



Analyse bayésienne des relations hauteur-débit : la méthode BaRatin

Journées de l'Hydrométrie

Toulouse, 6-7 février 2012

Pour mieux
affirmer
ses missions,
le Cemagref
devient Irstea



www.irstea.fr

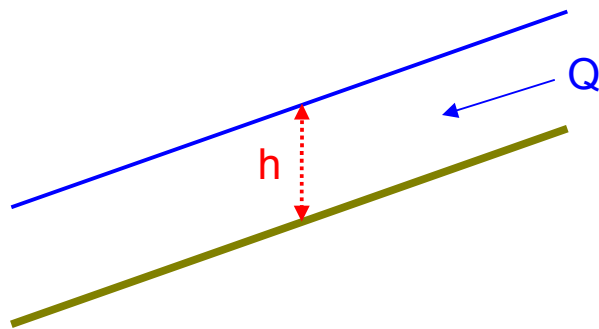
**Jérôme Le Coz¹, Benjamin Renard¹, Flora Branger¹,
Laurent Bonnifait¹, Pierre-Marie Bechon²**

¹ Irstea (Cemagref), Hydrologie-Hydraulique, Lyon, France

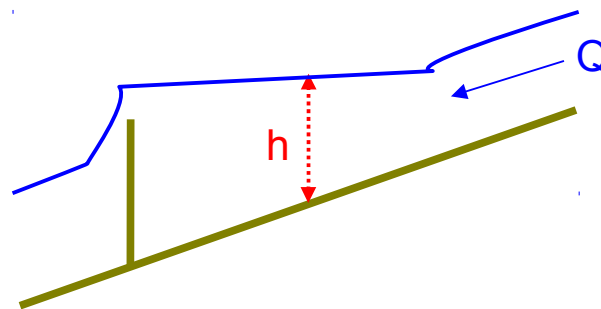
² DREAL Rhône-Alpes, Lyon, France

Contrôles hydrauliques

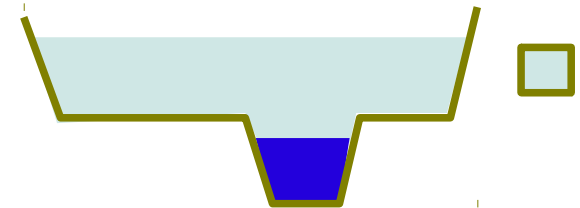
- Courbe de tarage simple
 - relation univoque $Q(h)$ prévalant à une section de l'écoulement dans les conditions hydrauliques de référence
- Contrôle hydraulique
 - Caractéristiques physiques d'un chenal qui déterminent la relation entre la hauteur et le débit à un emplacement donné dans le chenal



contrôle hydraulique
par le chenal



contrôle hydraulique
par une section



contrôle différent selon
la gamme de débit

Contrôles hydrauliques

- Combinaisons de lois puissances : $Q = \sum \theta_1 (h - \theta_2)^{\theta_3}$

Manning-Strickler $Q = KB \sqrt{J} (h - h_0)^{5/3}$

(contrôle chenal régime permanent uniforme)

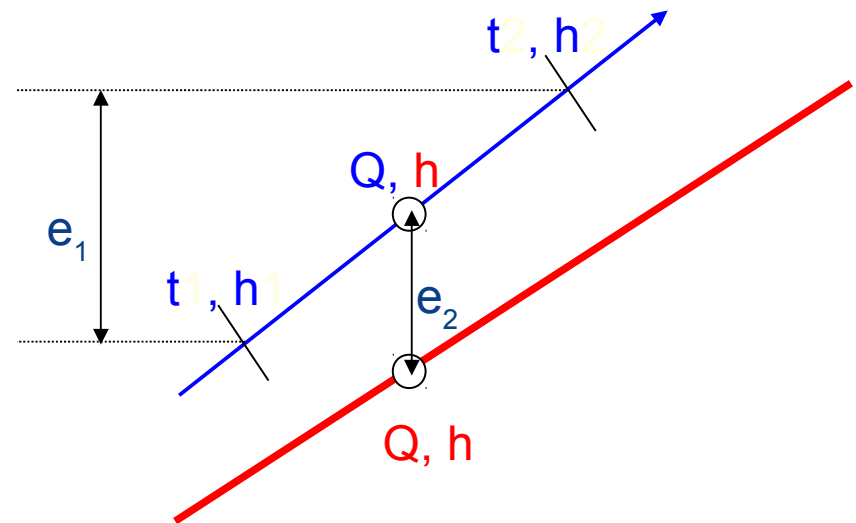
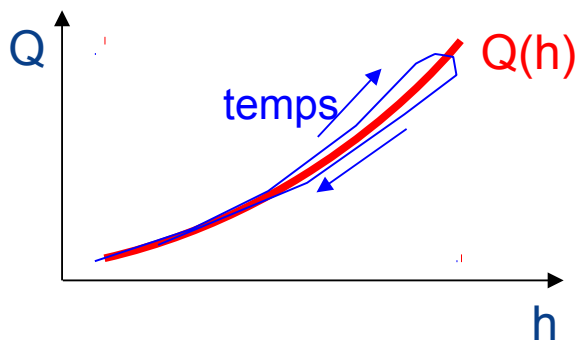
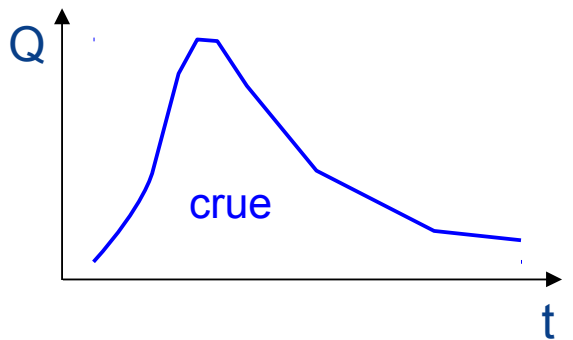
Déversoir/seuil rectangulaire $Q = CB \sqrt{2g} (h - h_0)^{3/2}$

