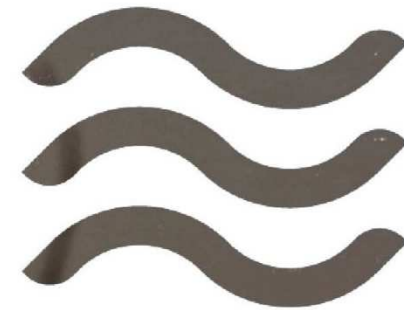


Jaugeage par dilution de traceur à injection globale

Exemple du NaCl et de la rhodamine

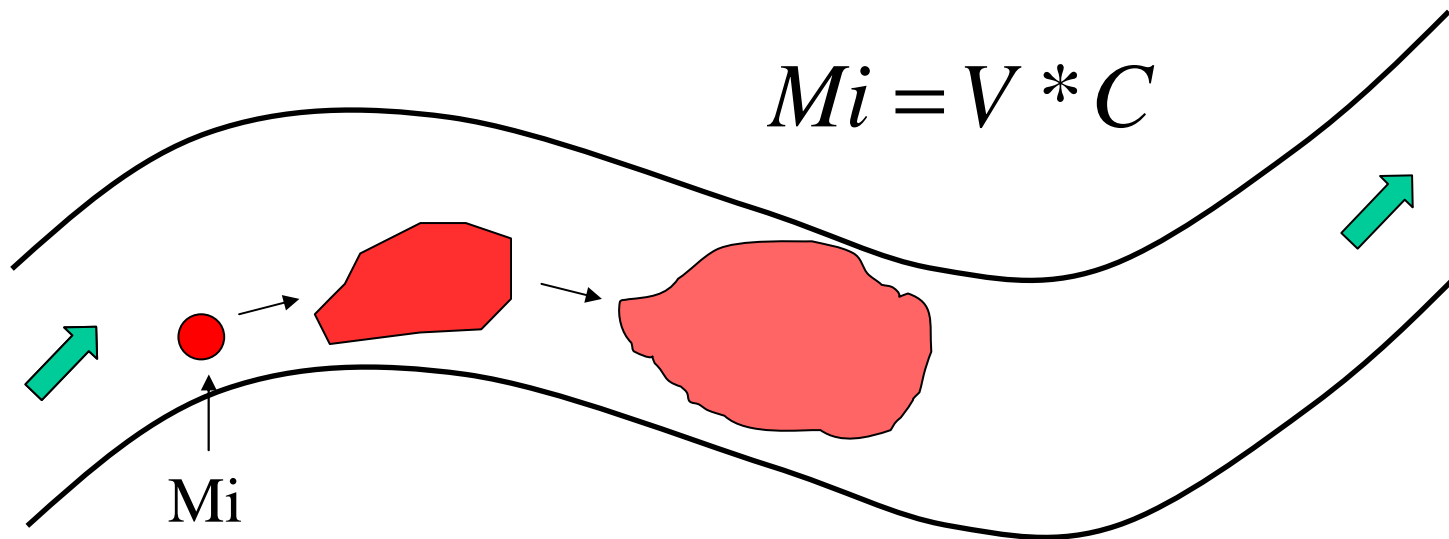
Groupe de travail :
EDF – CNR - Irstea



Méthodologie



- ◆ Basé sur la conservation de la masse
 - 1) On injecte une masse M_i d'un traceur dans la rivière
 - 2) Le traceur est mélangé par la rivière sous forme d'un nuage
 - 3) On doit retrouver la masse M_i du traceur dans l'intégration du volume du nuage et de sa concentration en traceur

