

Des rivières
et des hommes



Les instruments de mesure

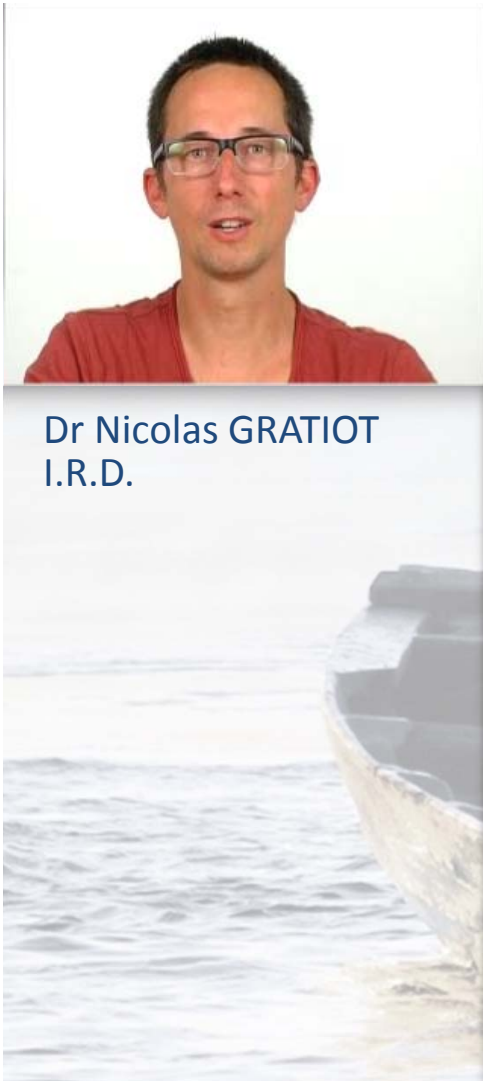
Comment mesurer les flux
d'eau et de sédiments



Dans le cadre de



RESCIF
Réseau d'excellence
des sciences de l'ingénieur
de la Francophonie

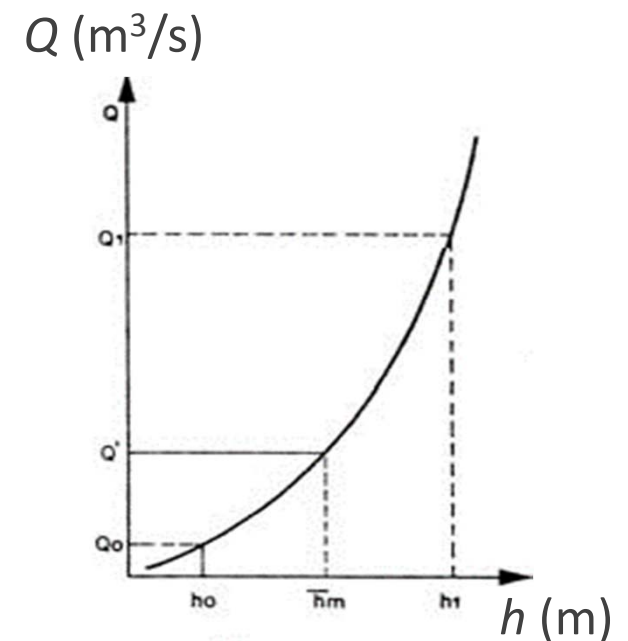


Dr Nicolas GRATIOT
I.R.D.

Les instruments de mesure

Mesurer le débit des rivières ?

- gérer les aménagements (ex : barrage)
- prévenir le risque d'inondation
- transferts d'eau dans un bassin versant
- état écologique de la rivière





Plan de la présentation

Variables et hypothèses

Estimation du débit fluide

- mesure ponctuelle par jaugeage au sel
- suivi automatisé par mesure de hauteur d'eau

Estimation du débit solide en suspension

- mesure ponctuelle directe par prélèvement
- suivi automatisé par sonde de turbidité

Critique des mesures

Conclusion



Dr Nicolas GRATIOT
I.R.D.

Les instruments

1. Variables, hypothèses
2. Débit fluide
3. Débit solide
4. Critique des mesures
5. Conclusion

Variables et hypothèses de travail

On souhaite mesurer :

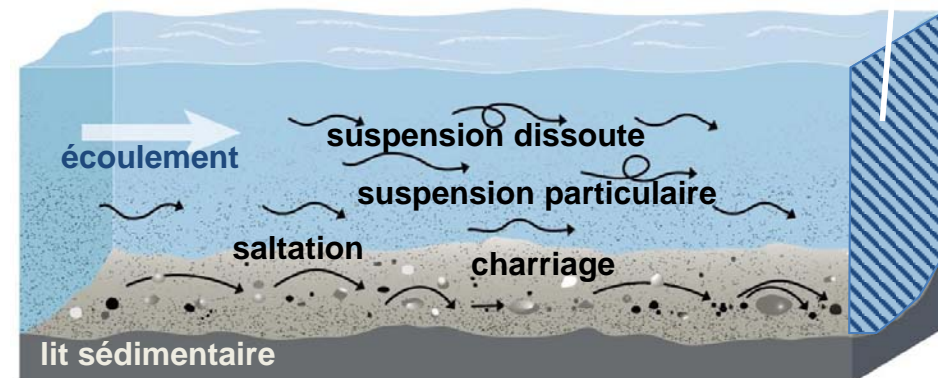
- le débit fluide Q (m^3/s)
- le débit solide Q_s (Tonnes/s) ou (m^3/s)

$$Q_s(t) = Q(t) \times C(t)$$

aire mouillée (A)
ou section (S)

C = concentration
en matière en
suspension

C (m^3/m^3)
ou C (kg/m^3)
= MES (kg/m^3)





Dr Nicolas GRATIOT
I.R.D.

