



# Organisation et exploitation des intercomparaisons hydrométriques

**Journées de l'Hydrométrie**

Toulouse, 6-7 février 2012

Pour mieux  
affirmer  
ses missions,  
le Cemagref  
devient Irstea



[www.irstea.fr](http://www.irstea.fr)

**Jérôme Le Coz<sup>1</sup>**

**Contributeurs : Guillaume Dramais<sup>1</sup>, Patrick Duby<sup>2</sup>, Gilles Pierrefeu<sup>3</sup>,  
Karine Pobanz<sup>4</sup>, Bertrand Blanquart<sup>5</sup>**


<sup>1</sup> Irstea (Cemagref), Hydrologie-Hydraulique, Lyon, France

<sup>2</sup> DREAL Rhône-Alpes

<sup>3</sup> Compagnie nationale du Rhône (CNR)

<sup>4</sup> Altran pour CNR

<sup>5</sup> Métrologue indépendant




# Techniques de quantification des incertitudes de mesure

## Méthode de propagation des incertitudes (GUM, JCGM 2008)

- le processus de mesure doit être modélisé
- les incertitudes sont propagées de façon analytique (formule)
- ou par des simulations numériques si le modèle est trop complexe
- cette méthode de référence permet :
  - d'utiliser les informations disponibles (étalonnages, essais...)
  - de hiérarchiser les composantes d'incertitude (→ amélioration)
  - d'estimer l'incertitude de mesure **d'une mesure**

## Méthode empirique

- si le modèle n'existe pas ou ne peut être établi simplement
- l'incertitude de mesure **de la méthode** est déduite de la variance de résultats reproduits sous condition de répétabilité et de reproductibilité
- méthode très utilisée (chimie...), normalisée et compatible avec le GUM
- exemple : analyse des résultats de comparaisons interlaboratoires



# Techniques de quantification des incertitudes de mesure

Difficultés dans le cas particulier de l'Hydrométrie

## Méthode de propagation des incertitudes

- certaines sources d'erreur dominantes ne peuvent pas être modélisées :
  - conditions de mesure complexes, effet opérateur...
- toutes les mesures élémentaires ne sont pas raccordées à des étalons
- en général, certaines composantes d'incertitude sont quantifiées par l'expertise

## Méthode empirique (intercomparaison)

- il n'existe pas d'étalon de débit disponible en rivière → le biais de la méthode ne pourra pas être quantifié par l'intercomparaison
- toutes les sources d'erreur ne s'expriment pas forcément, selon le protocole de l'intercomparaison
- les incertitudes obtenues peuvent être surestimées si le protocole de l'intercomparaison est imparfait, ou si certaines hypothèses sur les erreurs ne sont pas acceptées par consensus



# Objectifs d'une intercomparaison hydrométrique

## Objectifs métrologiques

- quantification des incertitudes associées au débit mesuré avec une instrumentation, selon un protocole et dans des conditions donnés
- identification d'instruments au comportement anormal (vérification) ; performance individuelle des instruments

## Autres objectifs

- partage et harmonisation des pratiques et méthodologies
- progresser vers des méthodes reconnues par les métrologues
- formation : présentations et travaux pratiques (→ stages)
- échanges organisés avec des fournisseurs
- découverte de produits techniques et gastronomiques
- animation du réseau national et international des hydromètres



