

Evaluation de l'incertitude paramétrique de LARSIM en contexte de changement climatique dans le projet MOSARH21

Guillaume Thirel, Charles Perrin, Robert Schweppe, Kai Gerlinger, Alban de Lavenne, Benjamin Renard, Gilles Droque, Jean-Pierre Wagner

9 mars 2016

Pour mieux affirmer ses missions, le Cemagref devient Irstea



www.irstea.fr





Les objectifs de MOSARH21

Compléter les connaissances actuelles sur l'impact du changement climatique dans la partie française du bassin du Rhin

↳ **Étiages**

↳ **Crués**

↳ **Incertitudes**

Faire le lien avec les études disponibles sur la zone

↳ **France = Explore 2070**

↳ **CIPMS = Action du projet FLOW MS**

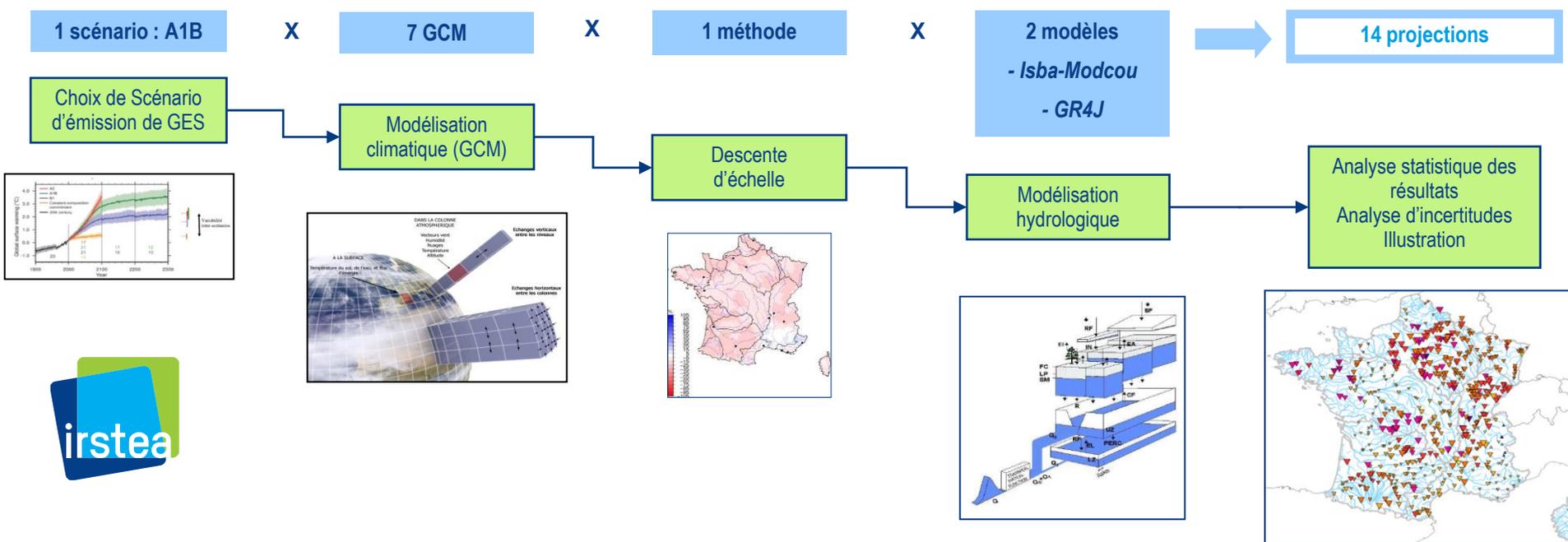
Atelier
LARSIM

9 mars 2016



EXPLORE 2070

- Partenariat BRLi, Irstea, Météo-France
- Approche multi-modèles (7 modèles climatiques, 2 modèles hydrologiques)
- Plus de 500 points de simulation complets sur la France
- Evolutions entre simulations 1961-1990 et 2046-2065, scénario A1B (CMIP3)



Action 4 de FLOW MS

RAPPELS DE LA PRÉSENTATION DE K. GERLINGER DE 2014

1 scénario d'émission de GES (A1B)



1 modèle global (ECHAM5)



1 modèle régional (COSMO-CLM)

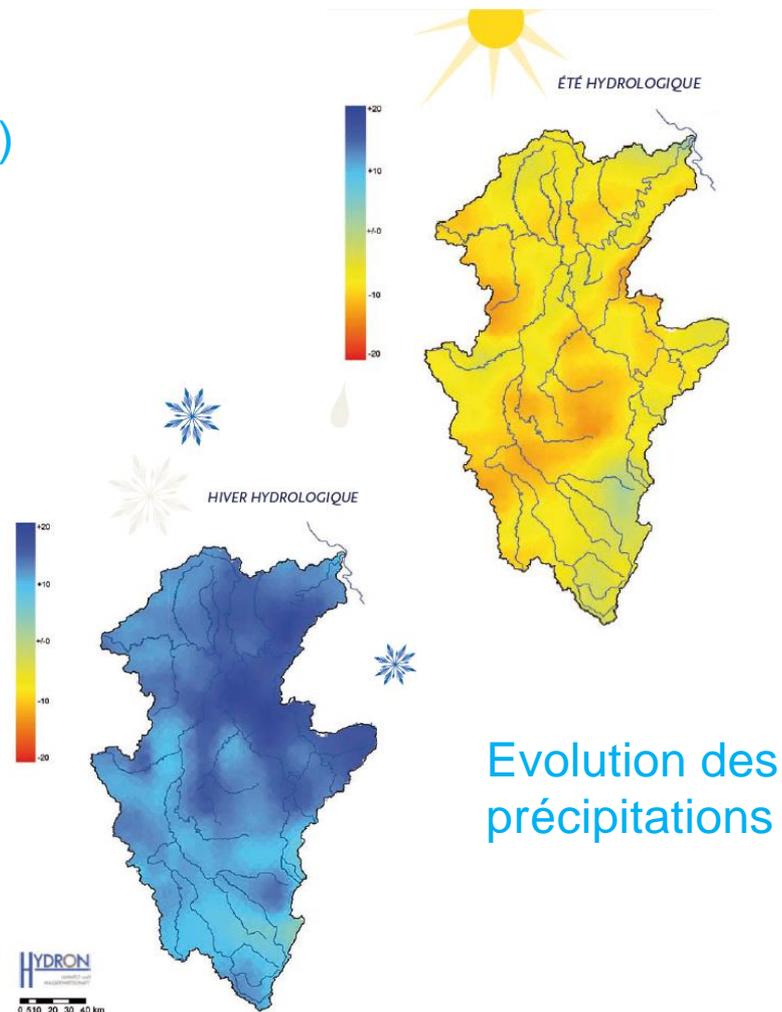


1 modèle hydrologique (LARSIM)

Périodes : 1971-2000 et 2021-2050

Atelier
LARSIM

9 mars 2016



Evolution des
précipitations

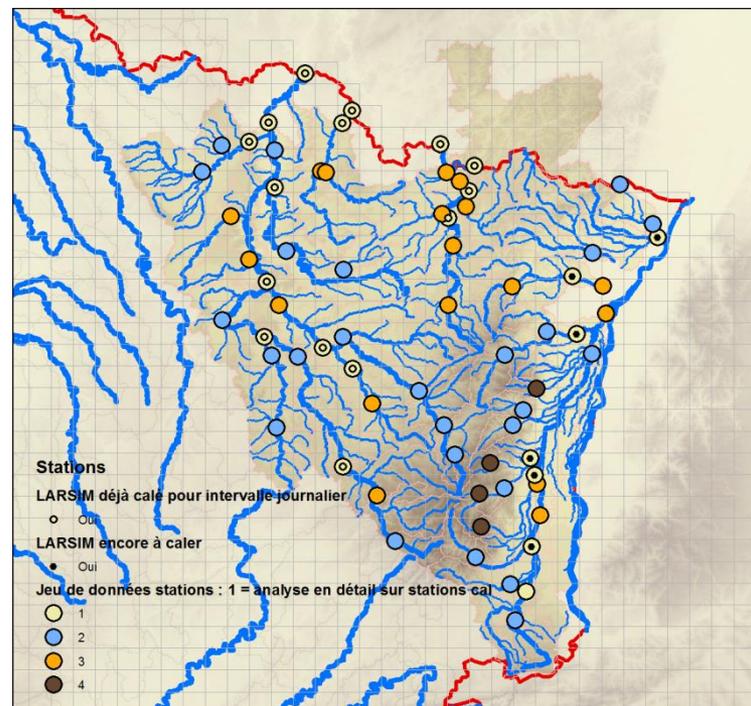
MOSARH21

LES POINTS DE CALCUL

- 70 points de calculs
- Choix des stations :
 - ↪ Catégorie 1 = FLOW MS + 7 stations supplémentaires en Alsace
 - ↪ Catégorie 2 = stations avec suivi étiage et/ou inondation
 - ↪ Catégorie 3 = stations Explore 2070
- Débits observés disponibles sur TOUTES les stations