Déversoir triangulaire $Q = C \tan(\alpha) \sqrt{2g} (h - h_0)^{5/2}$

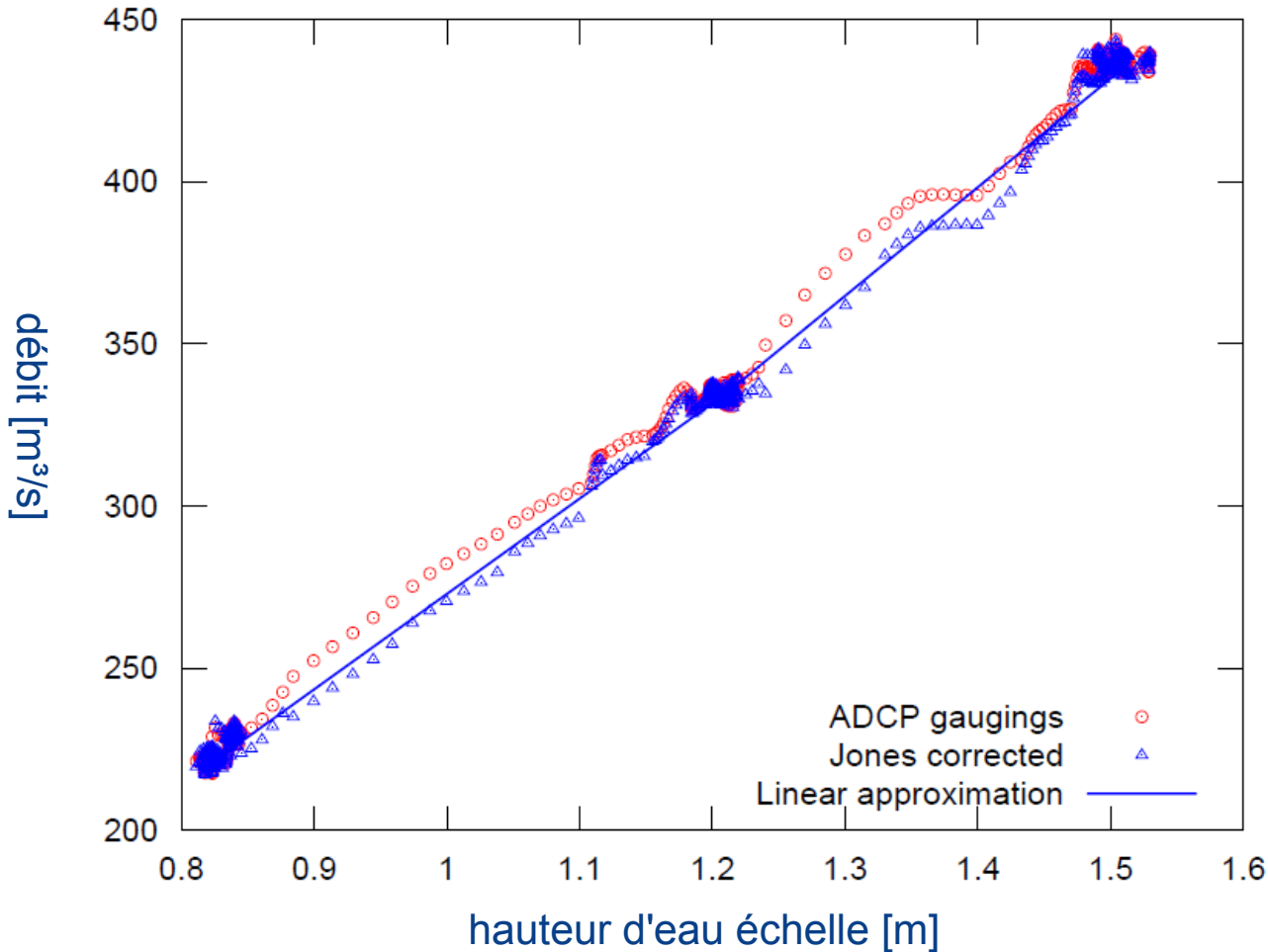
Exemple d'écart au régime de référence : effet d'hystérésis dû à un régime transitoire

Deux sources d'écart à la courbe de tarage d'un jaugeage en régime hydraulique variable :

- Intégration débit variable pendant le jaugeage $\rightarrow e_1$
- Effet d'hystérésis hydraulique $\rightarrow e_2$



Exemple d'écart au régime de référence : effet d'hystérésis dû à un régime transitoire



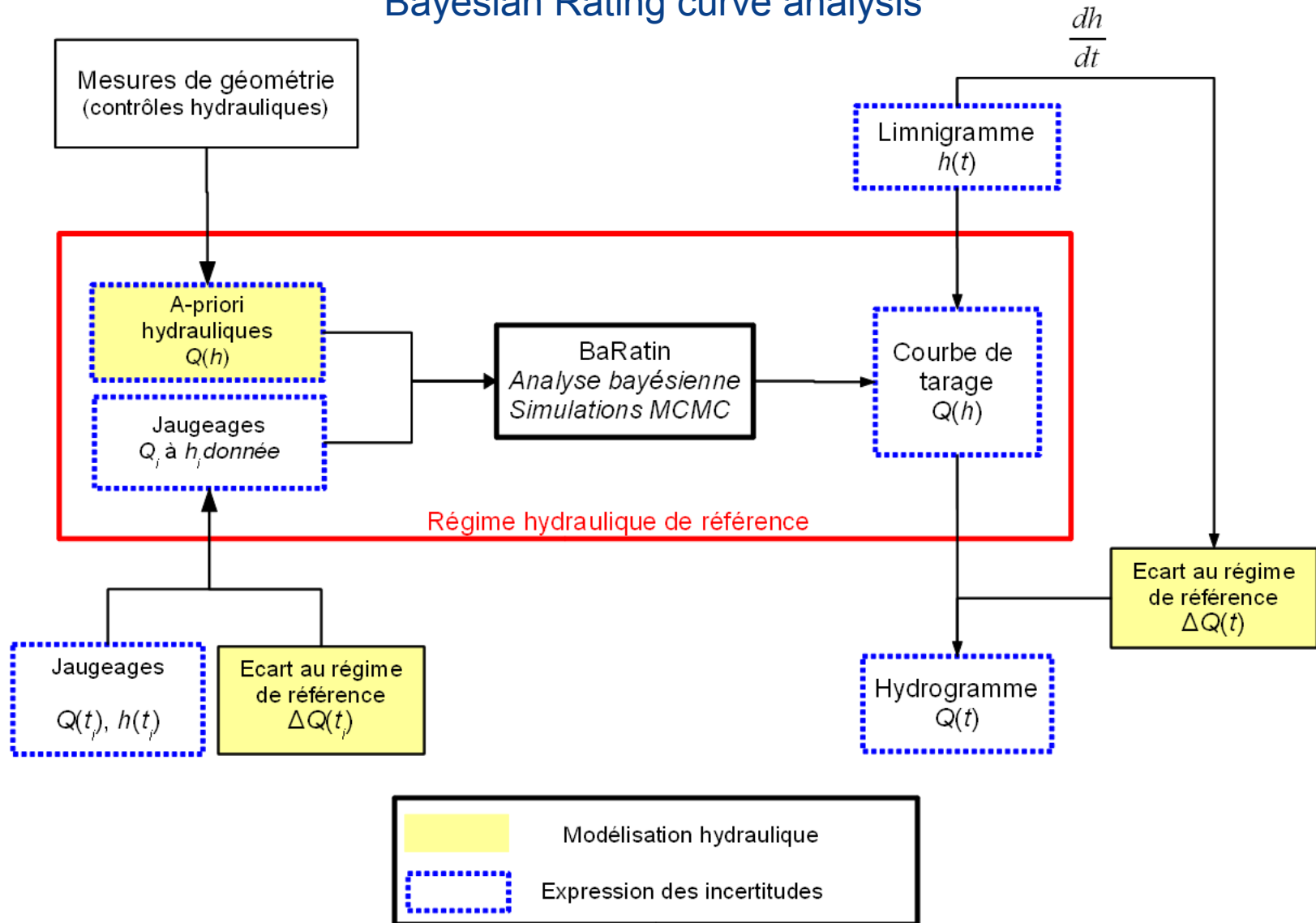
Débits jaugés en continu pendant l'intercomparaison ADCP sur le Rhône à Pyrimont (2010)