# Exemples d'intercomparaisons multi-services

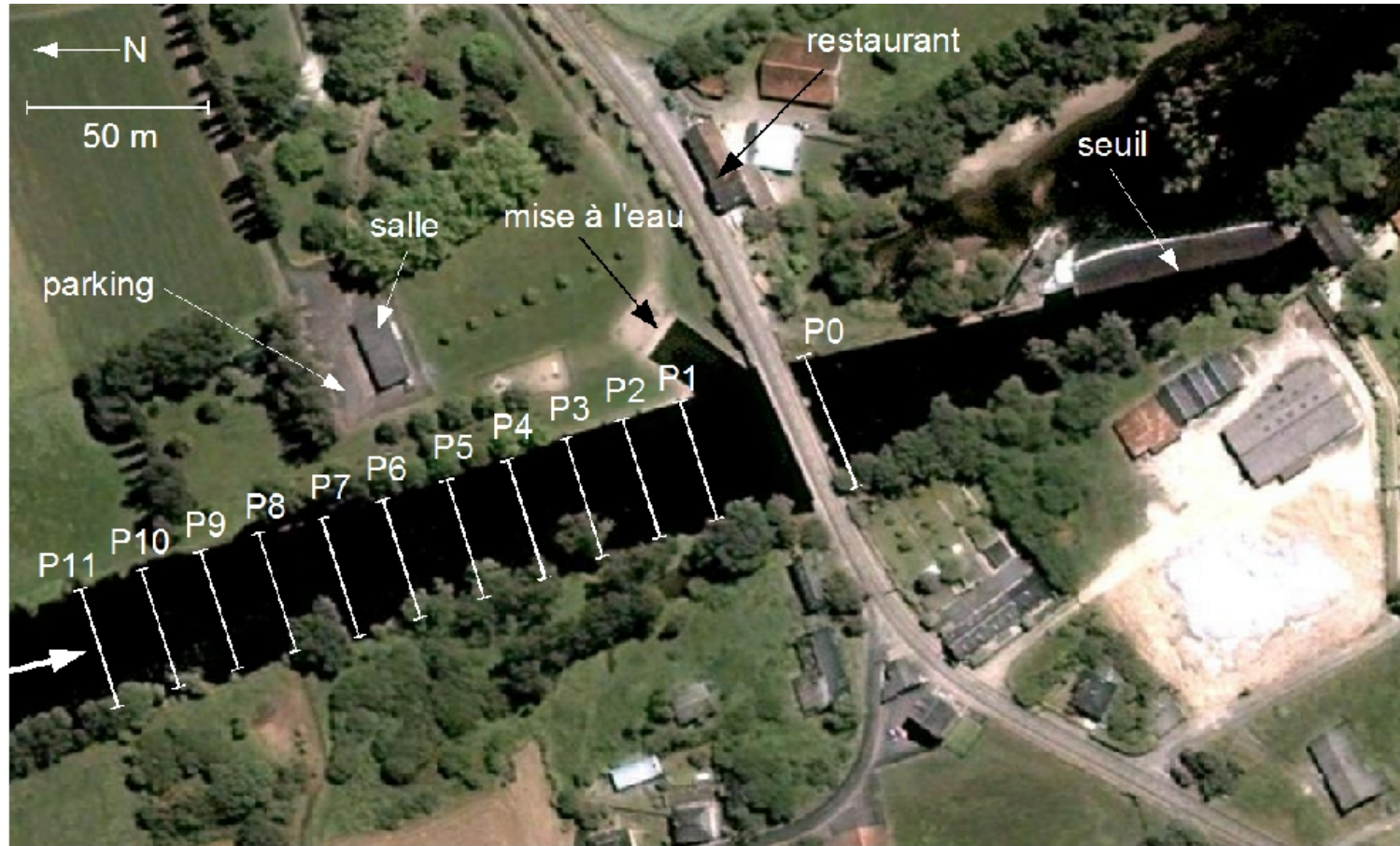
Non-exhaustif, évidemment...

Intercomparaison Organisateur	Instruments	Type de section	Débit indépendant	Participants	Fournisseurs présents
Vézère 2009 Groupe Doppler	37 ADCP	moyenne	station, dilution	21 équipes (~70 agents)	aucun
Châteauneuf 2009 CNR	8 ADCP	grande	scintillométrie conduites	5 équipes	aucun
Génissiat 2010 Groupe Doppler	26 ADCP	grande	ultrasons conduites	13 équipes (~50 agents)	RDI, Sontek
Gentile 2011 Groupe Doppler	34 ADCP 12 fluorimètres	moyenne	usine, surface	30 équipes (~100 agents)	RDI, Sontek, Ott
Aix 2011 Irstea	11 courantomètres	petite	ADCP, dilution	8 équipes (~25 agents)	aucun
Vic-le-Comte 2011 DREAL RA	10 camions hydrométriques	moyenne	station	4 équipes (33 agents)	Industron Ott

Pour certaines intercomparaisons, intervention de métrologues :

- Cetiat Lyon
  - Bertrand Blanquart (métrologue indépendant)
- adaptation des méthodes au cas particulier de l'hydrométrie

# Exemple : intercomparaison ADCP Vézère 2009



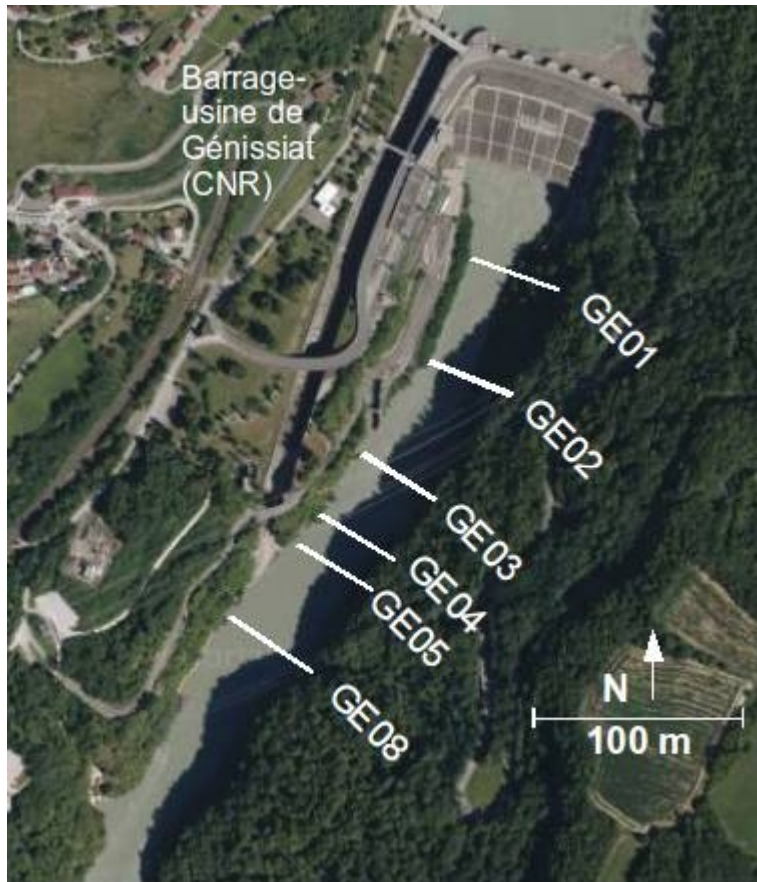
Disposition des transects de mesure

Débit stabilisé par demi-journée par l'usine du Saillant (EDF)