Les instruments

1. Variables, hypothèses
2. Débit fluide
3. Débit solide
4. Critique des mesures
5. Conclusion

Variables et hypothèses de travail

On souhaite mesurer :

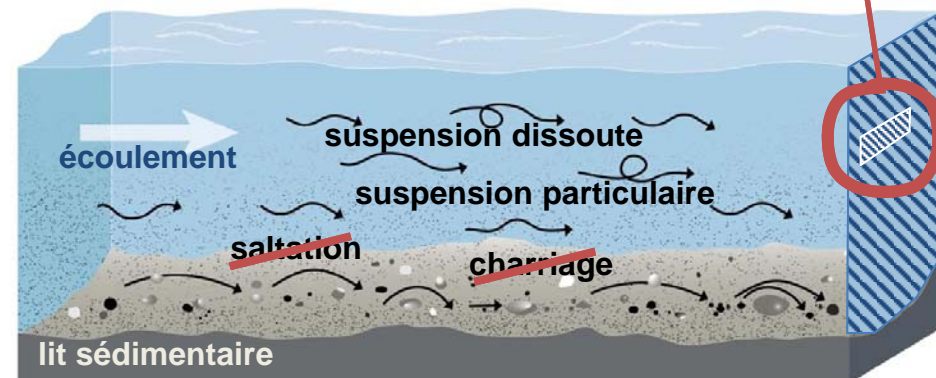
- le débit fluide Q (m^3/s)
- le débit solide Q_s (Tonnes/s) ou (m^3/s)

$$Q_s(t) = Q(t) \times C(t)$$

C = concentration
en matière en
suspension

C (m^3/m^3)
ou C (kg/m^3)
= MES (kg/m^3)

Hypothèse :
 C homogène sur S à t donné

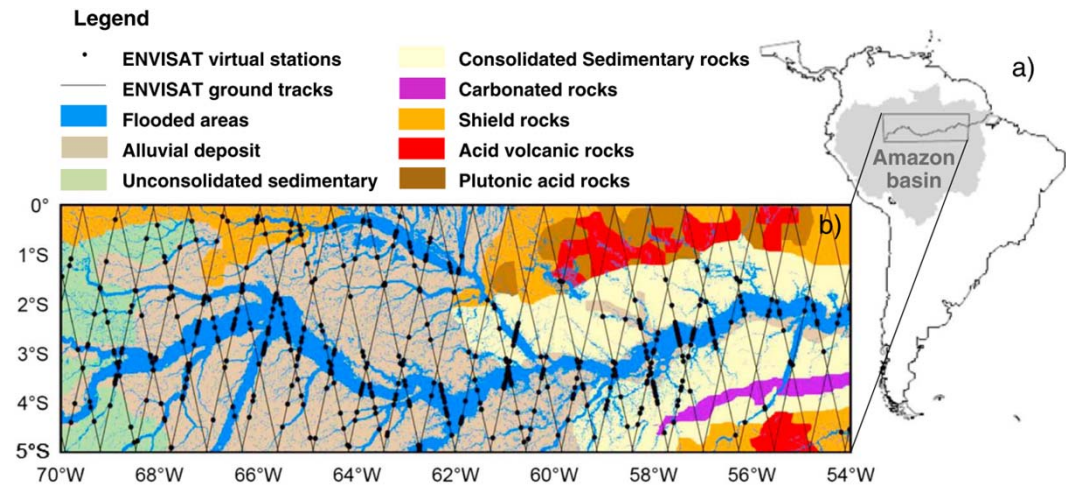


Quelles techniques de mesure ?

- Très grandes rivières et fleuves : hydrologie spatiale



ENVISAT :
satellite d'observation de la Terre
de l'Agence spatiale européenne

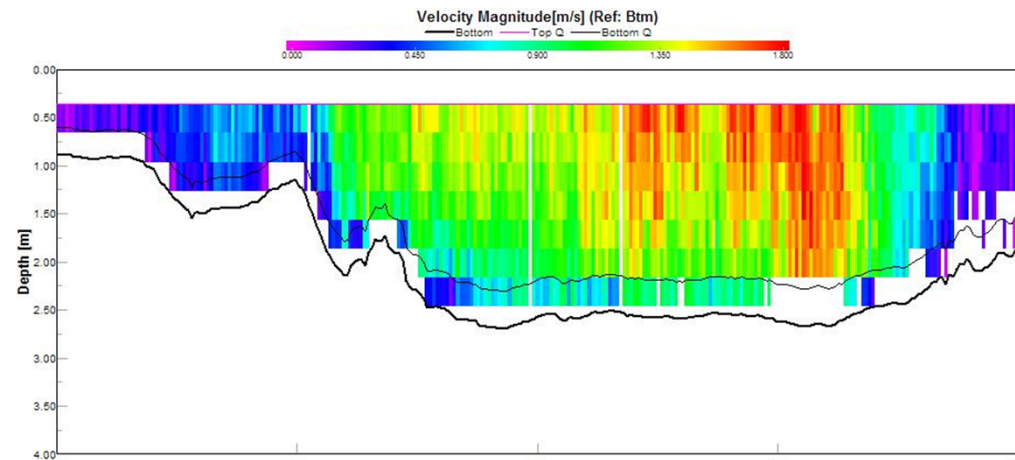


Quelles techniques de mesure ?