Formule de Jones (1916)

$$Q_{ref} = Q \sqrt{1 + \frac{1}{J_{ref} C_w} \frac{dh}{dt}}$$

Principes de la méthode bayésienne BaRatin

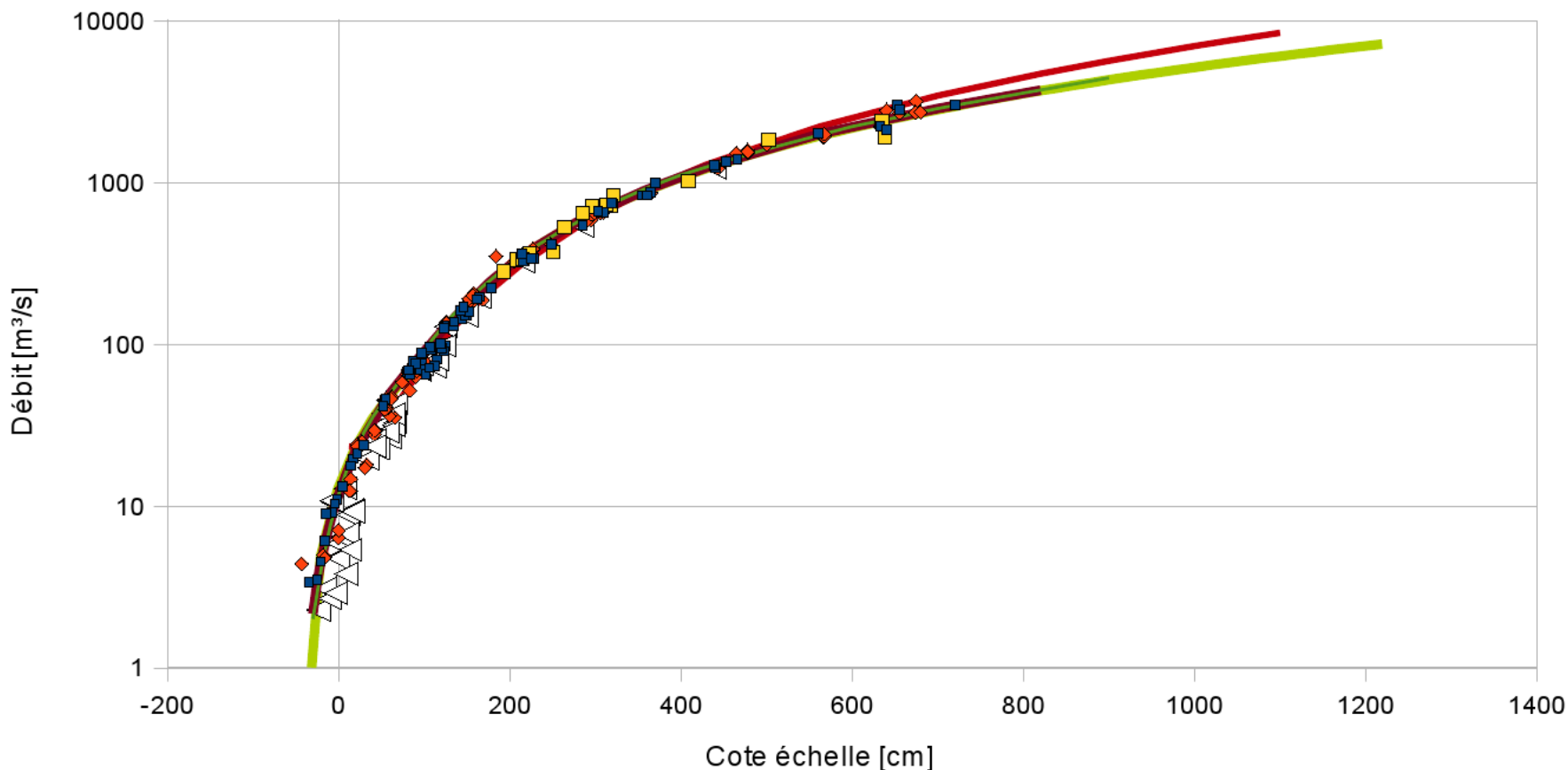
Bayesian Rating curve analysis



Contrôles par morceaux: l'Ardèche à Sauze

Jaugeages à Sauze

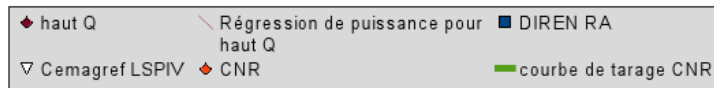
- DIREN RA
- Cemagref LSPIV
- ◆ CNR
- courbe de tarage CNR
- courbe de tarage DREAL
- ◁ DIREN ANCIENS
- courbe calculée par R. Naulet (2002)
- RC_MaxPost



Contrôles par morceaux: l'Ardèche à Sauze

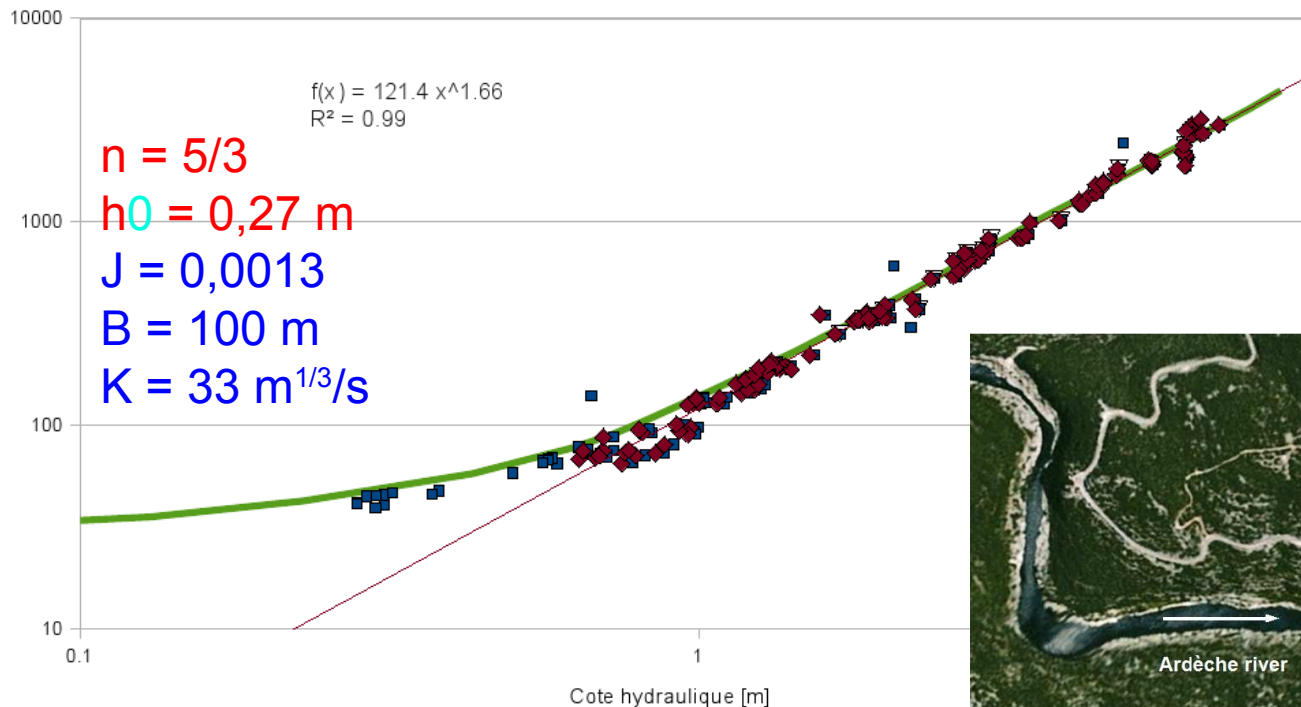
Haut débit : contrôle par le chenal (Manning-Strickler)