Atelier
LARSIM

9 mars 2016

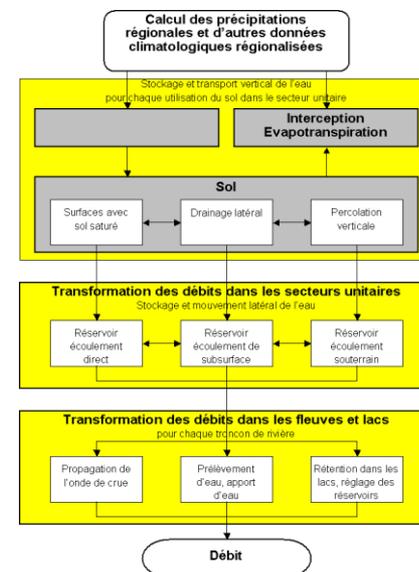
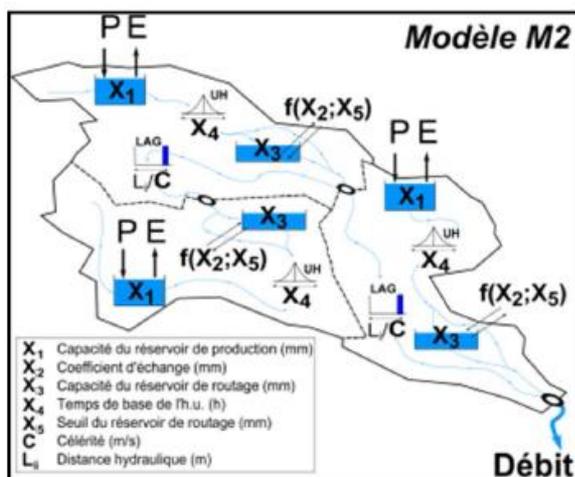
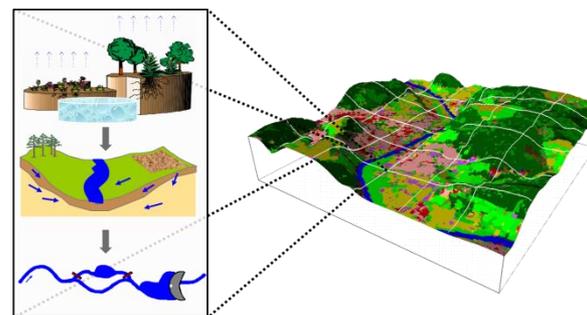


Les modèles hydrologiques

GR5J semi-distribué journalier (GRSD)

- Modèle conceptuel pluie-débit
- Échelle du sous-bassin versant
- 7 paramètres, calage automatique

Modèle de bilan hydrologique LARSIM (**journalier**)

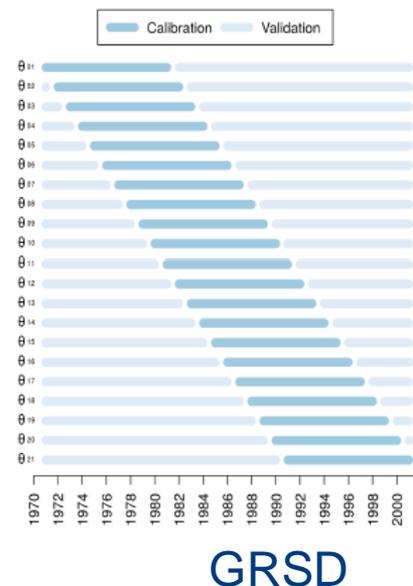
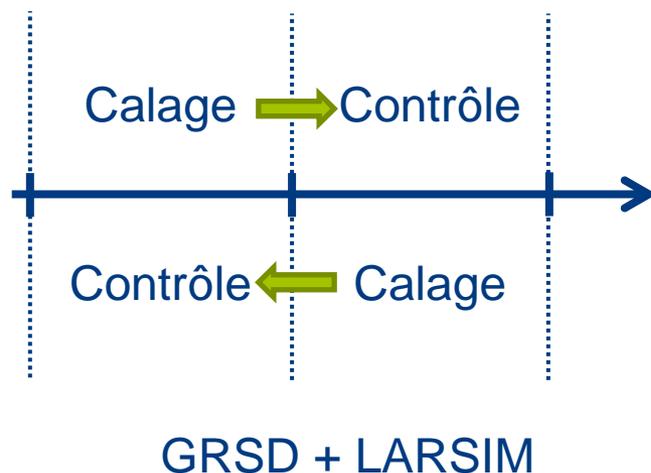


Analyse des résultats

ANALYSE EN TEMPS PRÉSENT DES PERFORMANCES DES MODÈLES

L'incertitude liée aux modèles hydrologiques est non-négligeable

- Utilisation de deux modèles très différents
- Tests de calage-contrôle sur des périodes différentes



*De Lavenne
et al., 2016*

Atelier
LARSIM

9 mars 2016

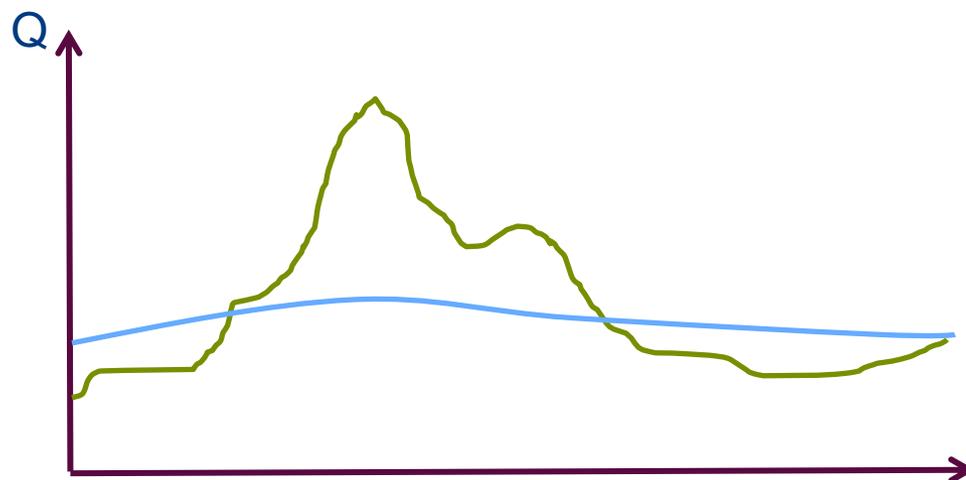


- Réalisation des projections avec des modèles calés sur ces différentes périodes