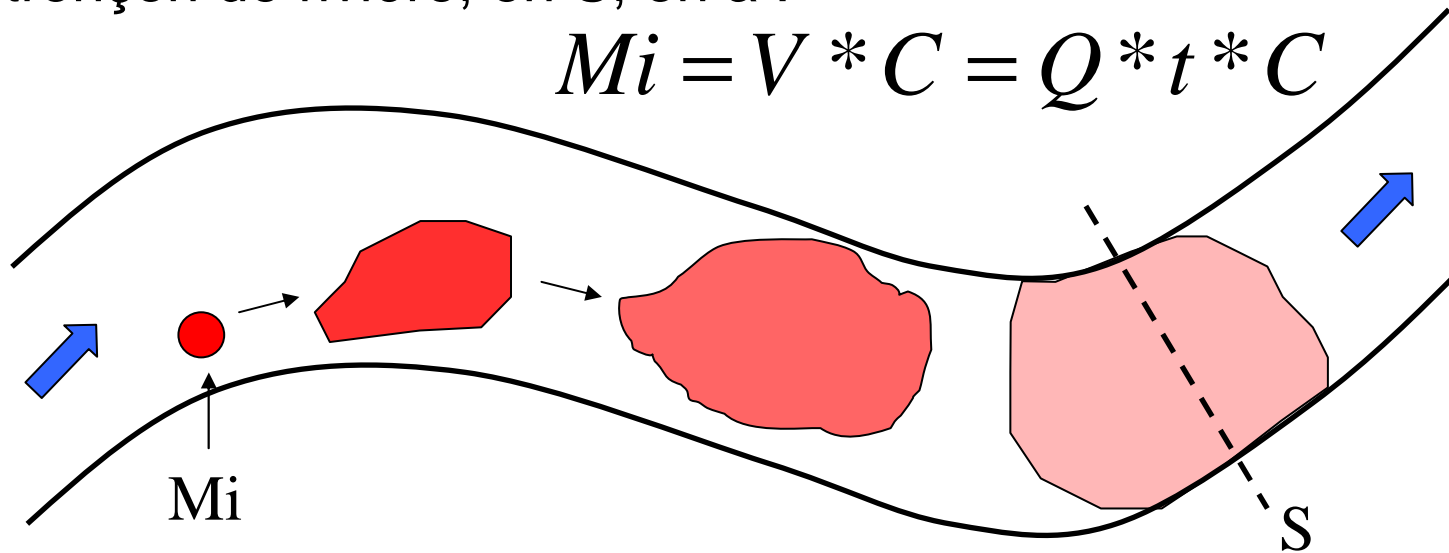


Méthodologie



- ◆ Basé sur la conservation de la masse
 - 1) On injecte une masse M_i d'un traceur dans la rivière
 - 2) Le traceur est mélangé par la rivière sous forme d'un nuage
 - 3) On doit retrouver la masse M_i du traceur dans l'intégration du volume du nuage et de sa concentration en traceur
 - 4) Si le mélange permet une répartition homogène du traceur sur un tronçon de rivière, en S , on a :

$$M_i = V * C = Q * t * C$$



Méthodologie



- ◆ Basé sur la conservation de la masse
 - Si on connaît M_i , que l'on mesure t et C , on a accès au débit de la rivière $Q = \frac{M_i}{C * t}$

- Méthode de mesure la plus proche du concept de débit $Q = \frac{V}{t}$

- ◆ Conditions nécessaires pour des mesures par dilution :

- Un bon mélange → concentration homogène ⇒ écoulements torrentiels, brassés
- Un bon traceur :
 - Bon marqueur, facile à détecter
 - Faible impact environnemental
 - Coût
 - Exemples de la rhodamine et du NaCl
- Pouvoir mesurer la concentration en traceur avec une forte fréquence temporelle

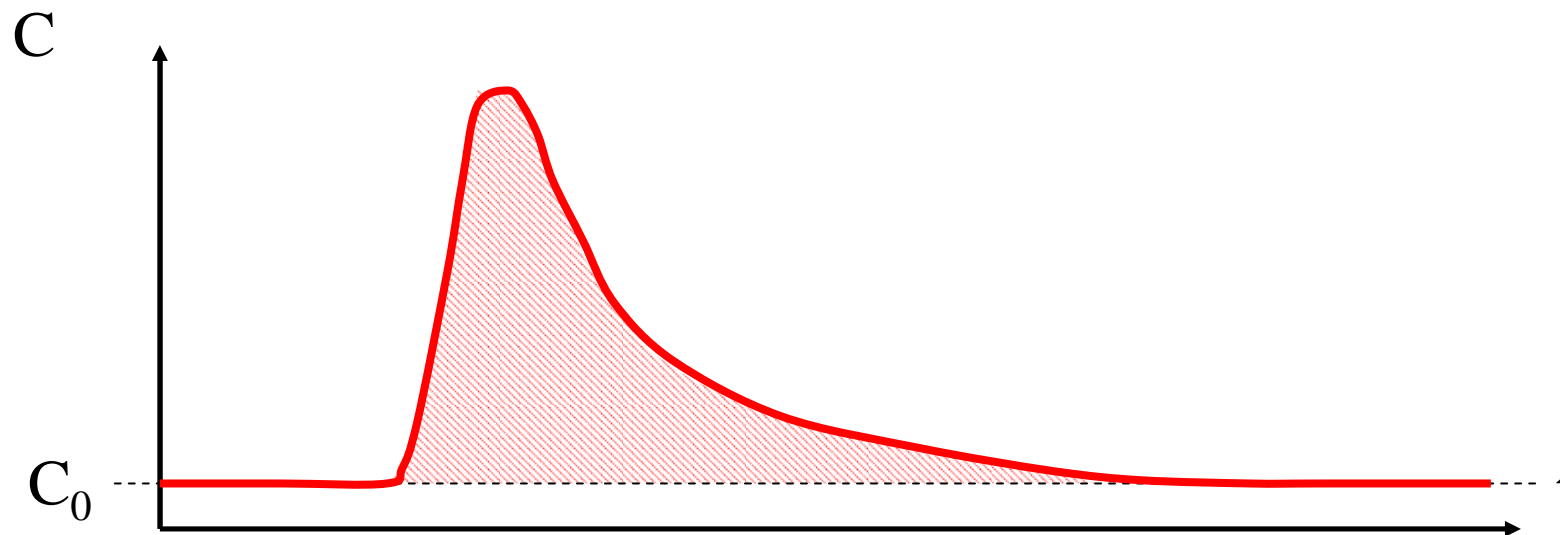
Jaugeage par dilution de NaCl



◆ Méthode

- Injection d'une masse M_i de sel dans la rivière → augmentation de la conductivité
- Suivi de la conductivité / concentration en NaCl en une section de bon mélange