- Très grandes rivières et fleuves : hydrologie spatiale
- Fleuves et rivières peu turbulents : techniques acoustiques ADCP



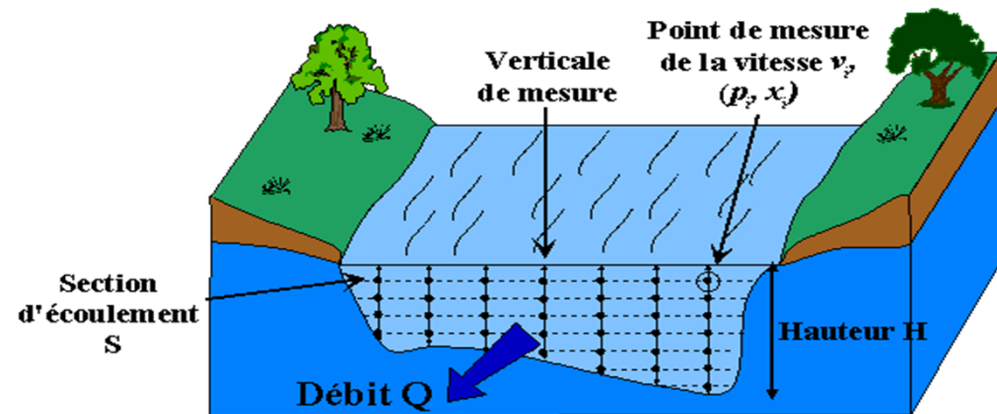
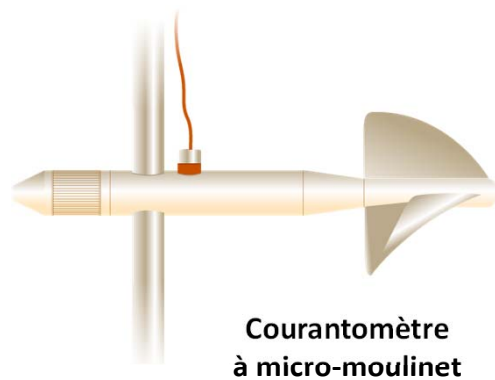
ADCP :
Acoustic Doppler Current Profiler




Isère. Mesures hydrométriques.

Quelles techniques de mesure ?

- Très grandes rivières et fleuves : hydrologie spatiale
- Fleuves et rivières peu turbulents : techniques acoustiques ADCP
- Petits cours d'eau : exploration du champs de vitesses par micro-moulinet





Dr Nicolas GRATIOT
I.R.D.

Les instruments

1. Contexte, hypothèses
2. Débit fluide
3. Débit solide
4. Critique des mesures
5. Conclusion

Débit fluide : mesure par jaugeage au sel

- Petits cours d'eaux : mesure directe ponctuelle par dilution d'un traceur



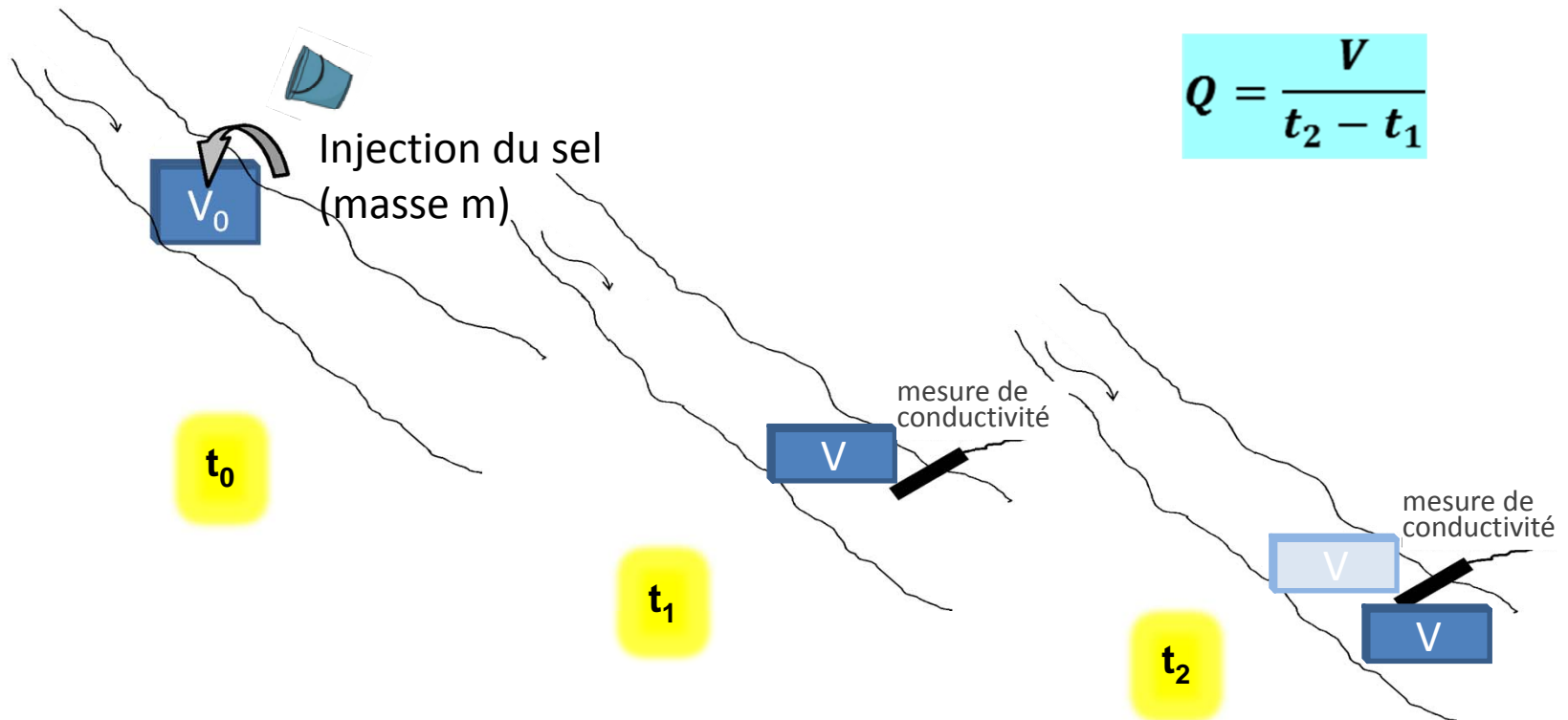
Débit fluide : mesure par jaugeage au sel

