

Le projet MOSARH21

**Evolutions des débits futurs sur le bassin du Rhin en contexte de
changement climatique**

**Une évaluation actualisée s'appuyant sur les simulations climatiques
issues du 5ème rapport d'évaluation du GIEC**

**Guillaume Thirel, Charles Perrin, Gilles
Droque, Kai Gerlinger, Julia Krumm,
Jean-Pierre Wagner**

19 mars 2015

Pour mieux
affirmer
ses missions,
le Cemagref
devient Irstea



www.irstea.fr





Les objectifs

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

- ↳ **Étiages = mise à jour de l'état des lieux Directive Cadre sur l'Eau de 2018**

- ↳ **Crues = mise à jour de l'Evaluation Préliminaire des Risques d'Inondation en 2018**

- **Faire le lien au niveau des cours d'eau transfrontaliers avec les études disponibles au niveau des pays riverains**

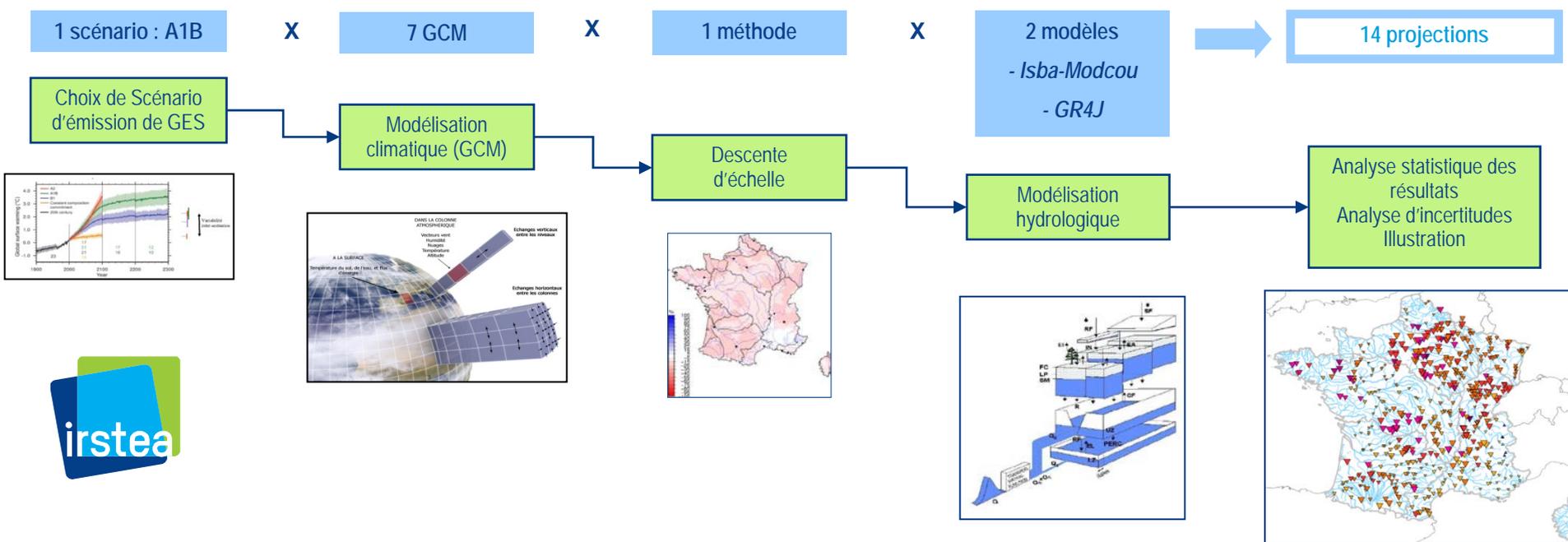
- ↳ **France = Explore 2070**

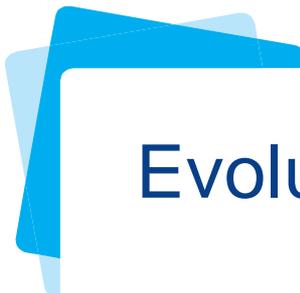
- ↳ **CIPMS = Action du projet FLOW MS**