■ Calcul du débit $Q = \frac{M_i}{\int (C - C_0).dt}$



Jaugeage par dilution de NaCl



- ◆ Matériel :
 - Traceur : sel de cuisine NaCl
 - Une sonde de conductivité calibrée en concentration de NaCl
 - Une station d'acquisition
- ◆ Exemple : le SalinoMadd (Madd Technologies)



- ◆ Sonde de conductivité
- ◆ Sonde de température
- ◆ Loi d'étalonnage
- ◆ Échantillonnage max = 1s
- ◆ Calcul du débit in situ
- ◆ Mémorisation de 15 jaugeages

Jaugeage par dilution de NaCl : en pratique



1. Installation du capteur

- Choix du tronçon de mesure
- Mise en eau de la sonde :
 - Section de bon mélange
 - Dans une veine d'écoulement (pas dans une recirculation, pas de bulles d'air)
- Mise en température du capteur
- Lancement de l'enregistrement : calcul de la concentration de base



Jaugeage par dilution de NaCl : en pratique



2. Injection du sel

- Environ 5 à 10 g.L⁻¹.s⁻¹ de débit à diluer dans l'eau de rivière
- Injection globale

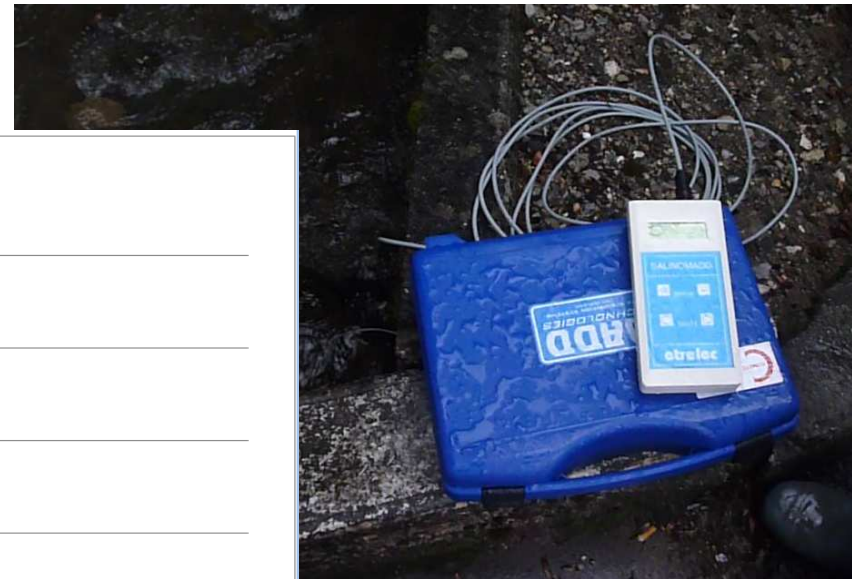
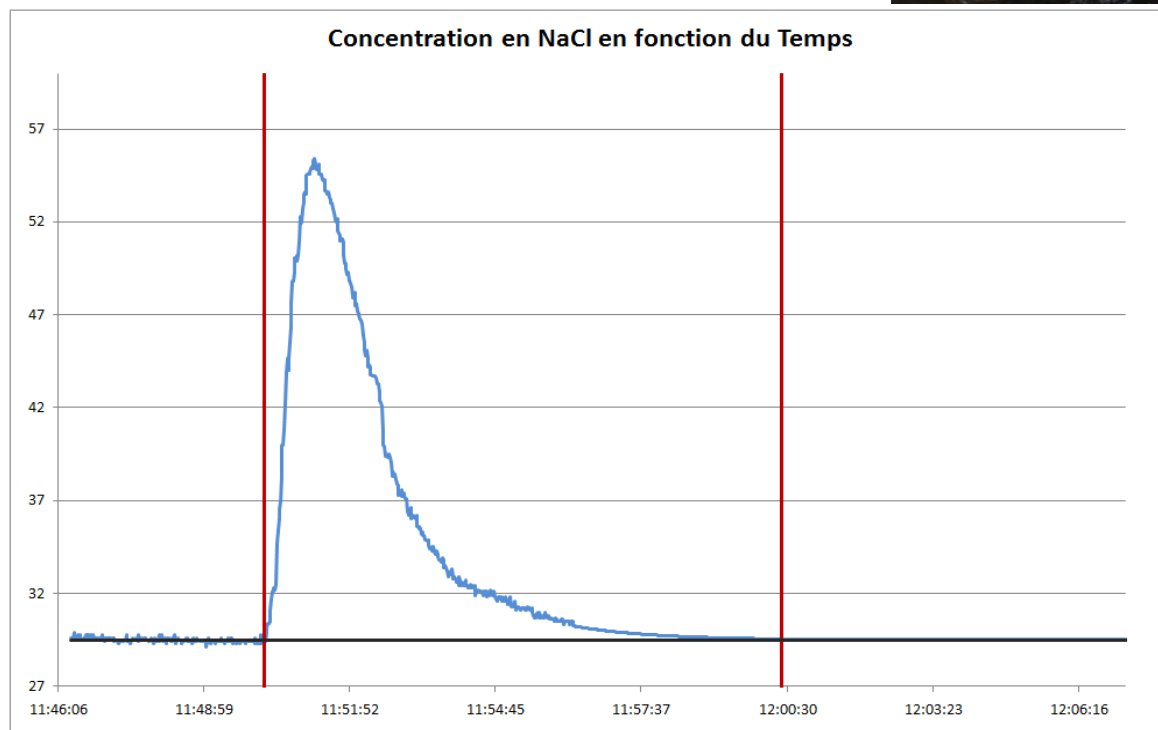