Dilution d'un traceur (NaCl) → sonde de conductivité

masse m de sel
+ eau rivière



Débit fluide : mesure par jaugeage au sel



Débit fluide : mesure par jaugeage au sel

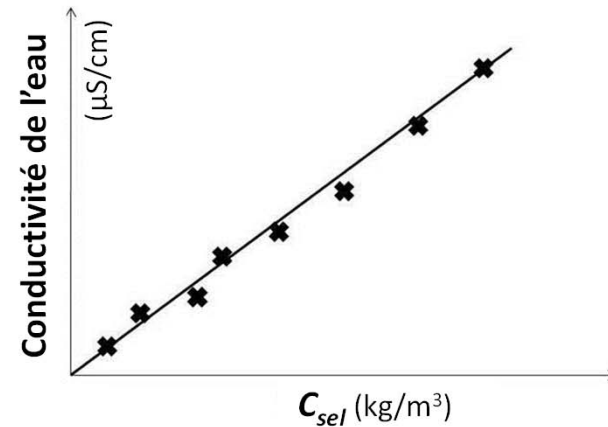
$$Q = \frac{m}{\bar{C}_{sel} \times (t_2 - t_1)}$$

$$Q = \frac{V}{t_2 - t_1}$$

En pratique :

$$Q = \frac{m}{\int_{t_1}^{t_2} C_{sel}(t) \cdot dt}$$

$C_{sel}(t)$ est déduit
d'une relation
concentration -
conductivité



Au préalable : loi de calibration réalisée en laboratoire

Débit fluide : mesure par jaugeage au sel

Les mesures ponctuelles de débit fluide Q sont précises mais :

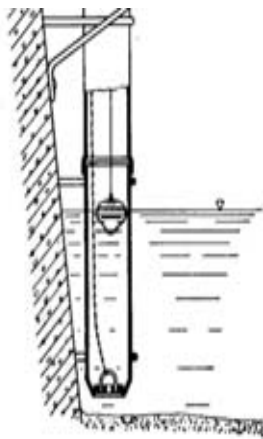
- coûteuses en temps
- nécessitent des moyens humains



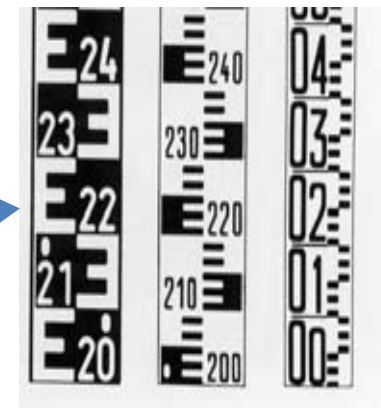
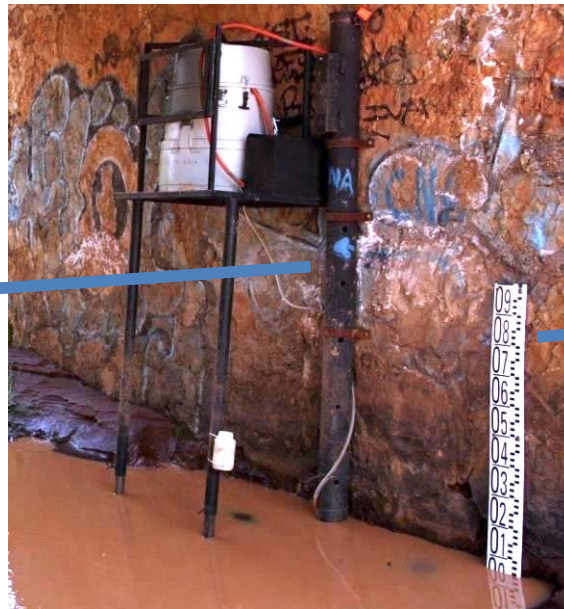
répétitions temporelles insuffisantes pour caractériser la variabilité naturelle de la rivière

Débit fluide : mesures indirectes

Mesure par hauteur d'eau : $Q = f(h)$

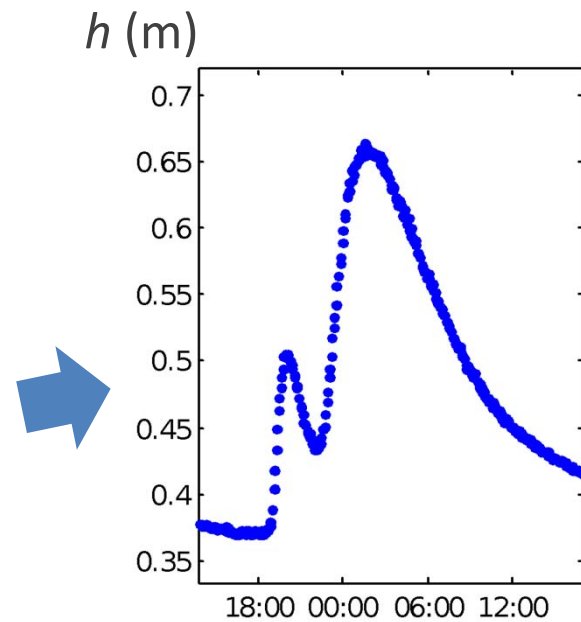
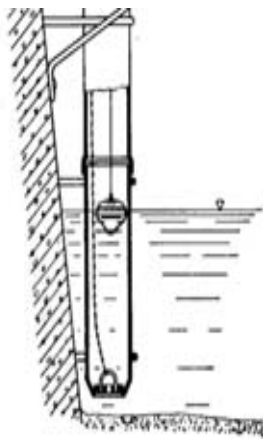