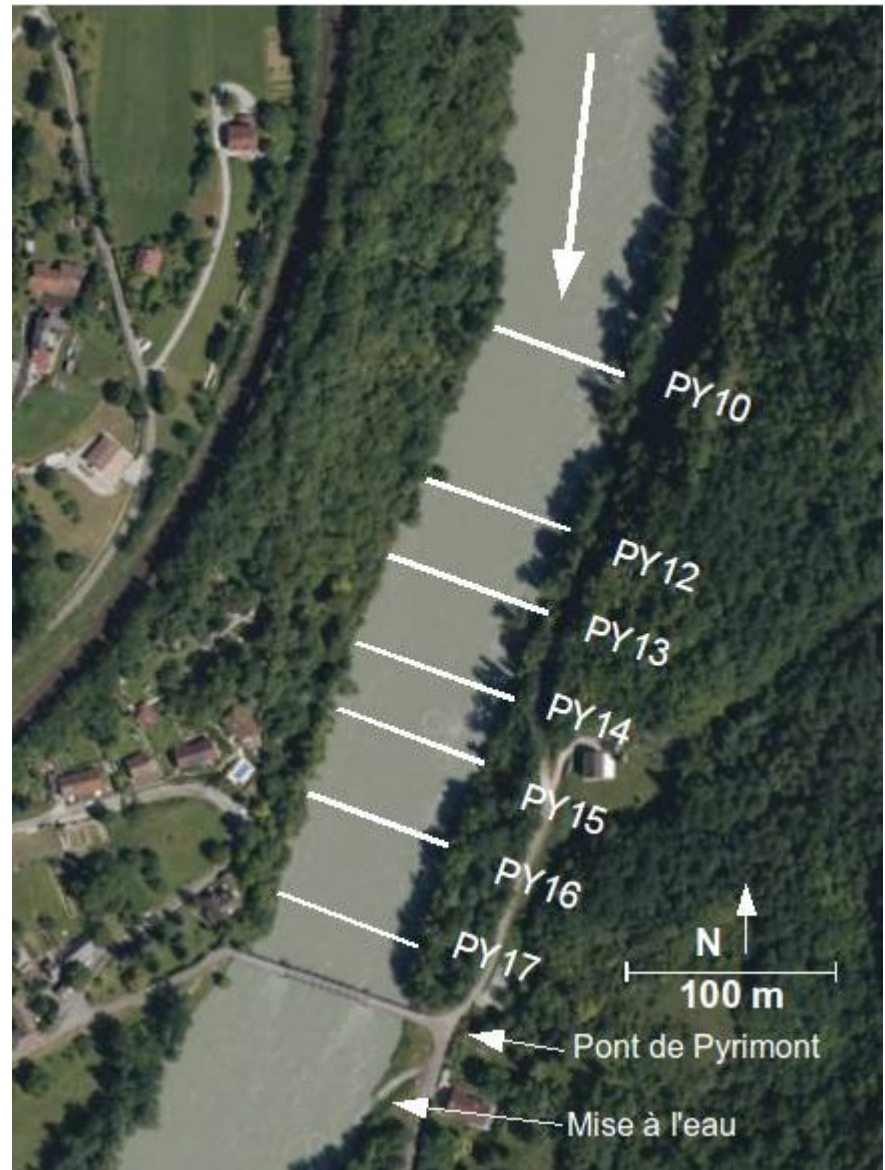
# Exemple : intercomparaison ADCP Vézère 2009