Jaugeage par dilution de NaCl : en pratique



3. Calcul du débit

- Mesure de la conductivité
- Conversion en concentration
- Intégration du nuage et calcul du débit



Jaugeage par dilution de NaCl



- ◆ Validation de la technique à DTG par intercomparaison
 - ◆ Intercomparaison avec des méthodes de référence
 - ◆ 24 jaugeages, $25 \text{ l/s} < Q < 1640 \text{ l/s}$
 - ◆ Référence :
 - ◆ μ -moulinet
 - ◆ dilution à Q constant de Rhodamine



Division Production

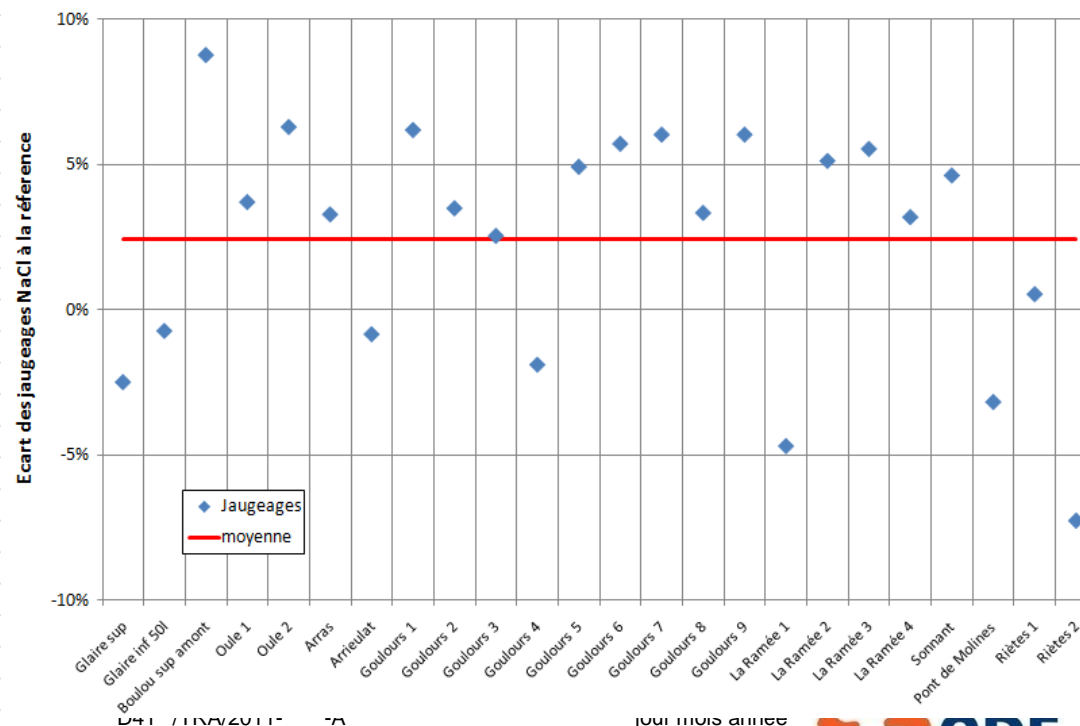
1**/TRA/2011-****-A

Jaugeage par dilution de NaCl



- ◆ Validation de la technique à DTG par intercomparaison
 - ◆ Très bons résultats d'intercomparaison
 - ◆ Leger biais de +2,5% (adsorption/absorption de traceurs, pertes à l'injection, etc...), écart type de 4%

N°	Nom	Q salino (l/s)	Q référence	Méthode réf	Différence %
1	Glaire sup	41.24	42.3	Dilution cst	-2.5%
2	Glaire inf 50l	73.75	74.3	Dilution cst	-0.7%
3	Boulou sup amont	34.7	31.9	Dilution cst	8.8%
4	Oule 1	26.03	25.1	μ-moulinet	3.7%
5	Oule 2	26.68	25.1	μ-moulinet	6.3%
6	Arras	1291	1250	Dilution cst	3.3%
7	Arrieulat	1626	1640	Dilution cst	-0.9%
8	Goulours 1	66.9	63	Dilution cst	6.2%
9	Goulours 2	65.2	63	Dilution cst	3.5%
10	Goulours 3	64.6	63	Dilution cst	2.5%
11	Goulours 4	61.8	63	Dilution cst	-1.9%
12	Goulours 5	66.1	63	Dilution cst	4.9%
13	Goulours 6	66.6	63	Dilution cst	5.7%
14	Goulours 7	66.8	63	Dilution cst	6.0%
15	Goulours 8	65.1	63	Dilution cst	3.3%
16	Goulours 9	66.8	63	Dilution cst	6.0%
17	La Ramée 1	688	722	μ-moulinet	-4.7%
18	La Ramée 2	759	722	μ-moulinet	5.1%
19	La Ramée 3	762	722	μ-moulinet	5.5%
20	La Ramée 4	745	722	μ-moulinet	3.2%
21	Sonnant	181	173	μ-moulinet	4.6%
22	Pont de Molines	455	470	μ-moulinet	-3.2%
23	Riètes 1	190	189	μ-moulinet	0.5%
24	Riètes 2	140	151	CT	-7.3%
				moyenne	2.4%
				ecart-type	4.1%



