

Comparaison et évaluation de trois modèles de prévision des crues sur le bassin de la Sarre

Vergleich und Bewertung der drei Hochwasservorhersagemodelle für das Saareinzugsgebiet

**Charles Perrin^{(1)*}, Damien Lilas⁽¹⁾, Vazken Andréassian⁽¹⁾,
Laurent Philippoteaux⁽²⁾, Rémi Lamblin⁽³⁾**

(1)Irstea, Antony (charles.perrin@irstea.fr)

(2)SPC Rhin-Sarre, Strasbourg

(3)SCHAPI, Toulouse

Pour mieux
affirmer
ses missions,
le Cemagref
devient Irstea



www.irstea.fr



Service Navigation de Strasbourg

Atelier LARSIM, 15 mars 2012, Metz



Pourquoi comparer des modèles ?

Qualités intrinsèques des modèles souvent délicates à évaluer dans l'absolu

Comparaison permet une évaluation relative des performances : il n'y a pas de « bons » modèles de prévision, seulement des modèles meilleurs que d'autres

Permet de mieux cerner les limites des modèles et les marges de progrès possibles

Donne une meilleure évaluation des avantages ou risques qu'il y a à utiliser un modèle de prévision (« benchmarking »)

Atelier
LARSIM
15 mars
2012





Comment réaliser une « bonne » comparaison ?

Placer les modèles dans les mêmes conditions de test (entrées, information de calage, critères d'évaluation)

Réaliser l'évaluation sur une large gamme de conditions (variétés d'événements et nombre aussi grand que possible)

Choisir des critères d'évaluation objectifs et représentatifs des qualités recherchées

Se placer dans des conditions d'évaluation aussi proches que possibles des conditions réelles d'utilisation (niveau d'information, hors période de calage)

Atelier
LARSIM
15 mars
2012



Contexte de l'étude et objectifs

**Forts enjeux sur le bassin de la Sarre
mais prévision encore délicate**



La Sarre à Sarrebourg le 09/12/2010
(Photo : Bernard Firmin)

Souhait du SPC Rhin-Sarre :

**d'évaluer ses outils de prévision sur le bassin de la Sarre
(bassin où la prévision reste difficile)**

**d'évaluer les incertitudes liées au choix des modèles et les
marges de progrès possible**

Objectifs de l'étude :

**Evaluer les forces et faiblesses des trois modèles hydrologiques de
prévision des crues (GESRES, LARSIM et GRP)**

Compléter éventuellement le dispositif opérationnel de prévision du SPC

Atelier
LARSIM

15 mars
2012



Modèles de prévision des crues en jeu

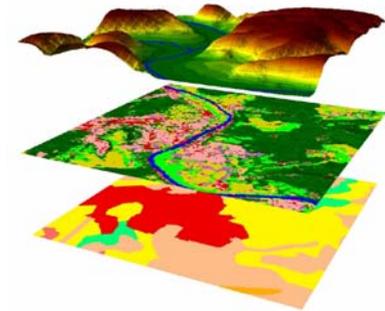
LARSIM :

Modèle spatialement distribué

Modèle fondé sur la physique

Données météorologiques riches en entrée et assimilation des débits

Utilisé en temps réel par le SPC



GESRES :

Approche globale

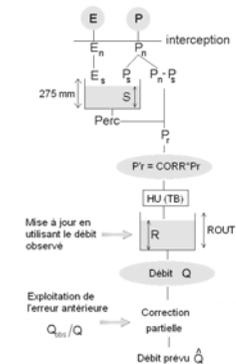
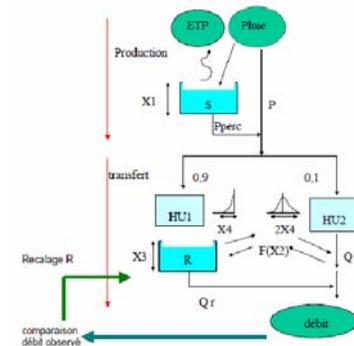
Modèle conceptuel GR4J (+ module neige)

Continu, pas de temps horaire

4 paramètres libres à caler

Assimilation des débits

Utilisé en temps réel par le SPC



Atelier
LARSIM
15 mars
2012



GRP :

Approche globale

Modèle conceptuel (+ module neige)

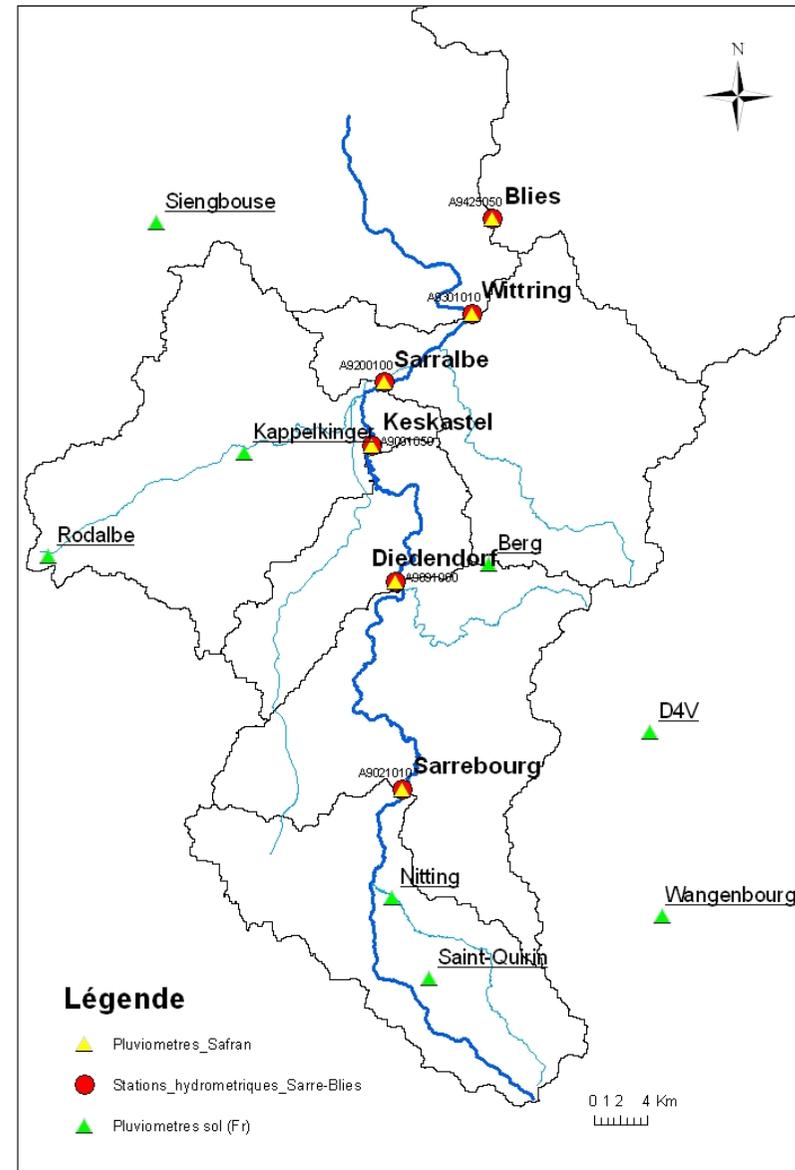
Continu, pas de temps horaire

3 paramètres libres à caler

Assimilation des débits

Zone et stations d'étude

Code	Cours d'eau	Stations	Surface (km ²)	Nombre de pluviomètres associés	Altitude médiane du bassin (m)
A9021010	Sarre	Sarrebourg	312.05	5	323
A9091050	Sarre	Keskastel	880.74	5	287
A9091060	Sarre	Diedendorf	716.89	5	295
A9200100	Sarre	Sarralbe	?	8	
A9301010	Sarre	Wittring	1717.45	8	273
A9425050	Blies	Bliesbruck	1815	21	333

