET / Thirel Guillaume

➤ L'unité de recherche HYCAR

Hydrosystèmes Continentaux Anthropisés - Ressources, Risques, Restauration

Collectif centré autour de 3 équipes et un observatoire de recherche

Création en 2018

Site web : <https://www6.jouy.inrae.fr/hycar>

Equipe Hydroécologie
fluviale (HEF)

<https://hef.inrae.fr>

Equipe Atténuation,
remédiation, transferts et
modélisation des
hydrosystèmes (ARTEMHYS)

<https://artemhys.inrae.fr>



Equipe Hydrologie des
bassins versants (HYDRO)

<https://webgr.inrae.fr>

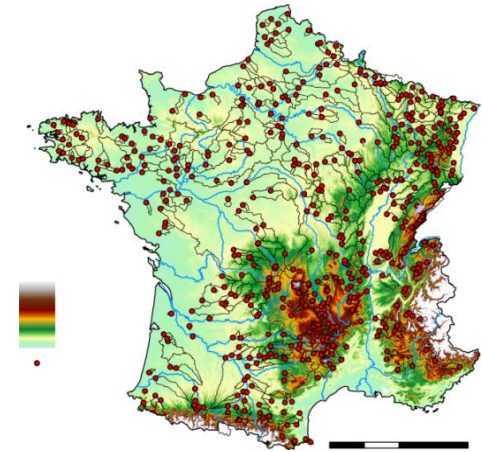
Observatoire ORACLE

<https://gisoracle.inrae.fr>



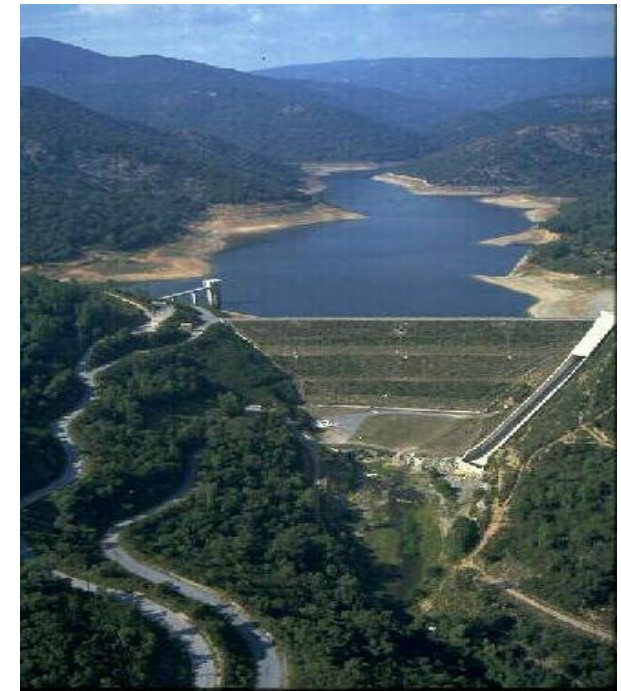
➤ Systèmes d'étude

➤ Bassins versants naturels et anthropisés



➤ Enjeux de l'hydrologie de surface quantitative

Changement climatique



Gestion d'ouvrages, adaptation au CC



Prévision des étiages



Impact de l'anthropisation



Prévision des crues



Dimensionnement d'ouvrages

INRAE

Modélisation hydrologique et impacts du changement climatique

13 février 2023 / Séminaire AST ZC GET / Thirel Guillaume



Mon parcours

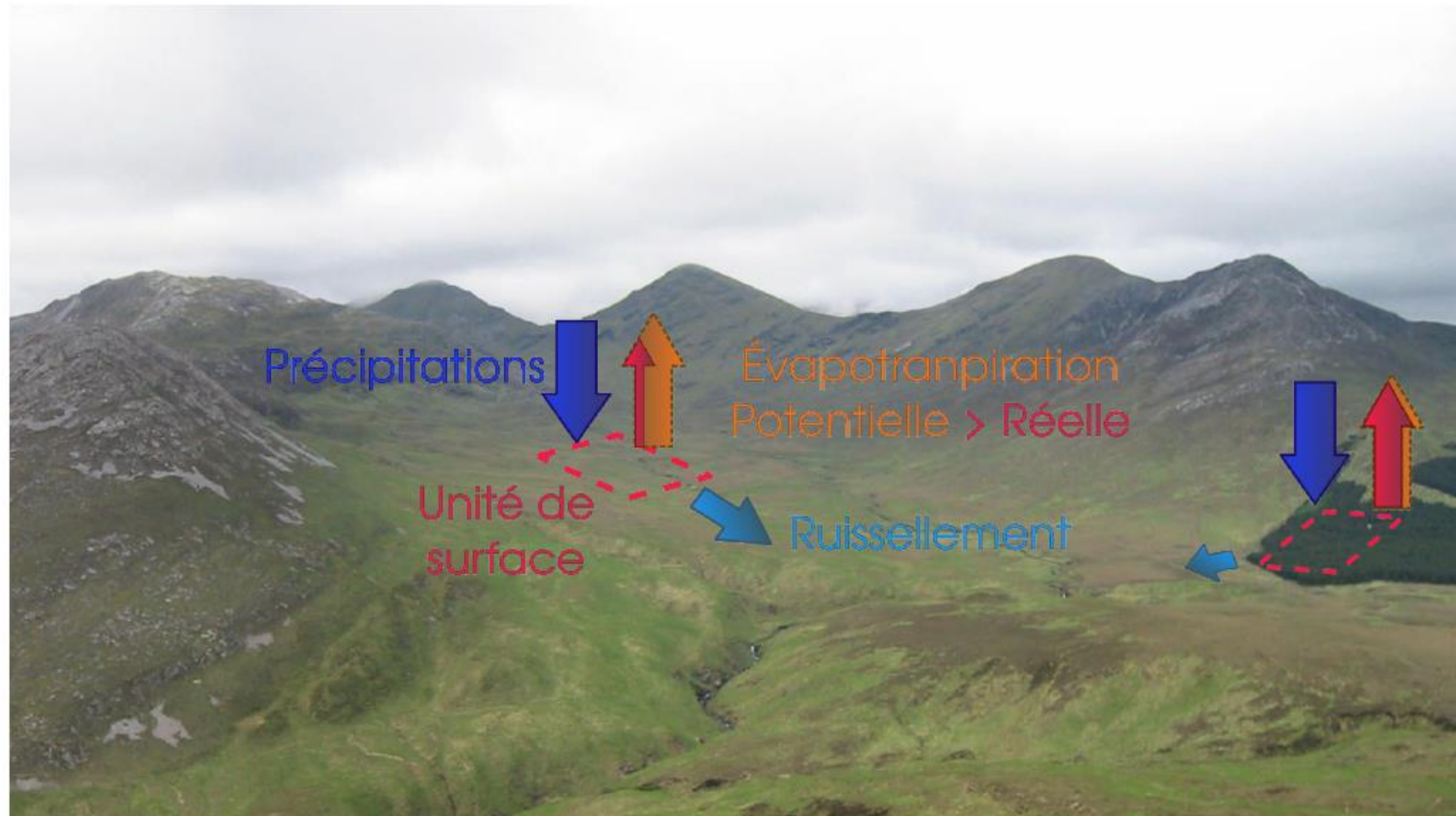
Activités de recherche de l'UR HYCAR et de l'équipe HYDRO

Les modèles hydrologiques GR

Mes travaux de recherche

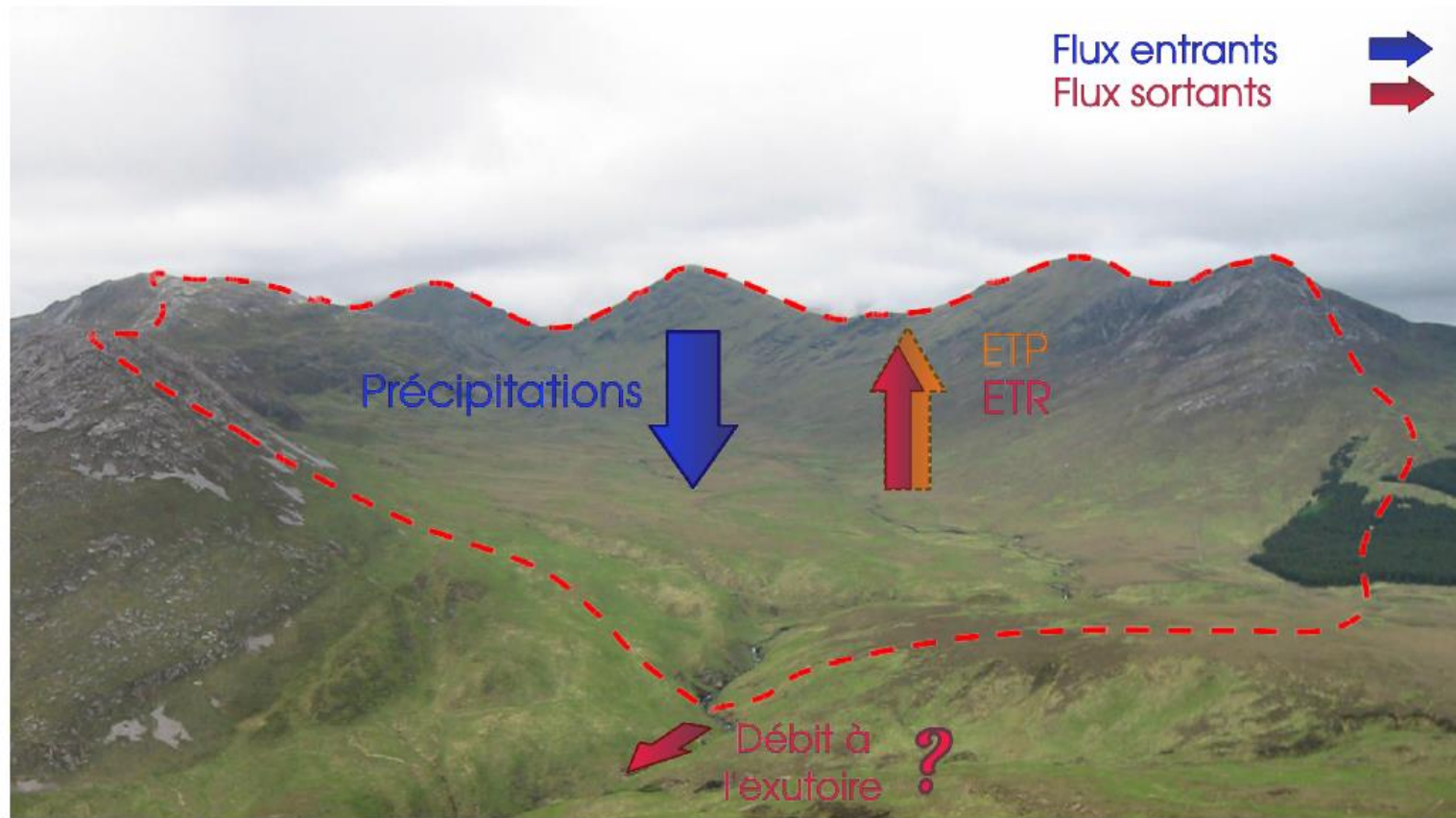
- Des outils libres
- De la robustesse des modèles hydrologiques
- Une étude d'impact du changement climatique récemment achevée
- L'intégration des usages de l'eau : vers des stratégies d'adaptation au changement climatique

➤ Les flux hydrologiques en surface



Flux hydrologiques par unité de surface. Source : N. Le Moine et L. Santos

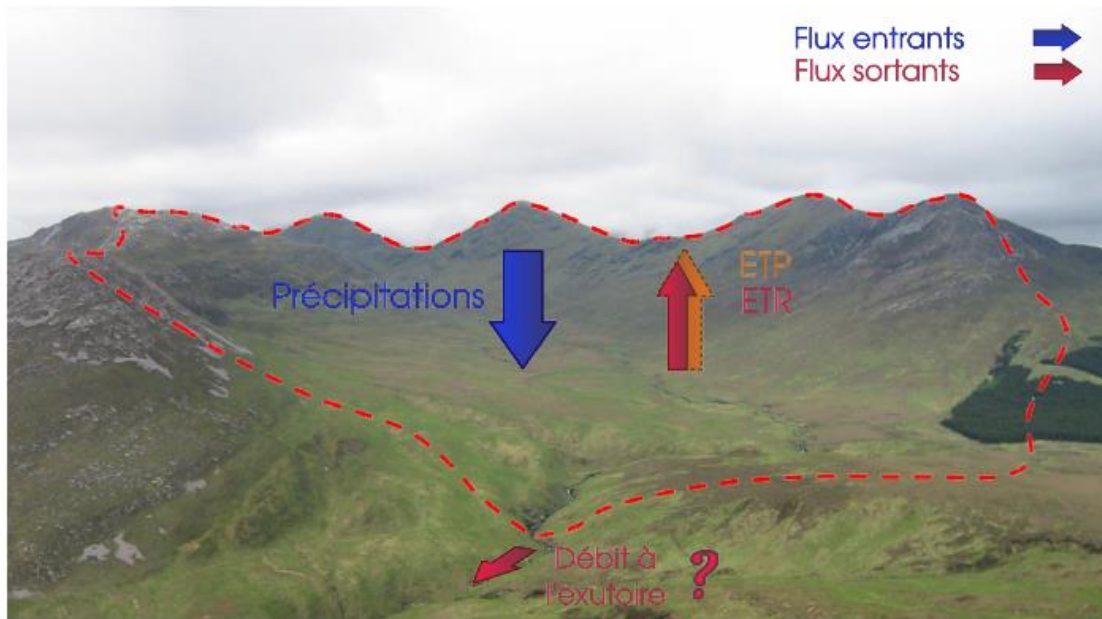
➤ Unité de surface : le bassin versant



Flux surfaciques à l'échelle du bassin versant. Source : N. Le Moine et L. Santos

➤ Conceptualisation du système bassin versant dans un modèle hydrologique

- Modèles composés d'une fonction de production et d'une fonction de routage
- Dans les modèles GR : représentation globale à l'échelle du bassin versant



Flux surfaciques à l'échelle du bassin versant. Source : N. Le Moine et L. Santos

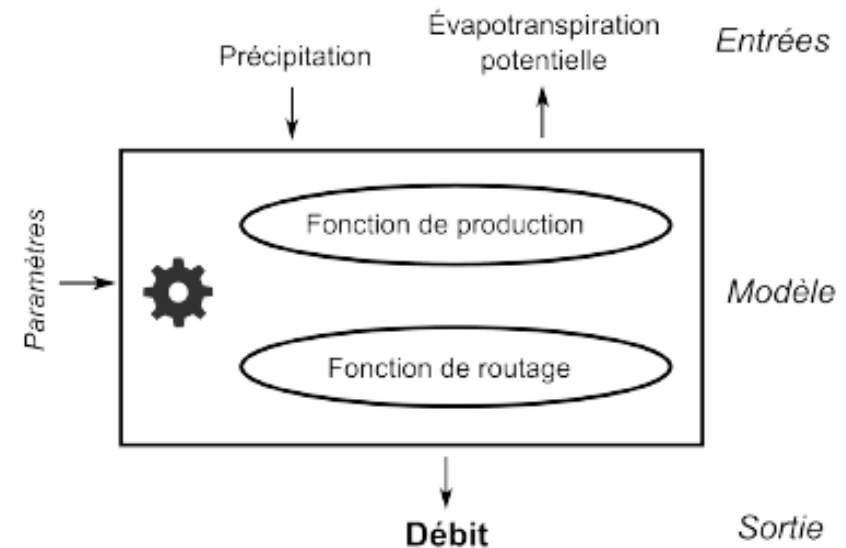


Schéma générique d'un modèle hydrologique.
Source : L. Santos.