Calage Loi de Manning à Sauze

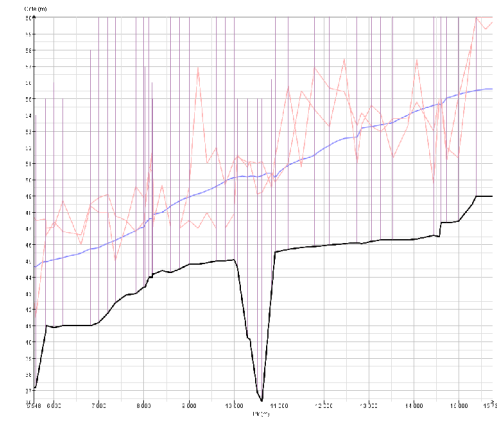


$$f(x) = 121.4 x^{1.66}$$
$$R^2 = 0.99$$

$n = 5/3$
 $h_0 = 0,27 \text{ m}$
 $J = 0,0013$
 $B = 100 \text{ m}$
 $K = 33 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

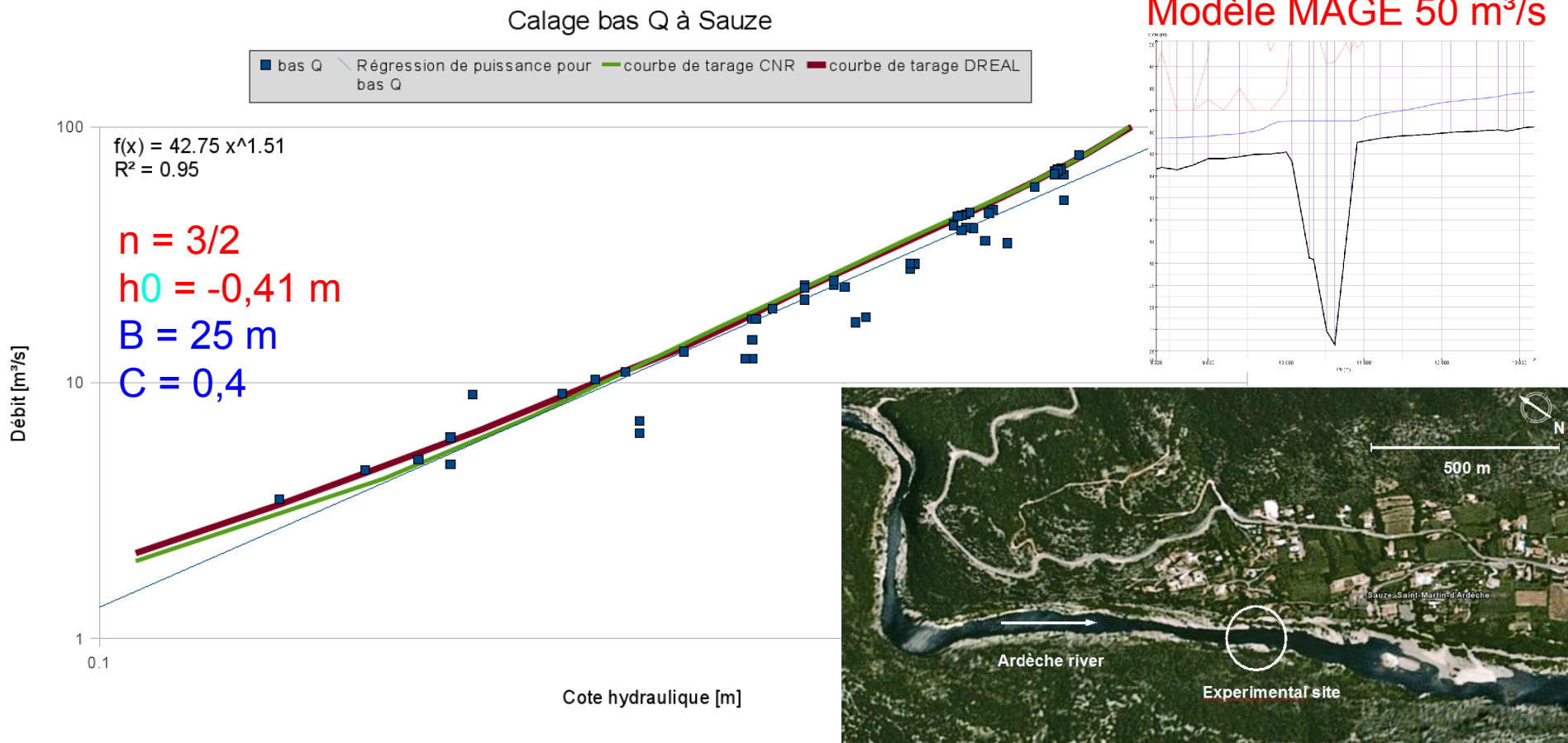


Modèle MAGE 1000 m³/s

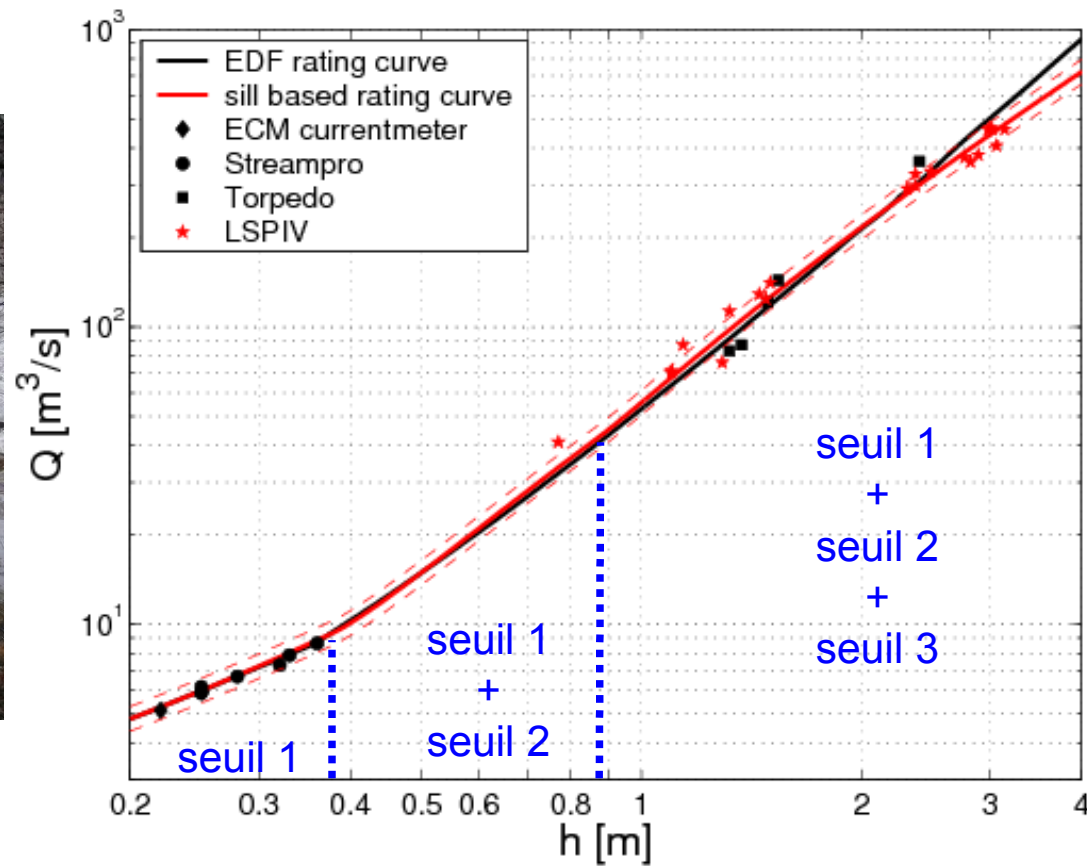
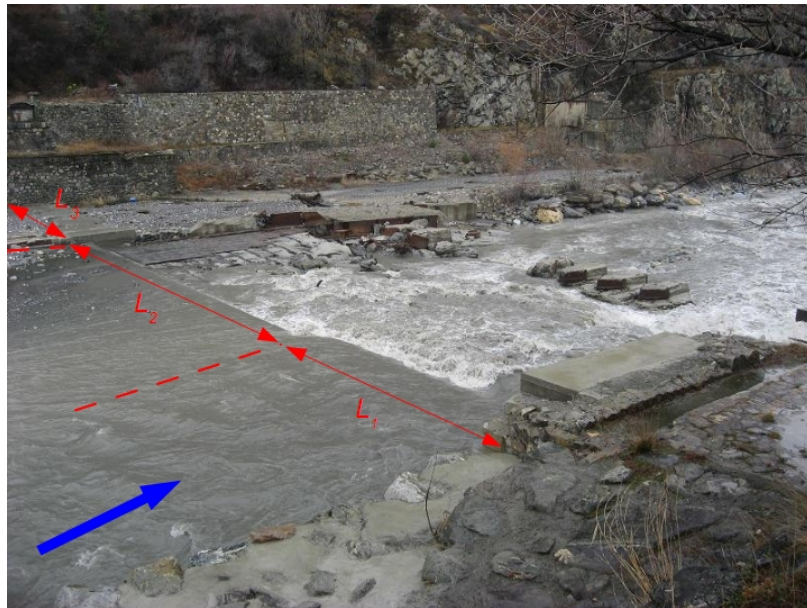


Contrôles par morceaux: l'Ardèche à Sauze

Bas débit : contrôle par radier naturel (seuil rectangle)