# Exemple : intercomparaison ADCP Génissiat 2010



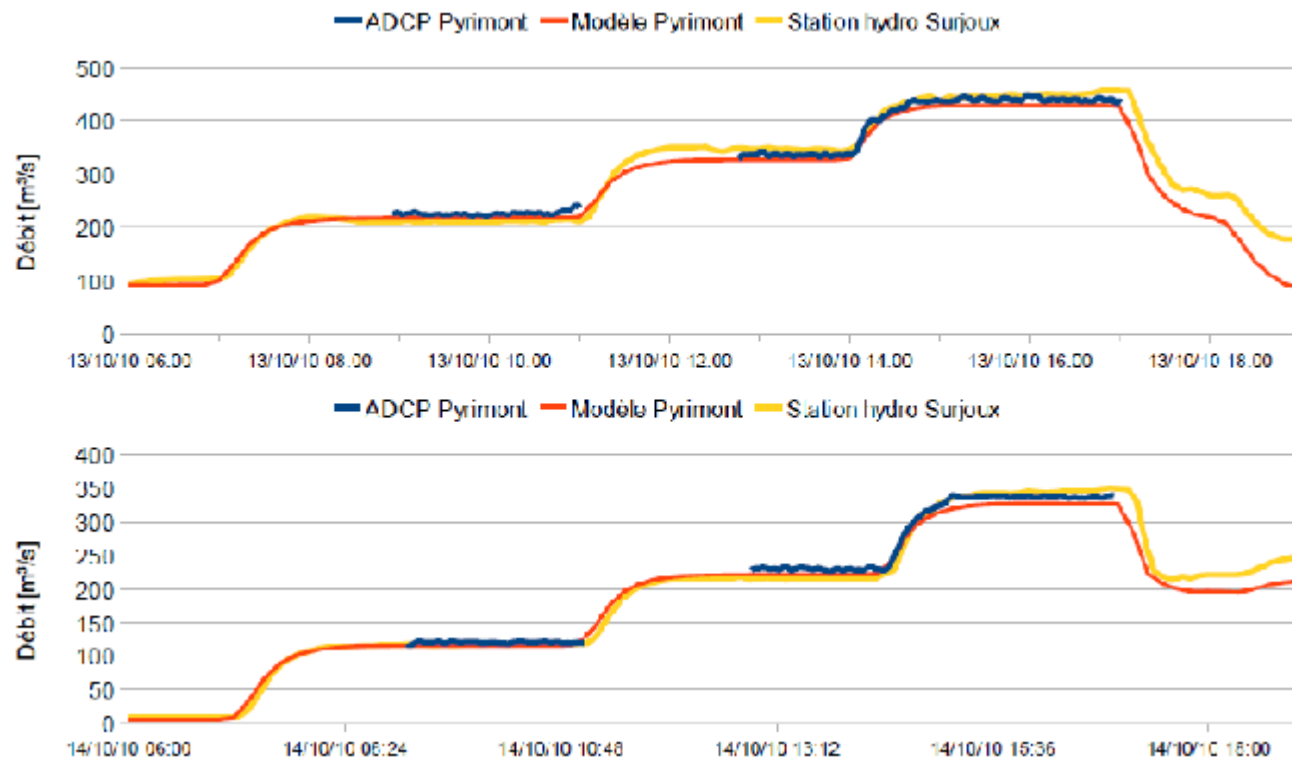
Sites de mesure aval barrage (GE) et au pont de Pyrimont (PY)