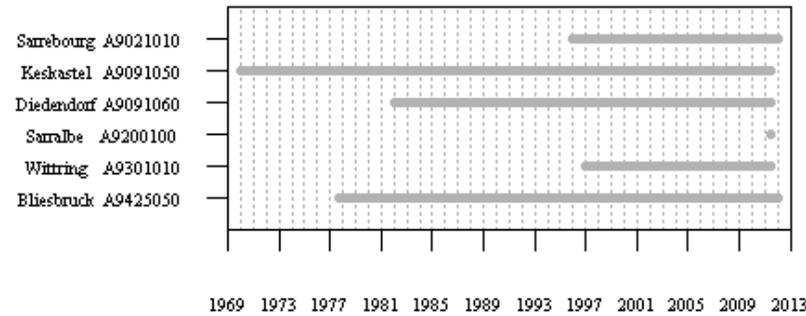


Atelier
LARSIM
15 mars
2012



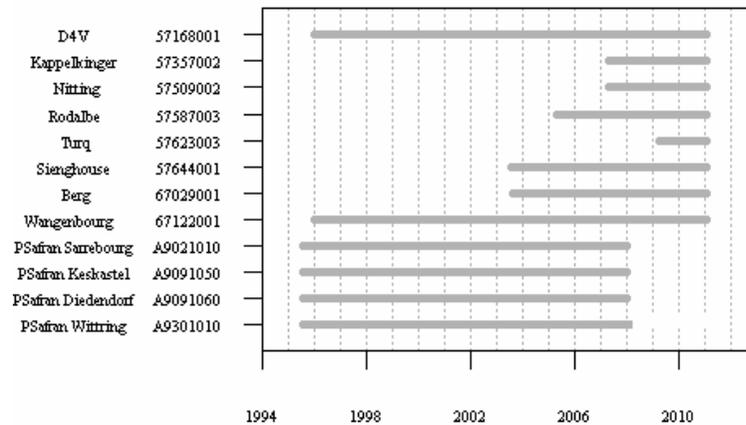
Disponibilité des données

- Données hydrométriques

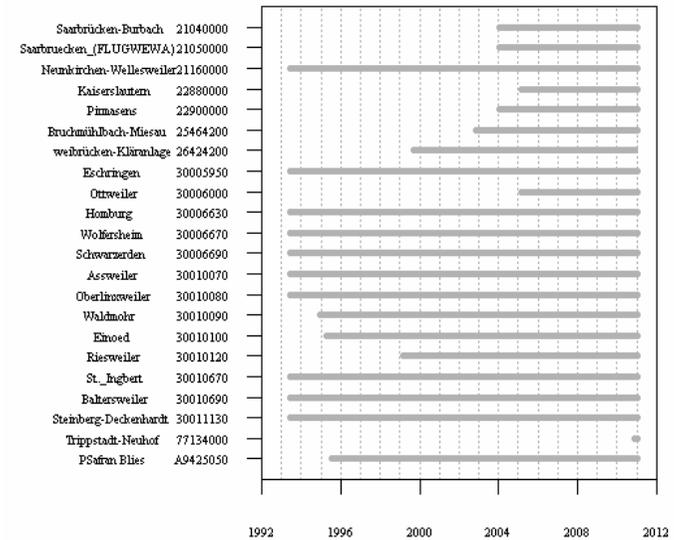


- Données pluviométriques

Sarre



Blies

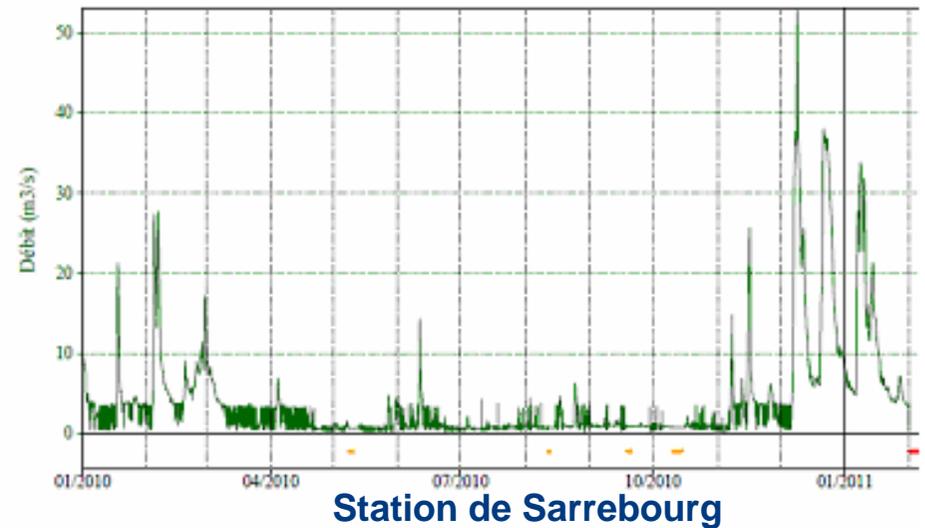
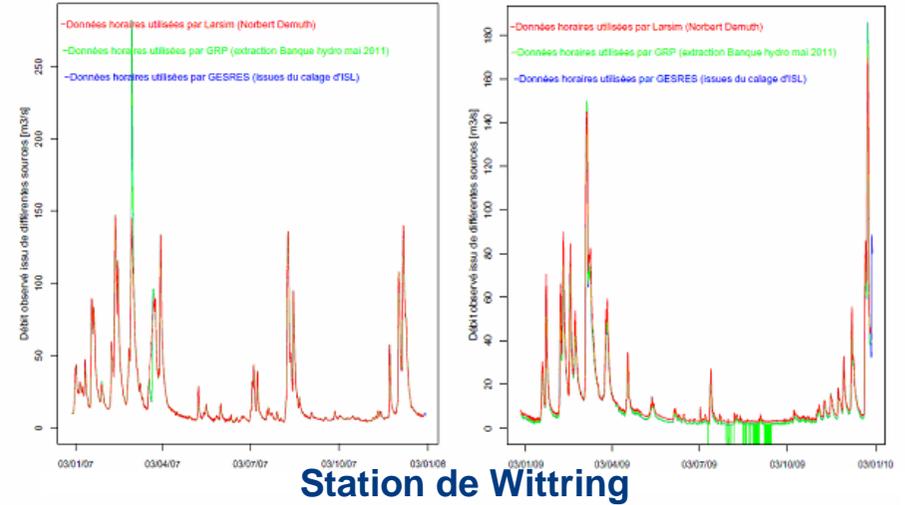
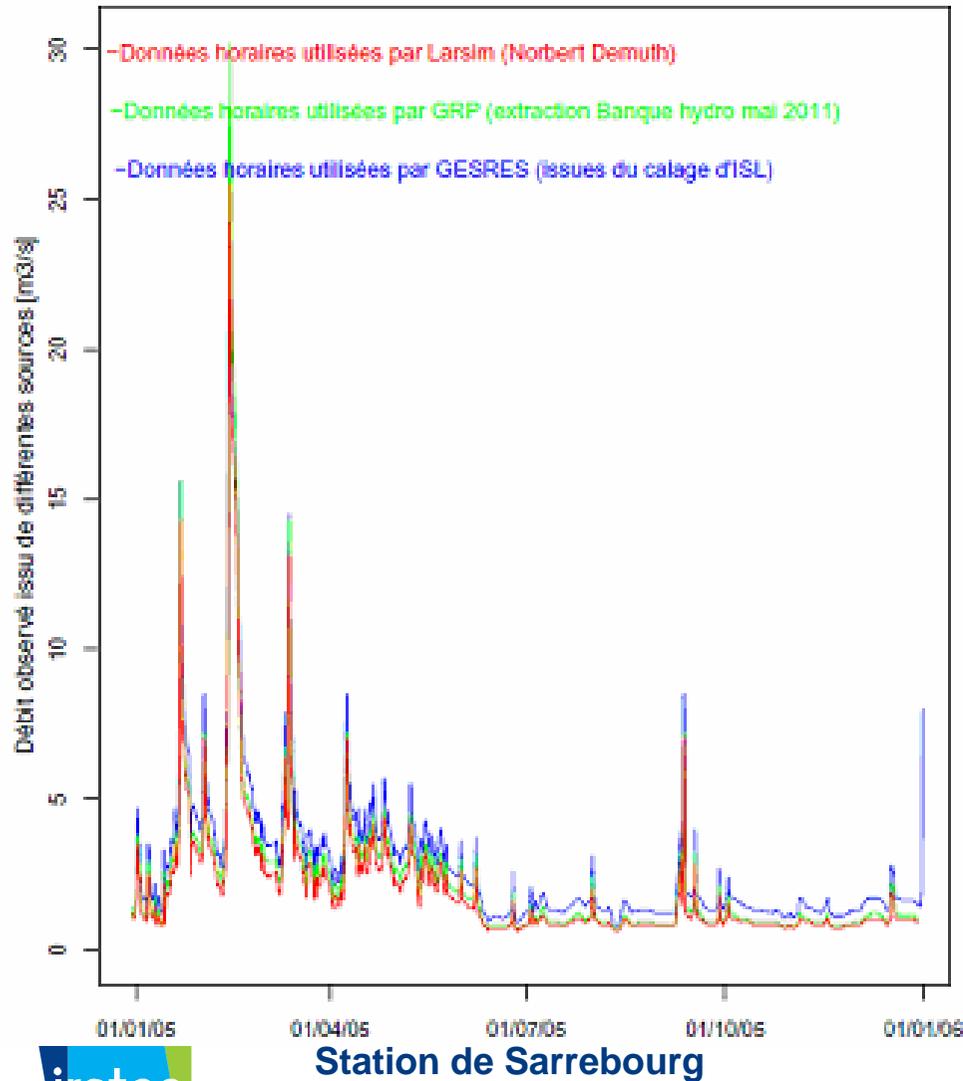