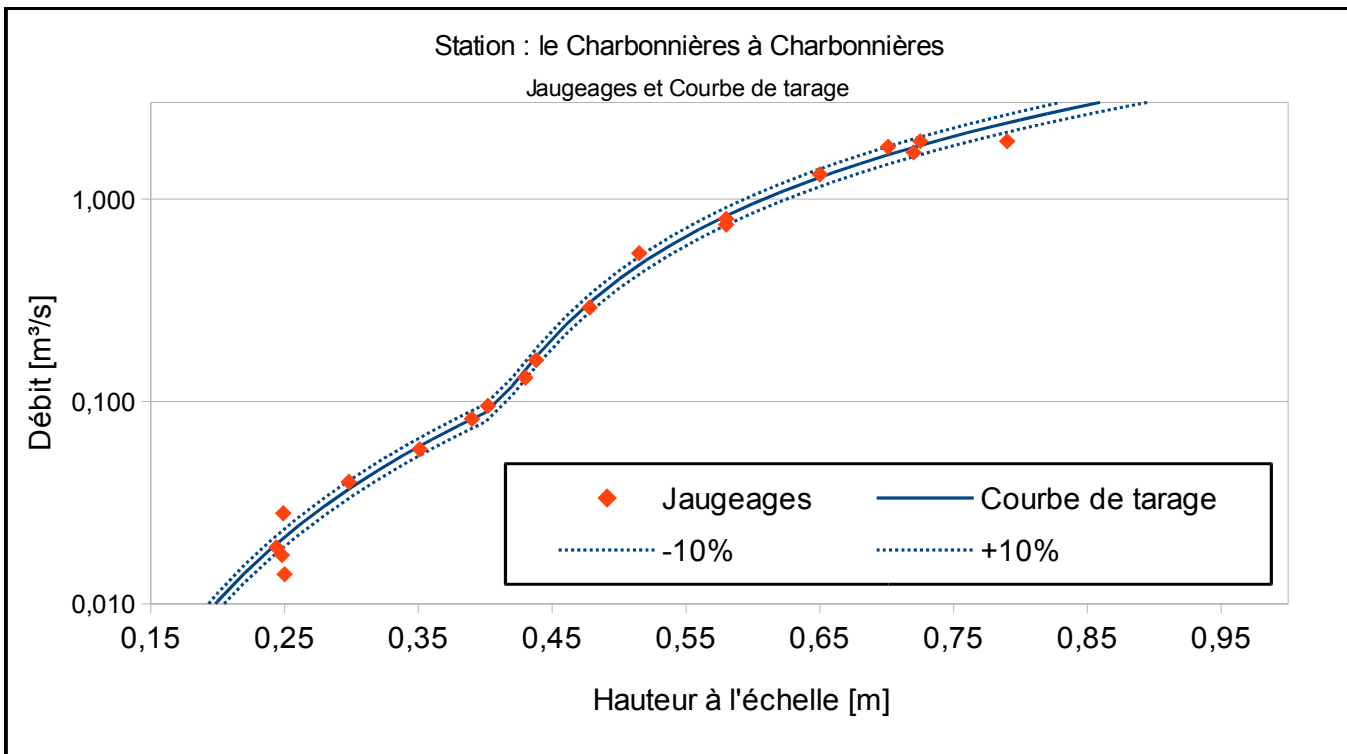


Contrôles composés : l'Arc-en-Maurienne au seuil de Pontamafrey



Combinaison de 3 seuils épais à crête horizontale

Contrôles composés : le Charbonnières à Charbonnières-les-Bains



Combinaison d'un déversoir triangulaire et d'un seuil épais à crête horizontale



Outil BaRatin (Irstea, B. Renard, 2010)

$$\tilde{Q}_i = Q_i + \epsilon_i^Q \quad \epsilon_i^Q \sim N(0, u_i^Q)$$

$$Q_i = f(H_i / \vec{\theta}) + \epsilon_i^f \quad \epsilon_i^f \sim N(0, \sigma_f)$$