- ↳ **Autres projets réalisés ou en cours**

Résultats d'EXPLORE 2070 sur la Moselle

- Partenariat BRLi, Irstea, Météo-France, financement Ministère de l'Environnement
- 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 de l'AR4





Evolution du climat

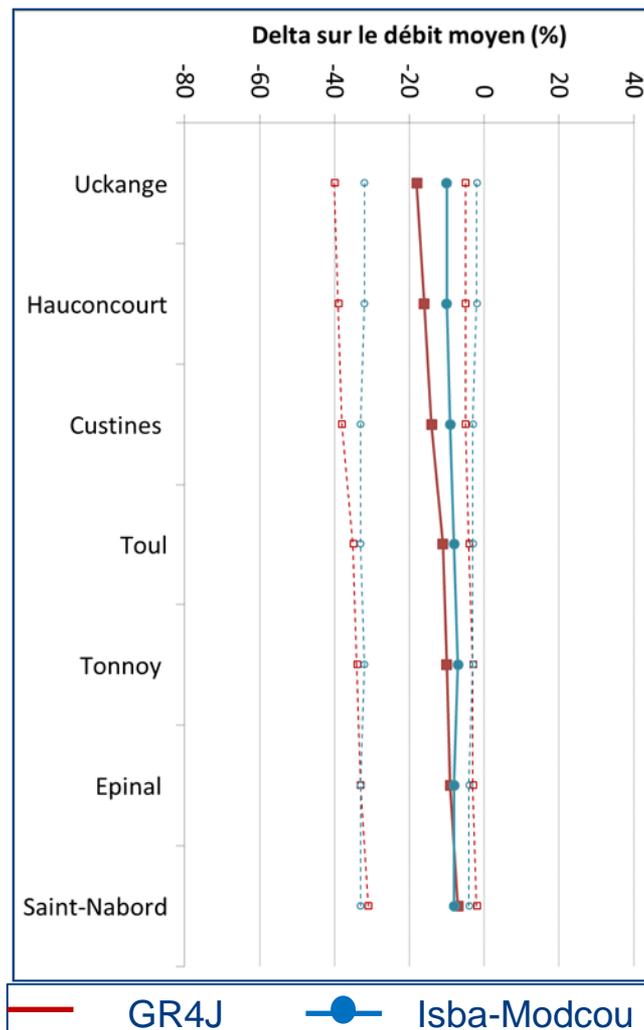
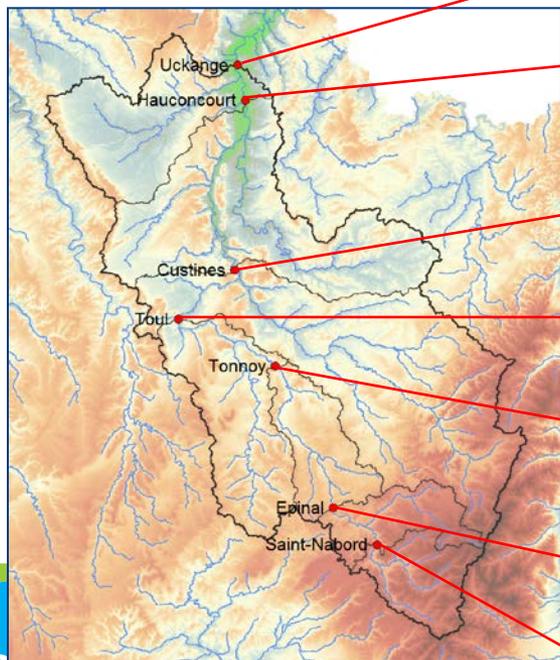
Températures

- Augmentation d'environ 2.5°C sur la métropole
- Plus prononcée en été
- Moselle : augmentation moyenne annuelle de 2.5°C, jusqu'à 3°C en été