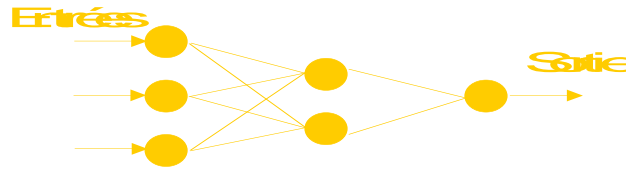
➤ Trois grandes catégories de modèles hydrologiques

i) Modèles 'boîte noire'

Modèle auto-regressif ARMAX

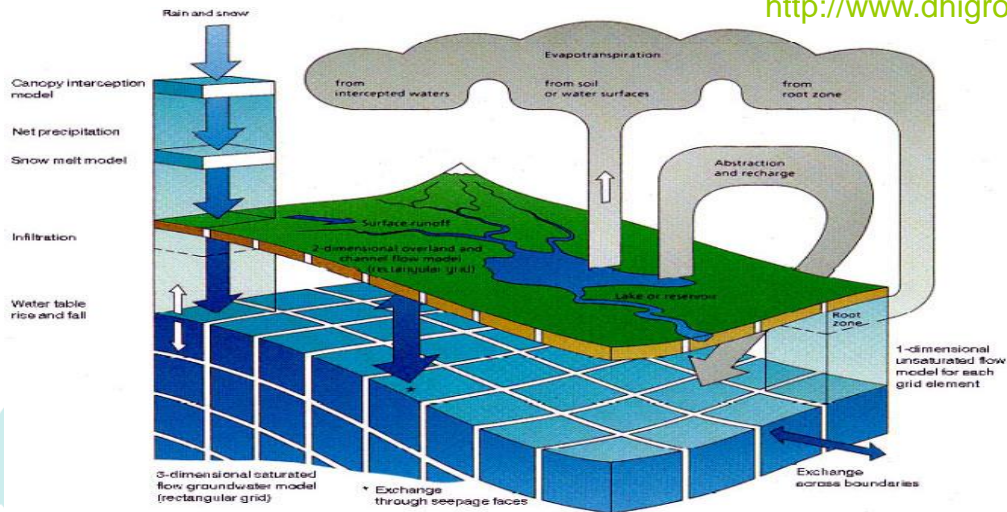


Réseaux de neurones

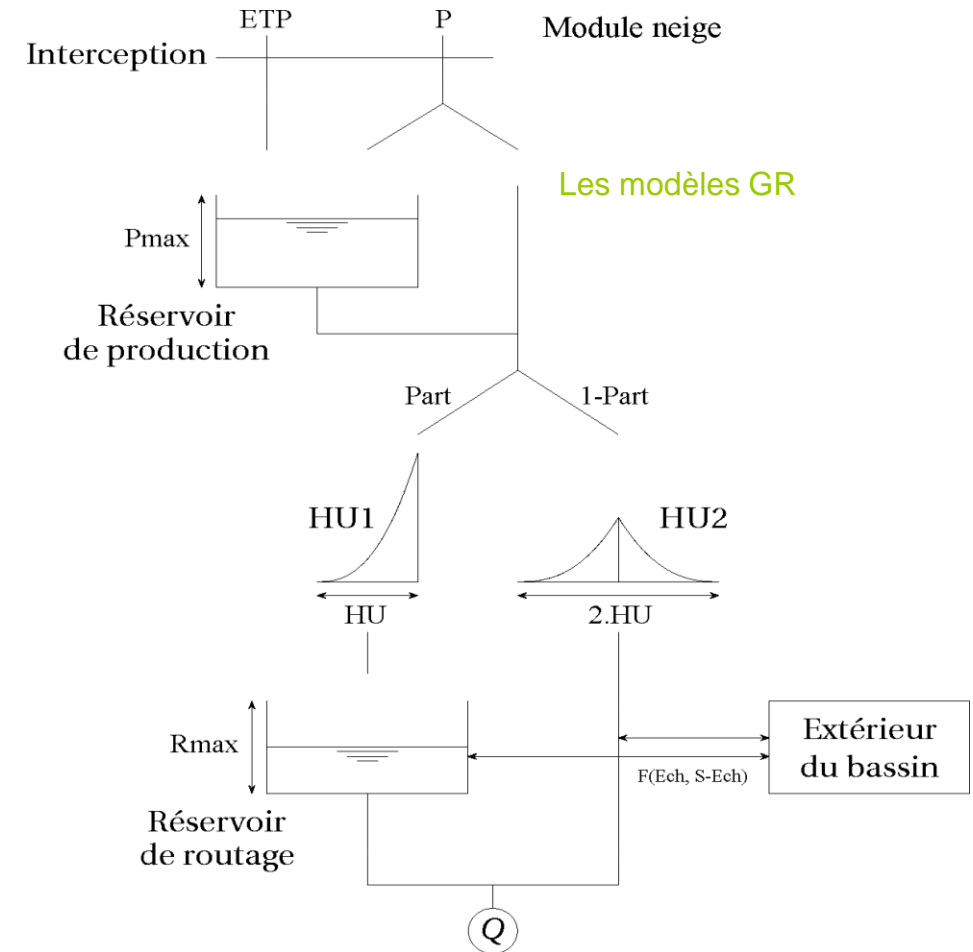


ii) Modèles 'physiques'

Modèle MIKE_SHE
<http://www.dhigroup.com/>

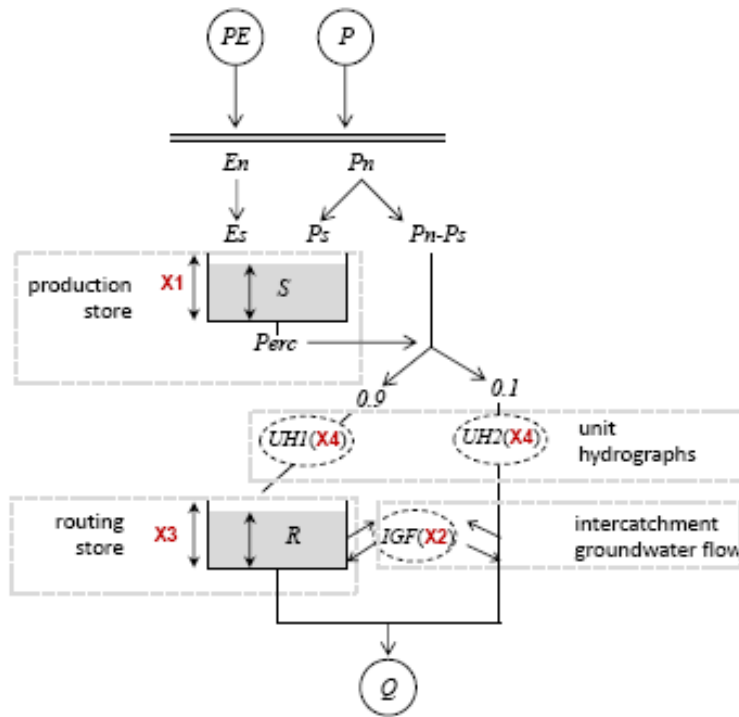


iii) Modèles conceptuels (« à réservoir ») et empiriques



➤ Le modèle GR4J

Fonctionnement du modèle GR4J

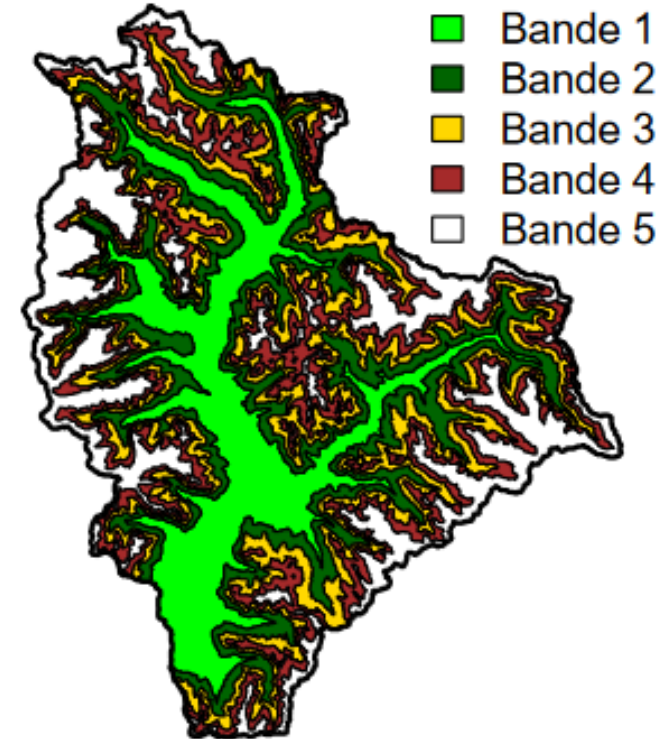
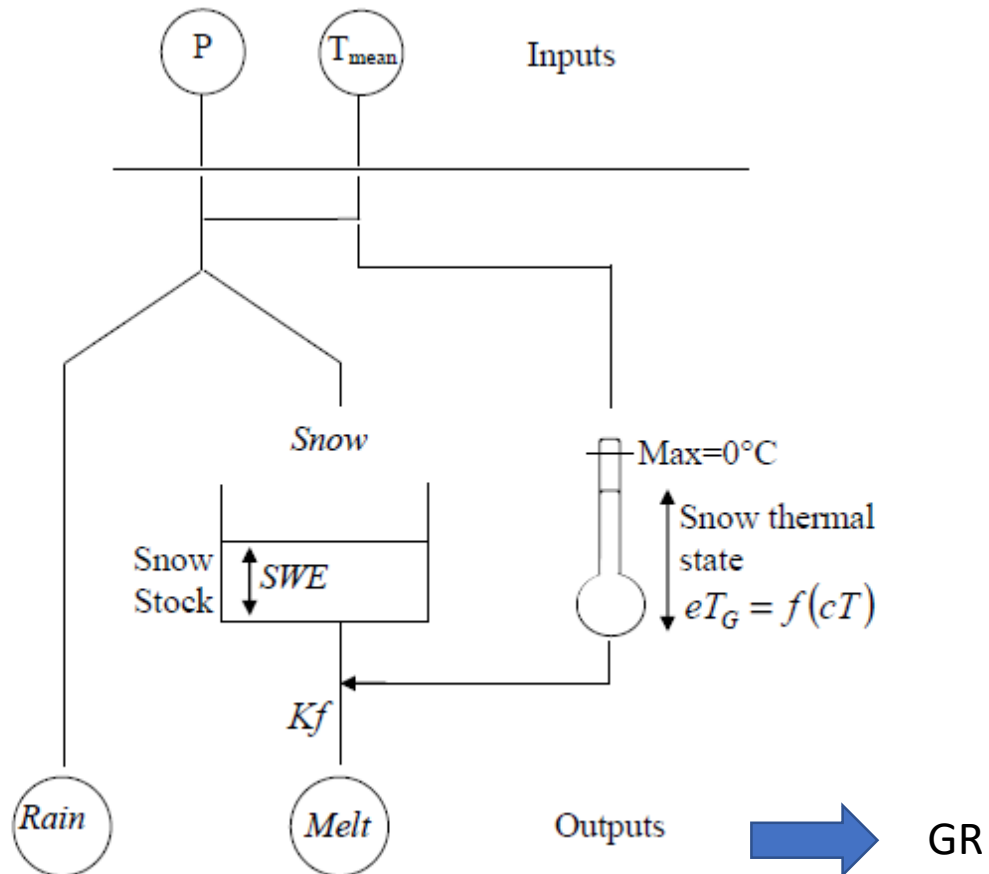


- Appartient à une famille de modèles développés depuis la fin des années 70
- Modèle fonctionnant à l'échelle du bassin versant agrégé (*simplification spatiale*), au pas de temps journalier (*simplification temporelle*), basé sur des réservoirs conceptuels avec 4 paramètres à optimiser (*simplification des processus*)
- GR4J ne prend pas en compte les macropores créés par les vers de terre... mais fournit néanmoins de très bonnes simulations des débits

Perrin, C., Michel, C. and Andréassian, V., 2003. Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. *Journal of Hydrology*, 279 : 275-289

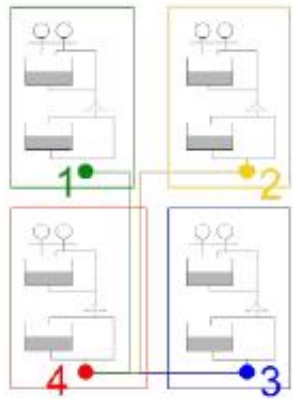
➤ Le modèle CemaNeige

CemaNeige = modèle d'accumulation et de fonte de la neige en amont de GR

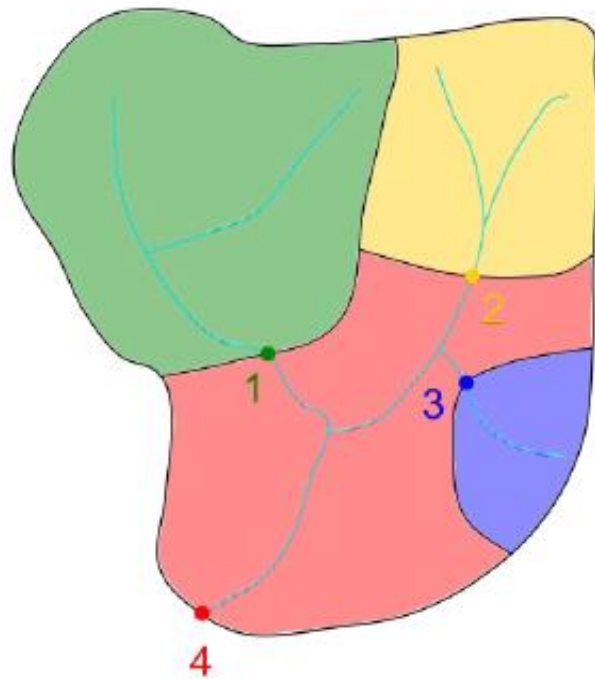


➤ Une modélisation GR désormais semi-distribuée

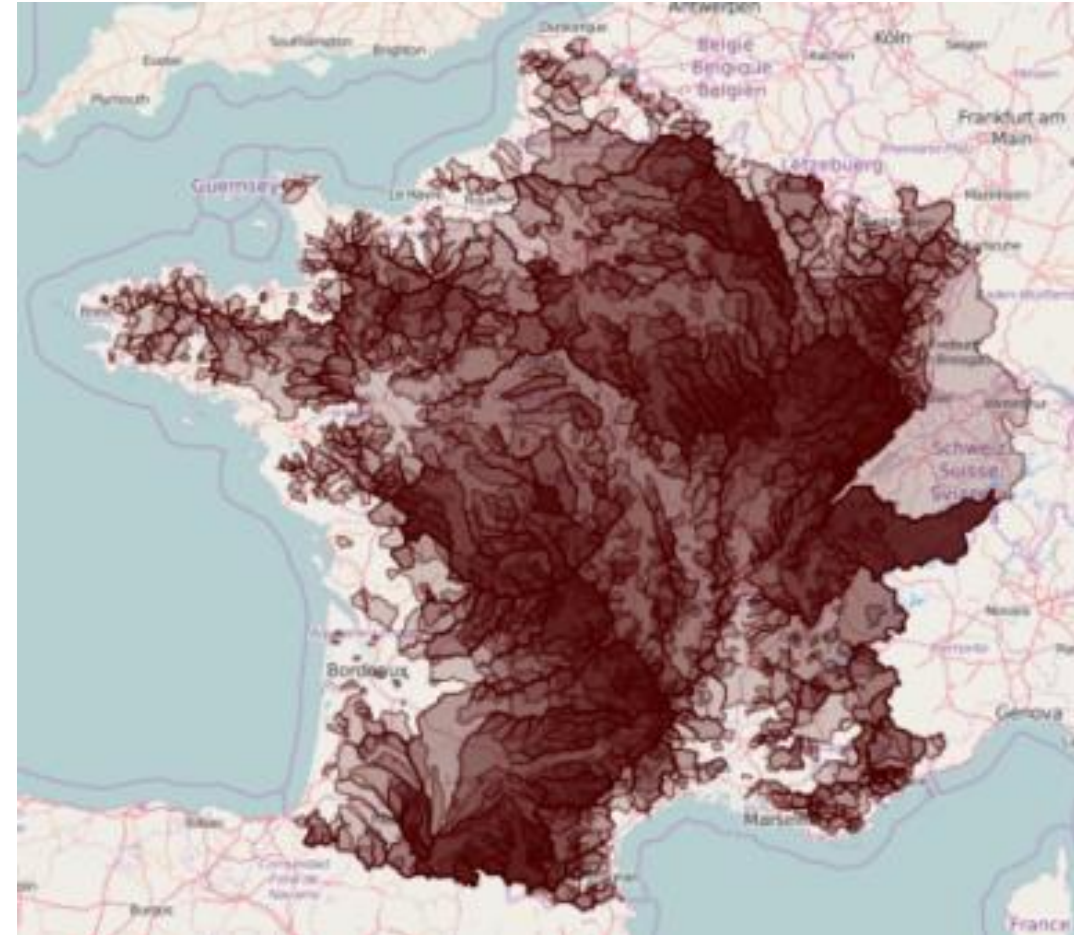
Pour une prise en compte plus fine des hétérogénéités spatiales



GRSD

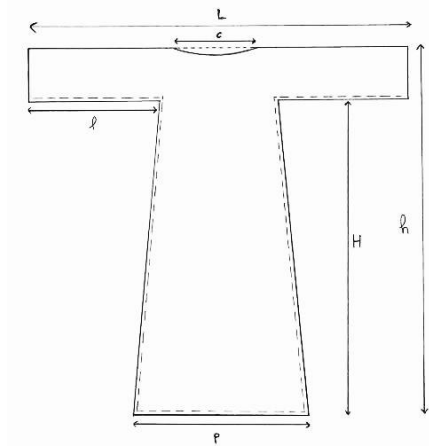


Exemple de bassin



➤ L'estimation des paramètres, une histoire de couture ?!