JUILLET 2011



Jaugeage par dilution de NaCl



◆ Limitations de la technique

- Rivières torrentielles, bon brassage sur des tronçons courts
- Petit débit ($< 1 \text{ m}^3/\text{s}$) : 5 à 10 g/L/s de sel $\rightarrow 1 \text{ m}^3/\text{s} \Rightarrow 5$ à 10kg
- Impact environnemental
 - + 10% de C au prélèvement sur qq secondes \Rightarrow faible

◆ Intérêts de la technique

- Jaugeages de rivières torrentielles (impossible avec autres techniques), ou avec de faibles tirants d'eau (torrents montagne)
- Matériel très peu encombrant
- Traceur facile à trouver
- Jaugeage rapide :
 - Répétition des mesures
 - Jaugeage en conditions non permanentes

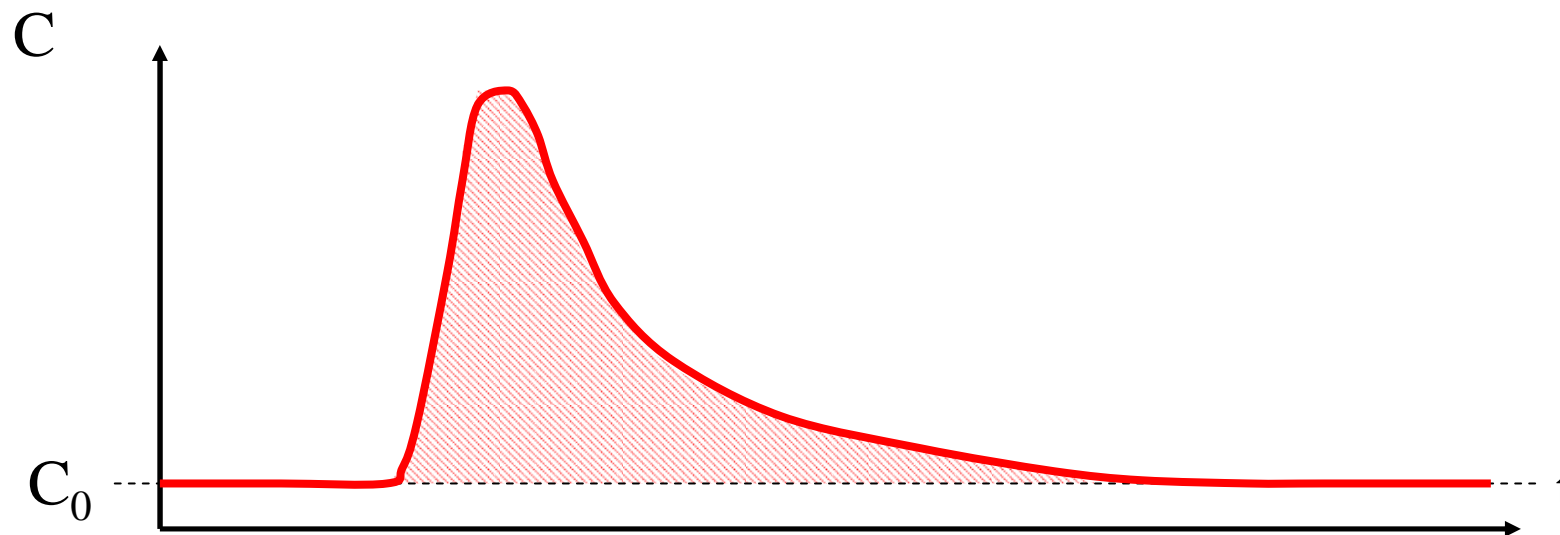
Jaugeage par dilution de Rhodamine Wt



◆ Méthode

- Injection d'une masse M_i de colorant Rhodamine Wt dans la rivière → augmentation de la fluorescence
- Suivi de la fluorescence / concentration en Rwt en une section de bon mélange

■ Calcul du débit $Q = \frac{M_i}{\int (C - C_0).dt}$



Jaugeage par dilution de Rhodamine WT



◆ Matériel :

- Traceur : Rhodamine WT
- Un fluorimètre de terrain calibré en concentration de Rwt
- Une station d'acquisition

◆ Exemple : fluorimètre de terrain GGUN-FL



- ◆ Fluorimètre immergeable
- ◆ Sonde de température
- ◆ Échantillonnage max = 2s
- ◆ Mémorisation des mesures