Précipitations

- Tendance à la baisse sur la métropole entre 5 et 10%
- Plus prononcée en été (15 à 25 %)
- Moselle : précipitations annuelles stables mais baisse estivale et augmentation hivernale

Evolution du débit sur la Moselle

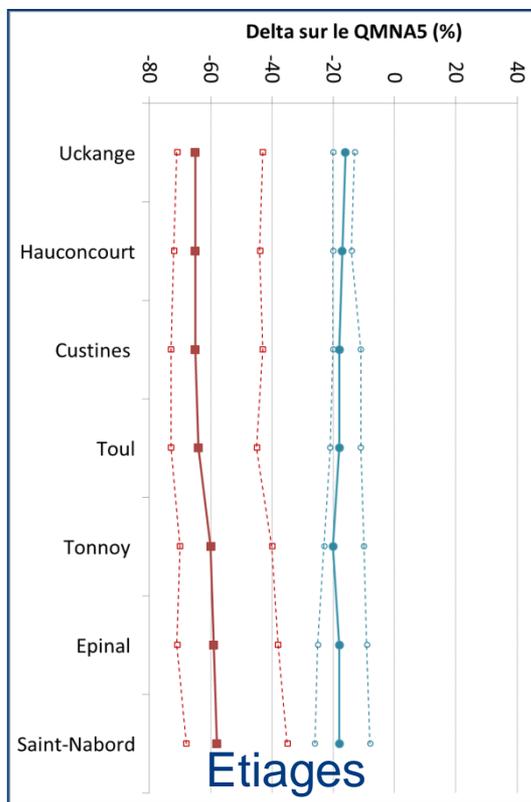


- Toutes les projections à la baisse
- Des baisses relatives médianes de l'ordre de 10%
- Baisses entre 2 et 40%
- Baisses un peu plus prononcées à l'aval du bassin
- Bon accord des deux modèles hydrologiques

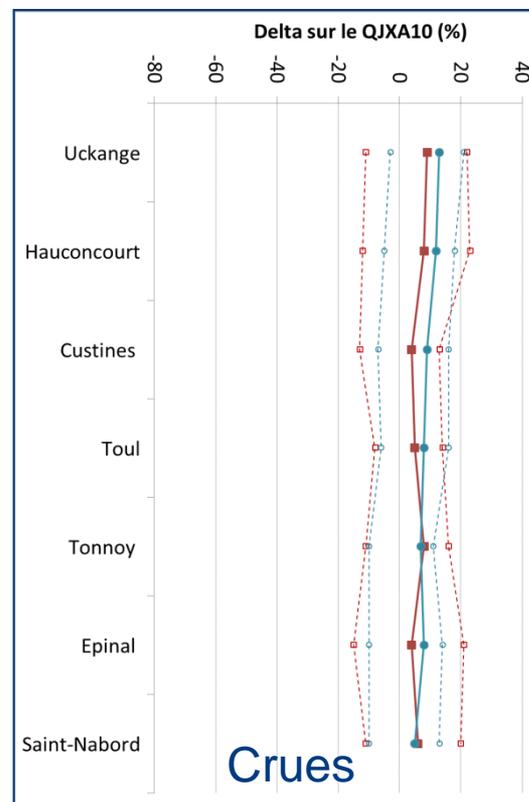
Evolution des étiages et crues

QMNA5 = débit mensuel d'étiage ayant la probabilité 1/5 de ne pas être dépassé une année donnée

QJXA10 = débit journalier maximal avec une période de retour de 10 ans



— GR4J —●— Isba-Modcou



— GR4J —●— Isba-Modcou

Atelier
LARSIM

19 mars 2015



Résultats de l'action 4 de FLOW MS

RAPPELS DE LA PRÉSENTATION DE K. GERLINGER DE L'ANNÉE DERNIÈRE

1 scénario d'émission de GES (A1B)



1 modèle global (ECHAM5)



1 modèle régional (COSMO-CLM)