Flotteur

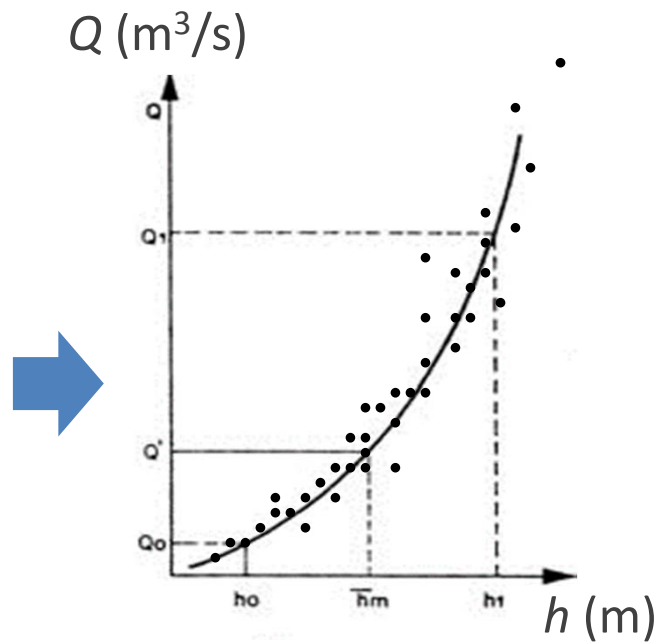


Échelle
limnimétrique

Débit fluide : mesures indirectes par hauteur d'eau

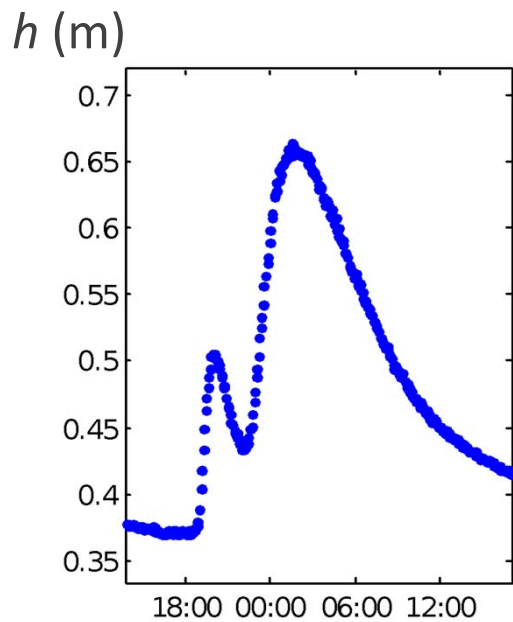


Limnogramme
 $h = f(t)$

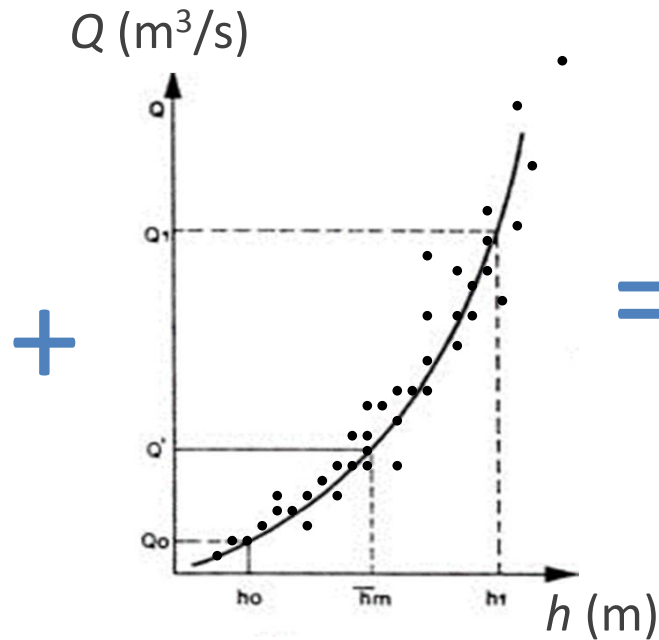


Courbe de tarage
 $Q = g(h)$

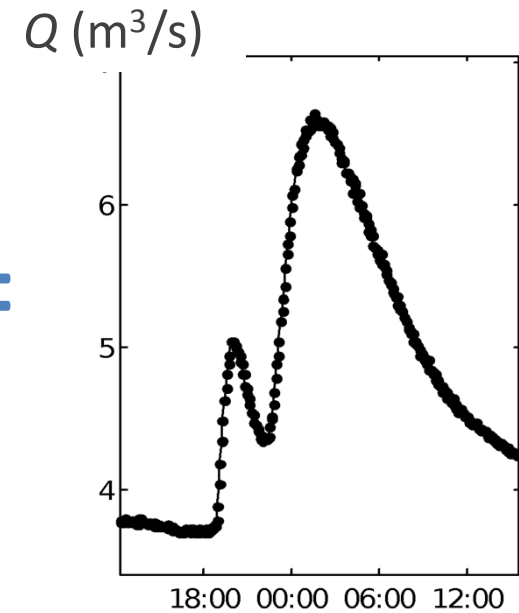
Débit fluide : mesures indirectes par hauteur d'eau



Limnogramme
 $h = f(t)$



Courbe de tarage
 $Q = g(h)$



Hydrogramme
 $Q(t) = g(f(t))$

Débit fluide : mesures indirectes

Canal auto jaugeur

Section S fixe

Courbe de tarage fixée
par l'hydraulique





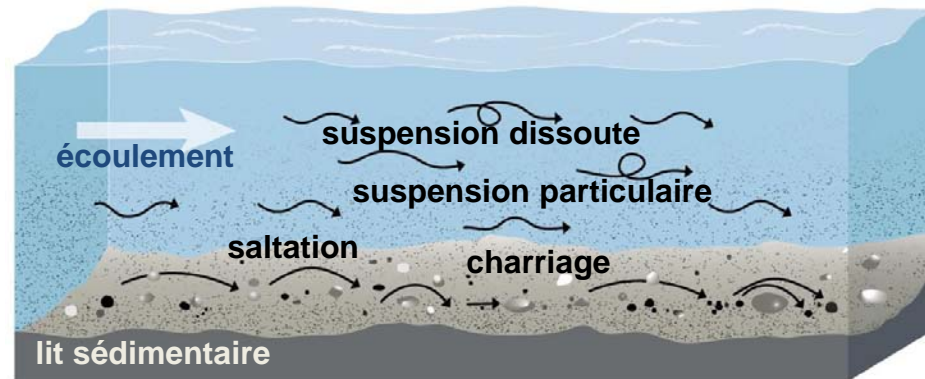
Dr Nicolas GRATIOT
I.R.D.