Calage séquentiel de LARSIM

MÉTHODOLOGIE : REPRODUCTION EN AUTOMATIQUE DE LA DÉMARCHE MANUELLE

Correction précipitations



Critère : $\frac{\sum Q_{sim}}{\sum Q_{obs}}$
Paramètre : KG

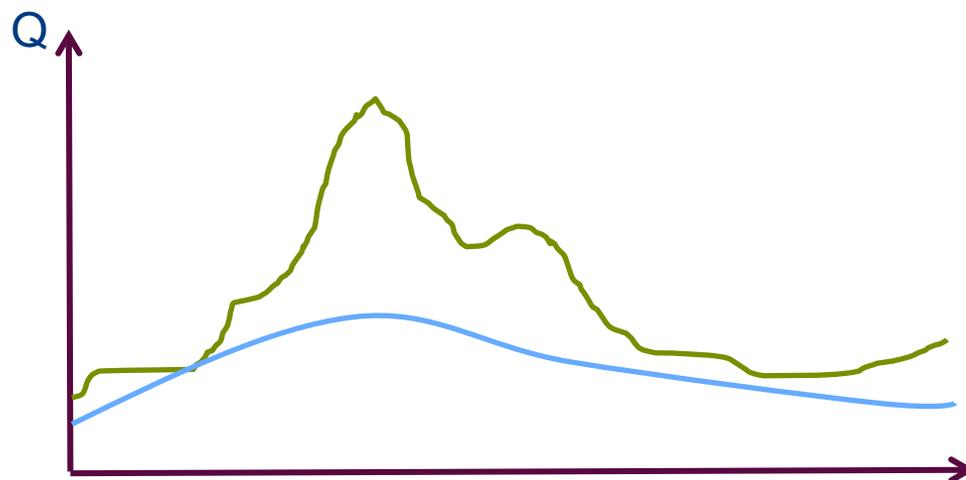
Atelier
LARSIM

9 mars 2016

Calage séquentiel de LARSIM

MÉTHODOLOGIE : REPRODUCTION EN AUTOMATIQUE DE LA DÉMARCHE MANUELLE

Drainage sol profond et souterrain



Critère : $KGE'(\log(Q))$
-> transformation en log des débits,
i.e. + d'impact des faibles débits

Paramètres : BETA et
EQB

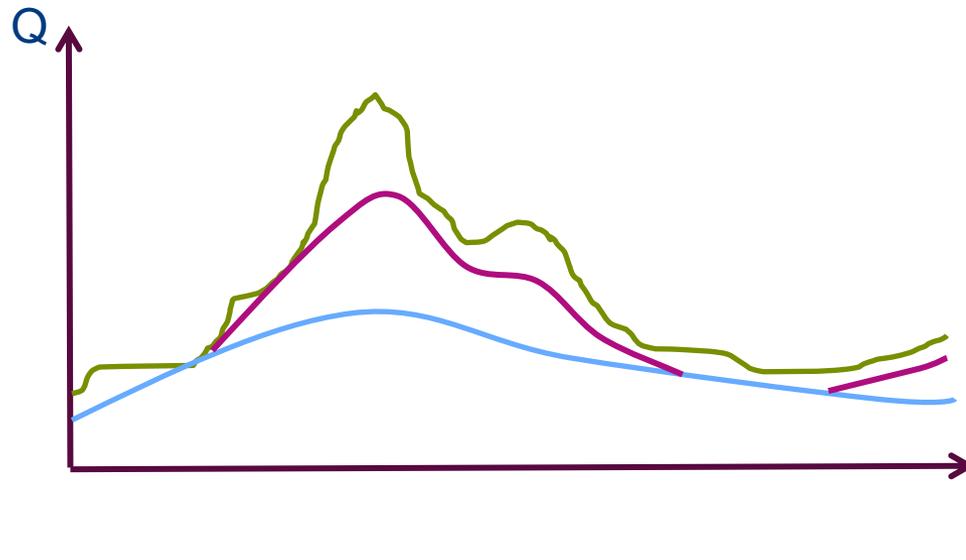
Atelier
LARSIM

9 mars 2016

Calage séquentiel de LARSIM

MÉTHODOLOGIE : REPRODUCTION EN AUTOMATIQUE DE LA DÉMARCHE MANUELLE

Drainage sol et réservoir de subsurface



Critère : $KGE'(\sqrt{Q})$

-> transformation en racine des débits, i.e. + d'impact des flux intermédiaires

Paramètres : EQI et Dmax

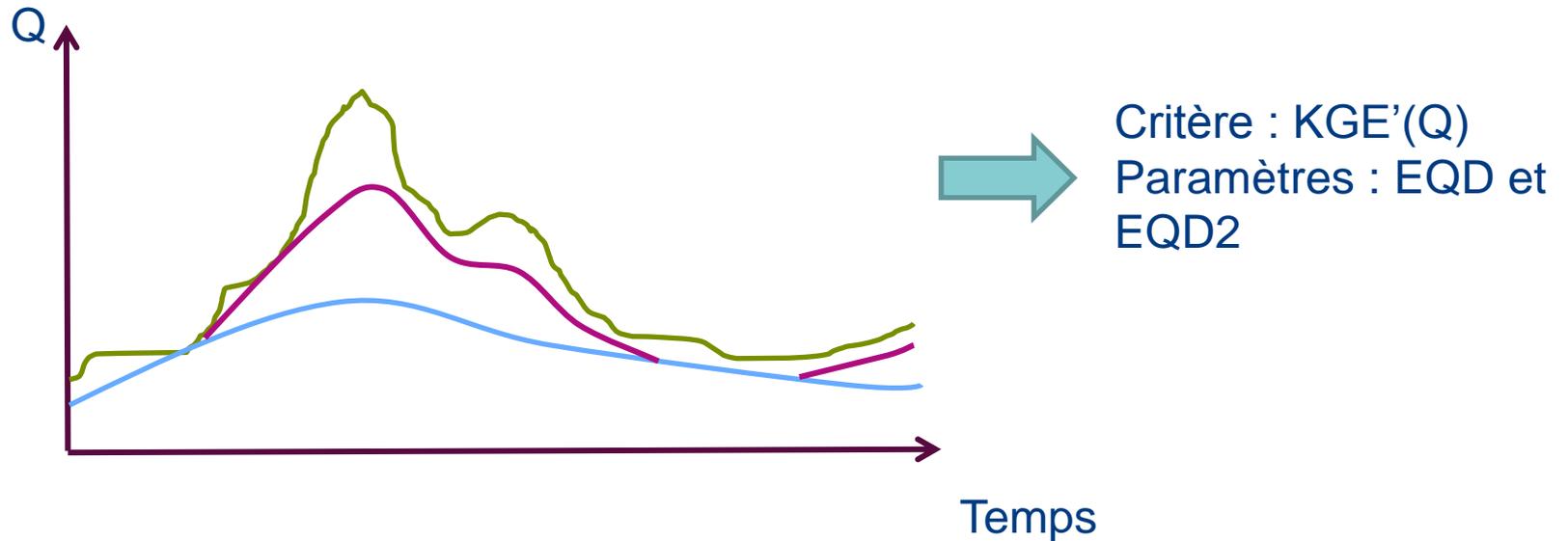
Atelier
LARSIM

9 mars 2016

Calage séquentiel de LARSIM

MÉTHODOLOGIE : REPRODUCTION EN AUTOMATIQUE DE LA DÉMARCHE MANUELLE

Composante rapide



Atelier
LARSIM

9 mars 2016



Calage séquentiel de LARSIM

MÉTHODOLOGIE : REPRODUCTION EN AUTOMATIQUE DE LA DÉMARCHE MANUELLE

Méthode locale pas-à-pas (Perrin, 2000)

Etape 1 : préfiltrage -> on teste pour chaque paramètre deux ou trois valeurs qui échantillonnent leur distribution

Etape 2 : processus itératif -> on modifie chaque paramètre tour-à-tour d'une valeur +DX puis -DX, et on garde le jeu de paramètre s'il est meilleur.