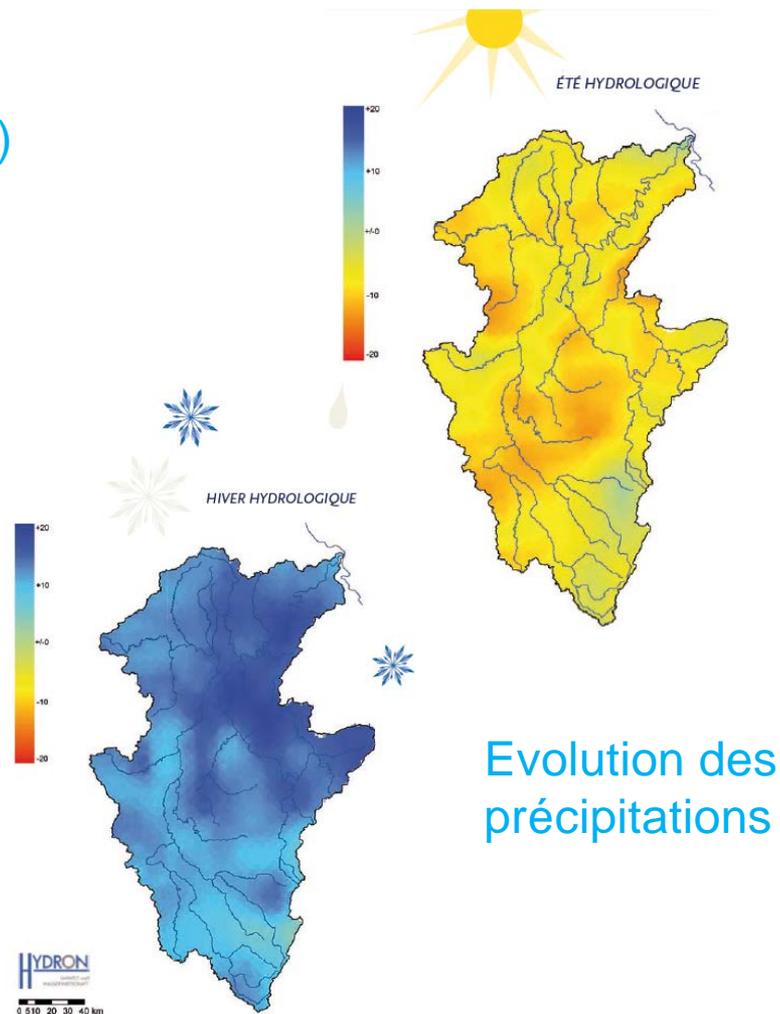
1 modèle hydrologique (LARSIM)