Les instruments

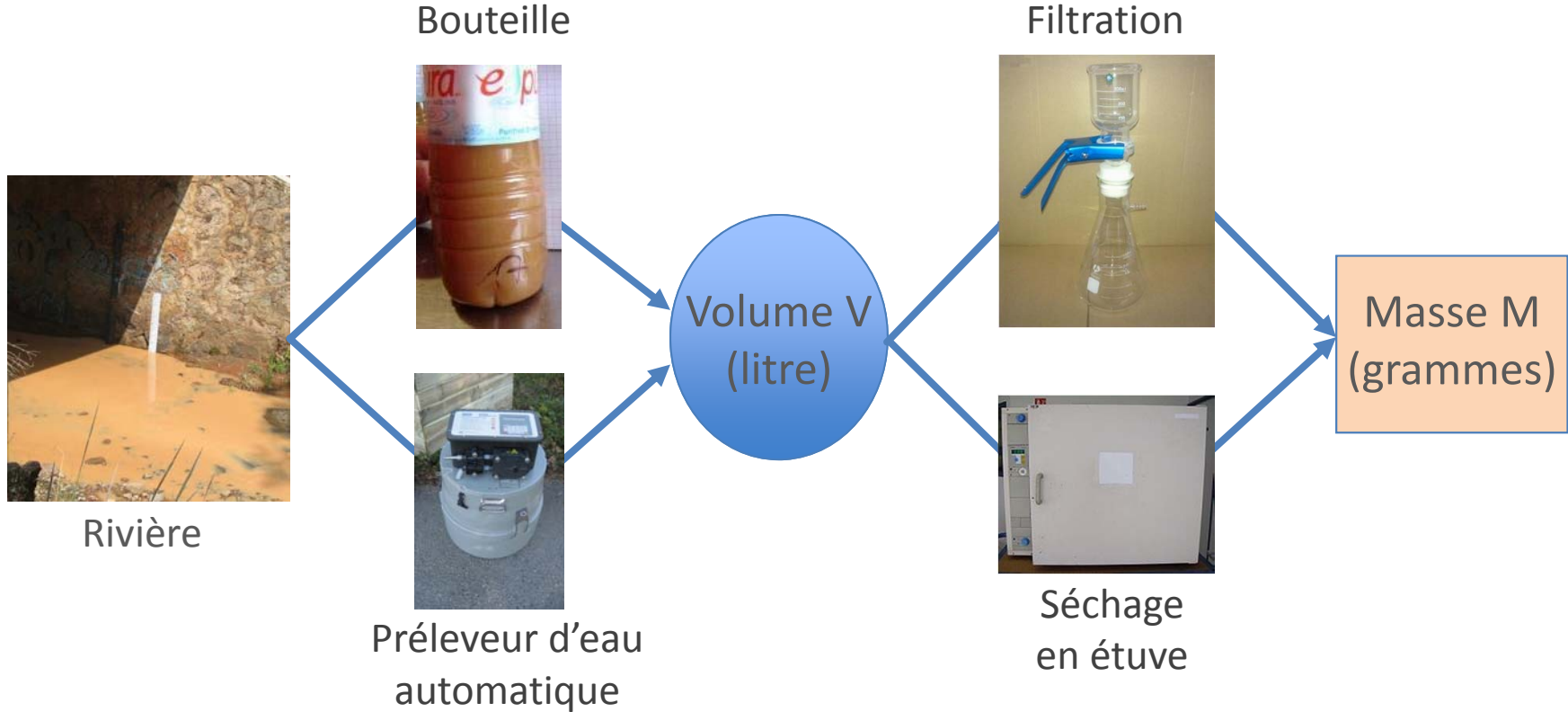
1. Contexte, hypothèses
2. Débit fluide
3. Débit solide
4. Critique des mesures
5. Conclusion

Débit solide

$$Q_s(t) = Q(t) \times C(t)$$



Débit solide : mesures directes



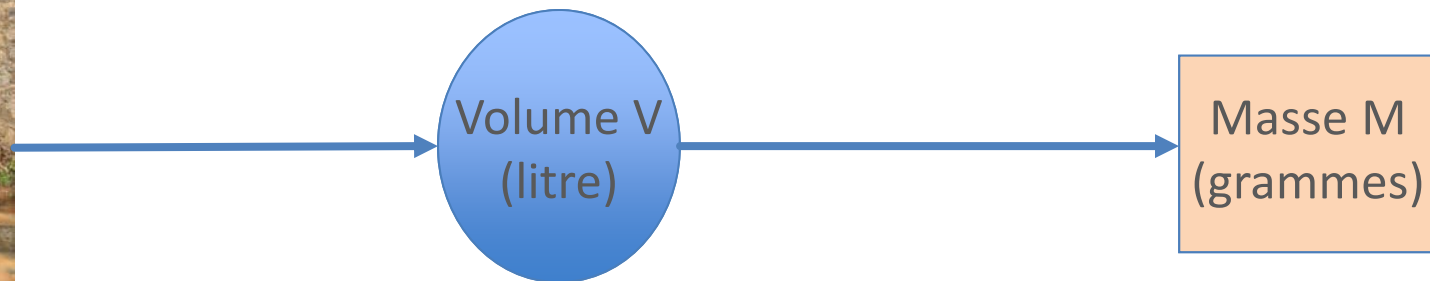
Débit solide : mesures directes

Concentration massique : $MES = C = M/V$ (g/L) ou (kg/m³)

Concentration volumique : $C = M/(V \rho_s)$ (m³/m³)