Atelier
LARSIM
15 mars
2012



Base de données au pas de temps horaire

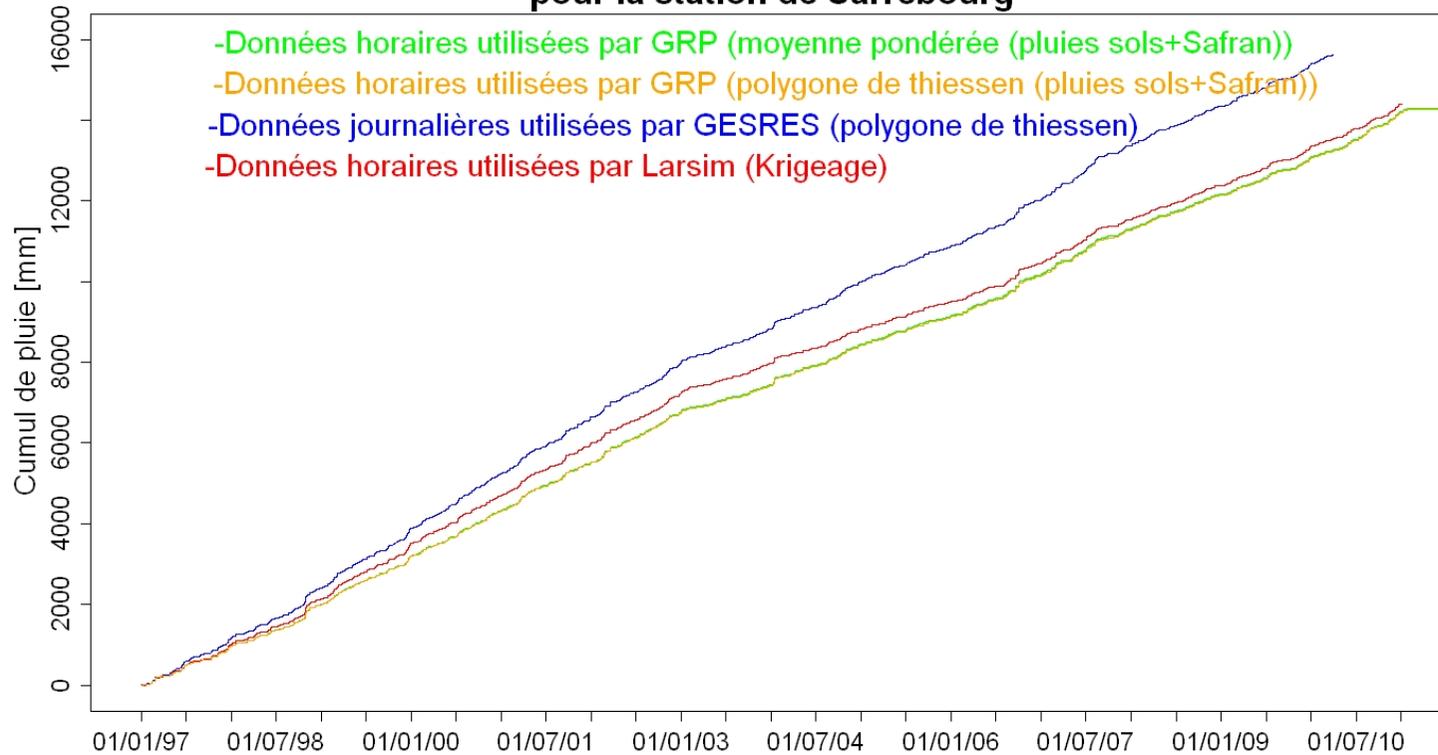
Comparaison des données hydrométriques utilisées au calage



Base de données au pas de temps horaire

Comparaison des informations pluviométriques utilisées au calage

Cumuls de pluies utilisées en entrée de chaque modèle
pour la station de Sarrebourg



Atelier
LARSIM

15 mars
2012

→ Différences notables + Nécessité de recalibrer GESRES



Base de données au pas de temps horaire

Configurations pluviométriques différentes

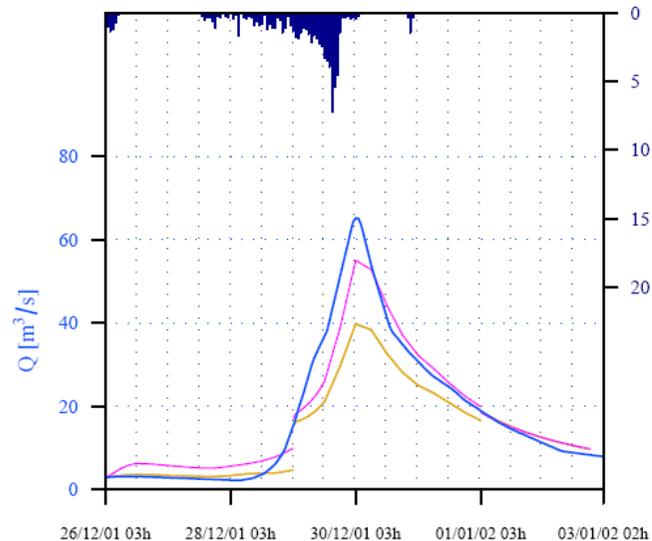
- d'un modèle à l'autre
- entre le calage et la prévision temps réel

Test des différentes pluies de bassin avec GRP

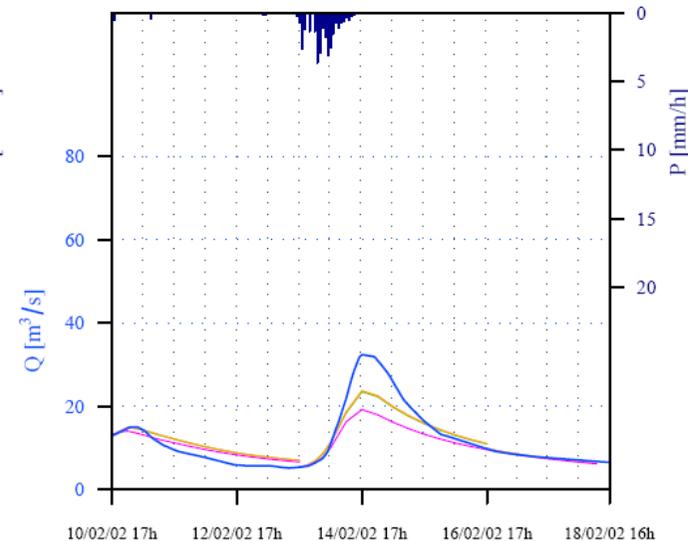
A9021010 Sarrebourg (Superficie=312.05 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (bleu), prévisions jusqu'à 72 h avec le modèle GRP +Pbv 'moyenne arithmétique sur les ponderations des pluviométriques' (vert), +Pbv Larsim (violet), +Pbv 'temps réel Gesres' (orange)

événement débit n°7; pluie tombée = 77.7mm



événement débit n°8; pluie tombée = 29.3mm



Atelier
LARSIM
15 mars
2012



- Différences notables
- Intérêt à prendre la pluie de bassin Larsim

Base de données au pas de temps horaire

Choix réalisés pour faire la comparaison :

Utilisation du jeu de données de pluie et débit de l'étude de calage de Larsim (évapotranspiration potentielle propre à chaque modèle)

Résultats utilisés :

Larsim : prévisions réalisées dans une étude antérieure

GESRES et GRP : résultats propres à l'étude (calages nouveaux)

Périodes d'évaluation :

1997-2003 pour le calage

1997-2010 pour la validation

(forts événements sur 1998-2001)

1997-2003	2003-2010
Calage	
Contrôle	



Résultats en contrôle
utilisés pour évaluer les
performances du modèle

Atelier
LARSIM

15 mars
2012

Scénario de pluie future : pluie observée a posteriori



Délai de prévision : 1 à 72 h

Critères d'évaluation

Critères numériques :

Erreur quadratique moyenne (RMSE)

Critère de persistance (évaluation relativement au modèle de persistance : $Q_{\text{prev}}(t+L) = Q_{\text{obs}}(t)$)

Critères liés au tableau de contingence (dépassement de seuil) :

Probabilité de détection POD : $a / (a+c)$

Taux de fausses alertes FAR : $b / (a+b)$

Indice de succès critique : $a / (a+b+c)$

Atelier
LARSIM
15 mars
2012

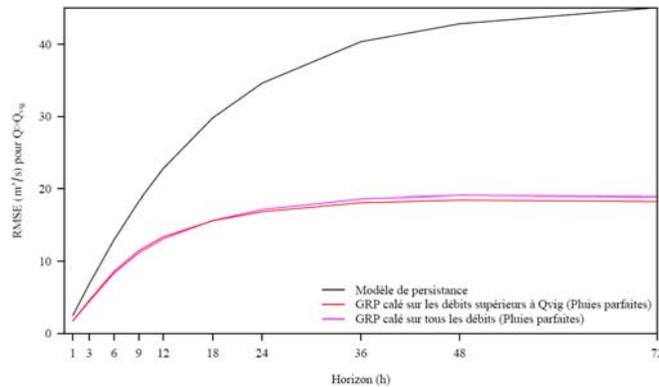
		Observation	
		Dépassement	Non dépassement
Prévision	Dépassement	Alerte valable ^(a)	Fausse alerte ^(b)
	Non dépassement	Alerte manqué ^(c)	Non alerte valable ^(d)



Critères d'évaluation

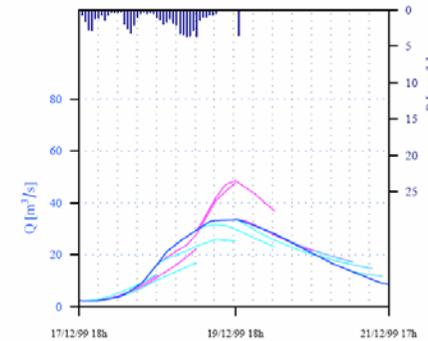
Critères graphiques :

Evolution de la RMSE en fonction du délai de prévision

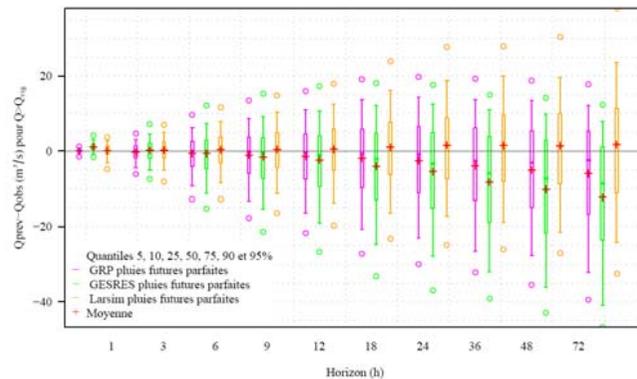


Exemples de prévisions sur événements

A9021010 Sarrebourg (Superficie=312.05 km², Hc=12 h, GRP)
événement débit n°4; pluie tombée = 68.766mm