Périodes : 1971-2000 et 2021-2050

Atelier
LARSIM

19 mars 2015

irstea



Evolution des
précipitations

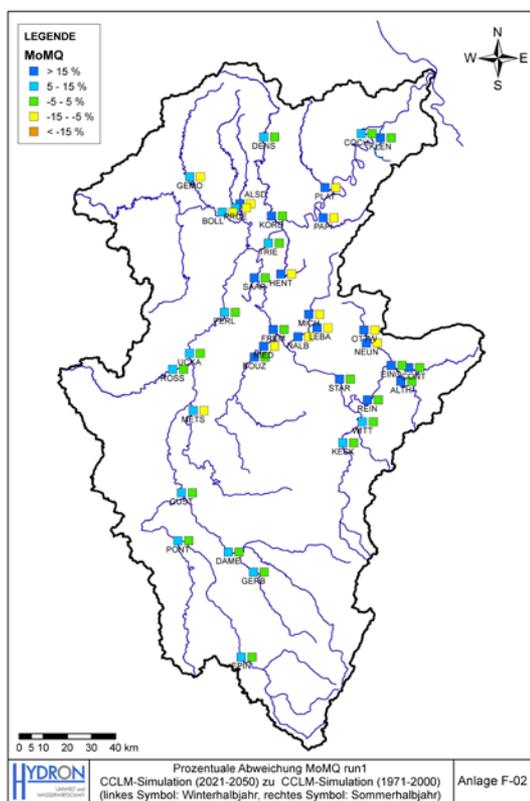
Résultats de l'action 4 de FLOW MS

ÉTIAGES EN DIMINUTION L'ÉTÉ

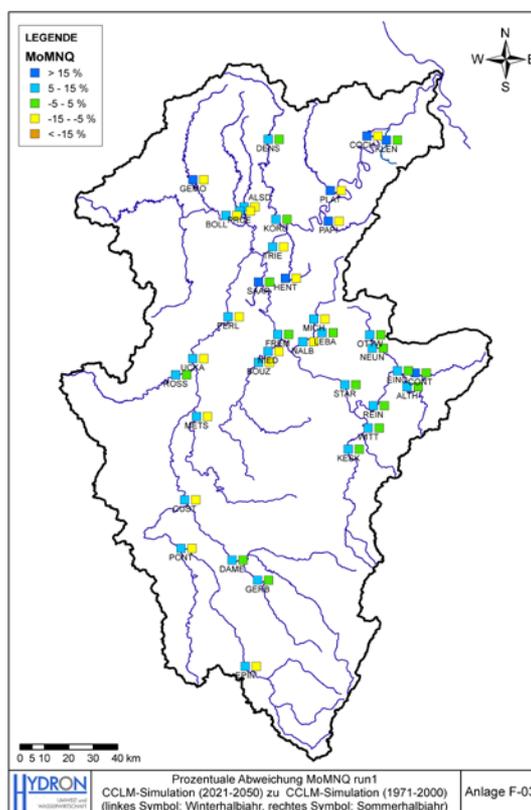
CRUES EN AUGMENTATION L'HIVER

DÉBITS MOYENS EN AUGMENTATION L'HIVER ET EN DIMINUTION L'ÉTÉ

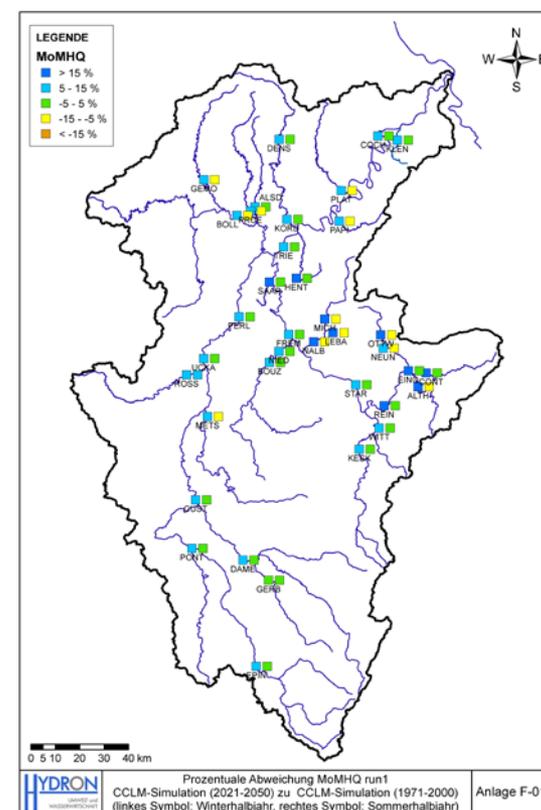
Débit mensuel moyen



Débit mensuel moyen d'été



Débit mensuel moyen de crue



Les partenaires du projet MOSARH21

1. **IRSTEA** → réalisation des modélisations hydrologiques et exploitation des résultats
2. **HYDRON** → calage du modèle LARSIM en Alsace et assistance à l'IRSTEA pour utilisation du modèle
3. **AERM** → financement du projet
4. **DREAL Lorraine** → pilotage du projet
5. **Université de Lorraine** → expertise hydrologique