$\{c, l, L, h, H, p\}_1$



$\{c, l, L, h, H, p\}_2$



➤ Le choix de la mesure est basé sur les mensurations des personnes



Mon parcours

Activités de recherche de l'UR HYCAR et de l'équipe HYDRO

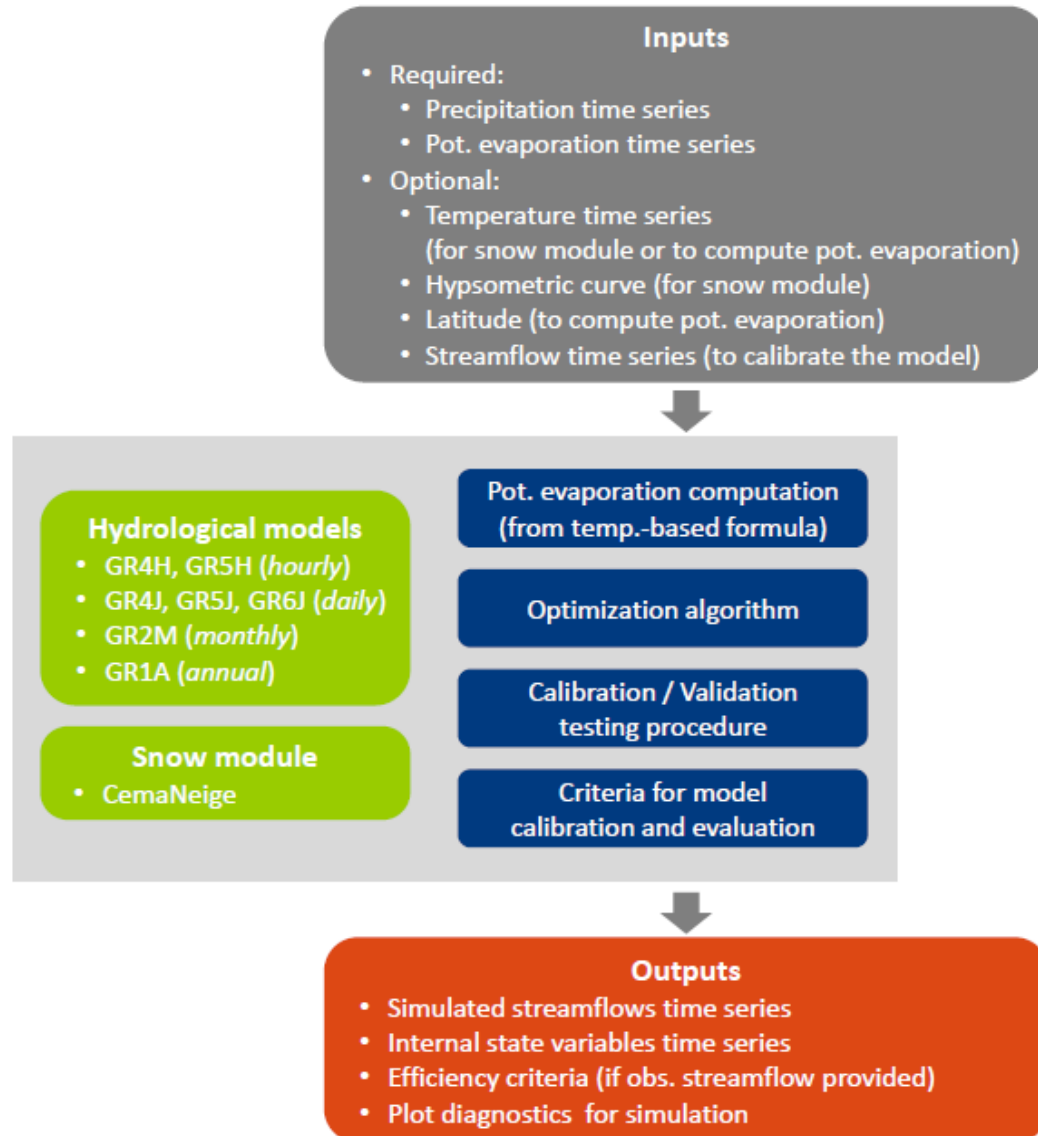
Les modèles hydrologiques GR

Mes travaux de recherche

- Des outils libres
- De la robustesse des modèles hydrologiques
- Une étude d'impact du changement climatique récemment achevée
- L'intégration des usages de l'eau : vers des stratégies d'adaptation au changement climatique

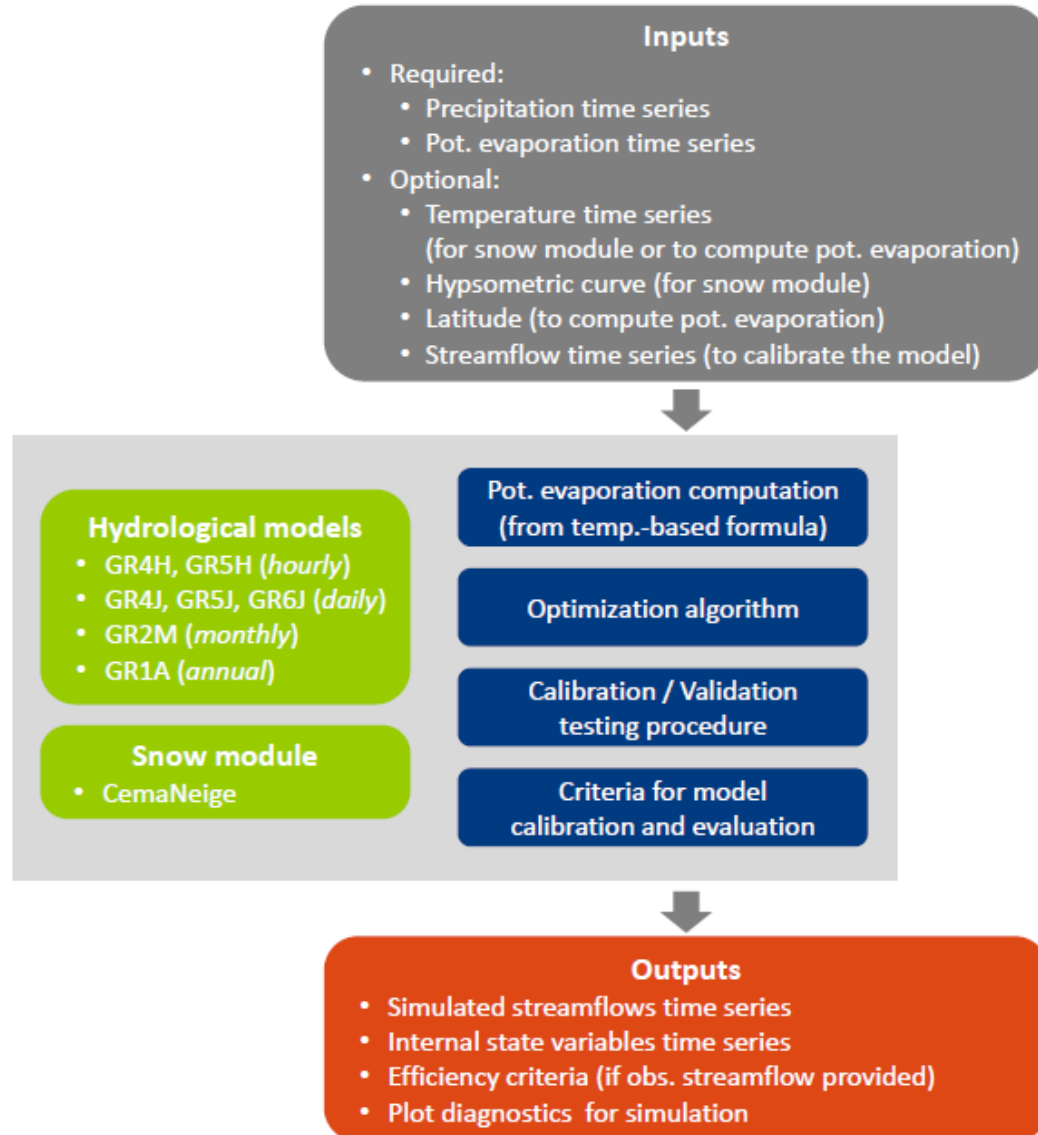
Quelle insertion potentielle au CESBIO ?

➤ Les modèles GR dans un package R, airGR



```
Console Terminal Background Jobs
R 4.2.1 · F:/data/guillaume/MOSARH21/30_GRS/R/ ↗
> library(airGR)
>
> ## loading catchment data
> data(L0123001)
>
> ## preparation of InputsModel object
> InputsModel <- CreateInputsModel(FUN_MOD = RunModel_GR4J, DatesR = BasinObs$DatesR,
+                               Precip = BasinObs$P, PotEvap = BasinObs$E)
>
> ## calibration period selection
> Ind_Run <- seq(which(format(BasinObs$DatesR, format = "%Y-%m-%d")=="1990-01-01"),
+               which(format(BasinObs$DatesR, format = "%Y-%m-%d")=="1999-12-31"))
>
> ## preparation of RunOptions object
> RunOptions <- CreateRunOptions(FUN_MOD = RunModel_GR4J, InputsModel = InputsModel,
+                               IndPeriod_Run = Ind_Run)
>
> ## calibration criterion: preparation of the InputsCrit object
> InputsCrit <- CreateInputsCrit(FUN_CRIT = ErrorCrit_NSE, InputsModel = InputsModel,
+                               RunOptions = RunOptions, Obs = BasinObs$Qmm[Ind_Run])
>
> ## preparation of CalibOptions object
> CalibOptions <- CreateCalibOptions(FUN_MOD = RunModel_GR4J, FUN_CALIB = Calibration_Michel)
>
> ## calibration
> OutputsCalib <- Calibration_Michel(InputsModel = InputsModel, RunOptions = RunOptions,
+                                   InputsCrit = InputsCrit, CalibOptions = CalibOptions,
+                                   FUN_MOD = RunModel_GR4J)
Grid-Screening in progress (0% 20% 40% 60% 80% 100%)
  Screening completed (81 runs)
  Param = 247.151, -0.020, 83.096, 2.384
  Crit. NSE[Q] = 0.7688
Steepest-descent local search in progress
  Calibration completed (21 iterations, 234 runs)
  Param = 257.238, 1.012, 88.235, 2.208
  Crit. NSE[Q] = 0.7988
```

➤ Les modèles GR dans un package R, airGR



airGR R packages constellation



➤ Interface d'airGRteaching

Dans le package ou en ligne sur <https://sunshine.irstea.fr/app/airGRteaching>

The interface is divided into several sections:

- Choose a dataset:** Low-land basin
- Choose a model:** Hydrological model: GR4J; Snow model: None
- Parameters values:**
 - X1 (production store capacity): 250 [mm]
 - X2 (intercatchment exchange coeff.): 0.96 [mm/d]
 - X3 (routing store capacity): 77 [mm]
 - X4 (unit hydrograph time constant): 2.2 [d]
- Automatic calibration:** Objective function: NSE [Q]; Model calibrated (checked)
- Choose a plot:** Model diagram
- Select the time window:** 1994-01-01 to 1998-12-31
- Select the target date:** 1994-01-01 to 1995-06-17
- Simulation Results:**
 - precip. [mm/d]: Time series plot from 1994 to 1998.
 - PET [mm/d]: Potential Evapotranspiration time series plot.
 - Flow [mm/d]: Streamflow time series plot.
 - Model Diagram:** Schematic showing water balance components: E (Evaporation), P (Precipitation), En (Evaporation from production store), Es (Evaporation from routing store), Pn (Precipitation on production store), Ps (Precipitation on routing store), Pn - Ps (Interception), Perc. (Percolation), Pr (Percolation to routing store), Q9 (Flow from production store), Q1 (Flow from routing store), Qr (Flow from routing store), Qd (Flow from routing store), and Q (Total flow).
 - Criteria Table:**

Criterion	Qsim
NSE [Q]	0.81
NSE [sqrt(Q)]	0.85
NSE [1/Q]	0.38
KGE [Q]	0.78
KGE [sqrt(Q)]	0.82
KGE [1/Q]	0.14
BIAS [Qsim/Qobs]	1.06
 - Show previous simulation (Qold):** No (selected)
 - Download sim. as csv** and **Download plot as png** buttons.