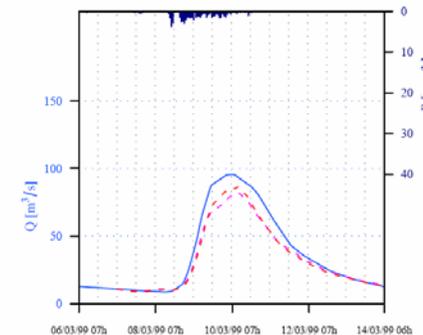


Distribution des erreurs en fonction du délai



Trace des prévisions pour un délai donné

A9091060 Diedendorf (Superficie=716.89 km², Hc=24 h, GRP)
événement débit n°3; pluie tombée = 54.828mm



Atelier
LARSIM
15 mars
2012





Travaux préalables sur GESRES et GRP

Mise en place des deux modèles dans un même environnement de test

GESRES reprogrammé sous environnement GRP pour systématiser les tests

Recalage du modèle GESRES par rapport à l'étude de calage initiale

Amélioration des résultats antérieurs

Analyse de sensibilité des résultats aux conditions de calage
Pas d'intérêt à caler au dessus d'un seuil (sauf à Diedendorf)

Analyse de sensibilité des résultats à la prise en compte de la neige

Gain modéré à utiliser un module neige de type degré-jour, mais significatif sur certains

Atelier
LARSIM
15 mars
2012



Comparaison des résultats des trois modèles

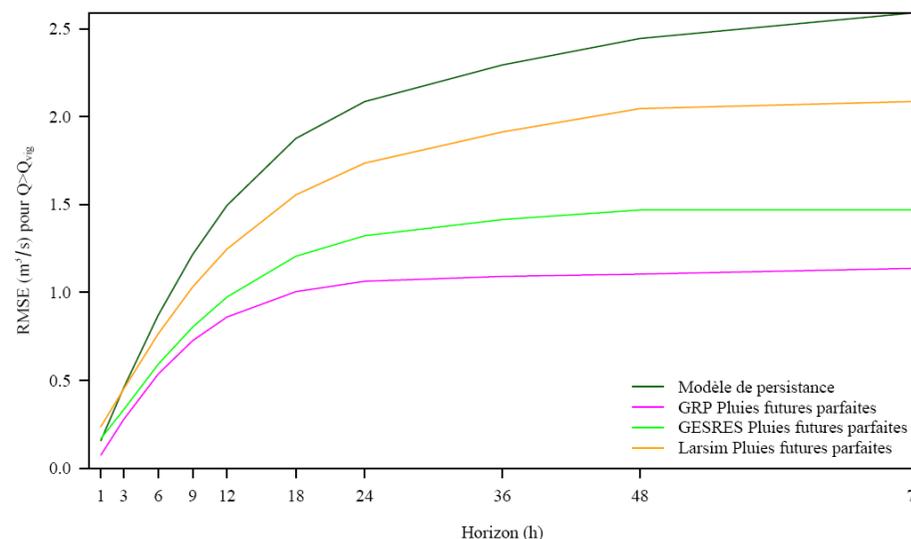
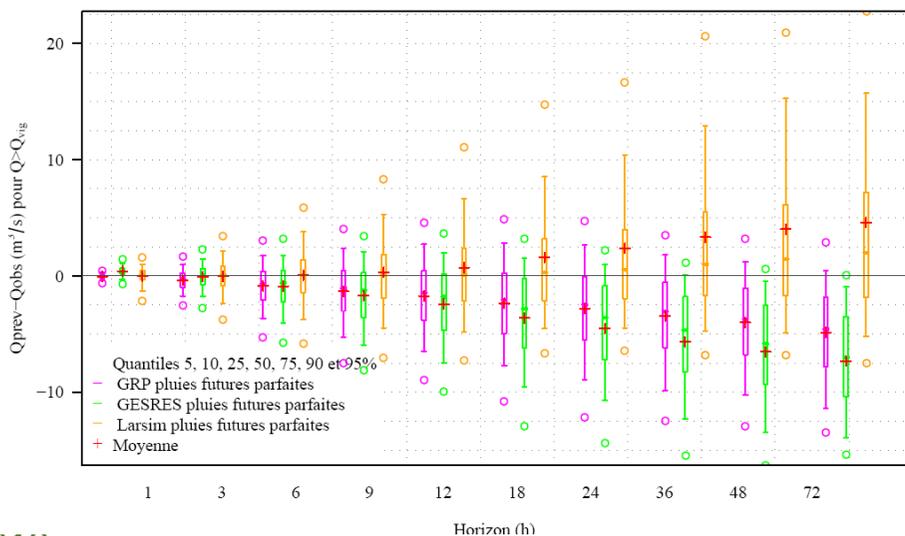
Station de Sarrebourg (Sarre, 312 km²)



A9021010 Sarrebourg Modèle : GRP GESRES Larsim

Tableau d'analyse de dépassement du seuil SPC de 13 m³/s à 12h

	Dépassement observé			Non-dépassement observé			
Dépassement prévu	281	232	372 ^a	58	70	239 ^b	POD = $\frac{a}{a+c} = 44.8 \ 37.0 \ 59.3 \ %$
Non-dépassement prévu	346	395	255 ^c	137	1013	69813529 ^d	FAR = $\frac{b}{a+b} = 17.1 \ 23.2 \ 39.1 \ %$
							CSI = $\frac{a}{a+b+c} = 41.0 \ 33.3 \ 43.0 \ %$



At
L/
15
2012



Comparaison des résultats des trois modèles

Station de Sarrebourg (Sarre, 312 km²)

-hydrogramme observé

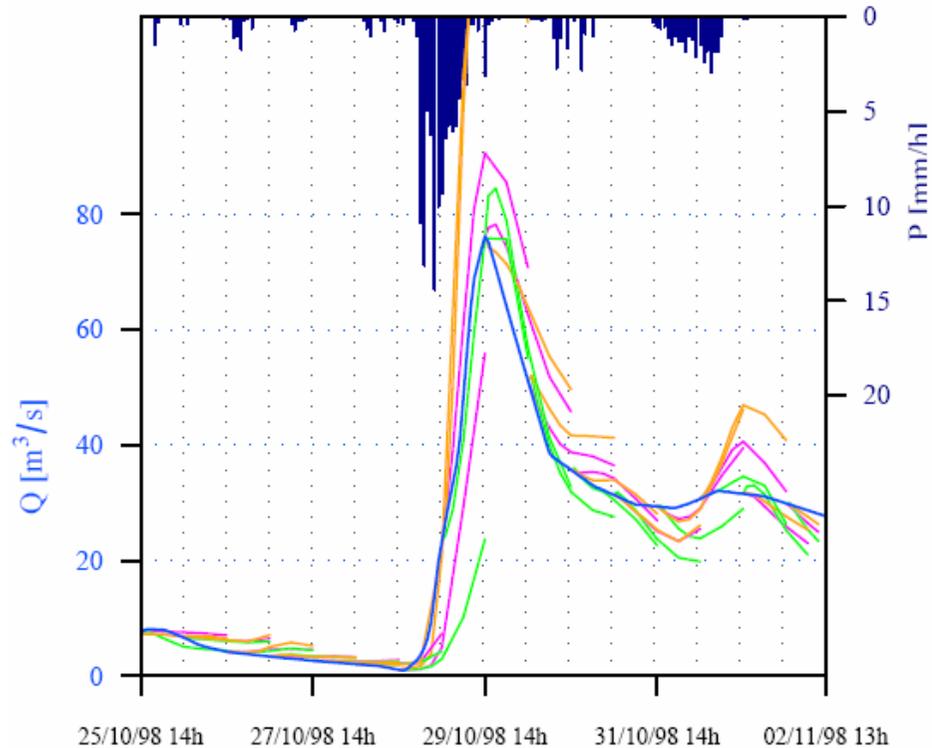
-prévu LARSIM

- prévu GESRES (avec neige)

- prévu GRP (avec neige)

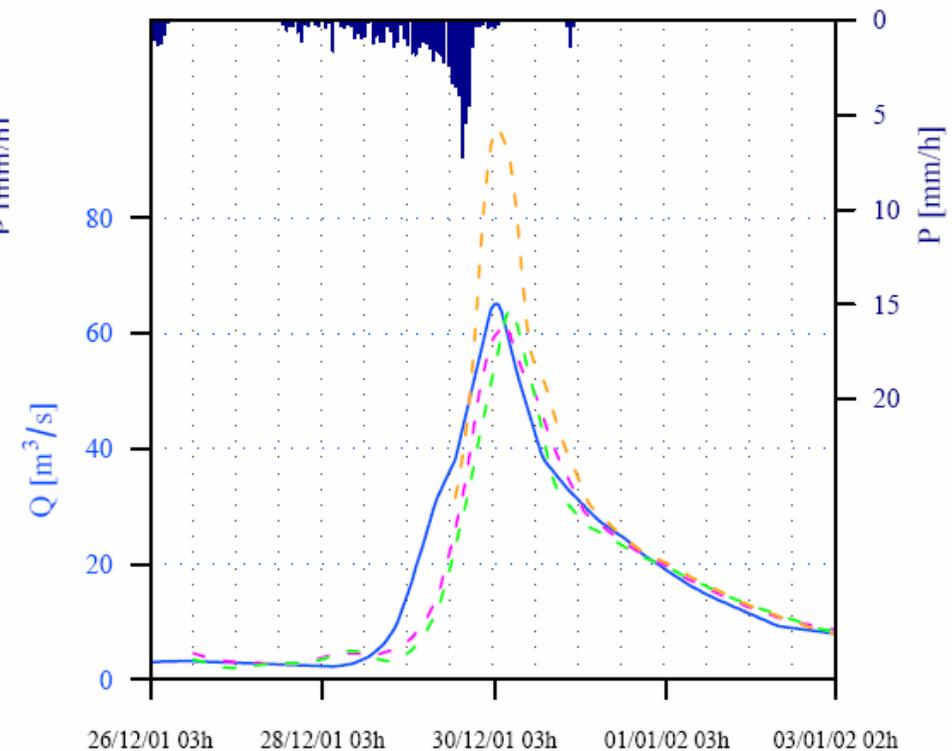
Exemple de prévisions (évt oct. 1988)