# Exemple : intercomparaison ADCP Génissiat 2010

Paliers de débit sur les 2 journées



Bateaux au site de mise à l'eau pour la pause de midi



# Exemple : intercomparaison Aix 2011



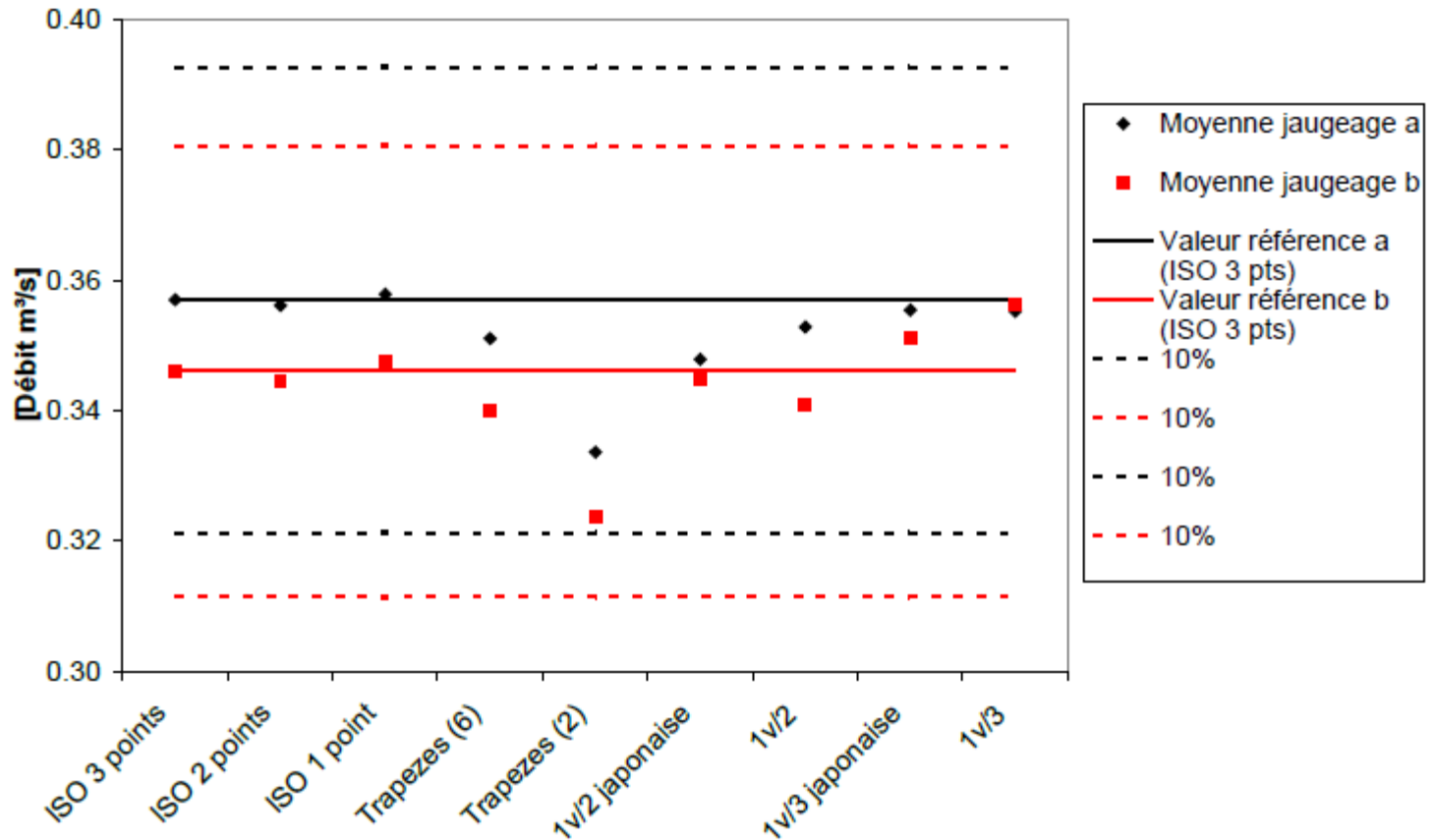
L'Ouvèze à Entrechaux

- Irstea Lyon, Bordeaux, Aix, Anthony, Montpellier
- DREAL PACA
- SPC GD
- Société du Canal de Provence



Le Toulourenc à Veaux

# Exemple : intercomparaison Aix 2011



Résultats de débits moyens selon la méthode de dépouillement (Toulourenc à Veaux)

Incertitude méthode à 95% : 16%

→ valeur sans doute surestimée en raison des limites du protocole (débit variable)<sub>1</sub>

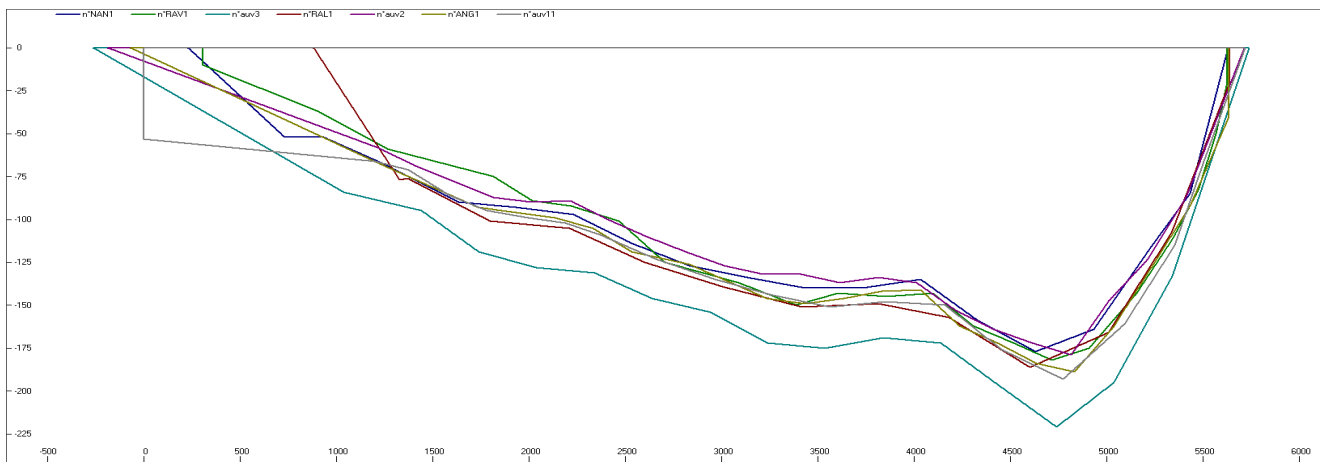
# Exemple : intercomparaison camions Vic-le-Vicomte 2011

Intercomparaison de 10 camions hydrométriques

- série S1 : paramétrage libre
- série S2 : abscisses imposées
- série de nuit : appréhender le balisage chantier mobile pour 4 équipes volontaires

Information sur les coefficients de rives et de fond

- pour les camions type Industron
- dans le logiciel Barème



Superposition  
des sections  
mesurées par  
les différents  
camions

# Organisation des intercomparaisons



Vézère 2009 : synchronisation des transects ADCP au fanion

## Sécurité / Logistique

- Identification des risques
- Aménagements : plan de prévention exploitant, consignation des ouvrages
- Communication et application des règles de sécurité
- Liste des participants et n° de téléphone
- Navette et liaison permanente organisateurs/participants
- Logistique : hébergement, repas, sanitaires, PC résultats, bateaux, énergie, stockage matériel...
- Planning : briefing, respect du protocole des essais, échanges et intervention fournisseurs, debriefing et retours



# Organisation des intercomparaisons

## Pré-requis pour des résultats exploitables métrologiquement

- **Débit stable** (fluctuations hauteur et vitesse maîtrisées, vérification)
- Site homogène : sections voisines, de caractéristiques proches
- Protocole commun : déploiement, paramétrage
- Protocole stable : ne pas changer les équipes, les positions, les instruments
- Séries de mesures simultanées, répétées