<https://doi.org/10.5194/hess-2022-421>
 Preprint. Discussion started: 2 January 2023
 © Author(s) 2023. CC BY 4.0 License.

airGRteaching: an open-source tool for teaching hydrological modeling with R

Olivier Delaigue^{1,*}, Pierre Brigode^{1,2,*}, Guillaume Thirel¹, and Laurent Coron³



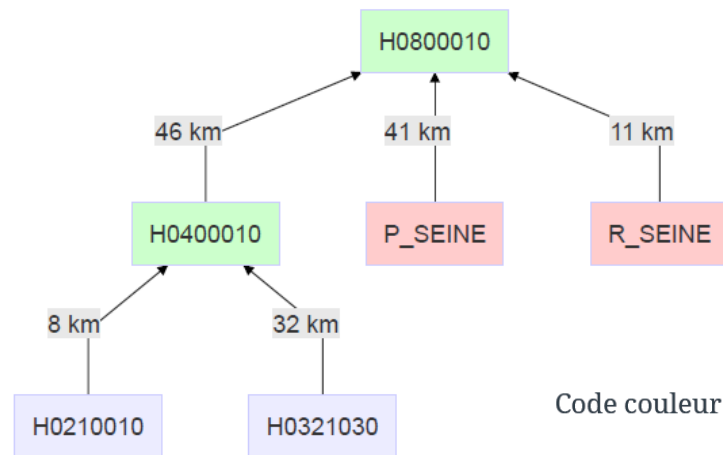
> airGRiwrM

Une extension d'airGR pour la gestion intégrée des ressources



Package implémenté par D. Dorchies, UMR G-EAU, INRAE

<http://airgriwrM.g-eau.fr/>



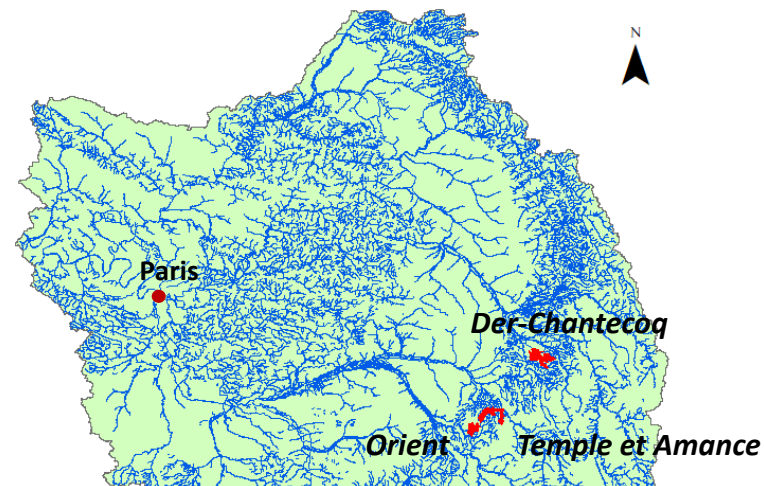
Code couleur:

- rouge pour un noeud d'entrée directe (pas de simulation hydrologique)
- bleu pour un noeud amont (modèle GR)
- vert pour noeud intermédiaire/aval (modèle GR + LAG)

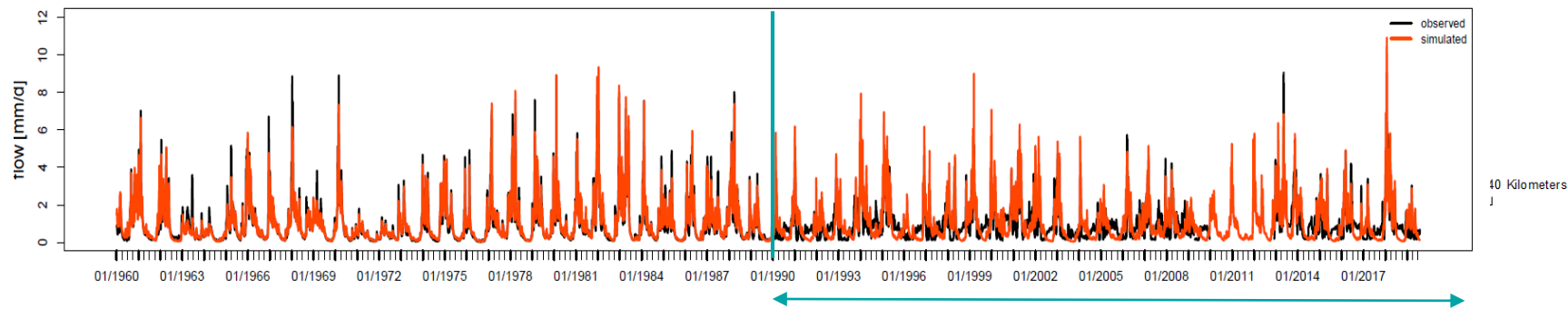
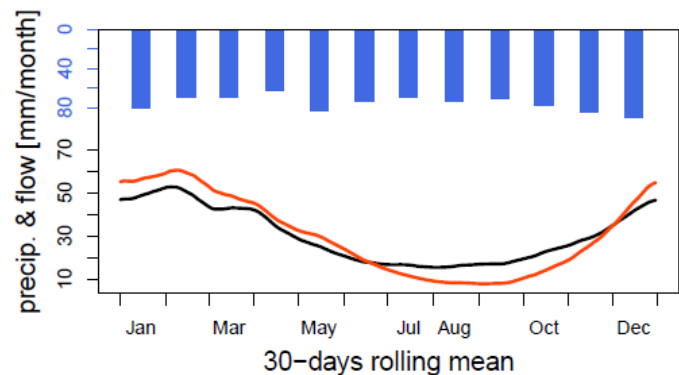
id	down	length	model	area
H0800010	NA	NA	RunModel_GR4J	3499.50
H0400010	H0800010	45.81	RunModel_GR4J	2340.37
H0210010	H0400010	7.86	RunModel_GR4J	1462.66
H0321030	H0400010	32.34	RunModel_GR4J	548.93
P_SEINE	H0800010	41.00	NA	NA
R_SEINE	H0800010	11.00	NA	NA

➤ Une première application sur la Seine

Stage de Laura Nunez Torres (2021)

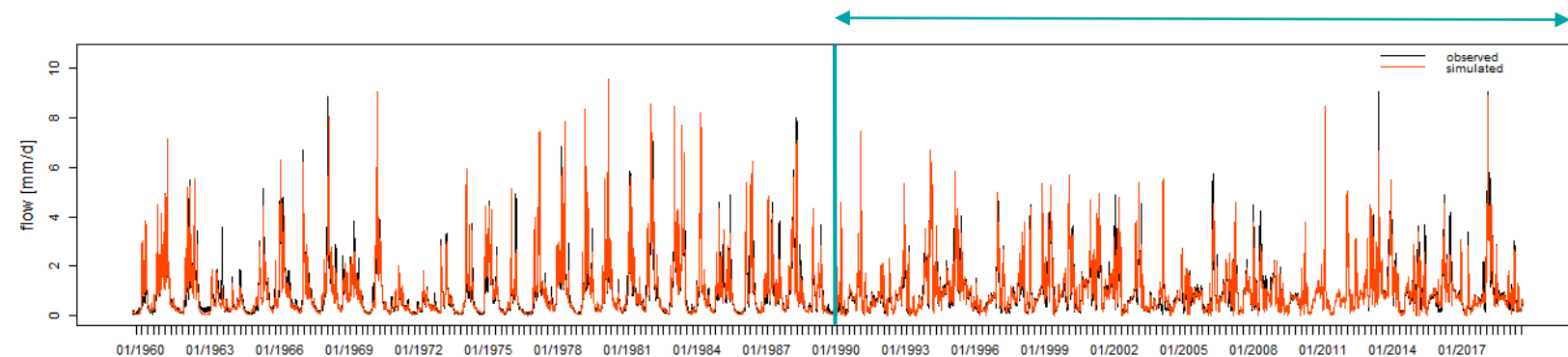
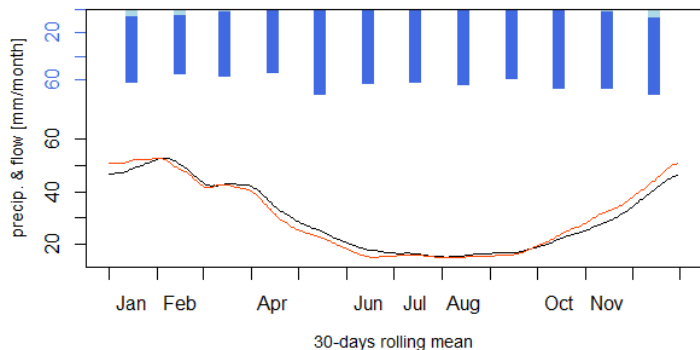


Modélisation sans intégration des lacs-réservoirs



Modélisation avec intégration des lacs-réservoirs

Mise en service des lacs-réservoirs Temple et Amance





Mon parcours

Activités de recherche de l'UR HYCAR et de l'équipe HYDRO

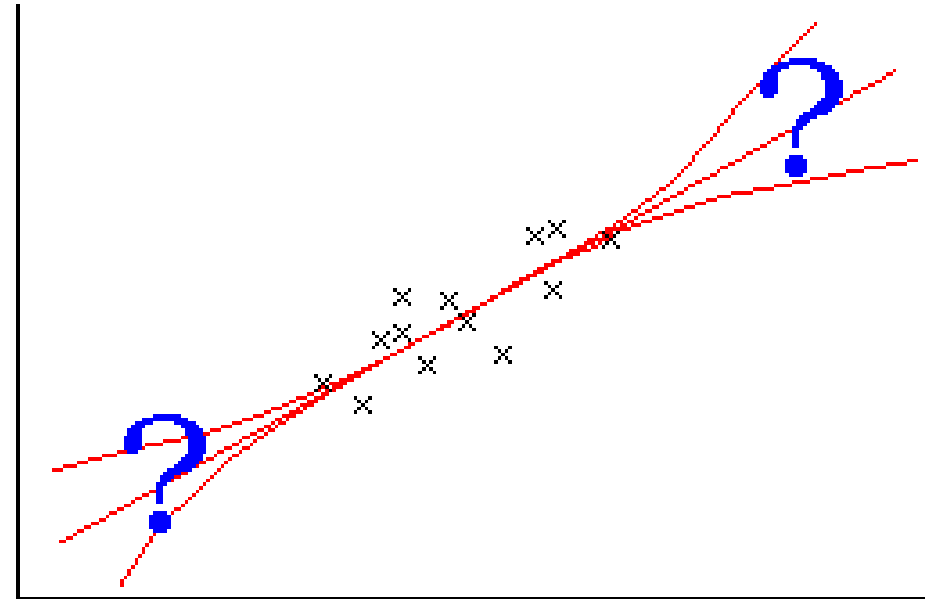
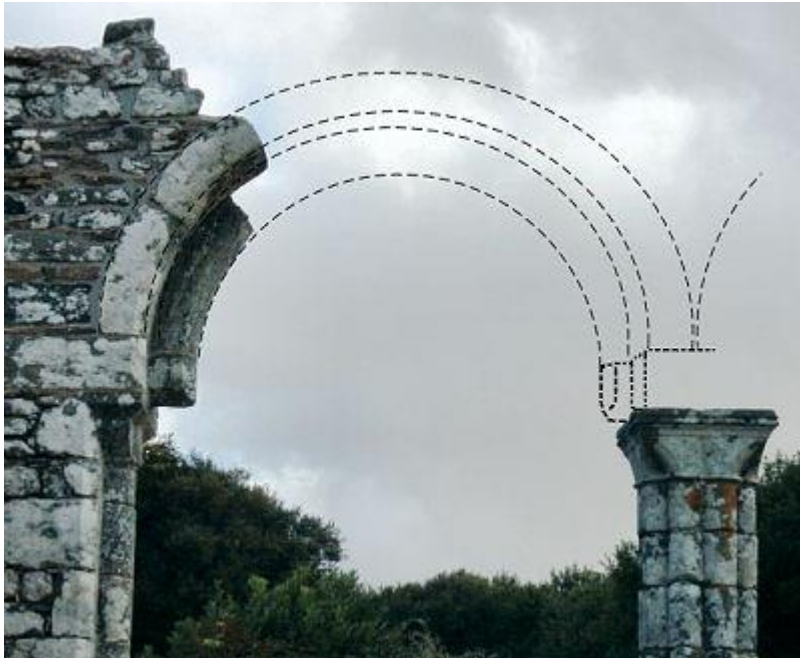
Les modèles hydrologiques GR

Mes travaux de recherche

- Des outils libres
- De la robustesse des modèles hydrologiques
- Une étude d'impact du changement climatique récemment achevée
- L'intégration des usages de l'eau : vers des stratégies d'adaptation au changement climatique

➤ L'extrapolation, une faiblesse connue...

... mais domaine d'application classique du modèle hydrologique



Hydrological Sciences Journal – Journal des Sciences Hydrologiques, 60 (7–8) 2015

<http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2015.1050027>

Special issue: *Modelling Temporally-variable Catchments*

1165

EDITORIAL

On the need to test hydrological models under changing conditions

Guillaume Thirel, Vazken Andréassian and Charles Perrin

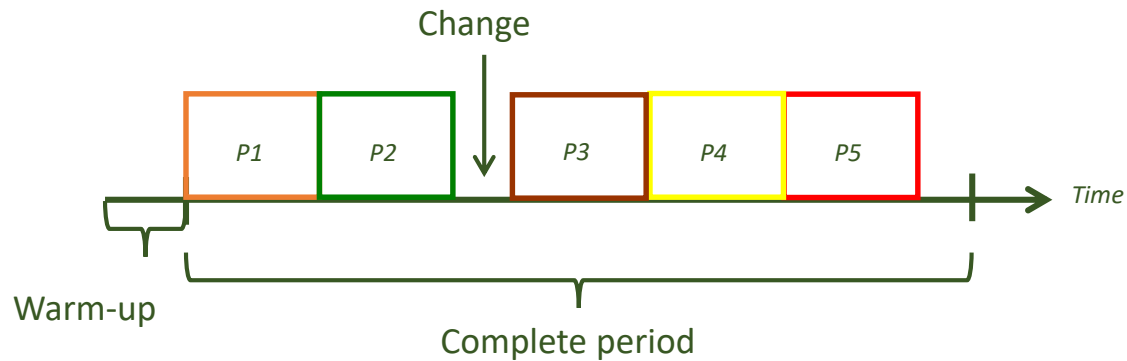


INRAE

Modélisation hydrologique et impacts du changement climatique

13 février 2023 / Séminaire AST ZC GET / Thirel Guillaume

➤ Mesure de la robustesse des modèles hydrologiques



i) Stratégies de calage-contrôle (un modèle doit perdre peu de performance en étant contrôlé sur une période indépendante pour être transférable)

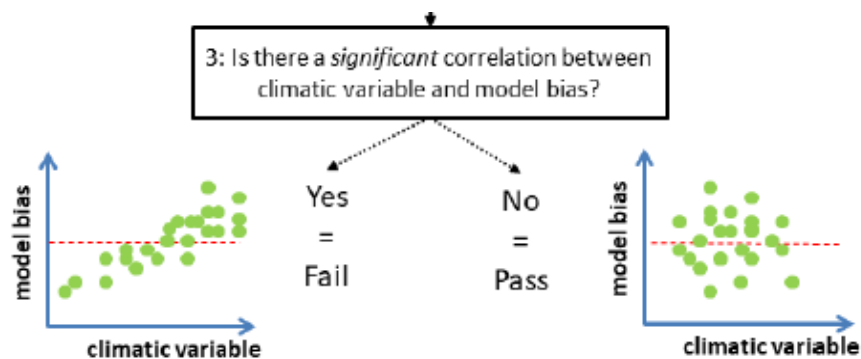
1184

Hydrological Sciences Journal – Journal des Sciences Hydrologiques, 60 (7–8) 2015
<http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2014.967248>
 Special issue: Modelling Temporally-variable Catchments

Hydrology under change: an evaluation protocol to investigate how hydrological models deal with changing catchments

G. Thirel¹, V. Andréassian¹, C. Perrin¹, J.-N. Audouy², L. Berthet², P. Edwards³, N. Folton⁴, C. Furusho¹, A. Kuentz^{1,5,6}, J. Lerat⁷, G. Lindström⁸, E. Martin⁹, T. Mathevet⁵, R. Merz¹⁰, J. Parajka¹¹, D. Ruelland¹² and J. Vaze¹³

ii) Analyses a posteriori de l'évolution des erreurs (il ne doit pas y avoir de dépendance au climat)



Hydrol. Earth Syst. Sci., 25, 5013–5027, 2021
<https://doi.org/10.5194/hess-25-5013-2021>
 © Author(s) 2021. This work is distributed under the Creative Commons Attribution 4.0 License.