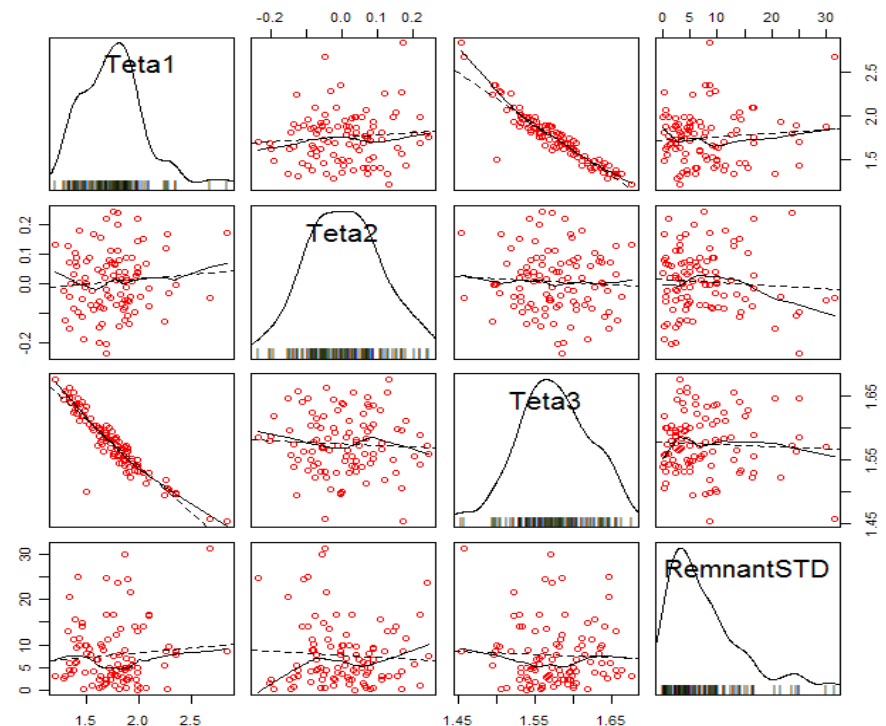
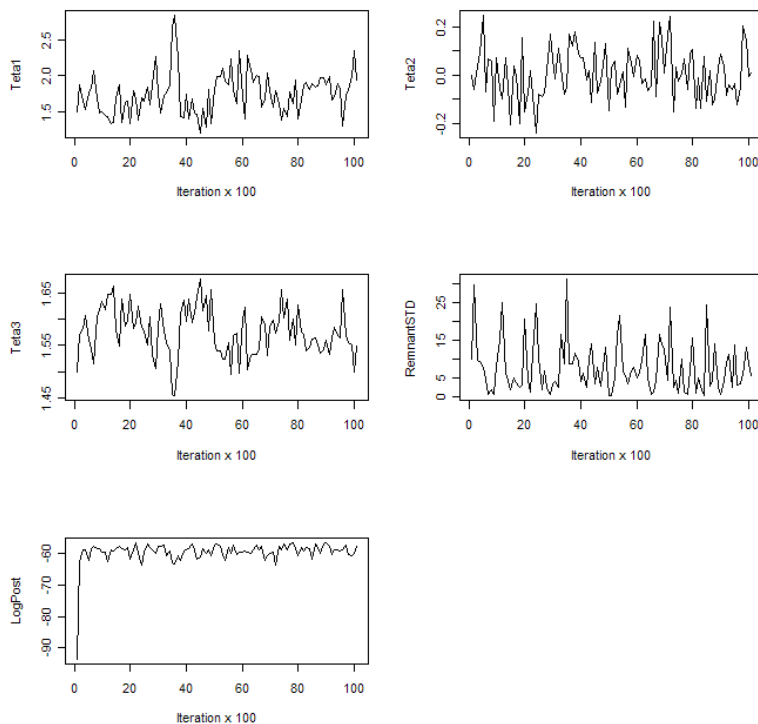
$$\tilde{Q}_i = f(H_i / \vec{\theta}) + \epsilon_i^f + \epsilon_i^Q \quad \epsilon_i^f + \epsilon_i^Q \sim N(0, \sqrt{\sigma_f^2 + (u_i^Q)^2})$$

- Entrées du simulateur
 - Forçage lois hydrauliques
 - Distributions a priori des paramètres θ
 - Jaugeages et incertitudes associées

$$H_i, \tilde{Q}_i, u_i^Q$$

Outil BaRatin (Irstea, B. Renard, 2010)

- Simulations Monte Carlo Markov Chains
- Paramètres hydrauliques + incertitude résiduelle (σ_f)



Simulations MCMC (~10000)

Distributions a posteriori des paramètres θ et σ_f

Interface BaRatinAGE (Bonnifait 2011)

BaRatin Advanced Graphical Environment

2. CONFIGURATION DE LA SECTION

Nombre de contrôles :

	De (m)	à (m)	+/- (m)	Contrôle 1	Contrôle 2	Contrôle 3	Contrôle 4	Contrôle 5
Gamme 1	<input type="text" value="0"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gamme 2	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gamme 3	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gamme 4	<input type="text"/>	<input type="text" value="10"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gamme 5	<input type="text" value="10"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

- Assistance à la définition des a-prioris hydrauliques
- Lancement du simulateur bayésien
- Affichage graphique des résultats (courbes MaxPost et enveloppe à 95%)
- Export au format HYDRO et intégration en cours dans logiciel BAREME

Interface BaRatinAGE (Bonnifait 2011)

Exemple de l'Ardèche à Sauze

BaRatin [_] [□] [×]

Fichier Aide au calcul Lancer BaRatin Aperçu des résultats Export au format hydro

Dossier de travail : C:/Baratin/Baratin_GUI/data/Sauze_2012

1. PARAMETRES DE LA COURBE FINALE

H min (m) H max (m)

1.1 Pour export au format hydro et utilisation dans BAREME :

Code station Début de validité Fin de validité

2. CONFIGURATION DE LA SECTION

Nombre de contrôles :