Jaugeage par dilution de Rwt : en pratique



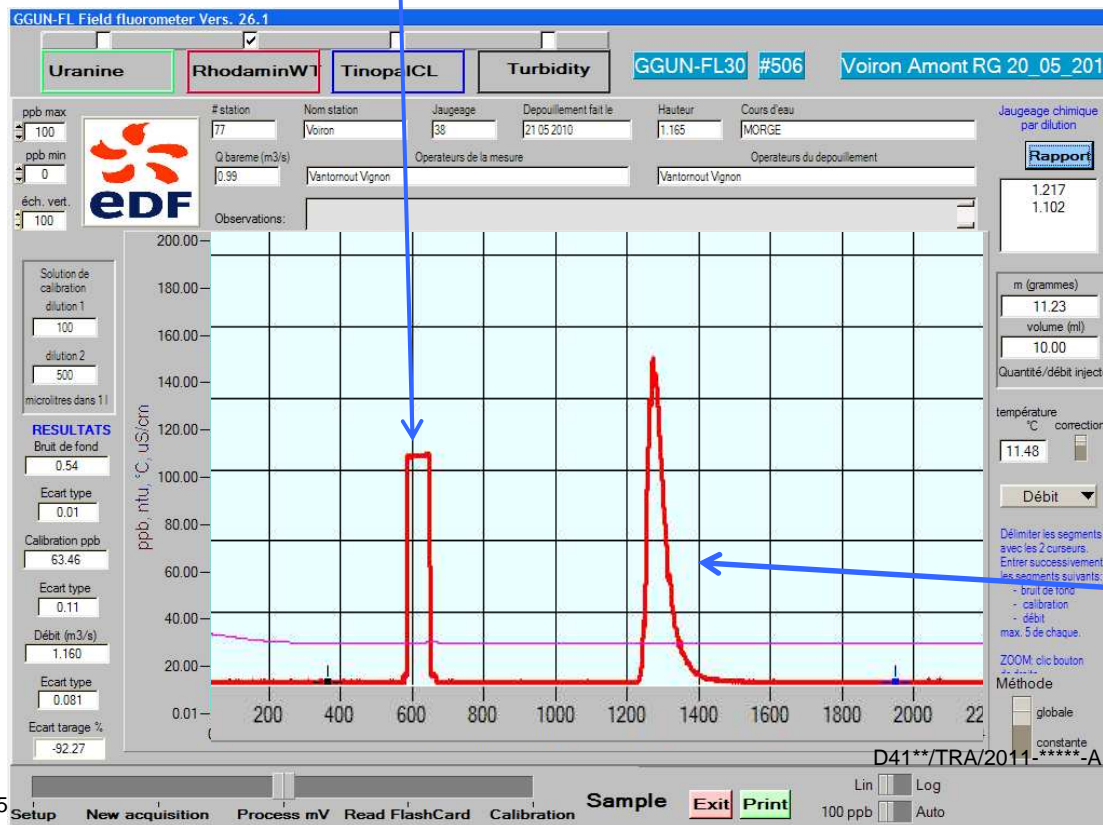
Calibrer l'appareil avec une solution à 50 ppb préparée avec de l'eau de la rivière



Installer le Fluo au point de bon mélange



Injecter un volume v de traceur (env. 200ml pour $10\text{m}^3/\text{s}$)