- Si amélioration, on continue étape 2
- Si pas d'amélioration, $DX = DX/2$, puis étape 2

Performances du calage de LARSIM

Pour la Moselle à Epinal

| Période calage | Param. | KG | BETA | EQB | Dmax | EQI | EQD | EQD2 | Période éval. | Bilan | KGE Q | KGE log Q |
|----------------|-------------|------|-------|-------|------|-------|------|------|---------------|-------|-------|-----------|
| - | Manuelle | 1 | 0,012 | 40000 | 2 | 12000 | 1200 | 300 | | 1,08 | 0,89 | 0,94 |
| 1971-1975 | Automatique | 0,98 | 0,021 | 18697 | 1,9 | 13748 | 1645 | 674 | 1981-1990 | 1,06 | 0,86 | 0,91 |
| 1976-1980 | Automatique | 0,96 | 0,012 | 26825 | 3,3 | 12000 | 1200 | 541 | | 1,02 | 0,90 | 0,95 |

Atelier
LARSIM

9 mars 2016

➤ Coût : 100 à 300 itérations

Autres paramètres fixés :

Dmin=0, TGr=0.5, A2=1.5, EKM=0.8, EKL=0.8, EKR=0.8, BSF=0.3

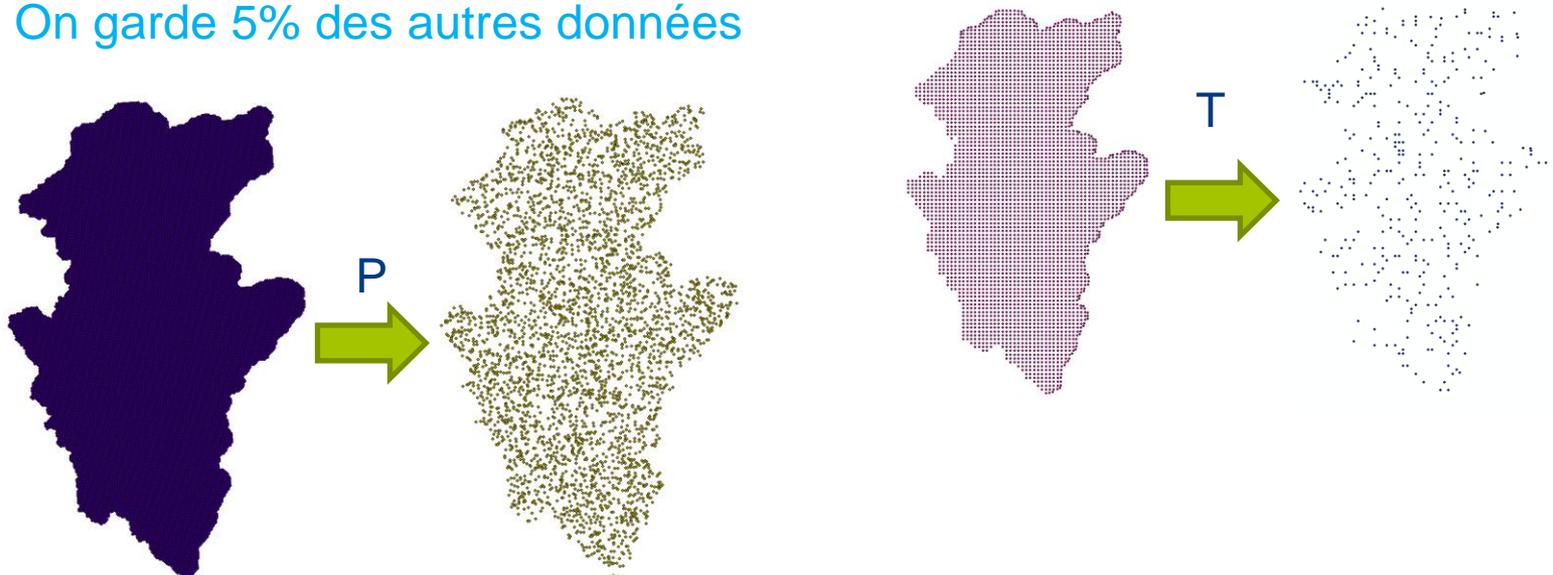
Réduction des données d'entrée

MÉTHODE

LARSIM peut extrapoler les données grillées qu'on lui donne, et il est **plus rapide d'extrapoler** que de fournir des données à haute résolution.

Idée : réduire les données d'entrées (issues d'un krigeage géostatistique 1 km², prog. InterMet) à un échantillon plus limité (rappel : chaque maille de la grille est considérée comme un point par LARSIM).

- On garde 10% des données de précipitations
- On garde 5% des autres données



Réduction des données d'entrée

IMPACT SUR LES CALAGES ET LES PERFORMANCES

Pour la Moselle à Epinal

| Période calage | Données | Param. | KG | BET A | EQB | Dm ax | EQI | EQD | EQD 2 | Période éval. | Bilan | KGE Q | KGE log Q |
|----------------|---------|-------------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|---------------|-------|-------|-----------|
| 1971-1975 | Tout | Automatique | 0,98 | 0,021 | 18697 | 1,9 | 13748 | 1645 | 674 | 1981-1990 | 1,06 | 0,86 | 0,91 |
| | Réduit | | 0,98 | 0,021 | 19985 | 1,9 | 13243 | 1645 | 674 | | 1,05 | 0,85 | 0,90 |
| 1976-1980 | Tout | | 0,96 | 0,012 | 26825 | 3,3 | 12000 | 1200 | 541 | | 1,02 | 0,90 | 0,95 |
| | Réduit | | 0,97 | 0,012 | 26825 | 3 | 12000 | 1200 | 541 | | 1,03 | 0,91 | 0,95 |

Atelier
LARSIM

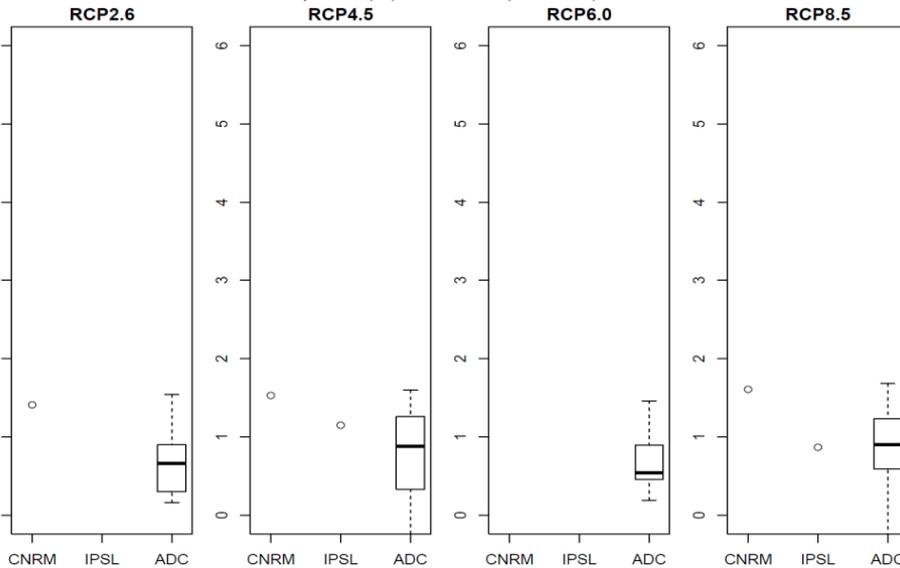
9 mars 2016

➤ Nombre d'itérations équivalent, mais temps de calcul divisé par 4 !!

Premiers résultats

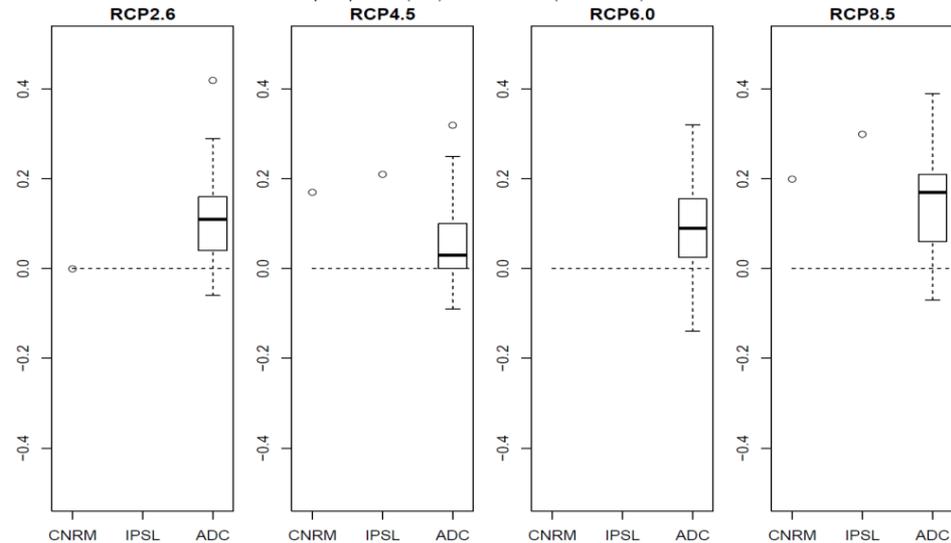
FUTUR PROCHE (2021-2050) : ÉVOLUTION CLIMAT