Hydrology and Earth System Sciences
 Open Access EGU

Technical note: RAT – a robustness assessment test for calibrated and uncalibrated hydrological models

Pierre Nicolle^{1,a}, Vazken Andréassian¹, Paul Royer-Gaspard¹, Charles Perrin¹, Guillaume Thirel¹, Laurent Coron², and Léonard Santos¹

INRAE

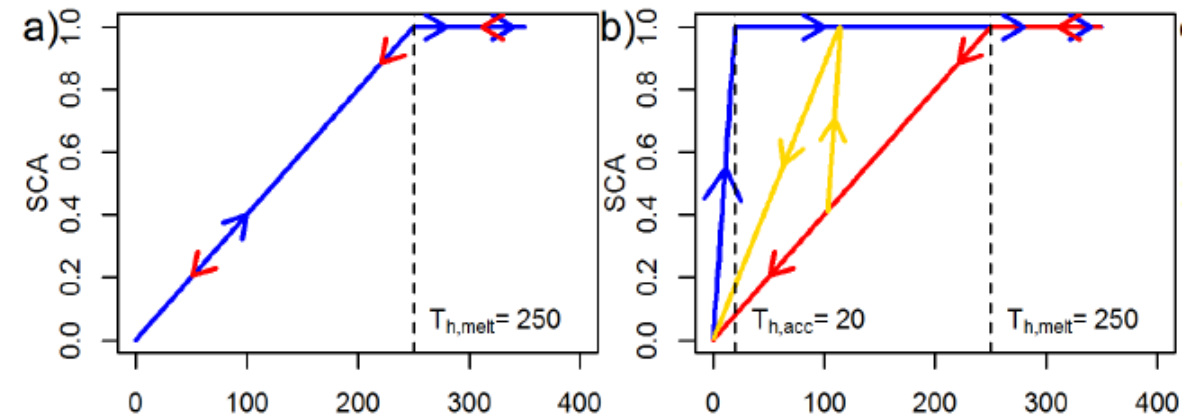
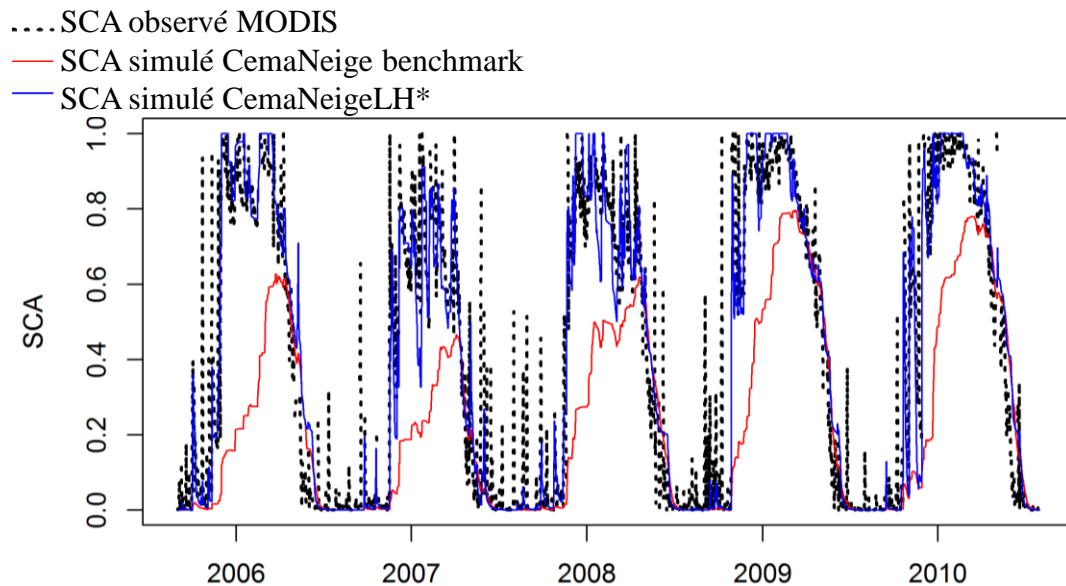
Modélisation hydrologique et impacts du changement climatique

13 février 2023 / Séminaire AST ZC GET / Thirel Guillaume

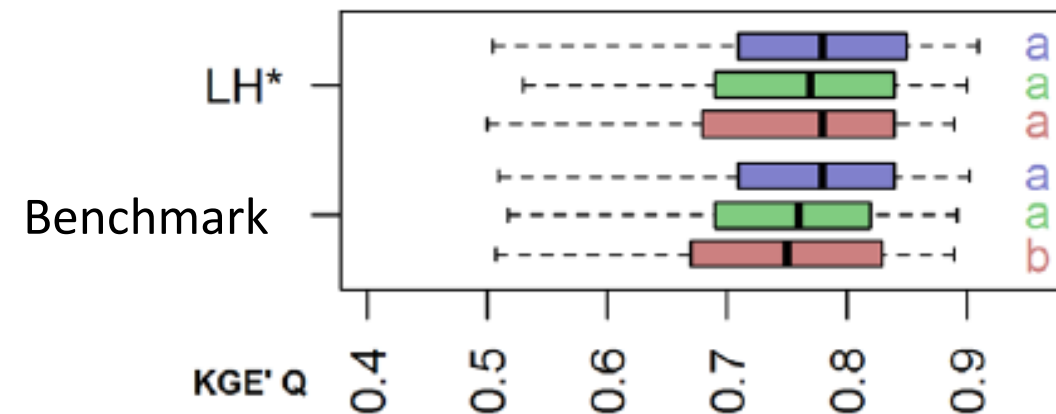
➤ Vers une amélioration des processus modélisés dans les modèles GR

Les données satellite : une source de données complémentaire aux débits

- Etape 1 = modification du modèle
- Etape 2 = calage avec SCA MODIS + débits



Performance Débits



INRAE

Modélisation hydrologique et impacts du changement climatique

13 février 2023 / Séminaire AST ZC GET / Thirel Guillaume

Revisiting a simple degree-day model for integrating satellite data:
 implementation of SWE-SCA hystereses

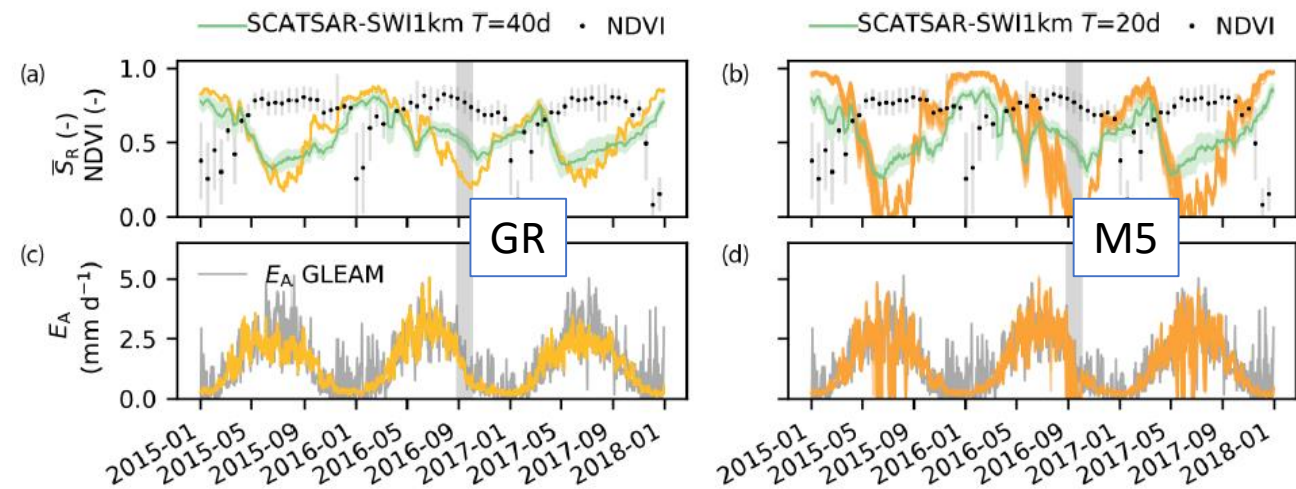
Philippe Riboust^{1,2*}, Guillaume Thirel², Nicolas Le Moine¹, Pierre Ribstein¹

➤ Vers une amélioration des processus modélisés dans les modèles GR

Les données satellitaires : une source de données complémentaire aux débits

Comparaison de variables de 12 modèles hydrologiques avec données satellites :

- Evaporation GLEAM
- SCA MODIS
- Humidité du sol SCATSAR-SWI1km
- Contenu en eau total GRACE



Forte variabilité entre les modèles malgré des débits similaires

GR plutôt cohérent avec les données satellitaires

Hydrol. Earth Syst. Sci., 25, 1069–1095, 2021
<https://doi.org/10.5194/hess-25-1069-2021>
© Author(s) 2021. This work is distributed under
the Creative Commons Attribution 4.0 License.

Behind the scenes of streamflow model performance

Laurène J. E. Bouaziz^{1,2}, Fabrizio Fenicia³, Guillaume Thirel⁴, Tanja de Boer-Euser¹, Joost Buitink⁵,
Claudia C. Brauer⁵, Jan De Niel⁶, Benjamin J. Dewals⁷, Gilles Drogue⁸, Benjamin Grellier⁸,
Sotirios Moustakas⁹, Jiri Nossent^{9,10}, Fernando Pereira⁹, Eric Sprokkereef¹¹, Jasmijn
Patrick Willems^{6,10}, Hubert H. G. Savenije¹, and Markus Hrachowitz¹

Hydrology and
Earth System
Sciences





Mon parcours

Activités de recherche de l'UR HYCAR et de l'équipe HYDRO

Les modèles hydrologiques GR

Mes travaux de recherche

- Des outils libres
- De la robustesse des modèles hydrologiques
- Une étude d'impact du changement climatique récemment achevée
- L'intégration des usages de l'eau : vers des stratégies d'adaptation au changement climatique

➤ Le projet CHIMERE 21

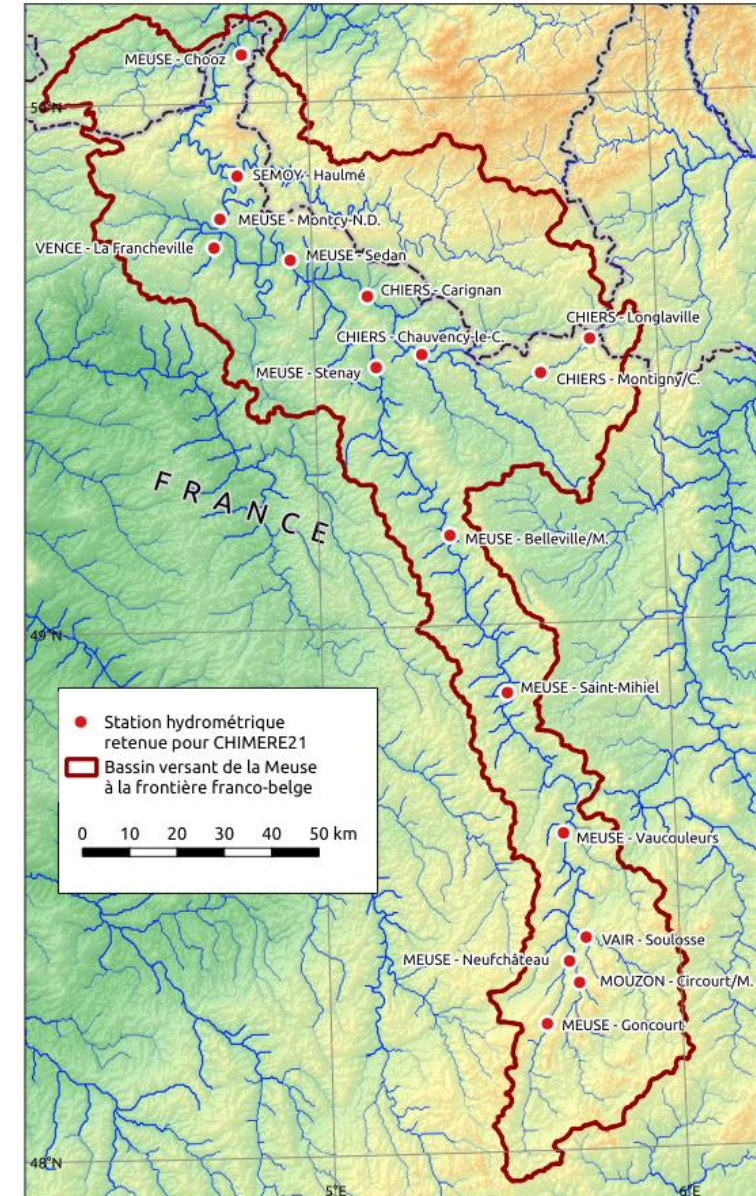
Chiers - Meuse : Evolution du RégimE Hydrologique au 21^e siècle

Thème du projet : Etude de l'impact du changement climatique sur les débits de la Chiers et de la Meuse

Partenaires : INRAE (anciennement Irstea), Météo-France, EDF, Université de Lorraine, DREAL Grand-Est

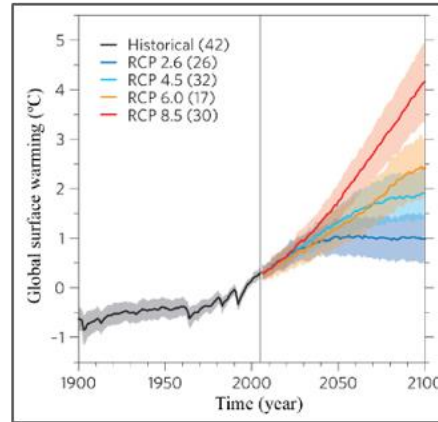
Durée du projet : 2017-2021

Financement : Agence de l'Eau Rhin-Meuse



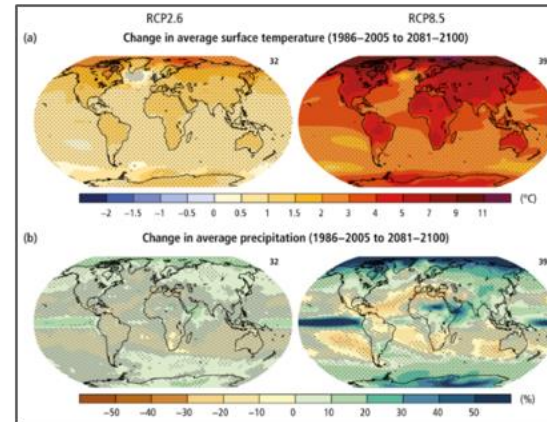
➤ La chaîne de modélisation de l'impact du changement climatique

RCPs



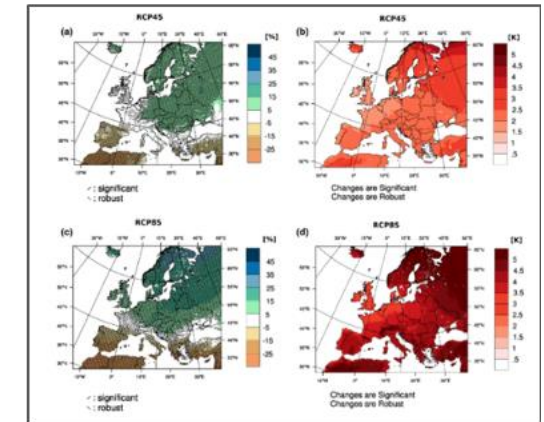
Source : Knutti and Sedláček (2013)

GCMs



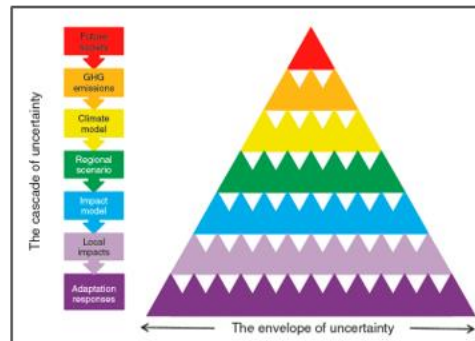
Source : Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects

RCMs



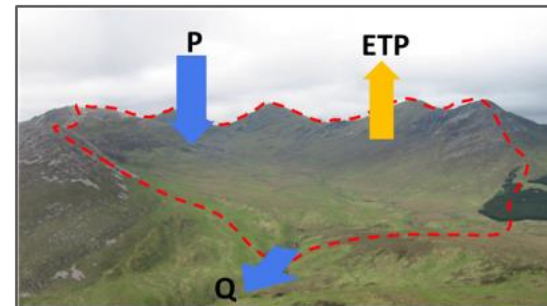
Source : Jacob et al., 2013

Cascade d'incertitude



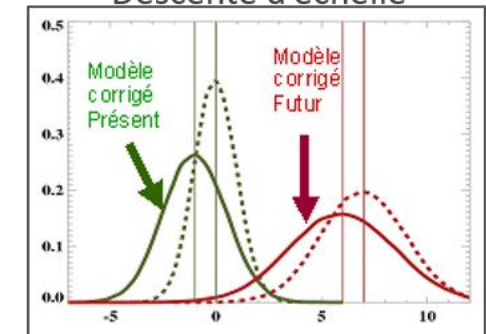
Wilby and Dessai (2010)