Enregistrer et dépolluer



Jaugeage par dilution de Rwt



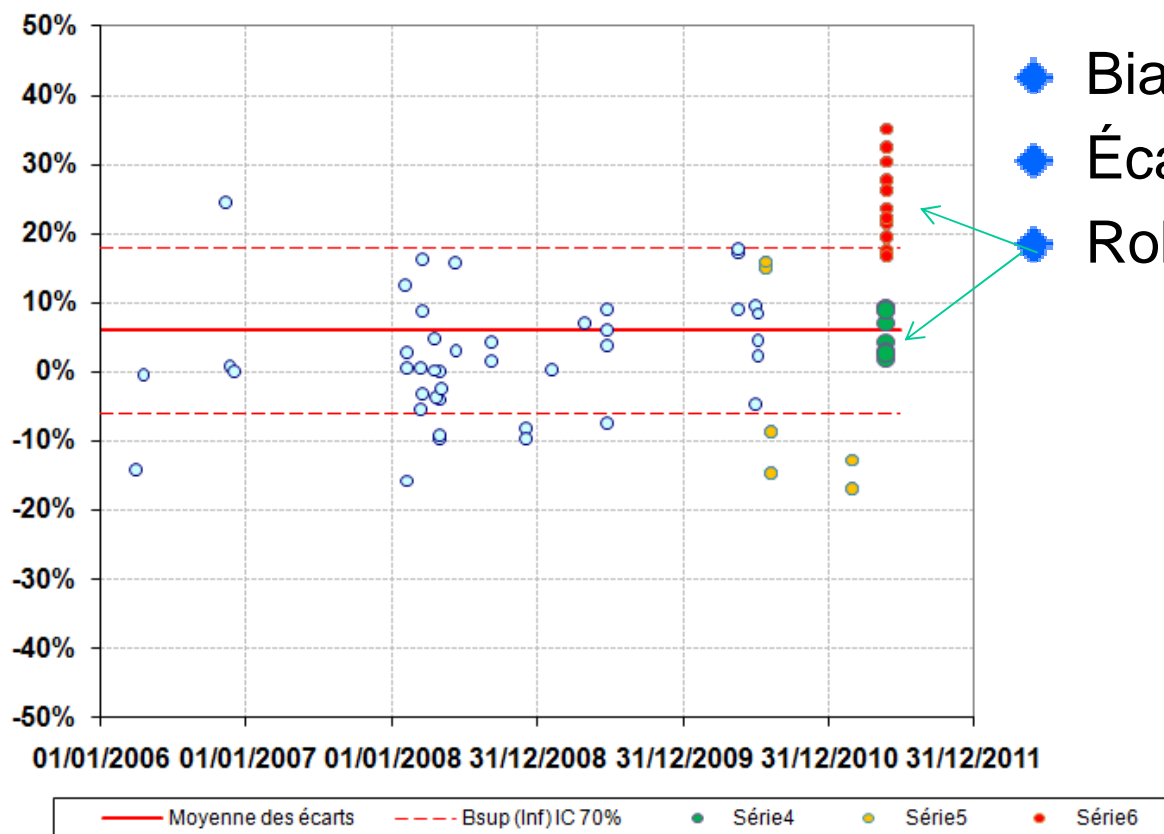
- ◆ Validation de la technique à DTG par intercomparaison
 - ◆ Intercomparaison avec des méthodes de référence
 - ◆ 73 jaugeages, $450 \text{ l/s} < Q < 122 \text{ m}^3/\text{s}$
 - ◆ Référence :
 - ◆ μ -moulinet
 - ◆ dilution à Q constant de Rhodamine
 - ◆ ADCP
 - ◆ Courbe de tarage

Jaugeage par dilution de Rwt



- Validation de la technique à DTG par intercomparaison
 - Intercomparaison avec des méthodes de référence
 - 73 jaugeages, $450 \text{ l/s} < Q < 122 \text{ m}^3/\text{s}$

Écarts des résultats des jaugeages effectués selon la méthode globale par rapport à un jaugeage de référence



- Biais de +6%
- Écart type de 11%
- Robustesse ?

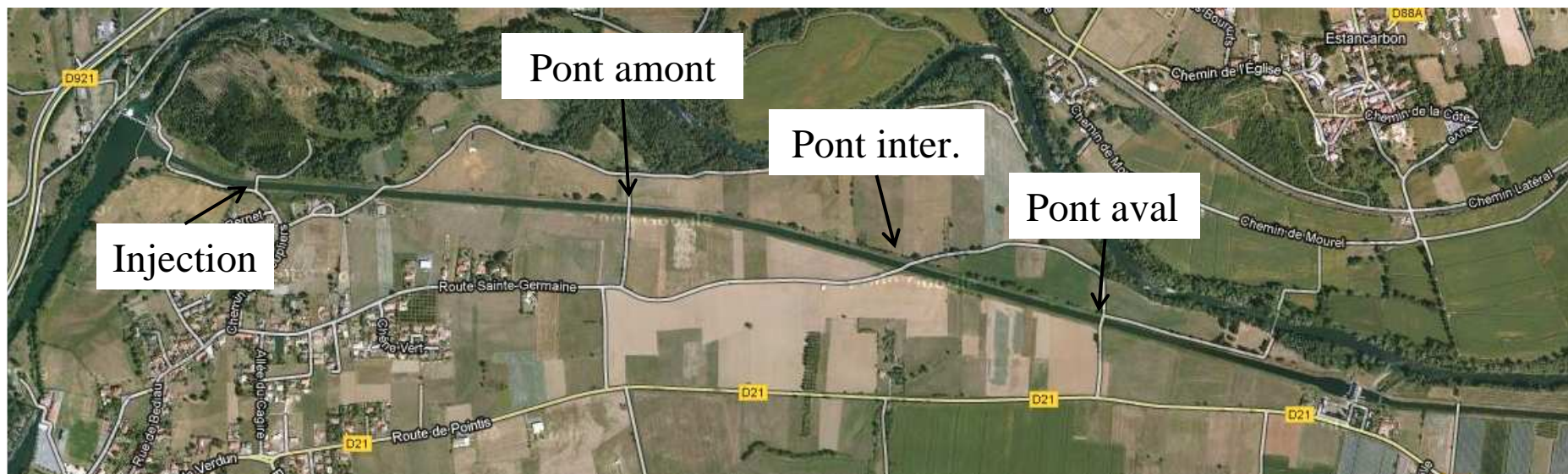
jour mois année



Jaugeage par dilution de Rwt



- ◆ Mesures lors de l'intercomparaion ADCP « La Gentille »
 - ◆ 11 fluorimètres FL30 GGUN et une sonde Hydrolab de Ott.
 - ◆ En trois jours 4 injections instantanées (méthode globale, notées G1 à G4)
 - ◆ Distance entre point d'injection et pont aval = 2,3 km
 - ◆ Trois ponts instrumentés : pont amont, intermédiaire et aval.
 - ◆ Mesures ADCP réalisées au niveau du pont aval.