Evolution of temperature (°C) for near future (2021–2050) for MOSARH area



Evol. Température CMIP5 (°C)
-> +0 à +2°C

Evolution of precipitation (mm) for near future (2021–2050) for MOSARH area



Evol. Précipitation CMIP5 (mm/j)
-> -0.1 à +0.4 mm/j

Atelier
LARSIM

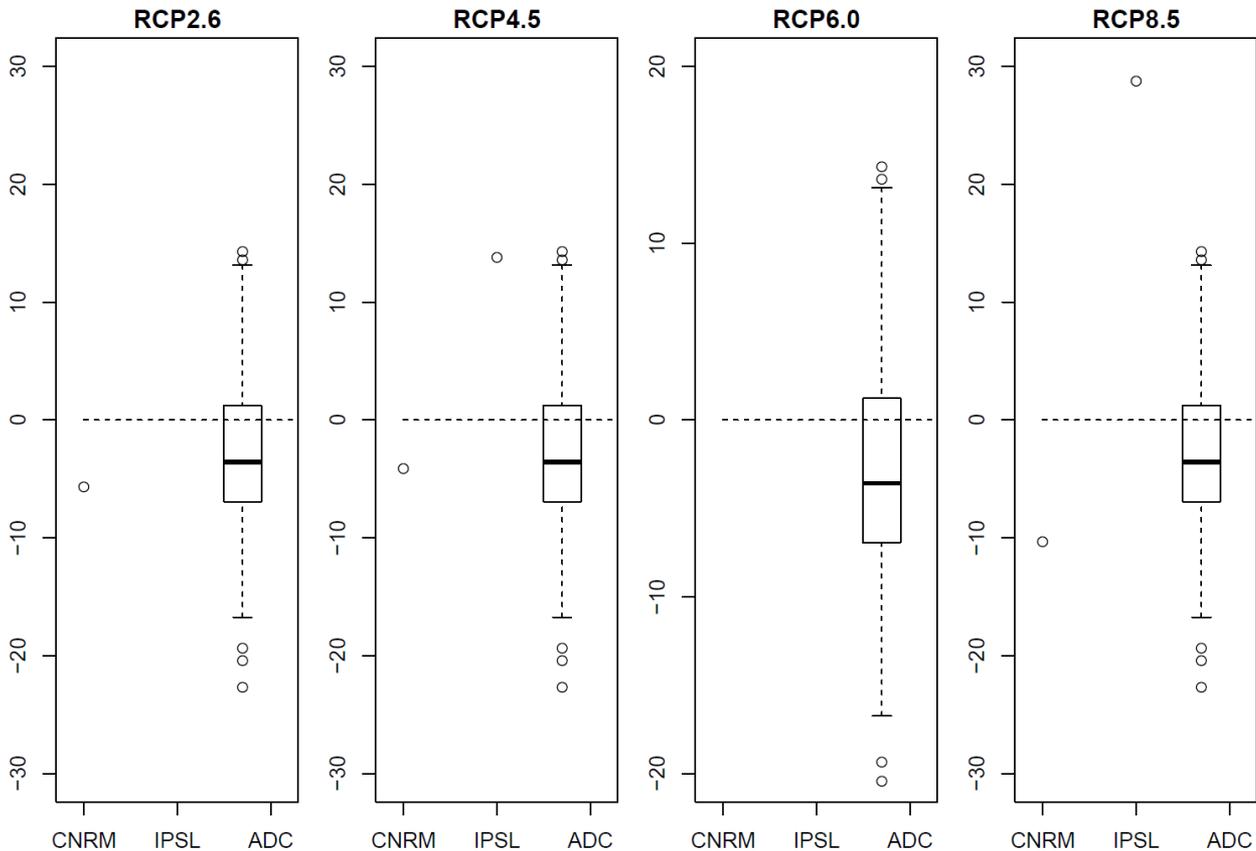
9 mars 2016



Premiers résultats

FUTUR PROCHE (2021-2050) : ÉVOLUTION DÉBITS POUR UN CALAGE DE GRSD

Evolution of discharge (%) for near future (2021–2050) for the Mosel at Perl (DE)



Evol. Débits
moyens
CMIP5 (%)

-> -20 à
+15%

Atelier
LARSIM

9 mars 2016





La suite du projet ?

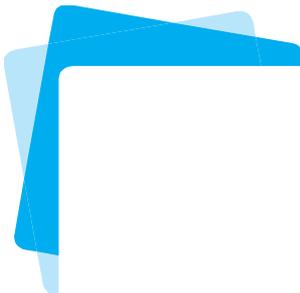
Analyse de l'évolution de critères dans le futur

- module, régime, crues, étiages, etc.

Analyse de l'impact des calages des modèles sur ces critères

Comparaison des projections hydrologiques aux projets plus anciens

- Uniformisation des analyses réalisées
- Meilleure comparabilité des résultats



Merci !

Danke!

Atelier
LARSIM

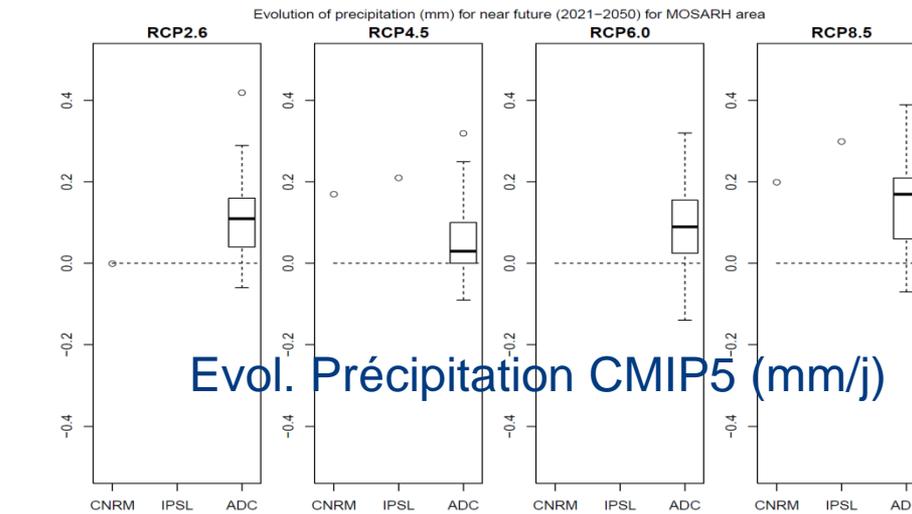
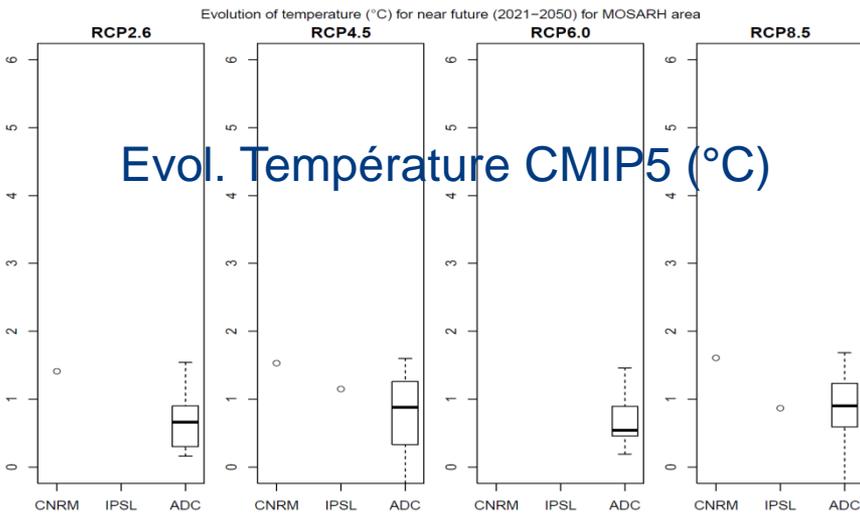
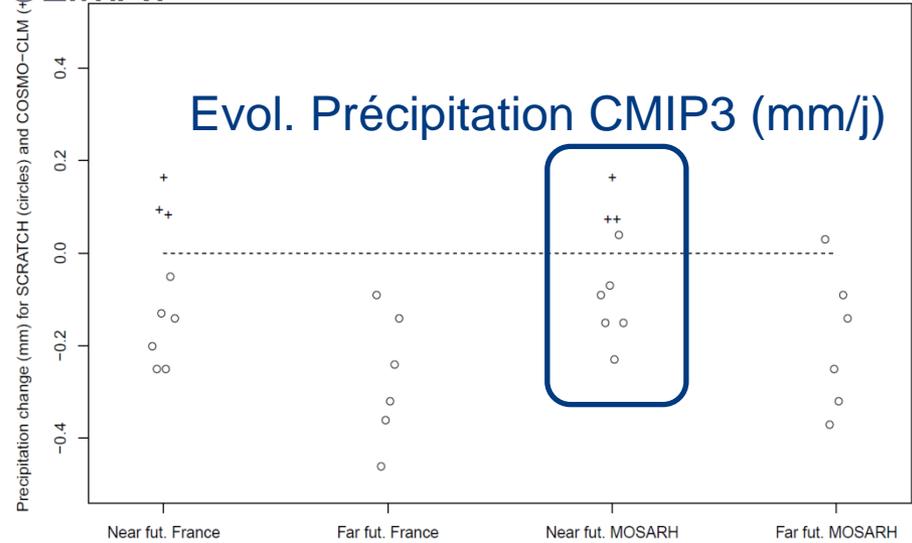
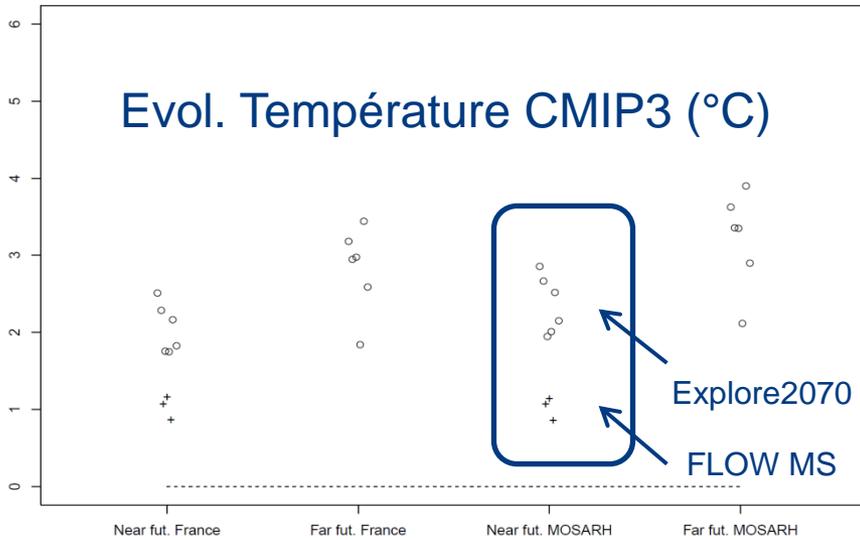
9 mars 2016