	De (m)	à (m)	+/- (m)	Contrôle1 radier	Contrôle2 chenal	Contrôle3	Contrôle4	Contrôle5
Gamme 1	<input type="text" value="-0.41"/>	<input type="text" value="0.8"/>	<input type="text" value="0.5"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gamme 2	<input type="text" value="0.8"/>	<input type="text" value="12"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gamme 3	<input type="text" value="12"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gamme 4	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gamme 5	<input type="text"/>	<input type="text" value="12"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

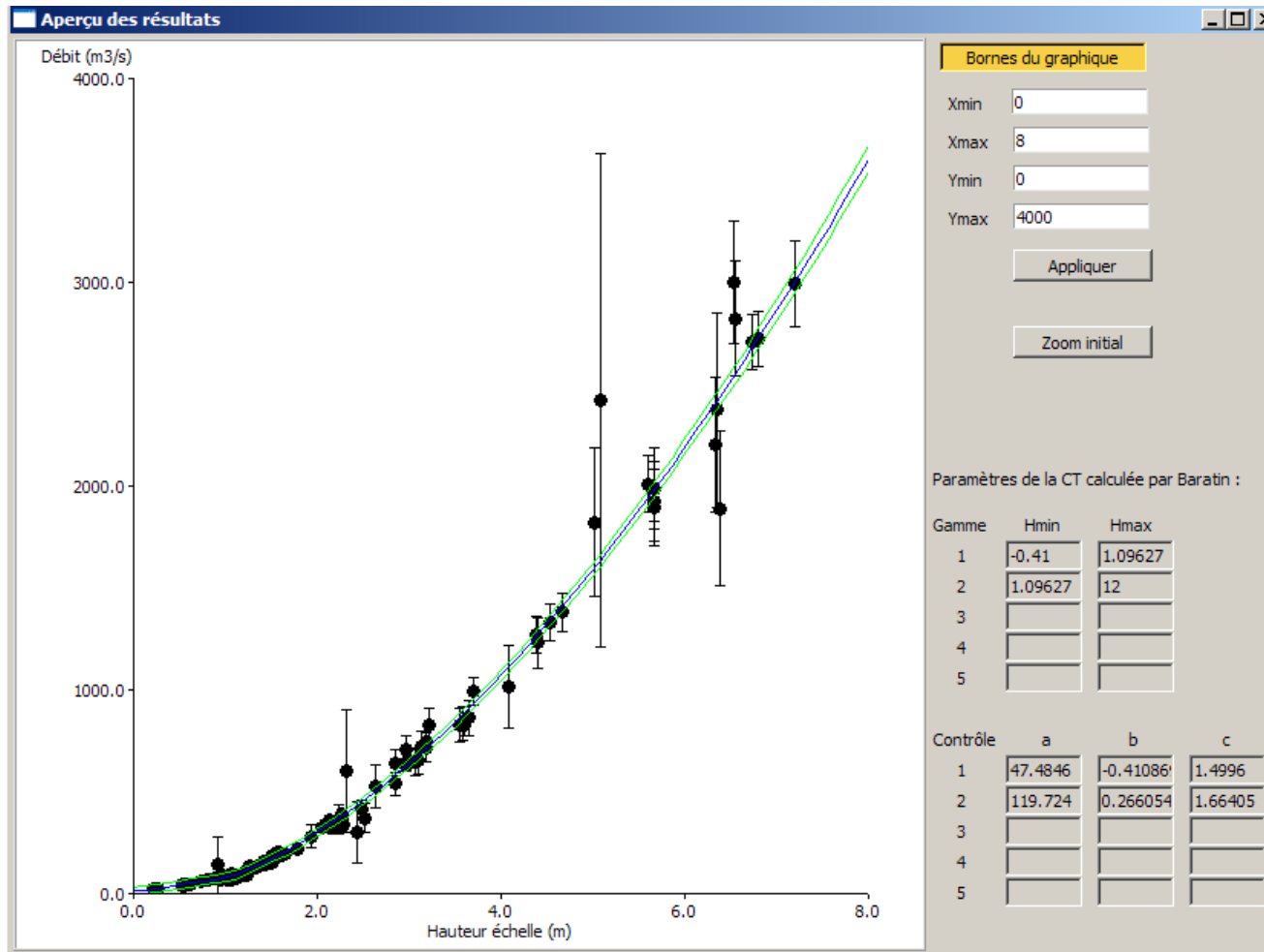
3. PARAMETRES DES CONTROLES

Effacer tous les paramètres

Contrôle 1	a1	<input type="text" value="43"/>	sigma a1	<input type="text" value="7"/>
	b1	<input type="text" value="-0.41"/>	sigma b1	<input type="text" value="0.3"/>
	c1	<input type="text" value="1.5"/>	sigma c1	<input type="text" value="0.01"/>
Contrôle 2	a2	<input type="text" value="120"/>	sigma a2	<input type="text" value="20"/>
	c2	<input type="text" value="1.67"/>	sigma c2	<input type="text" value="0.01"/>
Contrôle 3	a3	<input type="text"/>	sigma a3	<input type="text"/>
	c3	<input type="text"/>	sigma c3	<input type="text"/>
Contrôle 4	a4	<input type="text"/>	sigma a4	<input type="text"/>
	c4	<input type="text"/>	sigma c4	<input type="text"/>
Contrôle 5	a5	<input type="text"/>	sigma a5	<input type="text"/>
	c5	<input type="text"/>	sigma c5	<input type="text"/>

Résultats de l'analyse bayésienne (BaRatin)

- $Q(h)$ Max_post = jeu de paramètres a posteriori
- intervalle de confiance à 95%



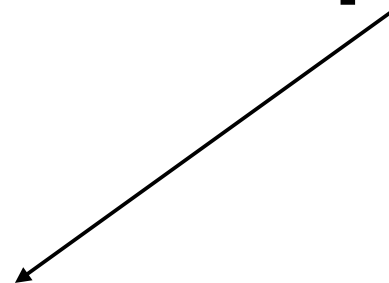
Ardèche à Sauze

Les jaugeages
incluent des
mesures images
plus incertaines
(U~20%)

Incertitude sur l'hydrogramme instantané

- Calcul incertitude combinée sur les chroniques de débits
- incertitude sur la loi $Q(h)$ en régime de référence
 - incertitude due à l'écart aux conditions hydrauliques de référence (contrôles variables, régime transitoire)
 - propagation de l'incertitude sur le niveau d'eau

$$U(Q) = k \sqrt{u_{\text{tarage}}^2(Q) + u_{\text{écart}}^2(Q) + \left[u(h) \frac{\partial Q}{\partial h} \right]^2}$$



Incertitude de la mesure ponctuelle
Représentativité dans la section

Sensibilité du contrôle



Applications opérationnelles (2010-2012)