Rivière



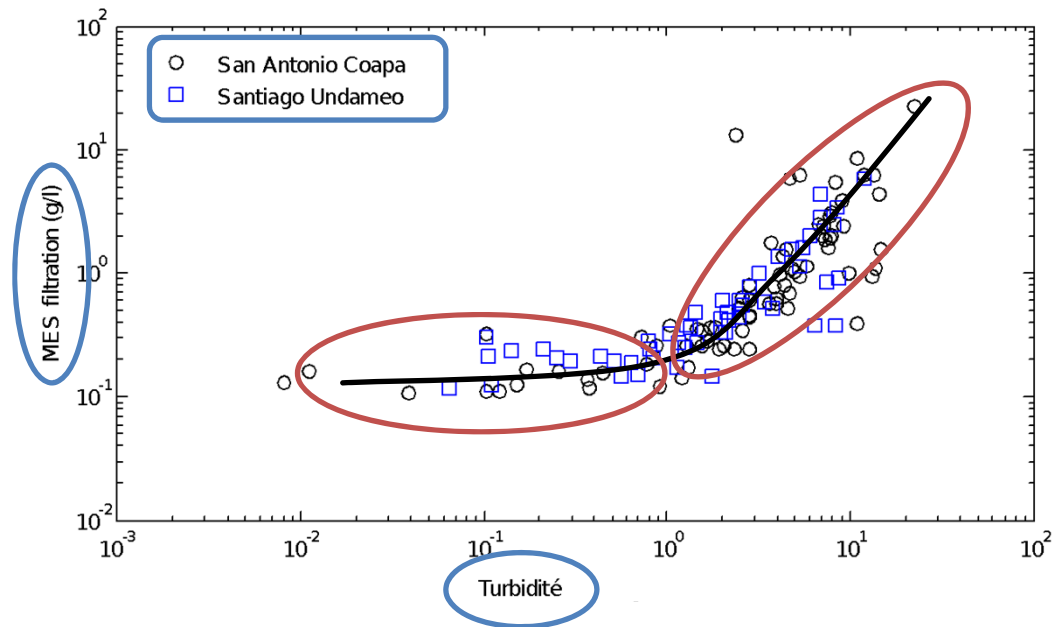
Densité volumique des sédiments ρ_s :

- grain de sable $\approx 2500 \text{ kg/m}^3$
- floc d'argile avec matière organique $\approx 100\text{-}2000 \text{ kg/m}^3$

Débit solide : mesures indirectes

Sonde de turbidité (transparence optique de l'eau)

Requiert une calibration MES-turbidité



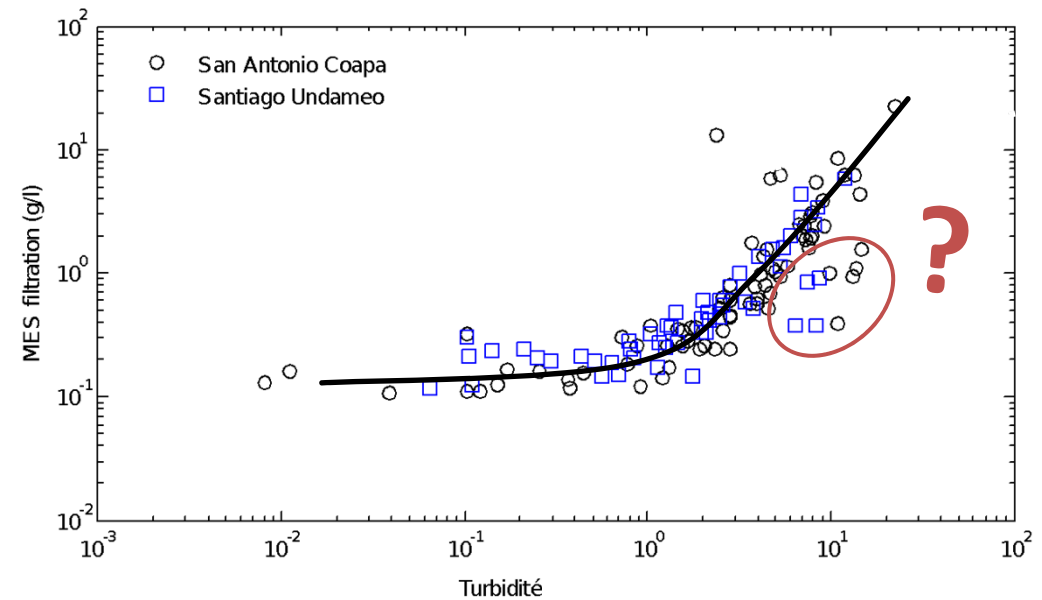


Dr Nicolas GRATIOT
I.R.D.