Premiers résultats

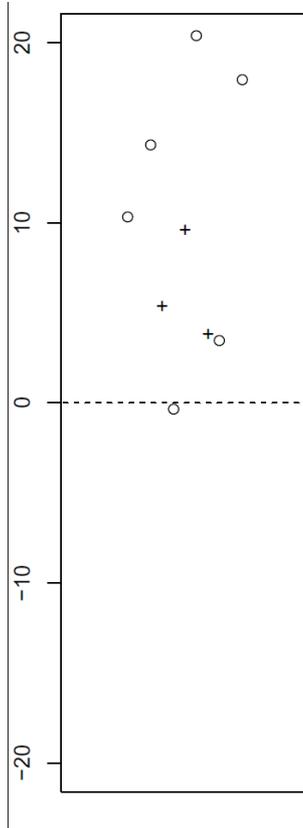
FUTUR PROCHE : ÉVOLUTION CLIMAT



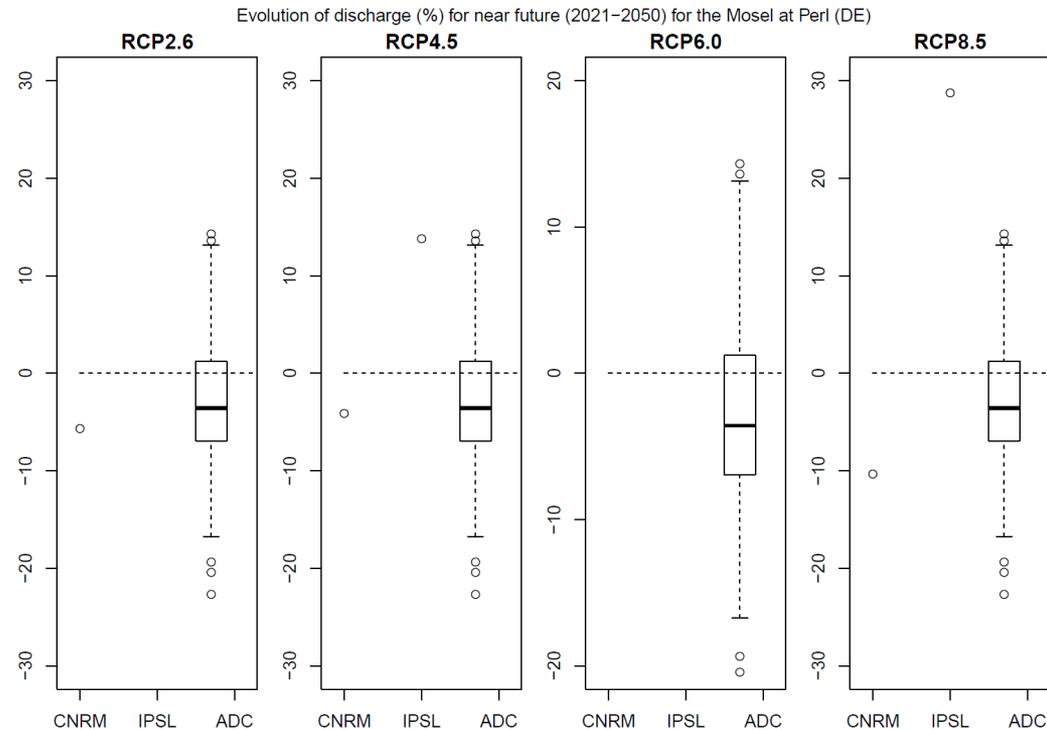
Premiers résultats

FUTUR PROCHE : ÉVOLUTION DÉBITS POUR UN CALAGE DE GRSD

Evol. Débits moyens CMIP3 (%)



Evol. Débits moyens CMIP5 (%)



Exemple de restitution possible

VOLET CLIMATIQUE



ORDRE DE GRANDEUR DES DÉBITS FUTURS POSSIBLES À L'HORIZON 2050-2070 SOUS SCÉNARIO A1B D'ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE

Avertissement : ces résultats comportent de très nombreuses incertitudes. Ils sont donnés à titre indicatif. Il ne s'agit pas de prévisions mais d'indications d'évolutions possibles. Une note d'accompagnement contient des indications de lecture et d'interprétation de la fiche. Elle détaille de plus la méthodologie utilisée ainsi que les limites de l'exercice.

| | |
|-------------------------------------|---|
| Nom | La Moselle à Uckange |
| Identifiant Explore2070 | 328 |
| Code Banque Hydro | A8500610 |
| Surface du bassin versant | 10785 km ² |
| Période d'observation des débits | POD : 1981-1991 |
| Période de simulation temps présent | PST : 1961-1990 |
| Période de simulation temps futur | FUT : 2046-2065 |
| Modèles hydrologiques utilisés | GR4J ISBA-MODCOU |

Les évolutions climatiques et hydrologiques sont calculées entre des simulations de référence en climat présent (1961-1990) et des simulations en climat futur (2046-2065) à partir de 7 modèles climatiques (C1 à C7). Les résultats sont présentés sous forme de Δ entre présent et futur : (FUT-PST) pour T, (FUT-PST)/PST pour P, ETP et Q. Δ minimum, Δ médian et Δ maximum sont calculés sur les 7 modèles climatiques. Selon les stations, un ou deux modèles hydrologiques ont été utilisés.