événement débit n°1; pluie tombée = 162.5mm



Traces de prévisions (évt déc. 2001)

événement débit n°7; pluie tombée = 77.7mm



Comparaison des résultats des trois modèles

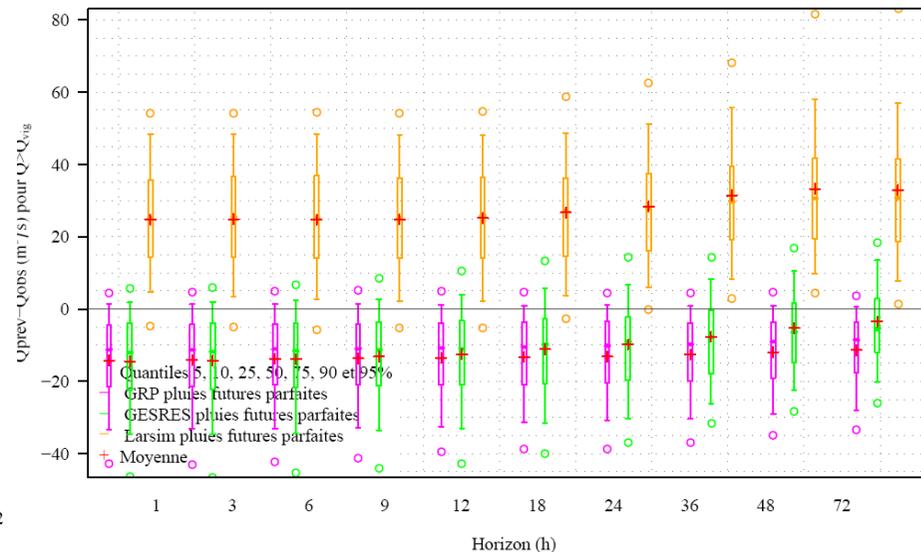
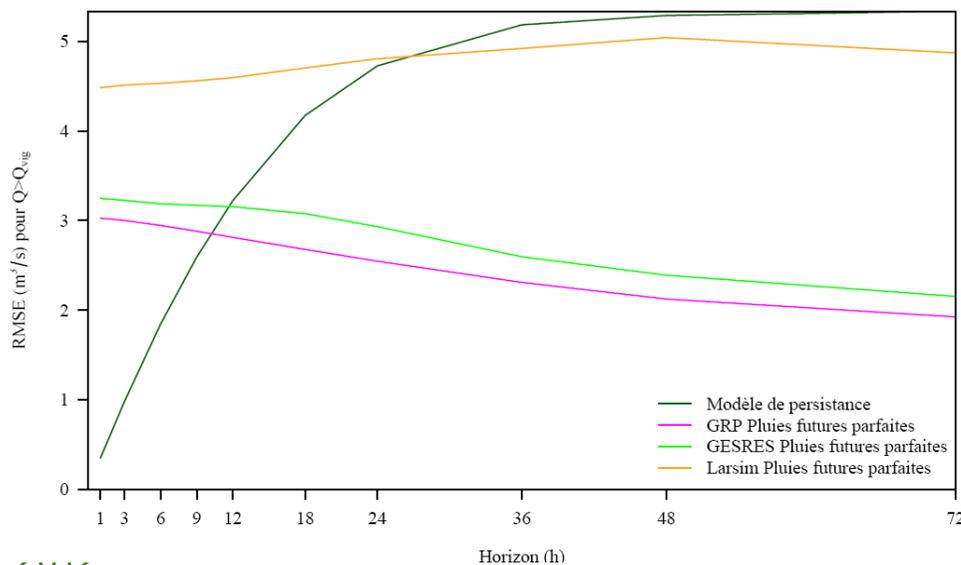
Station de Diedendorf (Sarre, 717 km²)



A9091060 Diedendorf **Modèle : GRP GESRES Larsim**

Tableau d'analyse de dépassement du seuil SPC de 25 m³/s à 24h

	Dépassement observé			Non-dépassement observé			
Dépassement prévu	529	512	809	417	271	3617	$POD = \frac{a}{a+c} = 63.1 \ 61.1 \ 96.5 \ %$ $FAR = \frac{b}{a+b} = 44.1 \ 34.6 \ 81.7 \ %$
Non-dépassement prévu	309	326	29	14987	15133	11787	$CSI = \frac{a}{a+b+c} = 42.2 \ 46.2 \ 18.2 \ %$



2012



**Comparaison en simulation
(sans assimilation de débit)**

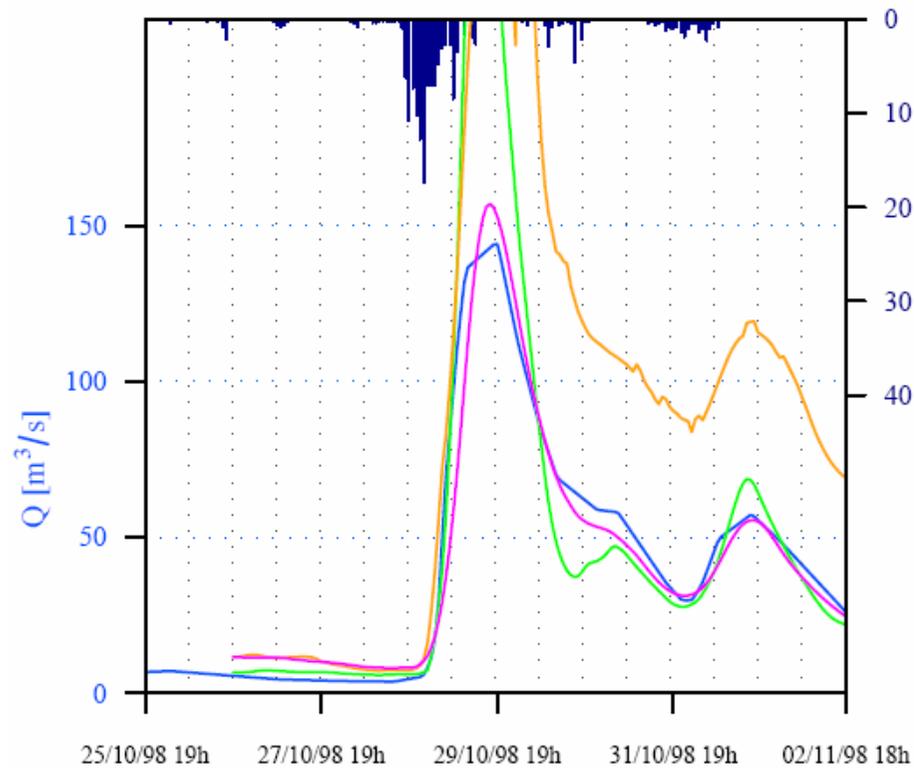
Comparaison des résultats des trois modèles

Station de Diedendorf (Sarre, 717 km²)

- hydrogramme observé
- prévu GESRES (sans neige)
- LARSIM (en simulation pas comparable) - prévu GRP (sans neige)

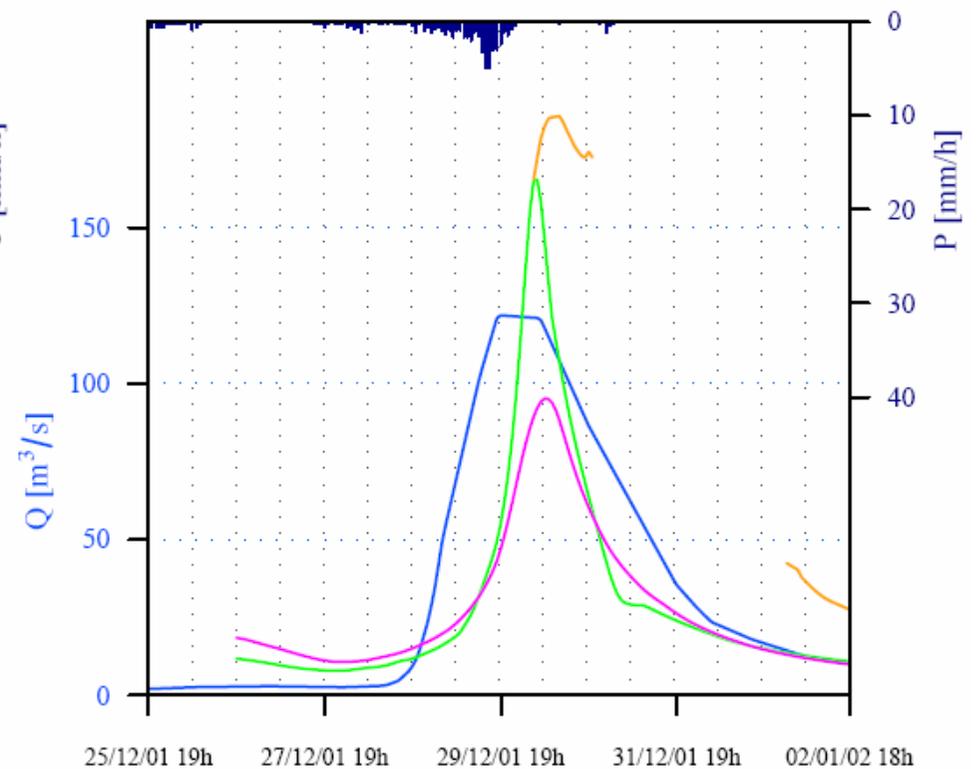
Exemple de prévisions (évt oct. 1988)