Modélisation hydrologique



Echelle d'étude : le bassin versant

Corrections de biais/
Descente d'échelle



Source : Drias. Exemple méthode quantile-quantile



INRAE

Modélisation hydrologique et impacts du changement climatique

13 février 2023 / Séminaire AST ZC GET / Thirel Guillaume

➤ Le changement climatique sur le bassin de la Meuse

Evolution climatique saisonnnière sur le bassin de la Meuse :

Forte incertitude

Été (tous modèles et RCP)	Températures	Précipitations	Hiver (tous modèles et RCP)	Températures	Précipitations
Futur proche	+0,4 à +1,2 °C	-14 à +23 %	Futur proche	+0,8 à +1,5 °C	+1 à +35 %
Futur moyen	+1,3 à +3,1 °C	-26 à +15 %	Futur moyen	+1,3 à +2,9 °C	+15 à +47 %
Futur lointain	+1 à +4,4 °C	-39 à +21 %	Futur lointain	+1,8 à +4,4 °C	+18 à +57 %

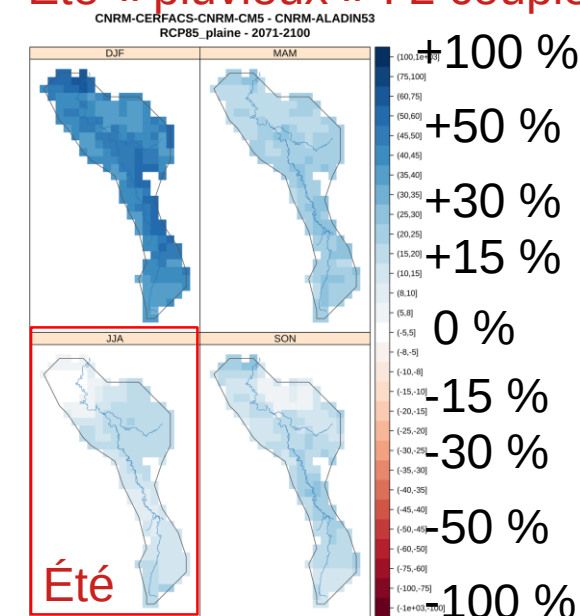
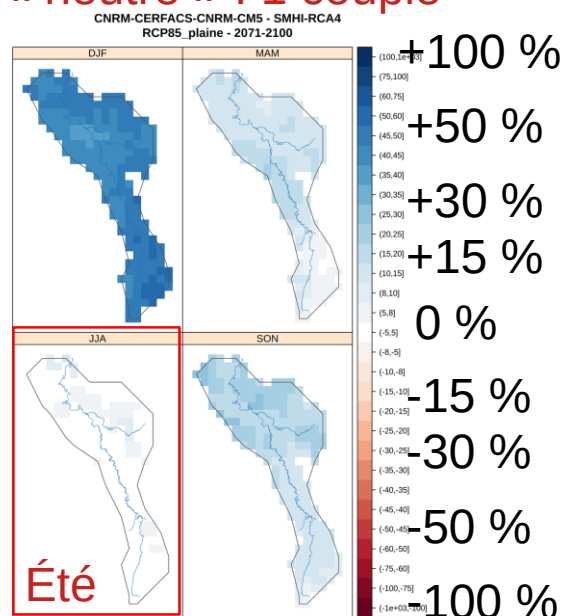
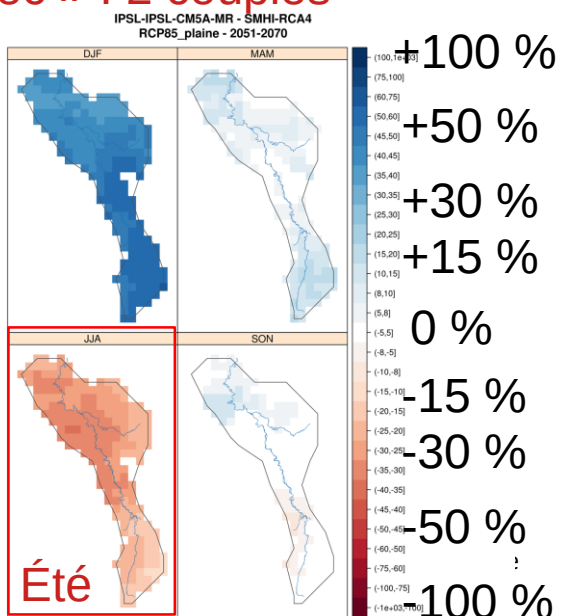
Été « sec » : 2 couples

Été « neutre » : 1 couple

Été « pluvieux » : 2 couples

Futur lointain
RCP8.5

Écarts par rapport à la
Période historique



INRAE

Modélisa

13 février

➤ Modélisation hydrologique

Quatre modèles hydrologiques pour la prise en compte de l'incertitude liée aux modèles

Nécessité d'utiliser plusieurs modèles hydrologiques, car les projections hydrologiques peuvent dépendre du modèle

Quatre modèles hydrologiques :



Conceptuel
Semi-distribué
(sous-bassins)



Conceptuel
Semi-distribué
(sous-bassins)



Conceptuel
Global

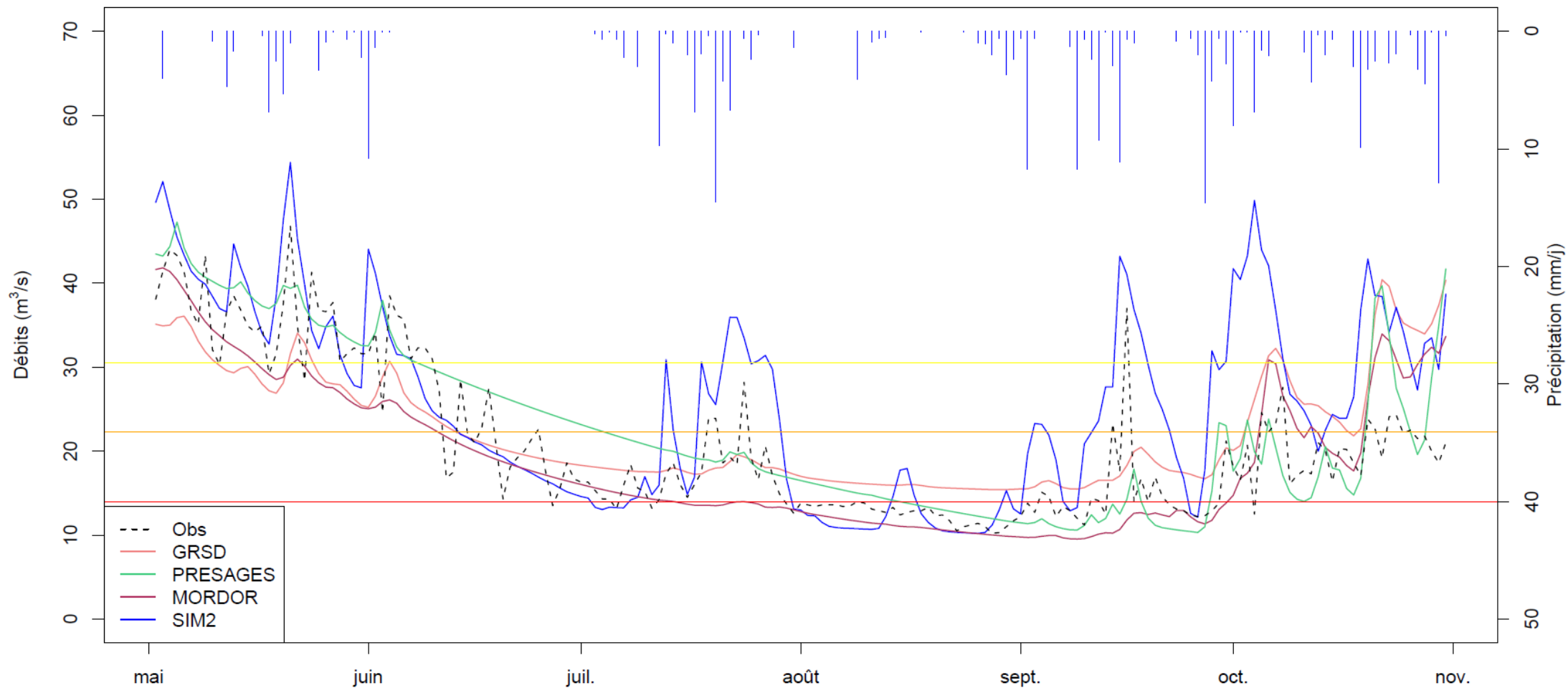


A bases physiques
Distribué
(grille régulière)

INRAE

➤ Focus sur la sécheresse de 1976

Sécheresse de 1976 pour La Meuse à Chooz [Trou du Diable]



➤ Régimes futurs

RCP 8.5, Horizon 2071-2100

Régimes futurs à Chooz (frontière belge)

Large augmentation des débits
durant la période de forts débits

Large incertitude sur l'évolution
des étiages

Autres stations :

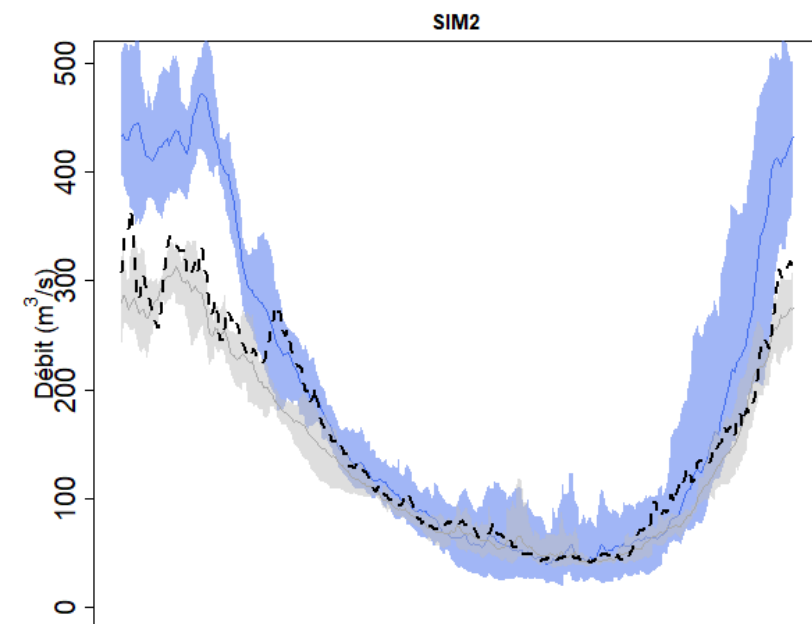
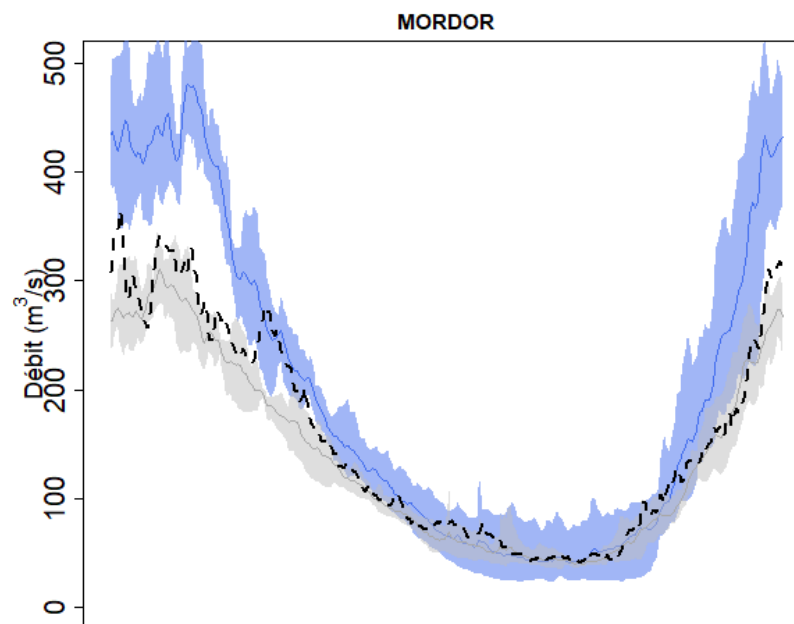
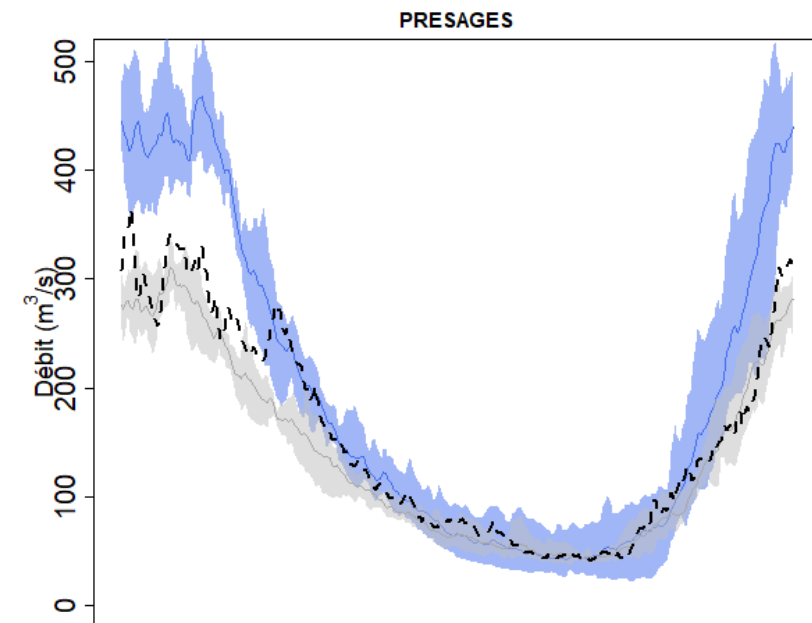
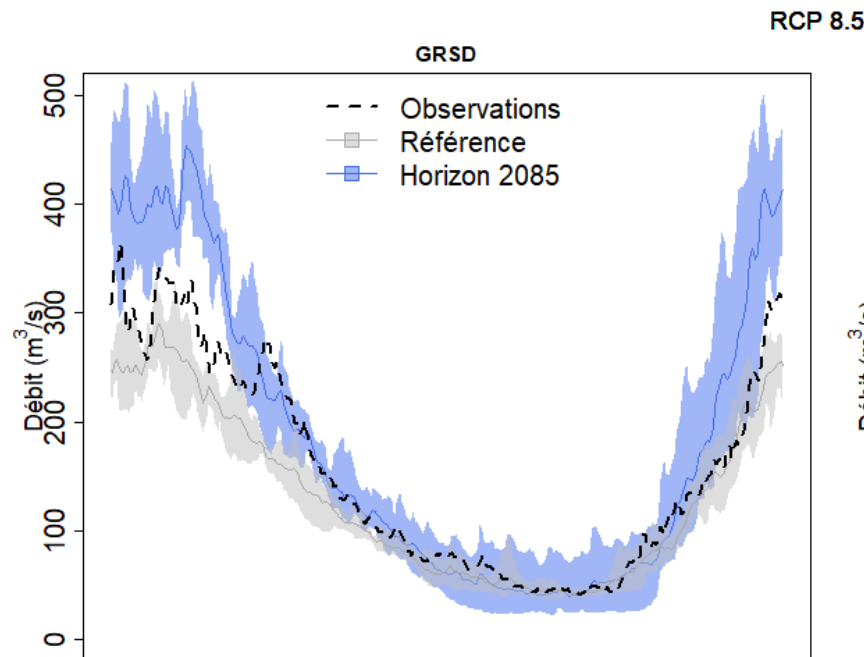
Augmentation des crues en aval