Atelier
LARSIM

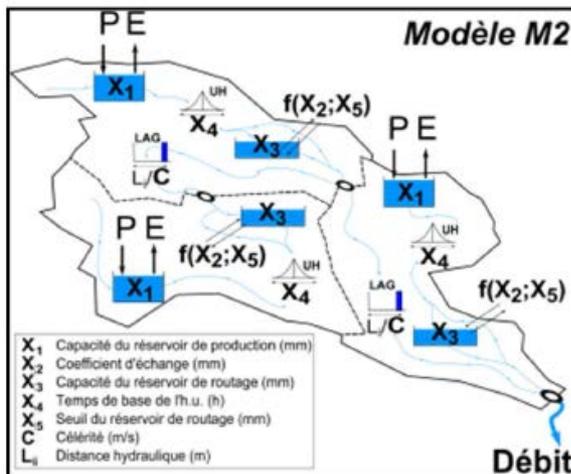
19 mars 2015



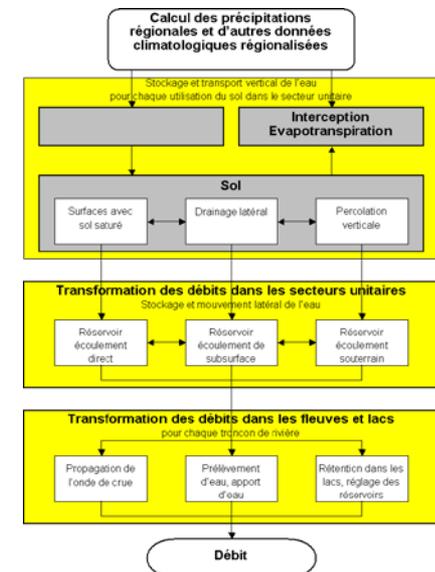
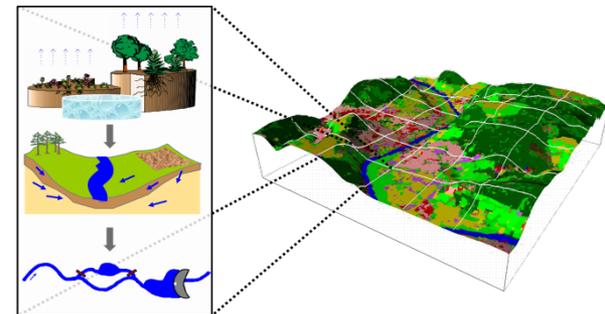
Les modèles hydrologiques

GR5J semi-distribué

- Modèle conceptuel pluie-débit
- Échelle du sous-bassin versant
- Pas de temps journalier
- 7 paramètres, calage automatique



Modèle de bilan hydrologique LARSIM



Les points de calcul

■ 70 points de calculs :

↪ catégorie 1 = 22 stations pour lesquelles LARSIM sera (ou est déjà) calé en journalier -> analyse détaillée des résultats des deux modèles

↪ catégorie 2 = 26 stations sur lesquelles LARSIM ne sera pas calé -> analyse simpliste

↪ catégorie 3 et 4 = 18+4 stations avec calculs seulement sans analyse particulière

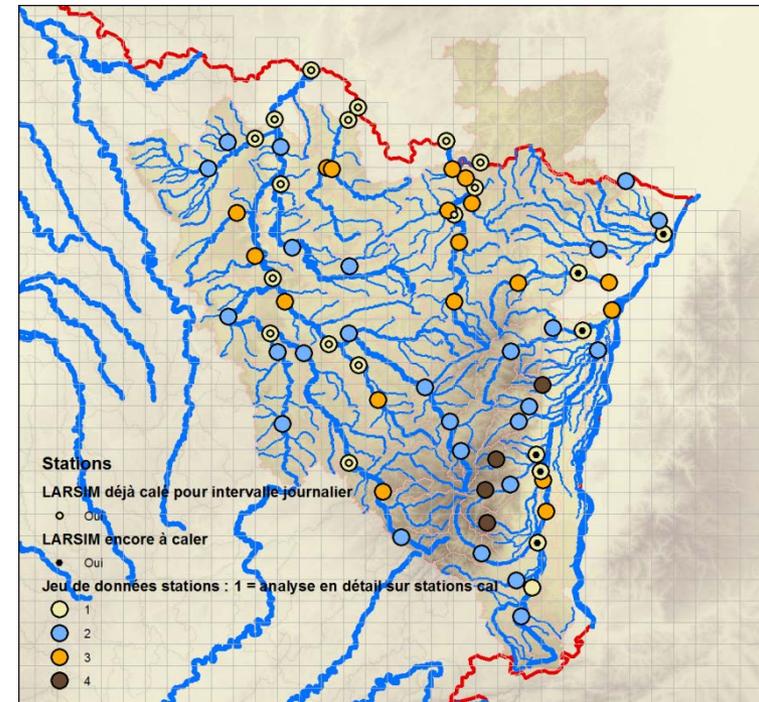
■ Choix des stations :