CLIMAT

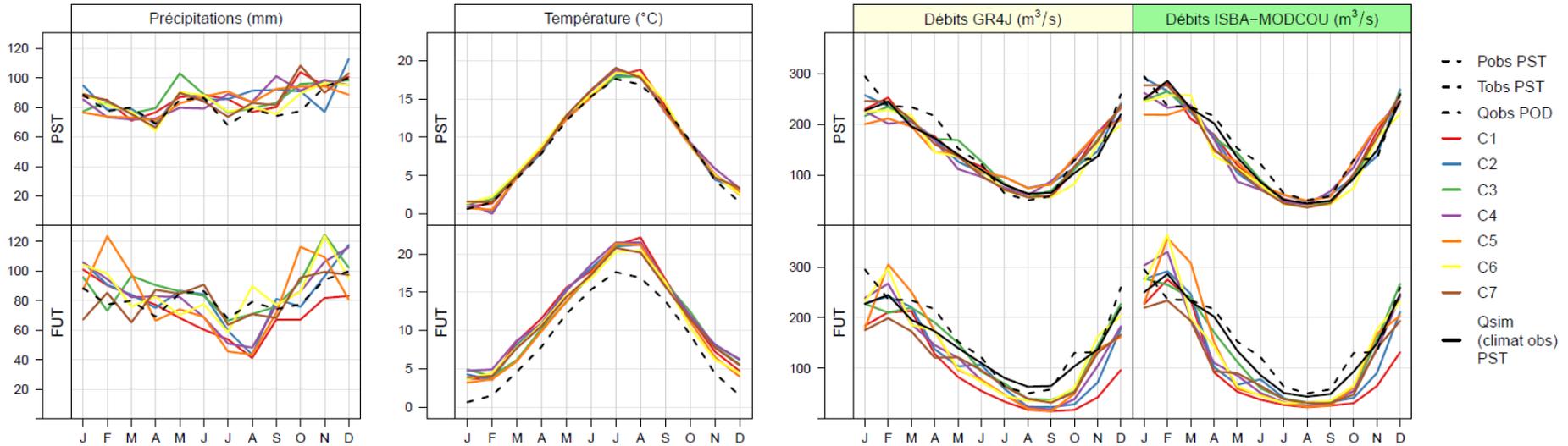
| | Jan | Fév | Mars | Avril | Mai | Juin | Juil | Août | Sep | Oct | Nov | Déc | Annuel |
|---------------------------------------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| Précipitations obs PST (mm) | 88 | 77 | 80 | 69 | 85 | 86 | 68 | 79 | 74 | 77 | 94 | 100 | 979 |
| min (%) | -24 | -13 | -13 | -7 | -22 | -32 | -50 | -52 | -24 | -35 | -14 | -17 | -16 |
| Δ med (%) | +16 | +16 | +15 | +14 | -11 | -12 | -30 | -43 | -16 | -6 | +16 | -0 | -2 |
| max (%) | +24 | +67 | +34 | +31 | +3 | +8 | -13 | +12 | +2 | +24 | +29 | +22 | +3 |
| Température obs PST (°C) | 0,6 | 1,5 | 4,6 | 7,9 | 12,2 | 15,3 | 17,6 | 16,9 | 13,8 | 9,5 | 4,4 | 1,5 | 8,8 |
| min (°C) | +2,3 | +2,1 | +1,0 | +1,3 | +1,3 | +1,1 | +1,7 | +2,2 | +1,7 | +1,5 | +1,2 | +1,0 | +1,8 |
| Δ med (°C) | +2,8 | +2,5 | +2,8 | +2,3 | +1,7 | +2,2 | +2,8 | +3,3 | +2,6 | +2,5 | +2,2 | +2,2 | +2,5 |
| max (°C) | +3,6 | +4,9 | +3,9 | +3,2 | +2,8 | +2,7 | +3,3 | +3,5 | +3,0 | +3,3 | +3,7 | +2,9 | +3,0 |
| Évapotransp. potentielle obs PST (mm) | 13 | 18 | 32 | 52 | 71 | 84 | 98 | 78 | 51 | 28 | 16 | 13 | 554 |
| min (%) | +15 | +9 | +2 | +7 | +9 | +4 | +14 | +12 | +22 | +25 | +17 | +21 | +18 |
| Δ med (%) | +23 | +18 | +34 | +14 | +22 | +13 | +26 | +31 | +41 | +52 | +37 | +37 | +25 |
| max (%) | +49 | +79 | +46 | +30 | +32 | +17 | +33 | +38 | +55 | +61 | +49 | +65 | +34 |

Exemple de restitution possible

HYDROLOGIE GÉNÉRALE ET PERFORMANCE DES MODÈLES

DÉBITS

| | Jan | Fév | Mars | Avril | Mai | Juin | Juil | Août | Sep | Oct | Nov | Déc | Annuel | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----|-----|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| moyens | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Qobs POD (m ³ /s) | 295 | 237 | 234 | 217 | 153 | 122 | 63,5 | 50,1 | 58 | 130 | 132 | 260 | 163 | | | | | | | | | | | | | |
| Qsim (climat obs) POD (m ³ /s) | 281 | 330 | 233 | 272 | 217 | 233 | 197 | 231 | 158 | 147 | 126 | 108 | 76,2 | 43,8 | 53,7 | 38,1 | 59 | 45,5 | 141 | 129 | 140 | 151 | 251 | 282 | 161 | 167 |
| min (%) | -29 | -21 | -19 | -16 | -18 | -22 | -27 | -49 | -39 | -55 | -53 | -52 | -59 | -49 | -73 | -52 | -82 | -55 | -84 | -69 | -77 | -65 | -59 | -49 | -40 | -32 |
| Δ med (%) | -11 | +4 | +2 | +10 | +7 | +4 | -14 | -35 | -18 | -35 | -27 | -33 | -37 | -32 | -63 | -40 | -73 | -38 | -63 | -52 | -25 | -20 | -23 | -16 | -18 | -10 |
| max (%) | +6 | +16 | +44 | +63 | +28 | +32 | +20 | +4 | +8 | -2 | +2 | +8 | -10 | -12 | -30 | -10 | -38 | -15 | -26 | -12 | +1 | +3 | +3 | +4 | -5 | -2 |
| 5 ans secs | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Qobs POD (m ³ /s) | 181 | 136 | 155 | 96,6 | 61,5 | 56,3 | 40,2 | 30,7 | 32,5 | 42,3 | 72 | 125 | 119 | | | | | | | | | | | | | |
| Qsim (climat obs) POD (m ³ /s) | 178 | 187 | 137 | 122 | 146 | 145 | 93,6 | 88,4 | 62,6 | 45,1 | 55,9 | 45,2 | 41,2 | 30,1 | 25,8 | 24,5 | 26,5 | 27,5 | 34,5 | 38,9 | 65,2 | 58,9 | 124 | 135 | 115 | 122 |
| min (%) | -65 | -44 | -39 | -20 | -28 | -38 | -33 | -47 | -39 | -42 | -55 | -42 | -63 | -28 | -65 | -26 | -77 | -30 | -85 | -49 | -85 | -63 | -77 | -62 | -51 | -42 |
| Δ med (%) | -12 | +1 | +13 | +48 | -2 | -2 | -3 | -5 | -12 | -24 | -29 | -26 | -47 | -26 | -62 | -21 | -74 | -26 | -76 | -42 | -63 | -36 | -44 | -29 | -25 | -10 |
| max (%) | +6 | +42 | +20 | +63 | +37 | +62 | +22 | +18 | +1 | -6 | -12 | -17 | -22 | -10 | -40 | -2 | -39 | -12 | -40 | -22 | +2 | +11 | +3 | -0 | -11 | -7 |



PERFORMANCE DES MODÈLES HYDROLOGIQUES sur la période POD

| NSEQ | NSElnQ | NSEiQ | R-QA | R-VCN30-2 | R-QMNA5 | R-QJXA10 |
|------|--------|-------|------|-----------|---------|----------|
| 0,90 | 0,83 | 0,92 | 0,81 | 0,67 | 0,16 | 0,99 |
| 1,03 | 0,90 | 0,77 | 0,80 | 0,87 | 1,01 | 0,67 |