Jaugeage par dilution de Rwt



- ◆ Mesures lors de l'intercomparaion ADCP « La Gentille »
 - ◆ Injection



Div

jour mois année



Jaugeage par dilution de Rwt



- ◆ Mesures lors de l'intercomparaion ADCP « La Gentille »
- ◆ Exemple de résultat

		Rive gauche	Inter.	Milieu	Inter.	Rive droite	Moyenne
Pont amont	N° Série	906		902		901	
	Débit [m ³ /s] G3	17,59		11,18		9,35	12,71
Pont intermédiaire	N° Série	907		908		909	
	Débit [m ³ /s] G3	12,21		11,22		13,92	12,45
Pont aval	N° Série	517	910	911	905	518	
	Débit [m ³ /s] G3	13,8	12,04	12,12	12,79	11,91	12,53

- ◆ Débit de référence = 11,1 m³/s
- ◆ Sur-estimation de 12% par dilution
- ◆ Limites de la méthode : canal et écoulements très calmes
- ◆ Résultats en cours de traitement

Jaugeage par dilution de Rwt



◆ Intérêts de la technique

- Jaugeages de rivières torrentielles ou en crues (impossible avec autres techniques)
- Matériel très peu encombrant
- Faible quantité de traceur : 10 m³/s pourront être jaugés avec 100 à 300 ml
- Jaugeage rapide :
 - Répétition des mesures
 - Jaugeage en conditions non permanentes (crues)

Jaugeage par dilution de Rwt



- ◆ Inconvénients de la technique
 - Impact environnemental
 - Concentration cible de 10^{-6} g/L \Rightarrow très faible
 - Dispersion des résultats
 - Incertitudes mal connues
 - Faible robustesse
- \Rightarrow Tests métrologiques en cours de réalisation :
- Calibration de l'appareil
 - Injection
 - Matériel utilisé

Merci



Jaugeage par dilution de NaCl



◆ Annexes

EFFETS SUR L'ENVIRONNEMENT

Non bioaccumulable.

Non biodégradable.

Effets toxiques sur les plantes et les animaux aquatiques.

Effet perturbateur de l'équilibre ionique du sol.

Toxicité, vis-à-vis des Daphnies : CL 50 à 24 h : 4800 mg/L⁻¹

Toxicité, vis-à-vis des Poissons (Brachydanio rerio CL 50 à 24 h : 900 mg/L⁻¹).

Possibilité de formation de dioxines lors de la combustion de produits hydrocarbonés en présence de Chlorure de sodium (incinération, barbecues...).

Jaugeage par dilution de Rwt



◆ Annexes

Une étude de 1995³, menée par des chercheurs de l'US EPA (agence indépendante du gouvernement américain pour la protection de l'environnement), indique que les traceurs fluorescents peuvent être utilisés sans risque sous réserve de respecter plusieurs points. Ainsi, les manipulateurs réalisant le travail doivent être expérimentés ou formés à l'utilisation des traceurs. La concentration en traceur ne doit pas dépasser les 1 à 2 mg/L pendant une période supérieure à 24 heures dans les eaux souterraines. L'étude précise aussi que le seuil de 10 µg/L évoqué dans des précédentes recherches datant de 1986 et 1988 avait été choisi principalement pour des raisons esthétiques et de relations publiques et qu'il ne reposait pas sur des résultats toxicologiques. Le seuil retenu est donc celui de 1 à 2 mg/L.

En France, l'étude⁴ menée en 2007 par Jean Carré, Enseignant-chercheur en hydrogéologie et géochimie des eaux à l'École des Hautes Études en Santé Publique (EHESP) conclut que ces traceurs fluorescents ne présentent pas de risque pour l'homme ou l'environnement aux concentrations utilisées. L'étude précise aussi qu'**au vu des informations disponibles, toutes les molécules paraissent utilisables sans restriction particulière, même si certaines d'entre elles, telles que la fluorescéine ou les stilbènes, paraissent plus anodines que d'autres**".

4. CONCLUSION

Sur le plan toxicologique comme sur le plan environnemental, il apparaît que l'utilisation de la fluorescéine est à privilégier. En effet, ce produit n'a pas d'impact environnemental significatif et son utilisation est peu dangereuse.

L'usage de la Rhodamine WT est déconseillé par certains guides, mais les études scientifiques montrent que ce produit peut être utilisé sans impact significatif sur l'environnement ou la santé, sous réserve de respecter les règles de manipulation, notamment en matière de port des protections individuelles et de dosage de la quantité de produit injectée dans le cours d'eau. Seule la quantité de traceurs strictement nécessaire à la méthode de mesure doit en effet être utilisée. Les études françaises ne définissent pas de concentration à ne pas dépasser pour ces produits, mais l'étude menée par l'US EPA en 1995 aux États-Unis indique un seuil maximal de concentration en traceur de 1 à 2 mg/L pendant une période de 24 heures dans les eaux souterraines.

Dans le cas des prestations de DTG, on se basera sur les valeurs de concentration relevées au niveau des points de mesure en aval des injections.