↪ Catégorie 1 = FLOW MS + 7 stations supplémentaires en Alsace

↪ Catégorie 2 = stations avec suivi étiage et/ou correspondant à un TRI

↪ Catégorie 3 = stations Explore 2070

■ Débits observés disponibles sur TOUTES les stations





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 GR5J 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

19 mars 2015

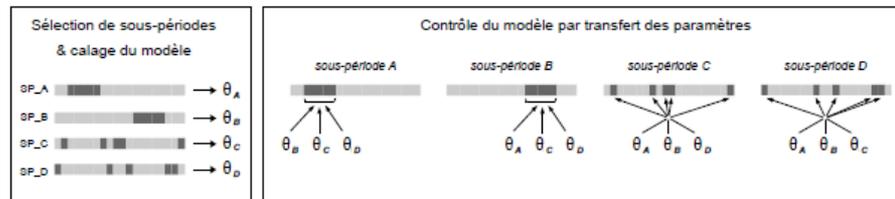


Analyse des résultats

ANALYSE EN TEMPS PRÉSENT DES PERFORMANCES DES MODÈLES

L'incertitude liée aux modèles hydrologiques est non-négligeable

- Utilisation de deux modèles de conceptualisation différente
- Tests de calage-contrôle sur des périodes climatiquement contrastées



Coron, 2013

FIGURE 2.1.: Méthodologie de test de calage-contrôle SST et DSST

Les sous-périodes utilisées pour caler et valider le modèle peuvent être continues (ex. A et B) ou résulter d'une sélection d'années réparties sur la chronique (ex. C et D).

- Réalisation des projections avec des modèles calés sur des conditions climatiquement différentes



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 travaux d'autres projets
(Explore 2070 et FLOW MS notamment)