## Bonus permettant d'approfondir l'analyse

- Mesure indépendante avec incertitude maîtrisée (« débit de référence »)  
→ permet d'évaluer le biais de la méthode de jaugeage testée
- Modélisation hydraulique du site d'intercomparaison  
→ permet de préciser les conditions de mesure (stabilité niveau, vitesse)



# Exploitation métrologique des intercomparaisons

Soit  $Q_i$  le débit instantané mesuré par l'équipe n°i (par exemple 1 transect de l'ADCP n°i).

$$Q_i = Q_{ref} + B_i + \varepsilon_i$$

avec :

- $Q_{ref}$  valeur de débit de référence
- $B_i$  biais ou erreur systématique propre à l'équipe n°i
- $\varepsilon_i$  erreur aléatoire



# Exploitation métrologique des intercomparaisons

$$Q_i = Q_{ref} + B_i + \varepsilon_i$$

En général, la valeur de référence  $Q_{ref}$  est construite comme la moyenne de tous les jaugages, et non à partir d'une mesure indépendante. Elle s'écarte de la valeur vraie du débit,  $Q_{vrai}$ , de l'erreur systématique propre à la méthode de jaugage :

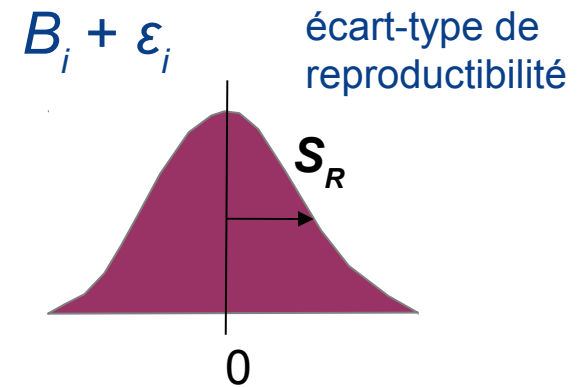
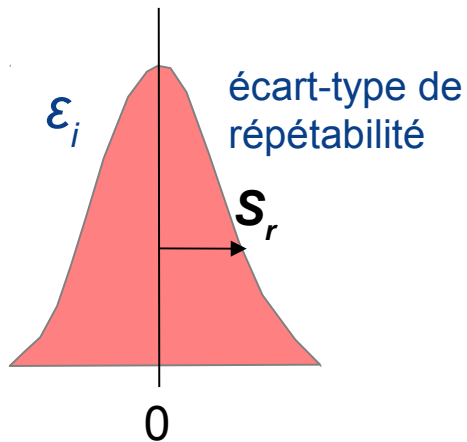
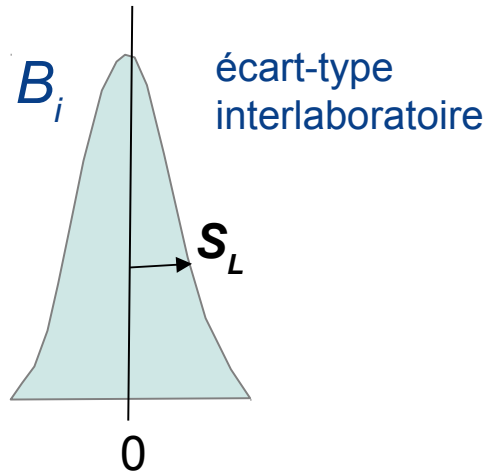
$$Q_{ref} = Q_{vrai} + B_{méthode}$$

Ce biais de la méthode ne s'exprime pas dans l'intercomparaison et ne se réduit pas par le nombre de mesures simultanées.



# Exploitation métrologique des intercomparaisons

$$Q_i = Q_{ref} + B_i + \varepsilon_i$$



$$S_R = \sqrt{S_r^2 + S_L^2}$$



# Exploitation métrologique des intercomparaisons

Les normes ISO permettent de calculer les estimateurs  $s_r$  et  $s_L$  à partir des résultats de l'intercomparaison, et d'assimiler l'incertitude de la méthode de mesure (hors biais) à sa reproductibilité :

$$U_{95} = 2s_R = 2 \sqrt{s_r^2 + s_L^2}$$

Dans le cas où le débit est la moyenne de  $N$  jaugeages répétés pour chacune des  $p$  équipes, on obtient :