Intensification des étiages en
amont

INRAE

Modélisation hydrologique et impacts du changement clim

13 février 2023 / Séminaire AST ZC GET / Thirel Guillaume



➤ Hiérarchie des incertitudes pour les bas débits

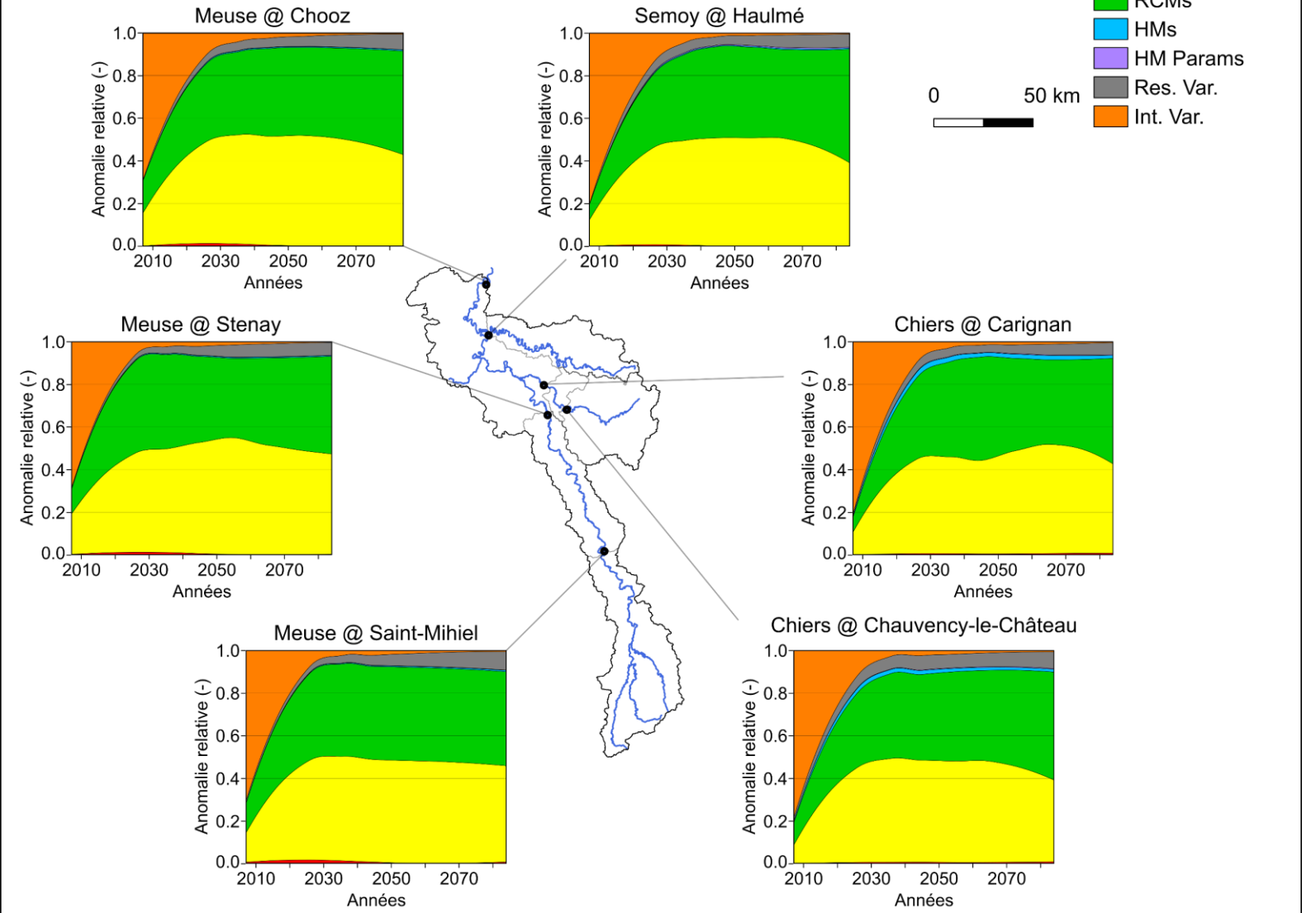
Indicateur = VCN3

La variabilité interne domine pour le futur proche

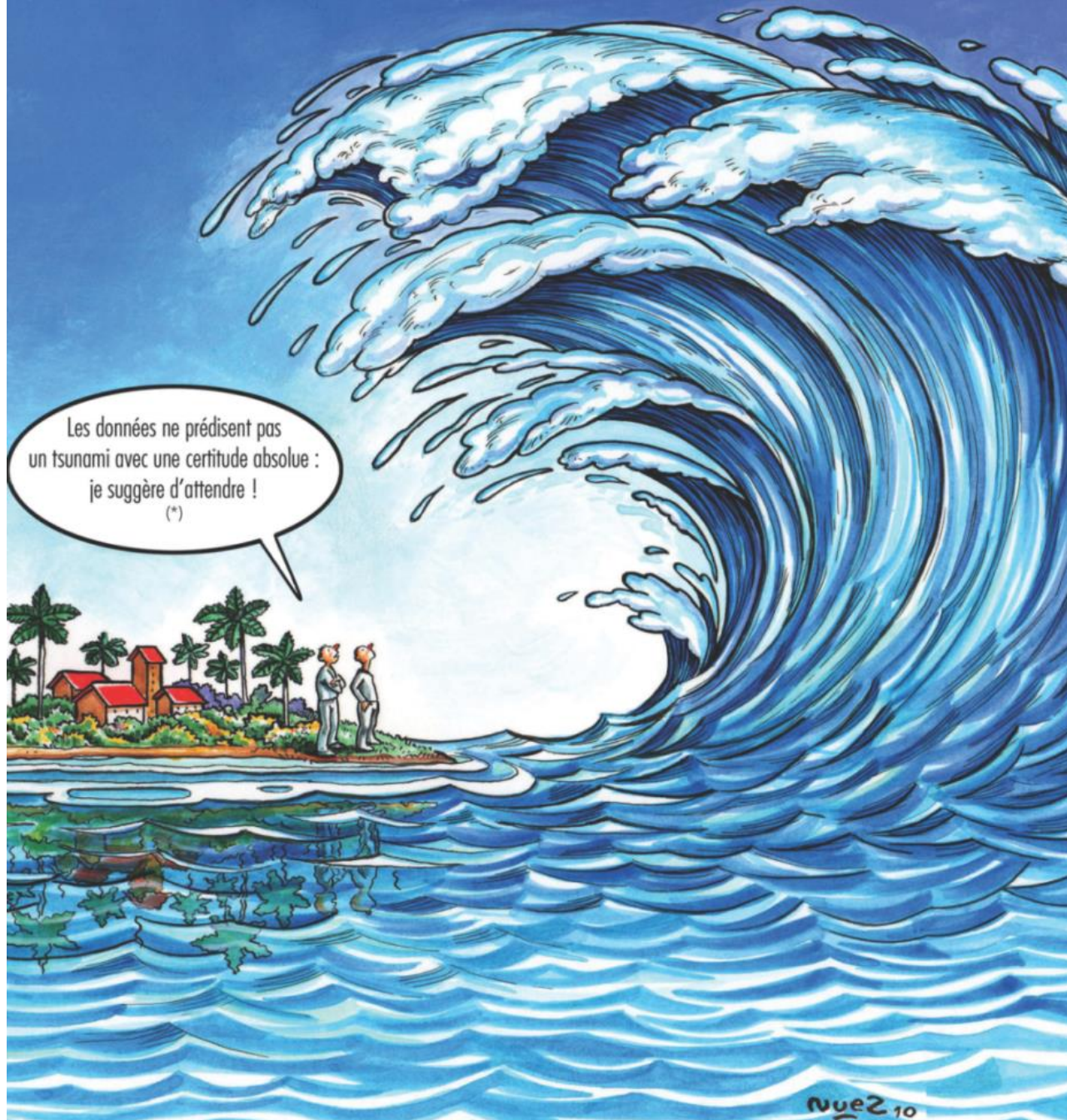
GCMs et RCMs dominent ensuite

Les autres sources restent limitées

Hiérarchisation d'incertitude : étiages



➤ Les incertitudes
n'empêchent
pas d'agir !



Source : Union of Concerned Scientists

➤ « Suites » du projet : Explore2

Volet « Accompagnement des utilisateurs »

Deux comités d'utilisateurs (COUT)

COUT Métropole
MTE, MAA, OFB, AE, DREAL, DDT, bureaux d'études, collectivités

COUT Outre-mer
MTE, MOM, OFB, ODE, DEAL, collectivités

Supports de communication, formations
Réflexion sur le format de présentation des données et leur accès
Recensement des besoins en données et en information dans les Outre-mer
➔ MOOC pour expliquer les résultats du projet (notions scientifiques sur le changement climatique, bonne utilisation des résultats des simulations, etc.)

Volet scientifique

Coordination des simulations (sélection des projections, des variables d'intérêt, des points de simulation, etc.)

Bilan des connaissances en France métropolitaine et dans les Outre-mer

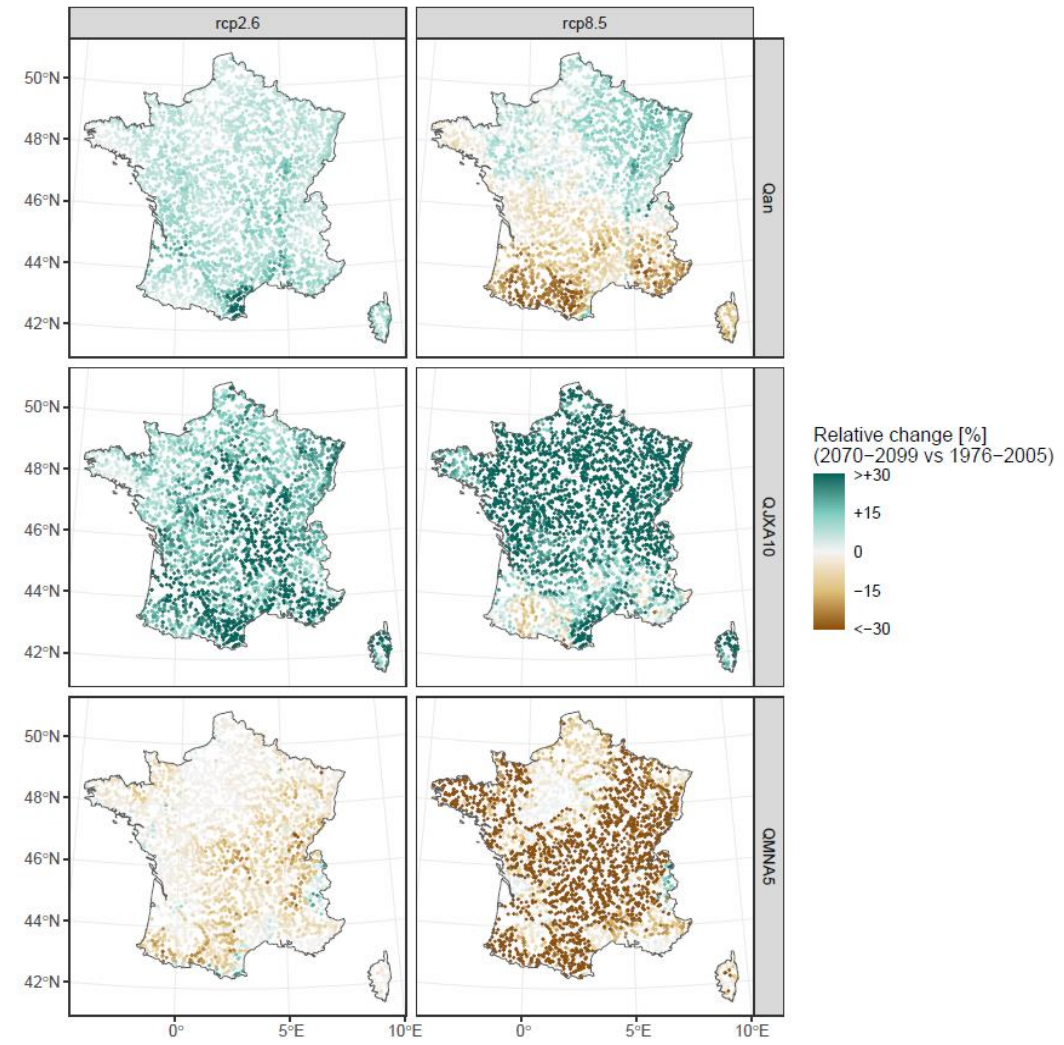
➔ Rapports de synthèse, séries temporelles de variables climatiques et hydrologiques, calcul d'indicateurs statistiques pour la gestion de l'eau

Projections climatiques

Incertitudes

Projections hydrologiques surface et souterrain

Extrêmes, Outre-mer, prospective scientifique



Projet national ; mise à jour d'Explore 2070

Financement MTES + OFB

- Production de projections climatiques sur la France (cf Drias 2020)
- Production de projections hydrologiques sur 4000 points de simulation

Informations sur Explore2 : <https://professionnels.ofb.fr/fr/node/1244>

Résultats préliminaires !





Mon parcours

Activités de recherche de l'UR HYCAR et de l'équipe HYDRO

Les modèles hydrologiques GR

Mes travaux de recherche

- Des outils libres
- De la robustesse des modèles hydrologiques
- Une étude d'impact du changement climatique récemment achevée
- L'intégration des usages de l'eau : vers des stratégies d'adaptation au changement climatique

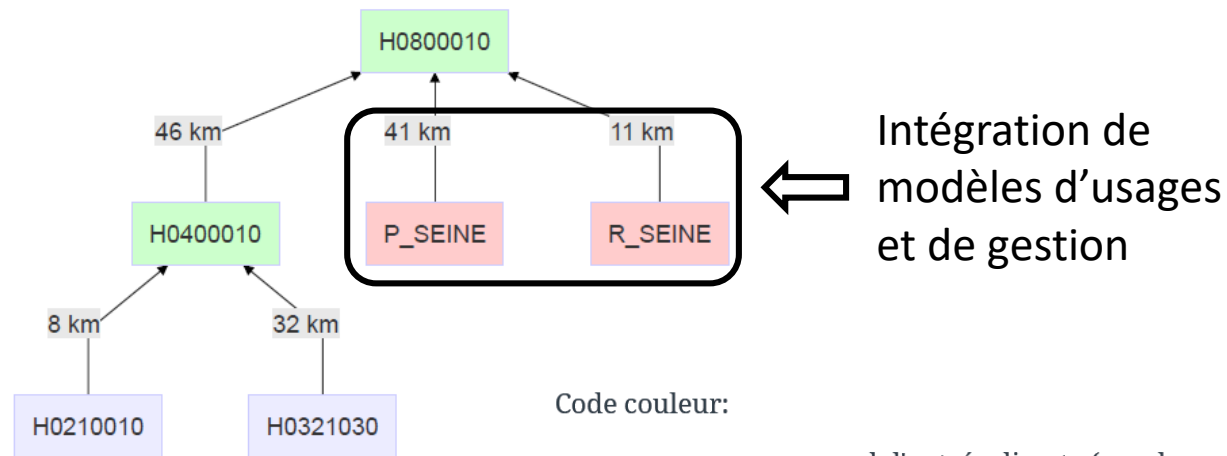
> airGRiwrM

Une extension d'airGR pour la gestion intégrée des ressources



Package implémenté par D. Dorchies, UMR G-EAU, INRAE

<http://airgriwrM.g-eau.fr/>



Code couleur:

- rouge pour un noeud d'entrée directe (pas de simulation hydrologique)
- bleu pour un noeud amont (modèle GR)
- vert pour noeud intermédiaire/aval (modèle GR + LAG)