événement débit n°1; pluie tombée = 157.127mm



Traces de prévisions (évt déc. 2001)

événement débit n°6; pluie tombée = 60.247mm

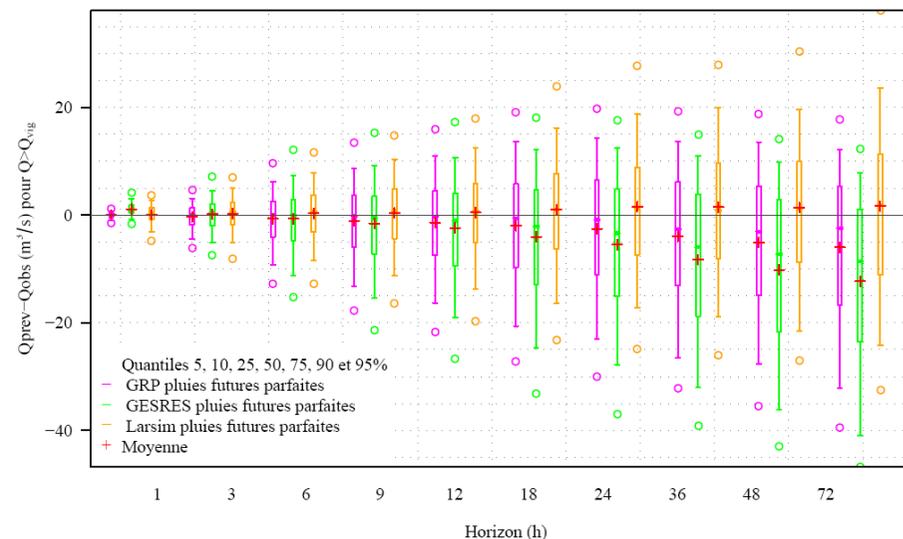
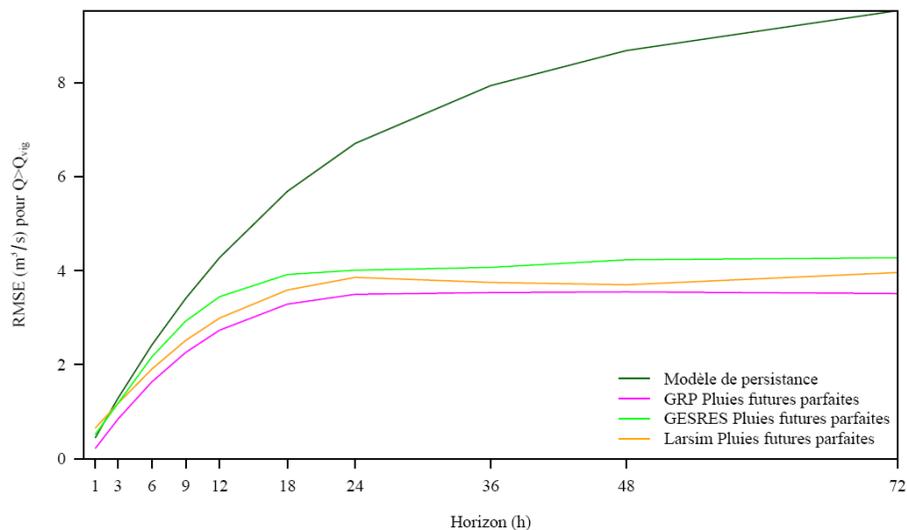


Comparaison des résultats des trois modèles

Station de Keskastel (Sarre 881, km²)



A9091050 Keskastel		Modèle : GRP GESRES Larsim	
Tableau d'analyse de dépassement du seuil SPC de 30 m³/s à 24h			
	Dépassement observé	Non-dépassement observé	$POD = \frac{a}{a+c} = 66.0 \ 59.1 \ 66.2 \ %$
Dépassement prévu	677 606 679 ^a	101 119 117 ^b	$FAR = \frac{b}{a+b} = 13.0 \ 16.4 \ 14.7 \ %$
Non-dépassement prévu	348 419 346 ^c	11594 11576 11578 ^d	$CSI = \frac{a}{a+b+c} = 60.1 \ 53.0 \ 59.5 \ %$



2012



Comparaison des résultats des trois modèles

Station de Keskastel (Sarre, 881 km²)

-hydrogramme observé

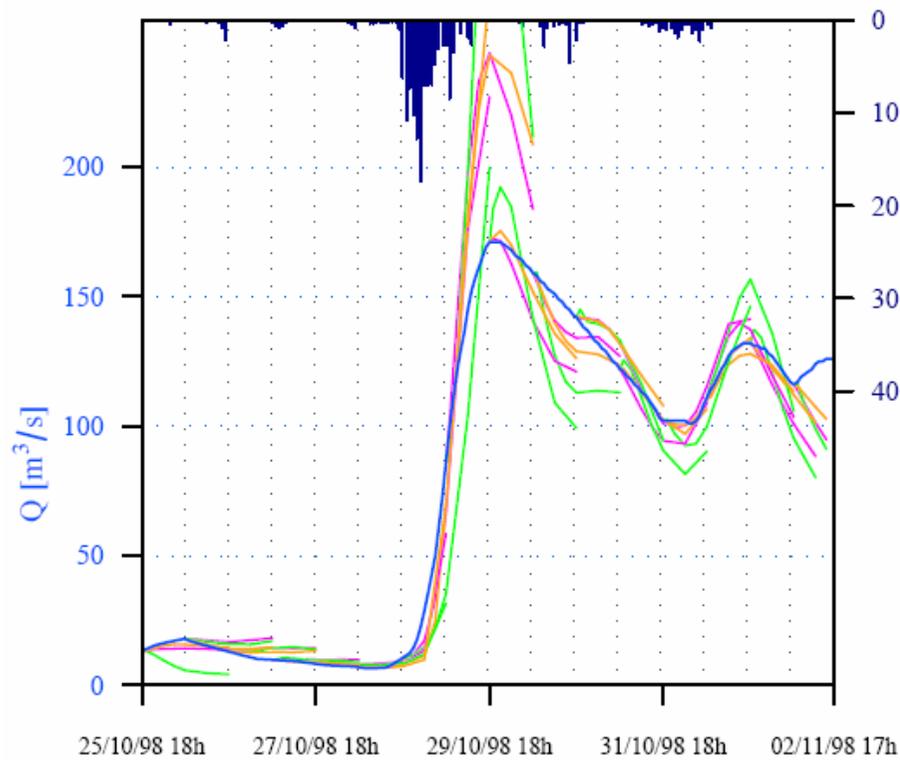
-prévu LARSIM

- prévu GESRES (avec neige)

- prévu GRP (avec neige)

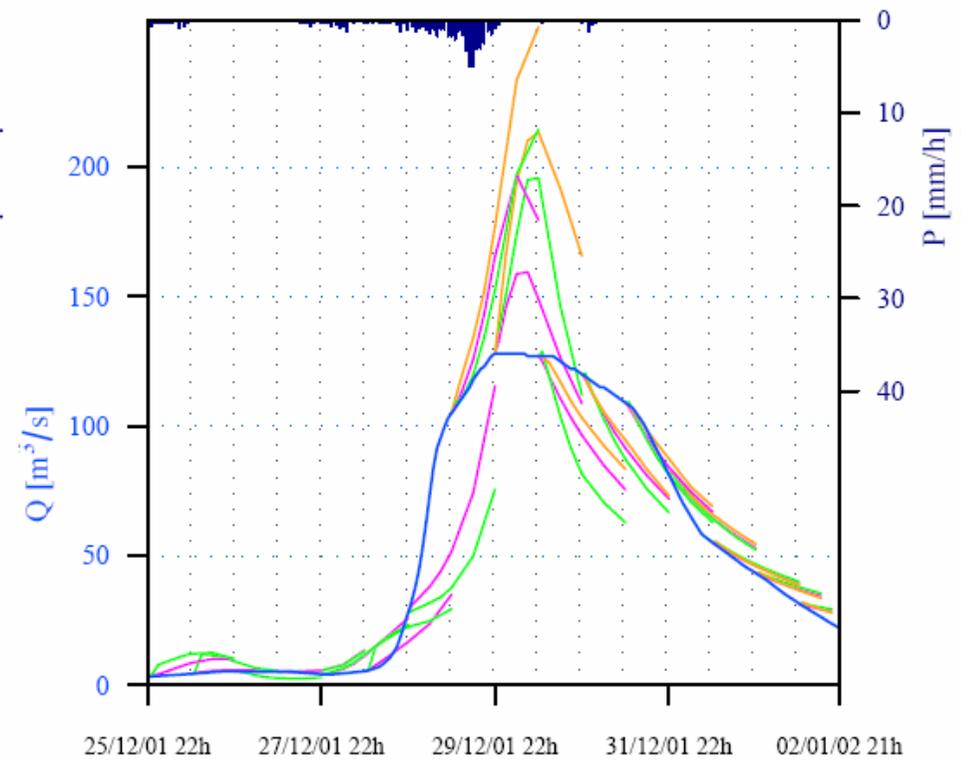
Exemple de prévisions (évt oct. 1988)

événement débit n°1; pluie tombée = 158.006mm



Traces de prévisions (évt déc. 2001)

événement débit n°7; pluie tombée = 58.43mm



Comparaison des résultats des trois modèles

Station de Witting (Sarre, 1717 km²)