Exemple de restitution possible

EVOLUTIONS POSSIBLES DES DÉBITS D'ÉTIAGE ET DE CRUE

ÉTIAGES

| | | VCN10 | | VCN30 | | QMNA | |
|-------------|---|-------|------|-------|------|------|------|
| 2 ans | Qobs POD (m ³ /s) | 29 | | 34,6 | | 37,9 | |
| | Qsim (climat obs) POD (m ³ /s) | 25 | 22,1 | 31 | 26,6 | 35,2 | 29,3 |
| | min (%) | -68 | -15 | -71 | -28 | -72 | -33 |
| | Δ med (%) | -60 | -9 | -63 | -18 | -62 | -24 |
| | max (%) | -37 | -2 | -41 | -9 | -38 | -12 |
| 5 ans secs | Qobs POD (m ³ /s) | 23,2 | | 26,3 | | 27,8 | |
| | Qsim (climat obs) POD (m ³ /s) | 16,7 | 20,9 | 20,2 | 23 | 22,1 | 24,1 |
| | min (%) | -68 | -15 | -71 | -16 | -71 | -20 |
| | Δ med (%) | -62 | -9 | -66 | -13 | -65 | -16 |
| | max (%) | -40 | -2 | -43 | -8 | -43 | -13 |
| 10 ans secs | Qobs POD (m ³ /s) | 20,6 | | 22,8 | | 23,6 | |
| | Qsim (climat obs) POD (m ³ /s) | 13,6 | 20,3 | 16,1 | 21,3 | 17,4 | 21,8 |
| | min (%) | -69 | -8 | -72 | -12 | -72 | -16 |
| | Δ med (%) | -63 | -5 | -67 | -10 | -67 | -14 |
| | max (%) | -41 | -0 | -44 | -5 | -45 | -10 |

FORTES PRECIPITATIONS

| | PJXA2 | PJXA10 | PJXA20 |
|------------|-------|--------|--------|
| P PST (mm) | 30 | 39 | 43 |
| min (%) | -3 | +4 | -7 |
| Δ med (%) | +8 | +4 | +4 |
| max (%) | +15 | +10 | +9 |

CRUES

| | QJXA2 | | QJXA10 | | QJXA20 | |
|---|-------|-----|--------|------|--------|------|
| Qobs POD (m ³ /s) | 1064 | | 1676 | | 1910 | |
| Qsim (climat obs) POD (m ³ /s) | 1060 | 792 | 1693 | 1118 | 1935 | 1243 |
| min (%) | -25 | -14 | -11 | -3 | -8 | -0 |
| Δ med (%) | -1 | +2 | +9 | +13 | +7 | +11 |
| max (%) | +20 | +18 | +22 | +21 | +26 | +26 |

OCCURENCE DES ÉTIAGES

| Qobs POD | sept. | |
|-----------------------|-------|-------|
| Qsim (climat obs) POD | sept. | sept. |
| min (jours) | +1 | -13 |
| Δ med (jours) | +22 | +10 |
| max (jours) | +32 | +24 |

DÉBITS CLASSÉS

| | Q95 | | Q10 | |
|---|------|------|-----|-----|
| Qobs POD (m ³ /s) | 26,8 | | 370 | |
| Qsim (climat obs) POD (m ³ /s) | 21,9 | 21,7 | 357 | 428 |
| min (%) | -72 | -11 | -26 | -21 |
| Δ med (%) | -65 | -9 | -6 | -3 |
| max (%) | -42 | -5 | +5 | +11 |

OCCURENCE DES CRUES

| Qobs POD | janv. | |
|-----------------------|-------|-------|
| Qsim (climat obs) POD | janv. | févr. |
| min (jours) | -18 | -16 |
| Δ med (jours) | +9 | -2 |
| max (jours) | +41 | +22 |

Calendrier

PROJET D'UNE DURÉE D'UN AN

| Etape | Mois | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1. Demandes d'autorisation | ■ | ■ | | | | | | | | | | |
| 2. BDD d'observations | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | |
| 3. BDD de projections climatiques | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | |
| 4. Générateur de pluie | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | |
| 5. Multi-modèles (calage) | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | |
| 6. Projections hydrologiques | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | |
| 7. Analyse statistique | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | |
| 8. Comparaison | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| 9. Rapport | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |

↑
Réunion
préparatoire
15/01/15

↑
Feu vert
financier
19/03/15

↑
Bilan à mi-
parcours

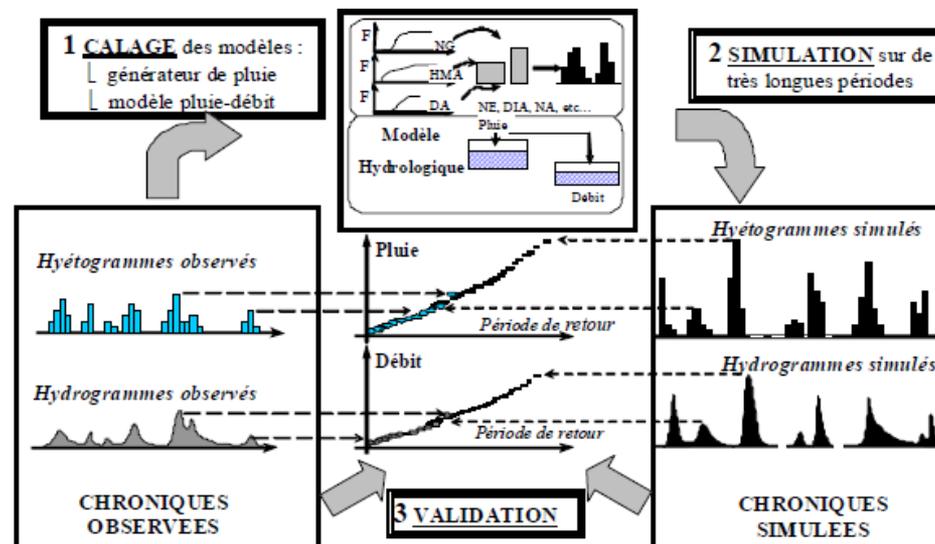
↑
Restitution
finale

Générateur de pluies

ETUDE SPÉCIFIQUE DES CRUES EXTRÊMES

Pour étudier les crues extrêmes (centennales, etc.), un générateur de pluies sera utilisé.

Les propriétés statistiques des pluies observées (moyenne, variabilité, valeurs extrêmes, corrélation temporelle et spatiale, succession de jours avec ou sans pluie) sont intégrées dans un générateur qui restitue des chroniques avec les mêmes propriétés.



Thèse d'Aubert, 2011

Atelier
LARSIM

19 mars 2015



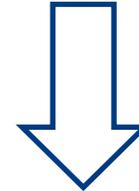
Figure 3-1—Le principe du fonctionnement du générateur de pluie, Shypre (Simulation d'Hydrogrammes pour la PREdétermination des débits de crue)

Générateur de pluies

ETUDE SPÉCIFIQUE DES CRUES EXTRÊMES

- Calage en temps présent
- Calage en temps futur

- > entrée du modèle hydrologique
- > entrée du modèle hydrologique



Analyse comparative des
crues extrêmes simulées

- Crue centennale
- Crue millénale



Les projections hydrologiques

- 1^{ère} série de calculs : réaliser avec LARSIM les 7 projections climatiques utilisées pour le projet Explore 2070
- 2^{ème} série de calculs : réaliser avec GRSD les 3 runs des projections climatiques du modèle COSMO-CLM utilisées pour FLOW MS
- 3^{ème} série de calculs : réaliser des projections hydrologiques avec **les nouvelles projections climatiques du GIEC (IPCC)**

Atelier
LARSIM

9 mars 2016





Analyse des résultats

ANALYSE DES PROJECTIONS HYDROLOGIQUES

Analyse de l'évolution de critères dans le futur

- module, régime, crues, étiages, etc.

Comparaison des projections hydrologiques aux projets plus anciens

- Uniformisation des analyses réalisées
- Meilleure comparabilité des résultats

Atelier
LARSIM

9 mars 2016