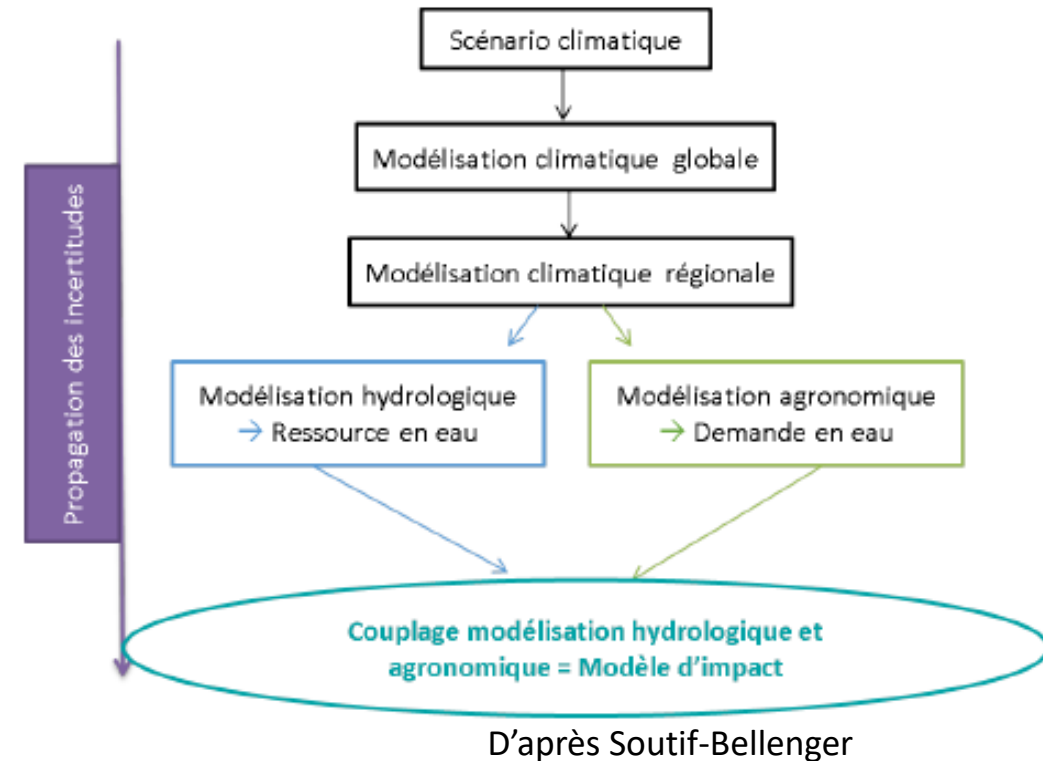
id	down	length	model	area
H0800010	NA	NA	RunModel_GR4J	3499.50
H0400010	H0800010	45.81	RunModel_GR4J	2340.37
H0210010	H0400010	7.86	RunModel_GR4J	1462.66
H0321030	H0400010	32.34	RunModel_GR4J	548.93
P_SEINE	H0800010	41.00	NA	NA
R_SEINE	H0800010	11.00	NA	NA

➤ Stratégies d'adaptation au changement climatique

Thèses de Thibault Lemaitre-Basset et Myriam Soutif—Bellenger + projet HMUC + collab. D. Dorchies

• Objectifs :

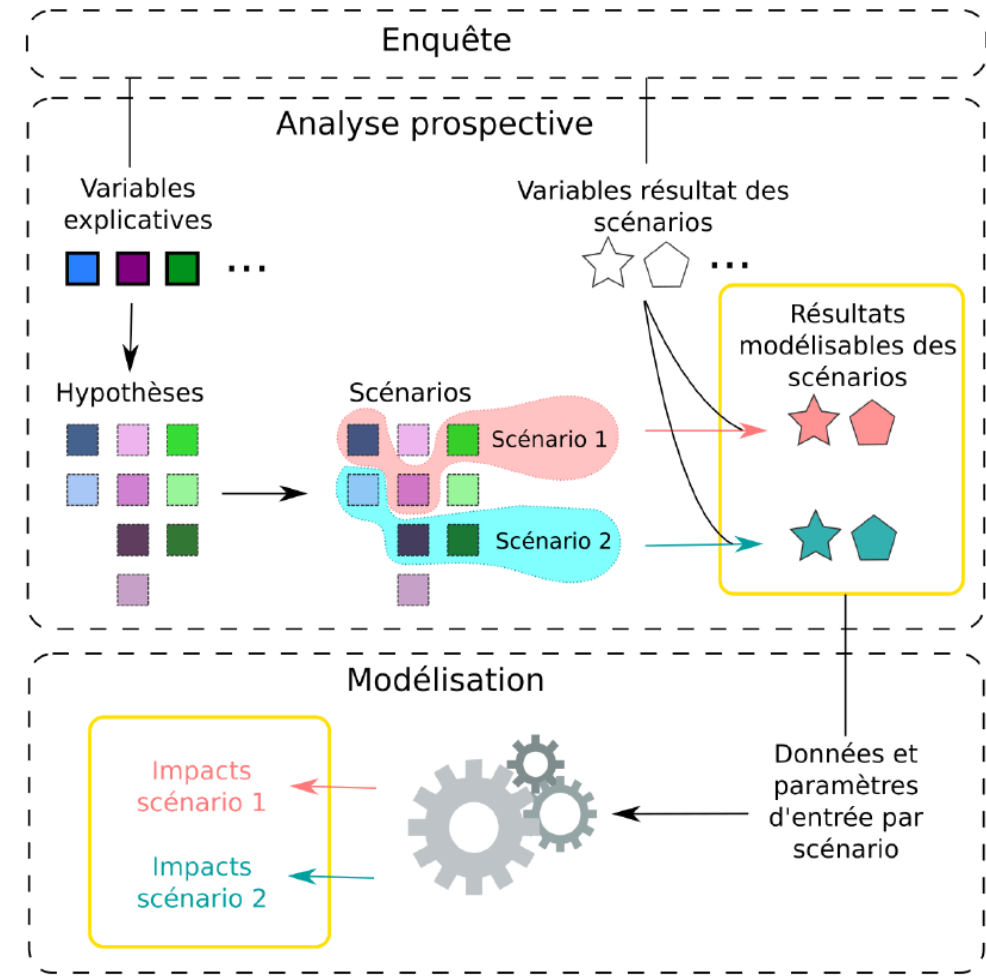
- Implémenter des modèles d'usage de l'eau (irrigation, navigation, alimentation en eau potable, énergie, lacs-réservoirs...)
- Mettre en place une modélisation intégrée (i.e. le prélèvement n'est réalisé que si certaines règles sont respectées, et le débit simulé est impacté par le prélèvement)
- Tester des stratégies d'adaptation au changement climatique



➤ Stratégies d'adaptation au changement climatique

Contenu des thèses

- **Thèse de Myriam Soutif-Bellenger** (2020-2023, encadrant principal) sur le volet agricole :
 - Analyse de modélisations agronomiques contrastées (CropWat et MAELIA)
 - Cas d'étude : Aveyron aval et Seille
 - En cours : couplage agro-hydro, étude de la vulnérabilité des ressources en eau pour l'agriculture, étude de stratégies d'adaptation, entretiens semi-directifs avec les acteurs
- **Thèse de Thibault Lemaitre-Basset** (2019-2023, co-encadrant principal avec Ludovic Oudin, Sorbonne Université) sur les volets domestique et industriel :
 - Cas d'étude : Moselle
 - Effectué : couplage, étude de la vulnérabilité des ressources en eau, étude de stratégies d'adaptation
 - Soutenance le 29/03 à Jussieu (Paris)



D'après Soutif-Bellenger



INRAE

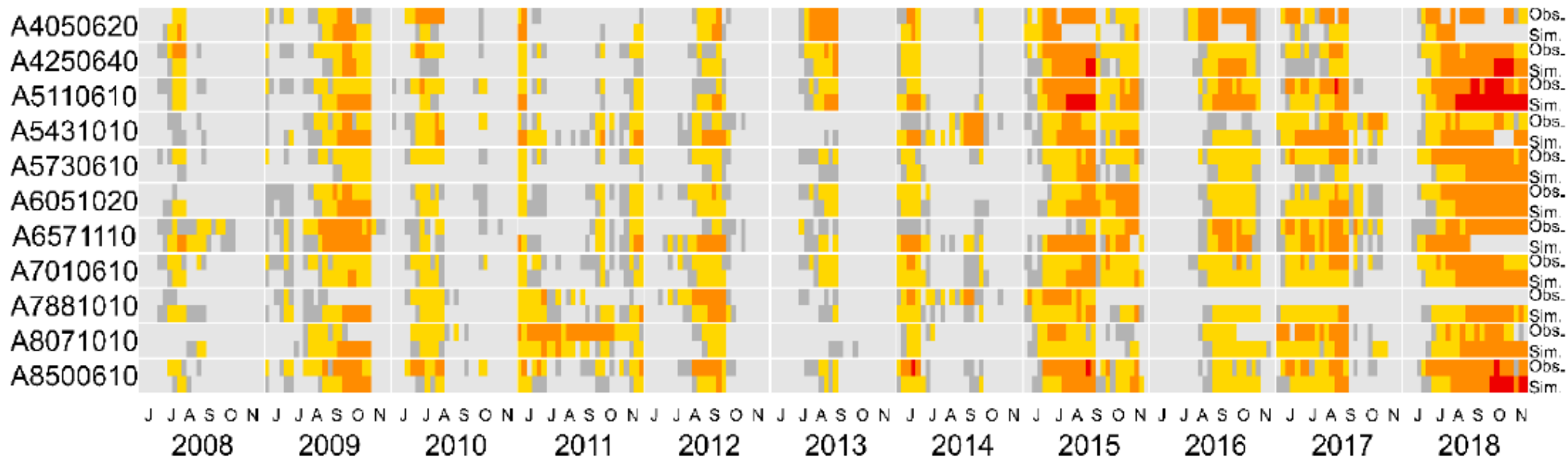
Modélisation hydrologique et impacts du changement climatique

13 février 2023 / Séminaire AST ZC GET / Thirel Guillaume

➤ Exemple de résultats

Niveaux d'alerte sécheresse sur différentes stations de la Moselle

Résultats préliminaires !



Calcul à partir du VCN3 hebdomadaire et de valeurs seuil de débits

[@Thibault Lemaitre-Basset](#) ; Soutenance le 29/03 à Jussieu (Paris)



INRAE

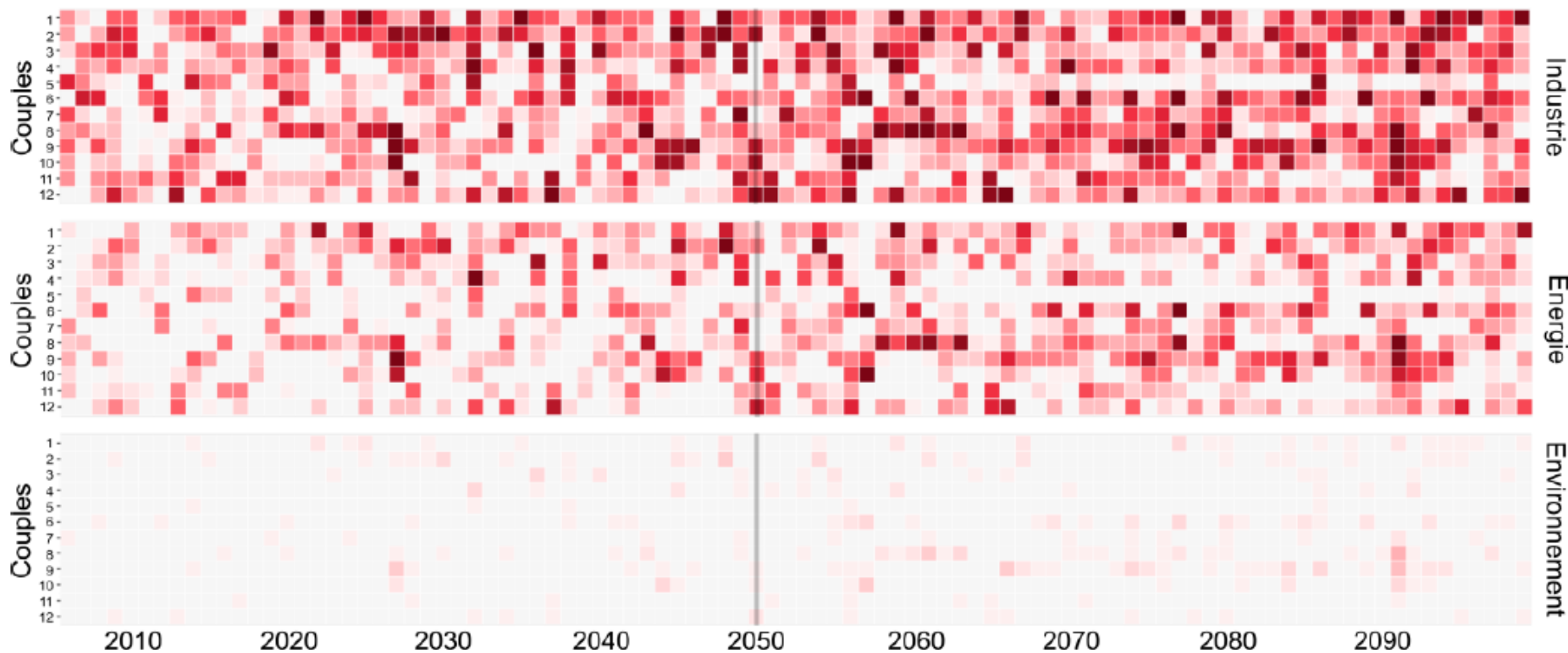
Modélisation hydrologique et impacts du changement climatique

13 février 2023 / Séminaire AST ZC GET / Thirel Guillaume

➤ Exemple de résultats

Satisfaction des besoins futurs pour la Moselle totale

Résultats préliminaires !



Une ligne = 1 projection climatique ; RCP 8.5, usages futurs constants

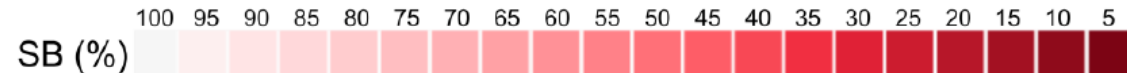
@Thibault Lemaitre-Basset ; Soutenance le 29/03 à Jussieu (Paris)



INRAE

Modélisation hydrologique et impacts du changement climatique

13 février 2023 / Séminaire AST ZC GET / Thirel Guillaume



➤ Deux concours CR en hydrologie à pourvoir

- Junior research scientist in spatialized hydrological modelling, in the RIVERLY research unit (Lyon)
- Junior research scientist in large-scale hydrological modelling of catchments under multiple influences, in the HYCAR research unit (Paris)

Deadline = 2 mars 2023

Informations : jobs.inrae.fr



➤ École d'été sur les impacts des changements climatiques en hydrologie

3^e édition ; Organisateur : Yves Trambly (HSM)

- L'objectif est de former les participants aux **études d'impacts des changements climatiques en hydrologie**. La formation vise à familiariser les participants avec l'analyse des **tendances** dans les données hydro-climatiques, l'utilisation de **sorties de modèles de climat** et de méthodes changement d'échelle (**downscaling**) et de **correction de biais** pour les études d'impact du changement climatique. Elle vise également à estimer les **incertitudes** associées aux scénarios futurs issus de chaînes de modélisation reliant modèles de climat et modèles hydrologiques.
- Lieu : Banyuls
- Dates : du 26 au 30 juin 2023
- Public visé :
 - Etudiant.es en thèse
 - Enseignant.es / Chercheur.ses
 - Ingénieur.es
- Cours / séminaires + TP sur R
- Inscription : écrire à yves.trambly@ird.fr avant le 30 mars 2023.



INRAE

Modélisation hydrologique et impacts du changement climatique

13 février 2023 / Séminaire AST ZC GET / Thirel Guillaume

INRAE

➤ Merci !

guillaume.thirel@inrae.fr