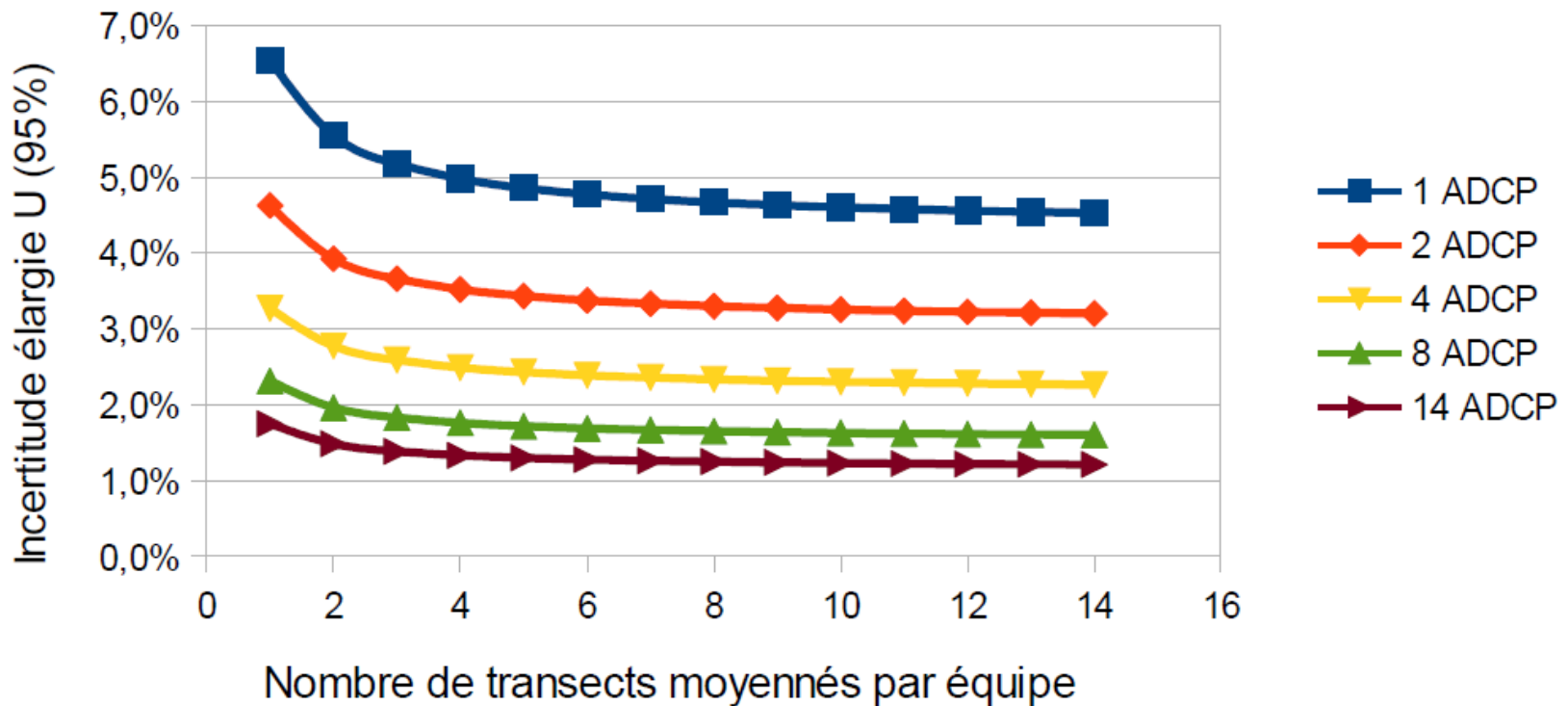
$$U_{95} = 2s_R = 2 \sqrt{\left( s_r^2 / p + s_L^2 \right) / N}$$