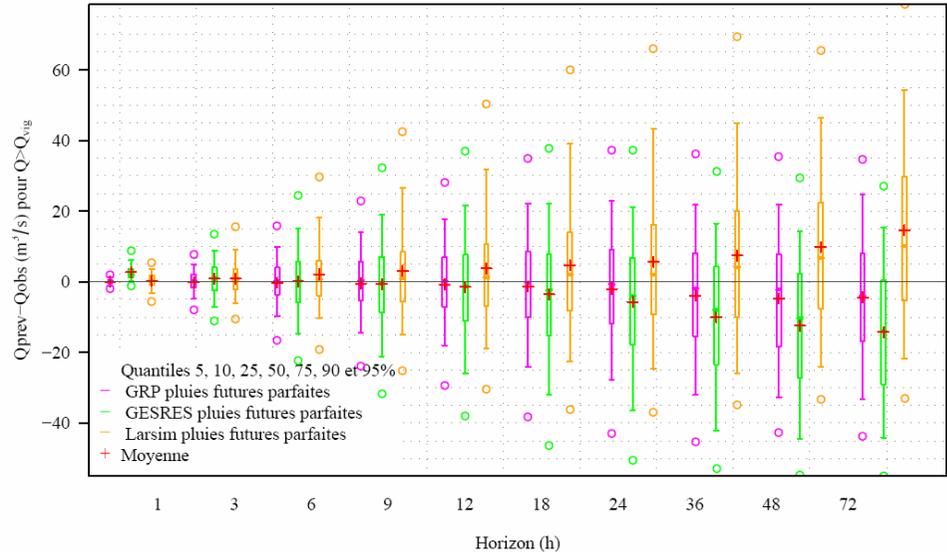
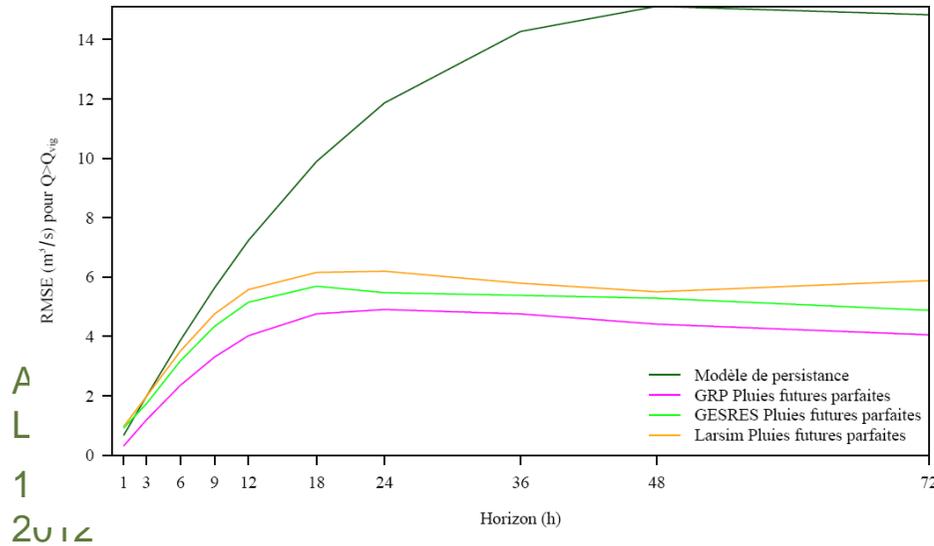


A9301010 Witting **Modèle : GRP GESRES Larsim**

Tableau d'analyse de dépassement du seuil SPC de 70 m³/s à 24h

	Dépassement observé			Non-dépassement observé		
Dépassement prévu	678	589	740	179	200	223
Non-dépassement prévu	229	318	167	12797	12776	12753

POD = $\frac{a}{a+c}$ =	74.8	64.9	81.6	%
FAR = $\frac{b}{a+b}$ =	20.9	25.3	23.2	%
CSI = $\frac{a}{a+b+c}$ =	62.4	53.2	65.5	%



1
2012



Comparaison des résultats des trois modèles

Station de Witting (Sarre, 1717 km²)

-hydrogramme observé

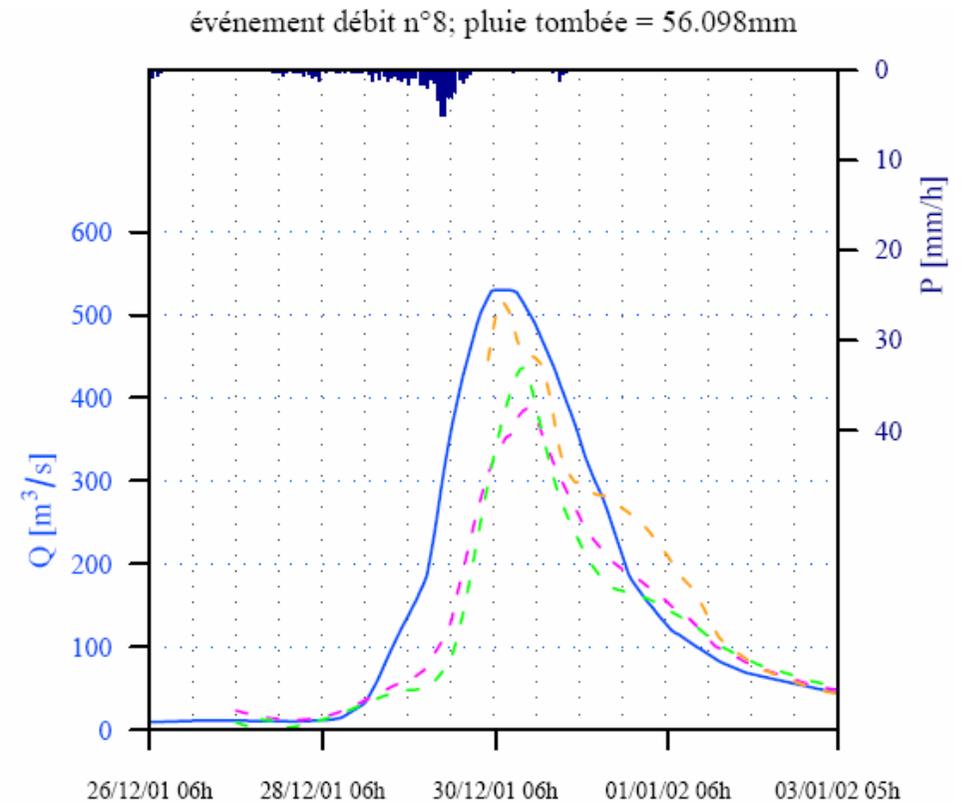
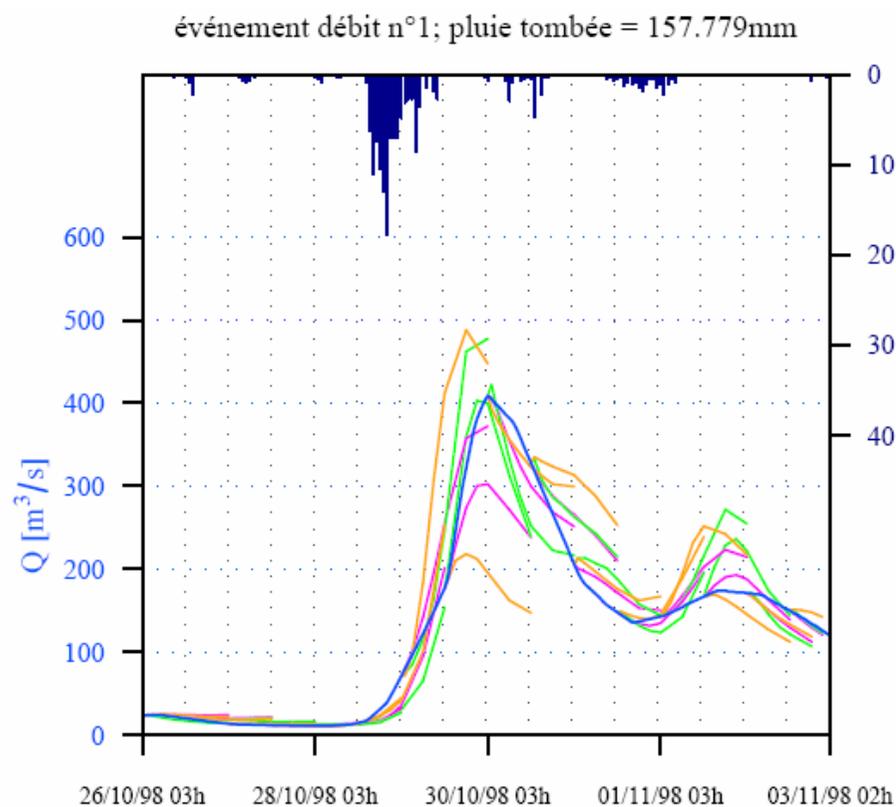
-prévu LARSIM

- prévu GESRES (avec neige)

- prévu GRP (avec neige)

Exemple de prévisions (évt oct. 1988)

Traces de prévisions (évt déc. 2001)