Etudes permettant le développement de la méthode BaRatin

- ~10 stations Irstea Lyon et partenaires projets de recherche
- 7 stations DREAL Alsace (2010 – 2011)
- station Nartuby à Trans-en-Provence (2011)
- 5 stations SPC Rhin-Sarre (2011 - 2012)
- diagnostic stations DREAL Corse affectée par fort charriage (2012)

Problème de la rétroactivité des corrections de courbes

- La correction peut ne s'appliquer qu'à une gamme de débit donnée : typiquement, extrapolation haute de différentes courbes passées
- Modification aisée des courbes en utilisant le module graphique « courbe de tarage » du logiciel BAREME
- Après mûre validation, réactualisation des courbes dans la banque HYDRO : recalcul des hydrogrammes et débits caractéristiques
- Possibilité de tester les effets sur une station virtuelle
- Possibilité d'insérer un avertissement sur la modification



Perspectives BaRatin

Intégration dans le logiciel BAREME (P.-M. Bechon, 2012)

- Option de tracé de courbe du module « courbe de tarage »
- Export des jaugeages assortis de leur incertitude individuelle
- Analyse BaRatin dans l'interface graphique BaRatinAGE
- Import de la courbe la plus probable et de son enveloppe d'incertitude à 95%

Diffusion de la méthode

- Guide méthodologique 2012 → appel à relecteurs
- Amélioration de la méthode et de son interface → appel à testeurs
- Diffusion sous licence libre Irstea (en cours de formalisation)
- Versions Windows / Linux des exécutable et documentation sur forge publique

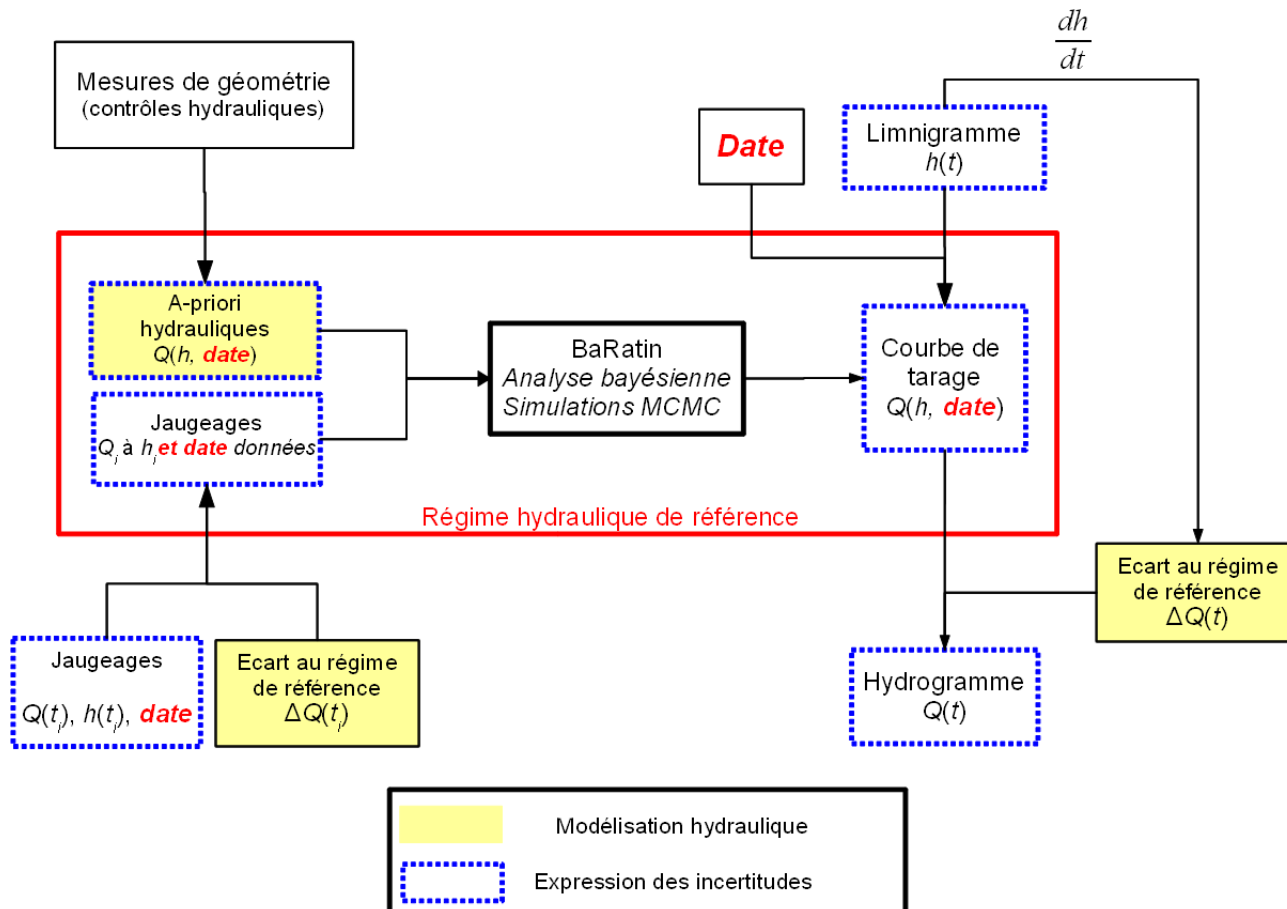
Développement et généralisation de la méthode

- Meilleure estimation de l'incertitude structurelle → σ_f proportionnel à Q
- Propagation des incertitudes sur l'hydrogramme et les débits caractéristiques
- Gestion des détarages continus cycliques (végétation saisonnière)

Perspectives BaRatin

Premières idées pour prendre en compte la végétation

- Loi de correction a priori fonction de la date calendaire → à modéliser selon type de végétation, type de contrôle, paramètres météo, etc.
- Ajustement sur des jaugeages datés de la saison en cours
- Résultat : courbe de tarage avec correction journalière + incertitudes





Pour aller plus loin...

Documentation BaRatin

- Guide méthodologique (en préparation, 2012)
- Notice interface graphique BaRatinAGE (en préparation, 2012)

Rapports d'étude

- *Expertise de la station hydrométrique de la Nartuby à Trans*, J. Le Coz, L. Bonnifait, F. Thollet, juillet 2011, 26 p.
- *Analyse des courbes de tarage de 7 stations hydrométriques de la DREAL Alsace*, L. Bonnifait, J. Le Coz, B. Renard, décembre 2011, 170 p.
- *Compte rendu de la visite des stations hydrométriques du SPC Rhin-Sarre en vue d'une analyse hydraulique des courbes de tarage*, L. Bonnifait, J. Le Coz, septembre 2011, 28 p.

Publications scientifiques

- Article scientifique dans revue internationale (en préparation, 2012)
- *Assessment of uncertainty of stage-discharge relations through hydraulic and bayesian approach*, F. Branger, B. Renard, J. Le Coz, L. Bonnifait, ICFM5 2011, 27-29 septembre 2011, Tokyo, Japon
- *A literature review of methods for estimating the uncertainty associated with stage-discharge relations*, J. Le Coz, rapport OMM PO6a, 2011, 21 p.