- Uniformisation des analyses réalisées
- Meilleure comparabilité des résultats

Atelier
LARSIM

19 mars 2015

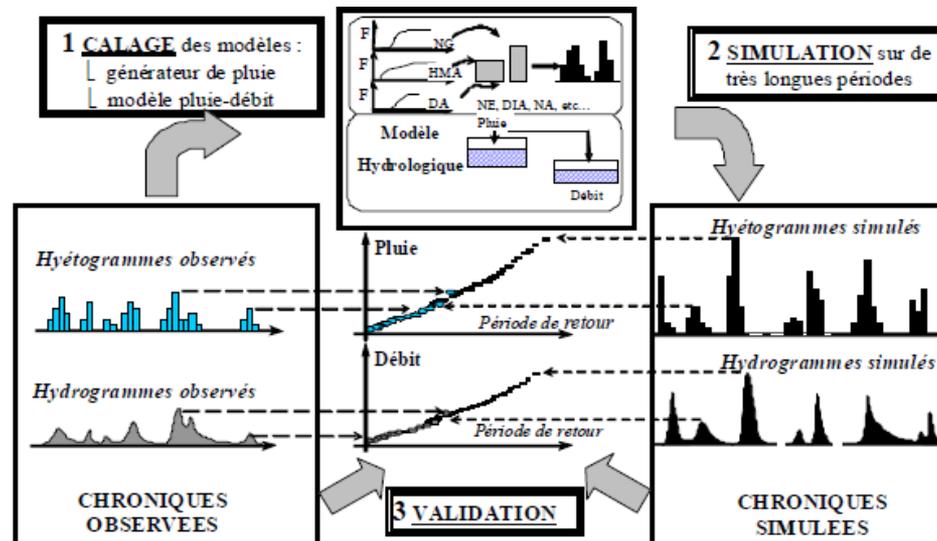


Générateur de pluies

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



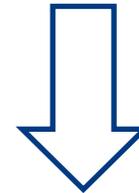
Figure 3-1—Le principe du fonctionnement du générateur de pluie, Shypre (Simulation d'Hydrogrammes pour la PRÉdétermination des débits de crue)

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

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

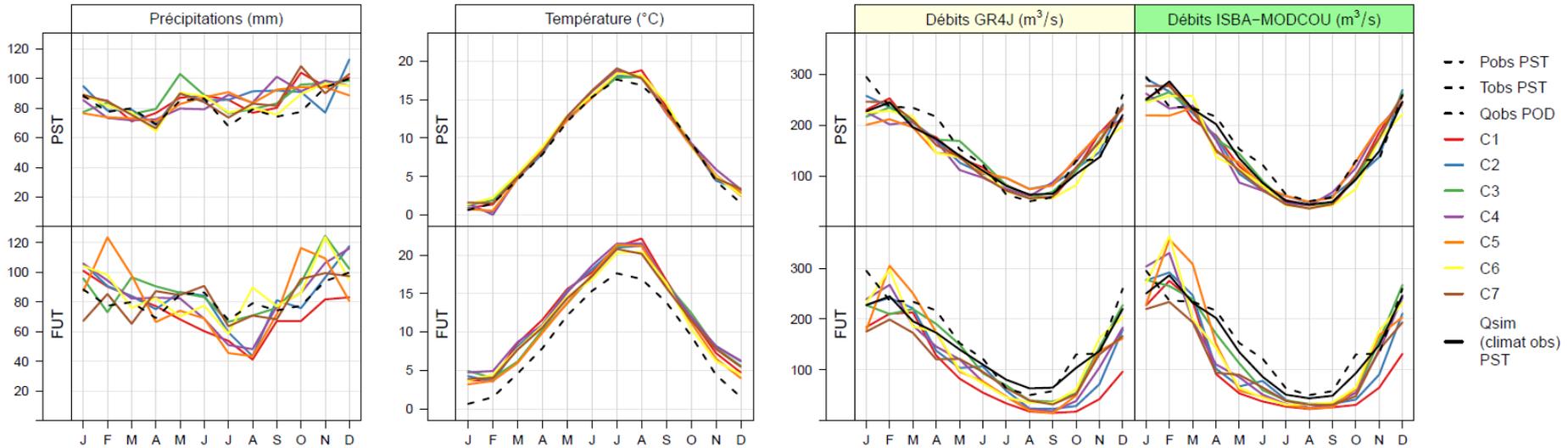


Exemple de restitution possible

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	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	
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

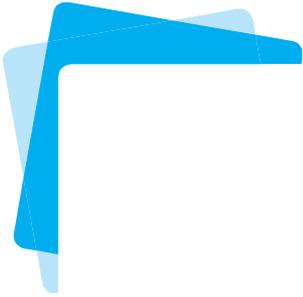
Etape	Mois											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 Demandes d'autorisation	■	■										
2. BDD d'observations	■	■	■									
3. BDD de projections climatiques	■	■	■	■								
4. Générateur de pluie		■	■	■	■							
5. Multi-modèles (calage)	■	■	■	■	■	■						
6. Projections hydrologiques			■	■	■	■	■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

↑
Réunion
préparatoire
15/01/15

↑
Feu vert
financier
19/03/15

↑
Bilan à mi-
parcours

↑
Restitution
finale



Merci !

Danke!

Atelier
LARSIM

19 mars 2015