# Exploitation métrologique des intercomparaisons

## Exemple de résultats ADCP à Génissiat 2010

- Pyrimont (site PY) :  $s_r = 2,4\%$  et  $s_L = 2,2\%$

### Incertitudes (hors biais ADCP) au site PY

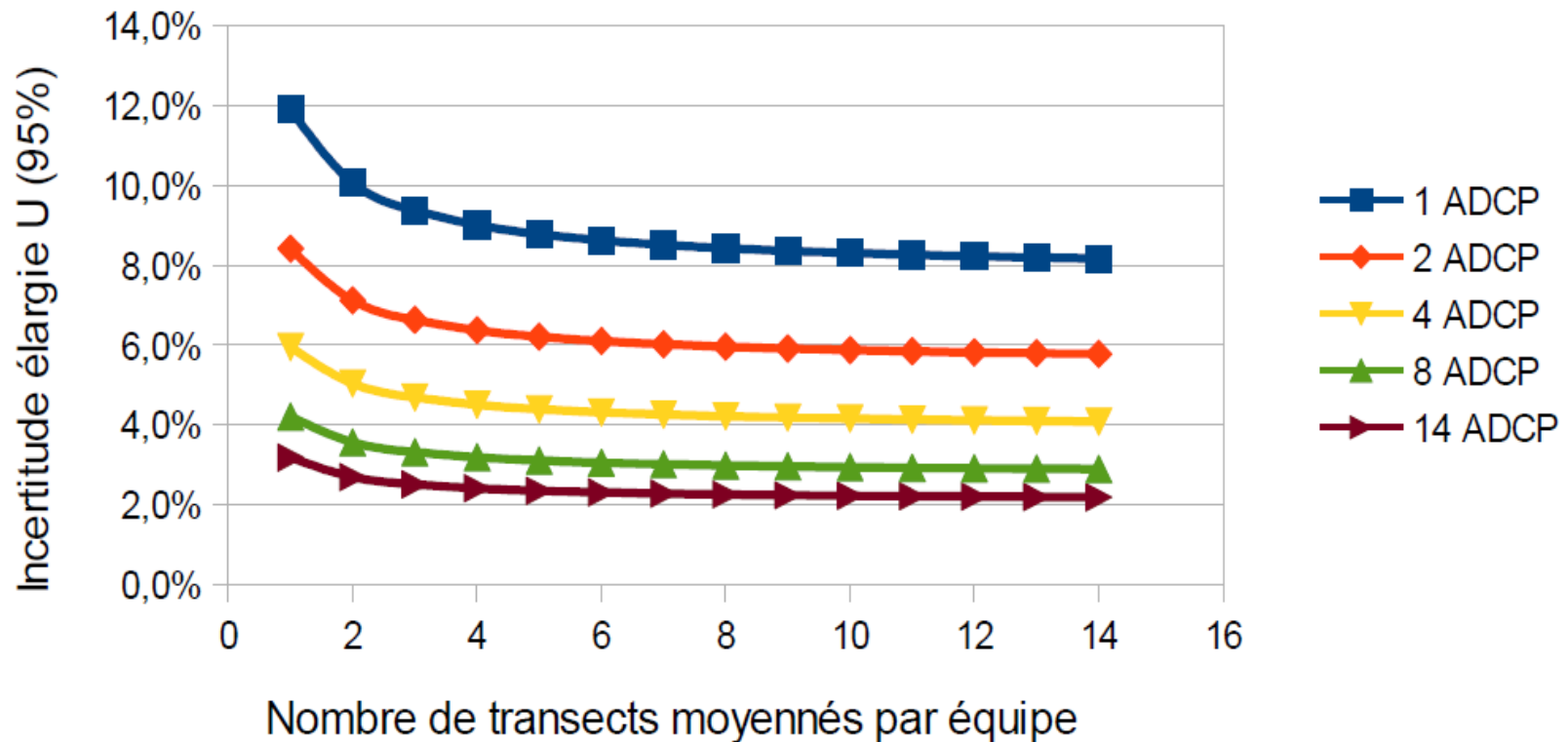


# Exploitation métrologique des intercomparaisons

## Exemple de résultats ADCP à Génissiat 2010

- aval barrage (site GE) :  $s_r = 4,5\%$  et  $s_L = 3,9\%$

### Incertitudes (hors biais ADCP) au site GE





# Exploitation métrologique des intercomparaisons

Comment estimer le biais de la méthode ?

- Par le calcul :
  - Tests de sensibilité sur les paramètres : par exemple, l'incertitude associée aux lois et paramètres d'extrapolation ADCP à Génissiat 2010 a été estimée autour de 2,3%.
  - Simulations numériques
  - Mesures complémentaires : par exemple mesure des vitesses extrapolées
  
- propagation des incertitudes (nécessite l'étalonnage des ADCP en conditions contrôlées...)
  
- estimation par comparaison à une mesure de référence d'incertitude connue et réduite (exemple : système ultrasons en conduites à Génissiat)



# Pour aller plus loin...

## Normes ISO

- ISO 5725-2 : Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesure - Partie 2 : Méthode de base pour la détermination de la répétabilité et de la reproductibilité d'une méthode de mesure normalisée, décembre 1994.
- ISO 5725-5 : Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesure - Partie 5 : Méthodes alternatives pour la détermination de la fidélité d'une méthode de mesure normalisée, octobre 1998.
- FD ISO/TS 21748 : Lignes directrices relatives à l'utilisation d'estimations de la répétabilité, de la reproductibilité et de la justesse dans l'évaluation de l'incertitude de mesure, juin 2004.
- NF ISO 13528 : Méthodes statistiques utilisées dans les essais d'aptitude par comparaisons interlaboratoires, décembre 2005.

## Publications scientifiques

- Article scientifique dans revue internationale (en préparation, 2012)
- *Stage-discharge hysteresis evidenced by multi-ADCP measurements*, J. Le Coz, K. Pobanz, J.-B. Faure, G. Pierrefeu, B. Blanquart, Y. Choquette, RiverFlow2012, 5-7 septembre 2012, San José, Costa Rica



# Pour aller plus loin...

## Rapports sur les intercomparaisons

- *ADCP Vézère 2009, J. Le Coz, G. Saysset, G. Pierrefeu, octobre 2009, 33 p. (+ annexes)*
- *ADCP Génissiat 2010, K. Pobanz, J. Le Coz, G. Pierrefeu, avril 2011, 57 p.*
- *ADCP/dilution Gentille 2011 (en préparation)*
- *Comparaison de méthodes de mesure du débit des petits cours d'eau. Journées d'intercomparaison des 17 et 18 mai 2011, G. Dramais, B. Blanquart, J. Le Coz, décembre 2011, 53 p.*

## En 2012 :

- Analyse des données Gentille 2011, et ré-analyse des données disponibles
- Intercomparaison ADCP Groupe Doppler sur le Rhône à Génissiat (15/09 – 15/11)
- Action SCHAPI / Irstea : définition et diffusion d'un protocole adapté
- Echanges avec le chantier Intercomparaison du Réseau du ministère de l'Ecologie
- Poursuite des essais d'intercomparaison sur les fluorimètres (au moins le calibrage)