Comparaison des résultats des trois modèles

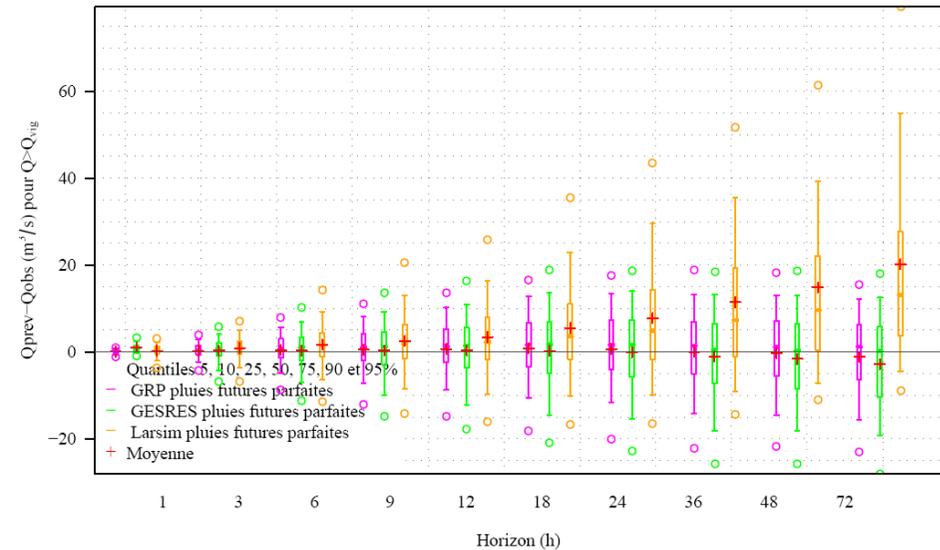
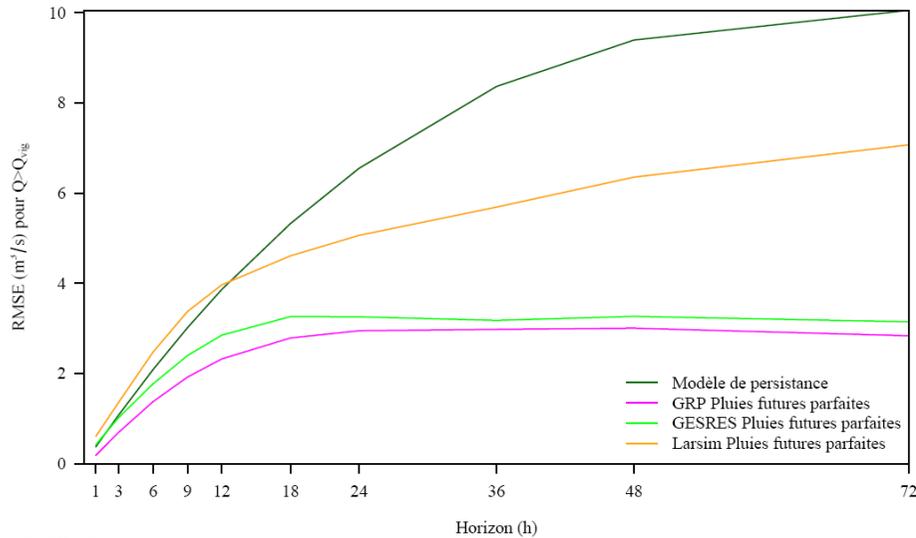
Station de Reinheim (Blies, 1815 km²)



A9444444 Reinheim **Modèle : GRP GESRES Larsim**

Tableau d'analyse de dépassement du seuil SPC de 40 m³/s à 24h

	Dépassement observé			Non-dépassement observé			
Dépassement prévu	864	707	940	168	155	404	$POD = \frac{a}{a+c} = 80.4 \ 65.8 \ 87.4 \ %$ $FAR = \frac{b}{a+b} = 16.3 \ 18.0 \ 30.1 \ %$
Non-dépassement prévu	211	368	135	10539	10552	10303	$CSI = \frac{a}{a+b+c} = 69.5 \ 57.5 \ 63.6 \ %$



2012



Comparaison des résultats des trois modèles

Station de Reinheim (Blies, 1815 km²)

-hydrogramme observé

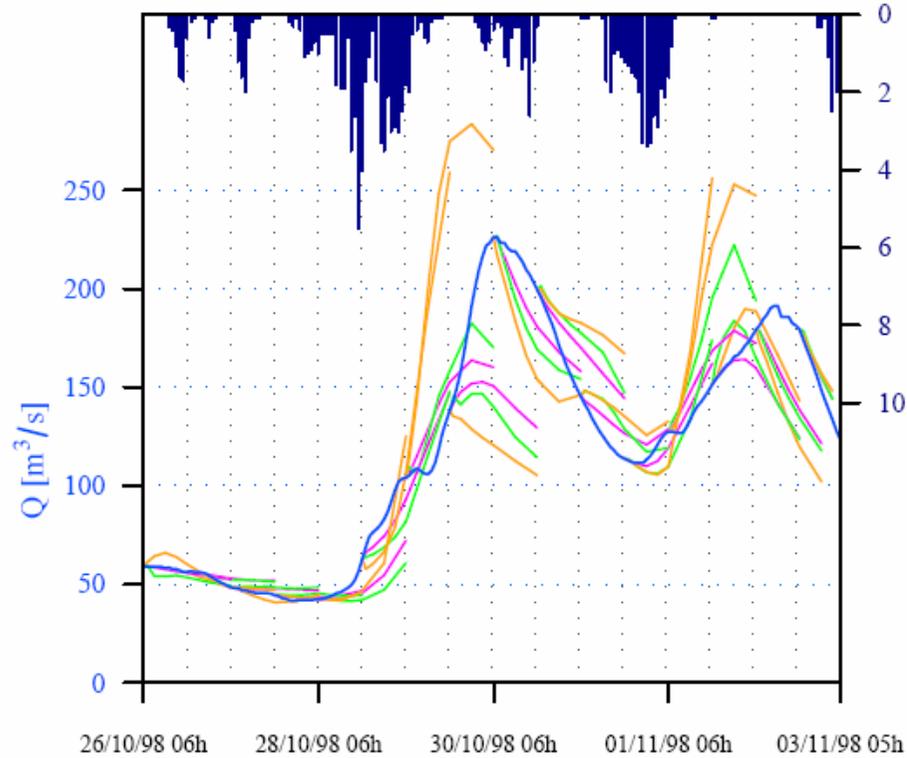
-prévu LARSIM

- prévu GESRES (avec neige)

- prévu GRP (avec neige)

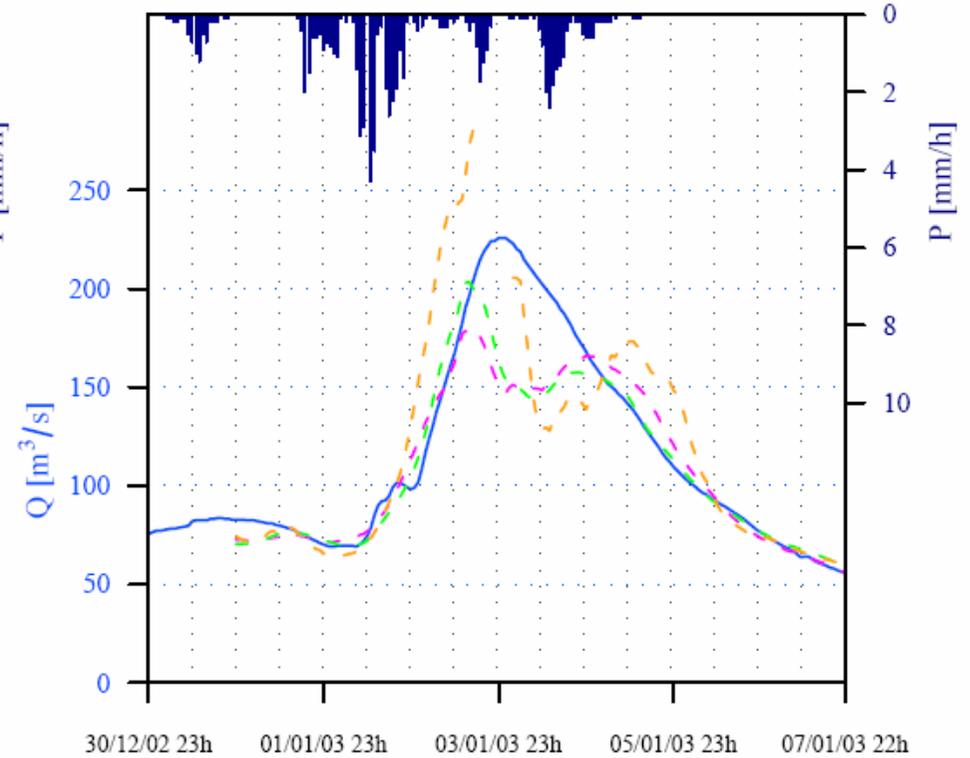
Exemple de prévisions (évt oct. 1988)

événement débit n°2; pluie tombée = 131.7mm



Traces de prévisions (évt janv. 2003)

événement débit n°14; pluie tombée = 68.9mm



Comparaison des résultats des trois modèles

BILAN (analyse globale, à moduler suivant les critères)

Stations sur la Sarre	Modèle(s) le(s) plus fiable(s)
Sarrebourg	GRP
Diedendorf *	GRP+GESRES
Keskastel	GRP+Larsim
Wittring	GRP+Larsim
Reinheim	GRP+GESRES

* Comparaison en simulation (sans assimilation des débits)

Atelier
LARSIM

15 mars
2012





Conclusions

Comparaison = mise en perspective des résultats de modèles différents dans leur construction

Intérêt global du modèle GRP sur les stations étudiées, avec résultats équivalents pour les autres modèles sur certaines stations

Tests complémentaires nécessaires pour mieux apprécier les raisons des succès / échecs des modèles

Permet de mieux apprécier les marges de progression et les incertitudes associées à l'utilisation de chaque modèle

Travaux d'amélioration du modèle Larsim en cours

Perspectives pour mettre en place des approches multi-modèles