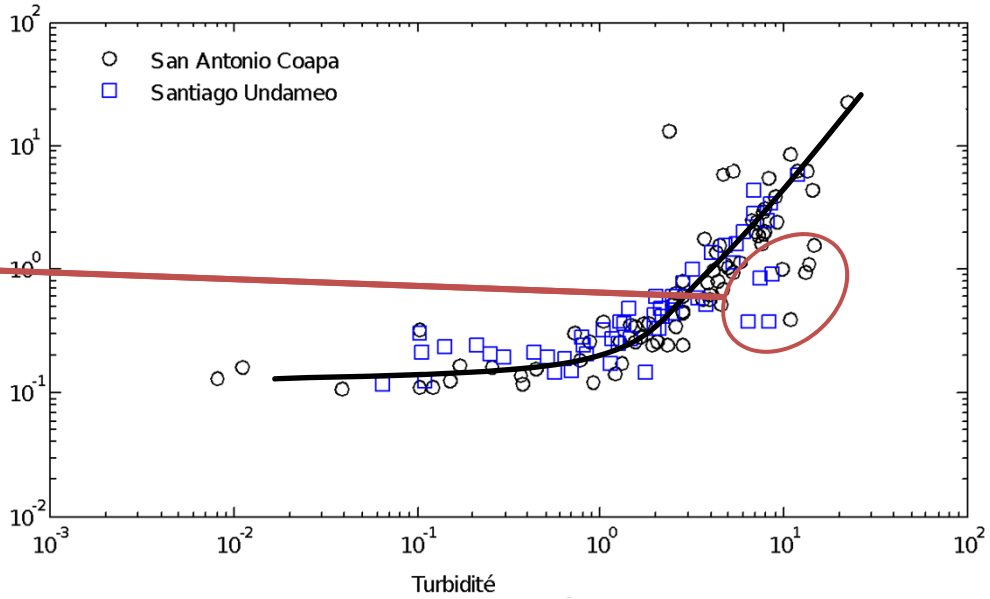
Les instruments

1. Contexte, hypothèses
2. Débit fluide
3. Débit solide
- 4. Critique des mesures**
5. Conclusion

Critique des mesures

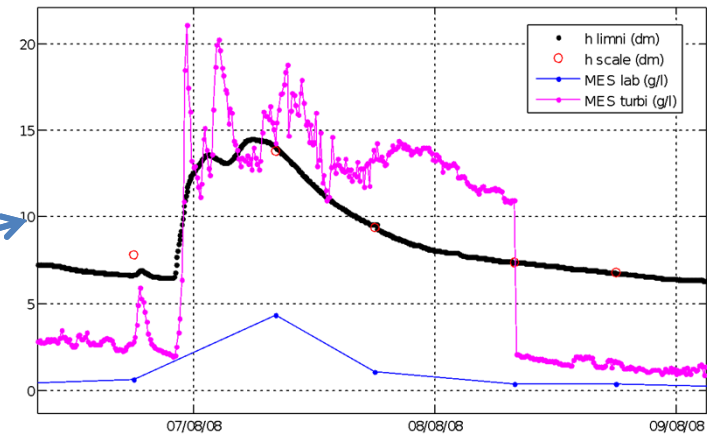


Critique des mesures



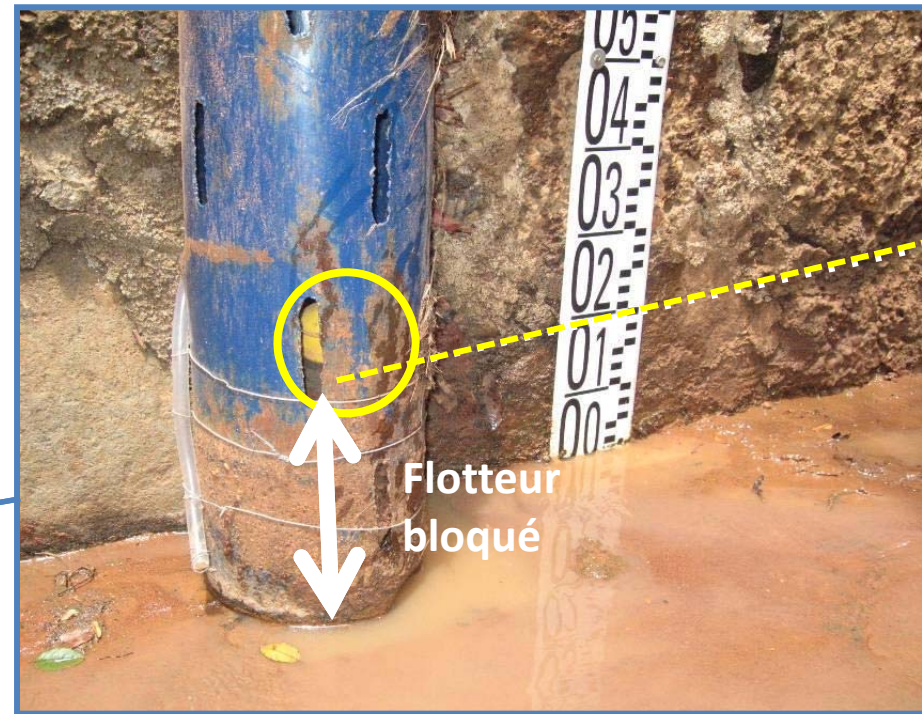
Critique des mesures

Vérification systématique des instruments



Critique des mesures

Vérification systématique des instruments



Critique des mesures : défaillance sur 365 jours

Débit fluide Q

- blocage de la sonde de niveau (7 jours)
- mauvaise lecture de l'échelle (écart > 3cm, 20 jours)

Débit solide Q_s

- envasement - encrassement (25 jours)
- végétation (18 jours)
- sonde en dehors de l'eau (7 - 100 jours)

+ contacts électriques, décharge batterie (58 jours)



Dr Nicolas GRATIOT
I.R.D.

Les instruments

1. Contexte, hypothèses
2. Débit fluide
3. Débit solide
4. Critique des mesures
5. Conclusion

Critique des mesures

Pour fiabiliser l'information :

- protocole rigoureux de relevé de mesure
- carnet de terrain
- coupler différentes techniques de mesure



Dr Nicolas GRATIOT
I.R.D.

Les instruments

1. Contexte, hypothèses
2. Débit fluide
3. Débit solide
4. Critique des mesures
5. Conclusion

Notions abordées dans la séquence

Mesures de débits d'eau et de sédiments :

- méthodes pour un suivi ponctuel
- méthodes pour un suivi en continu

Critique des mesures

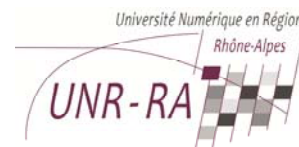
Des rivières et des hommes



Réalisation



Avec le soutien de



Crédits photo

Satellite ENVISAT : ***www.cnes.fr*** (ESA)
Amazone : **d'après Pfeffer et al., 2014, GRL**
Isère. Mesures hydrométriques : **ENSE3**
Rio Cointzio : **P.Bustos**
Station hydrométrique de San Antonio Coapa, Mexique : **N. Gratiot**
Mesure par hauteur d'eau : **N. Gratiot**
Canal auto jaugeur : **IRSTEA-ETNA**
Tête turbidimètre : **LTHE**
Critique des mesures : **C.Duvert**

Réalisation multimédia



PerForm - Grenoble INP



Service TICE-EAD de l'Université Pierre-Mendès-France, Grenoble 2