



Caractérisation du fonctionnement de trois bassins karstiques tropicaux du piedmont Andino-Amazonien au Pérou – Flux d'altération des carbonates associés

L. S. Hidalgo Sánchez, C. Batiot-Guilhe (HSM), N. Mazzilli (EMMAH), H. Jourde(HSM), J-L. Guyot (GET), A. Sifeddine (LOCEAN), J-S. Moquet (IPGP), J. Apaestegui (IGP), G. Cinkus (EMMAH)



Jeudi 13 juin 2019 – Workshop SNO KARST Orléans

Problématique

L'Amazone : Une source majeure d'eau douce, de sédiments et d'éléments dissous à l'échelle globale

Rôle majeur dans les grands cycles biogéochimiques (échelle globale et régionale)

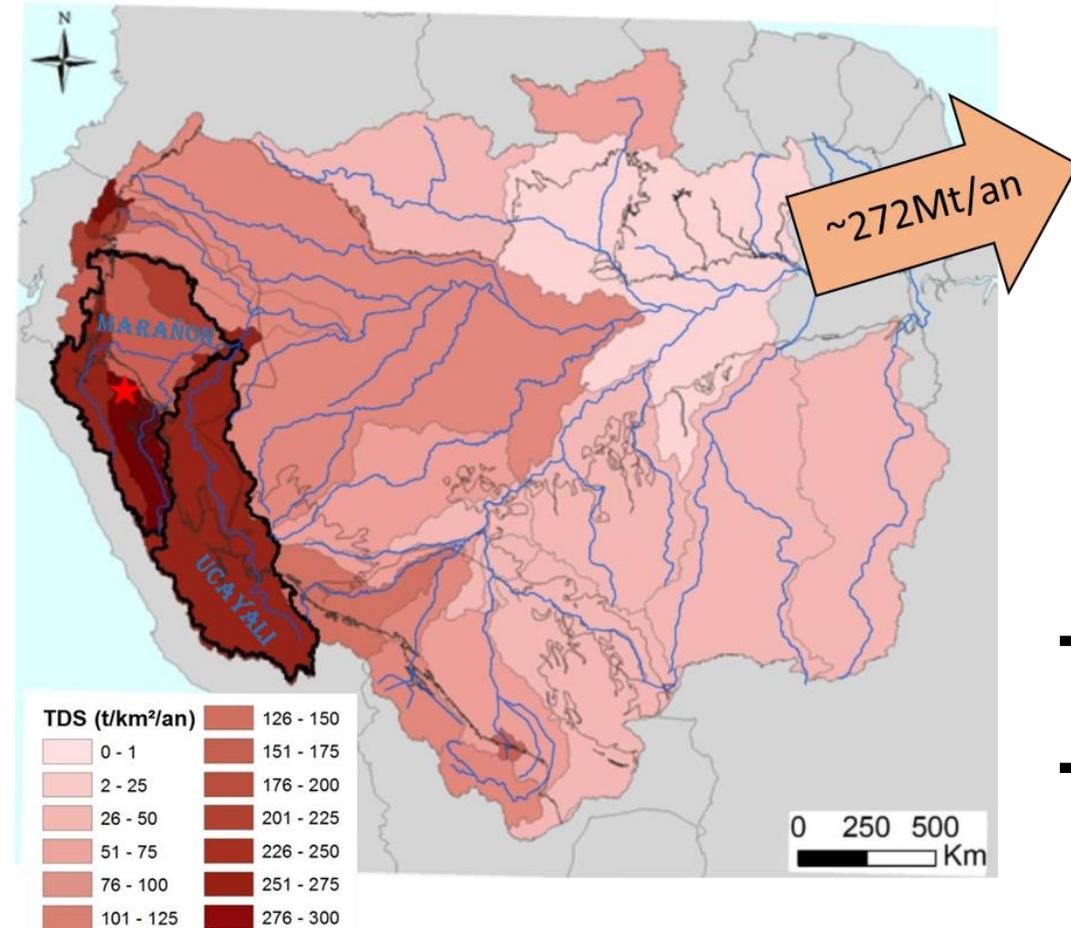
Marañón + Ucayali :

~ 45% flux dissous Amazone et > 75 % des flux d'altération -> carbonates

(Moquet et al., 2011)

➔ Quel est le taux d'altération de carbonates?

➔ Quels sont les facteurs de contrôle?



Problématique

L'Amazone : Une source majeure d'eau douce, de sédiments et d'éléments dissous à l'échelle globale

Rôle majeur dans les grands cycles biogéochimiques (échelle globale et régionale)

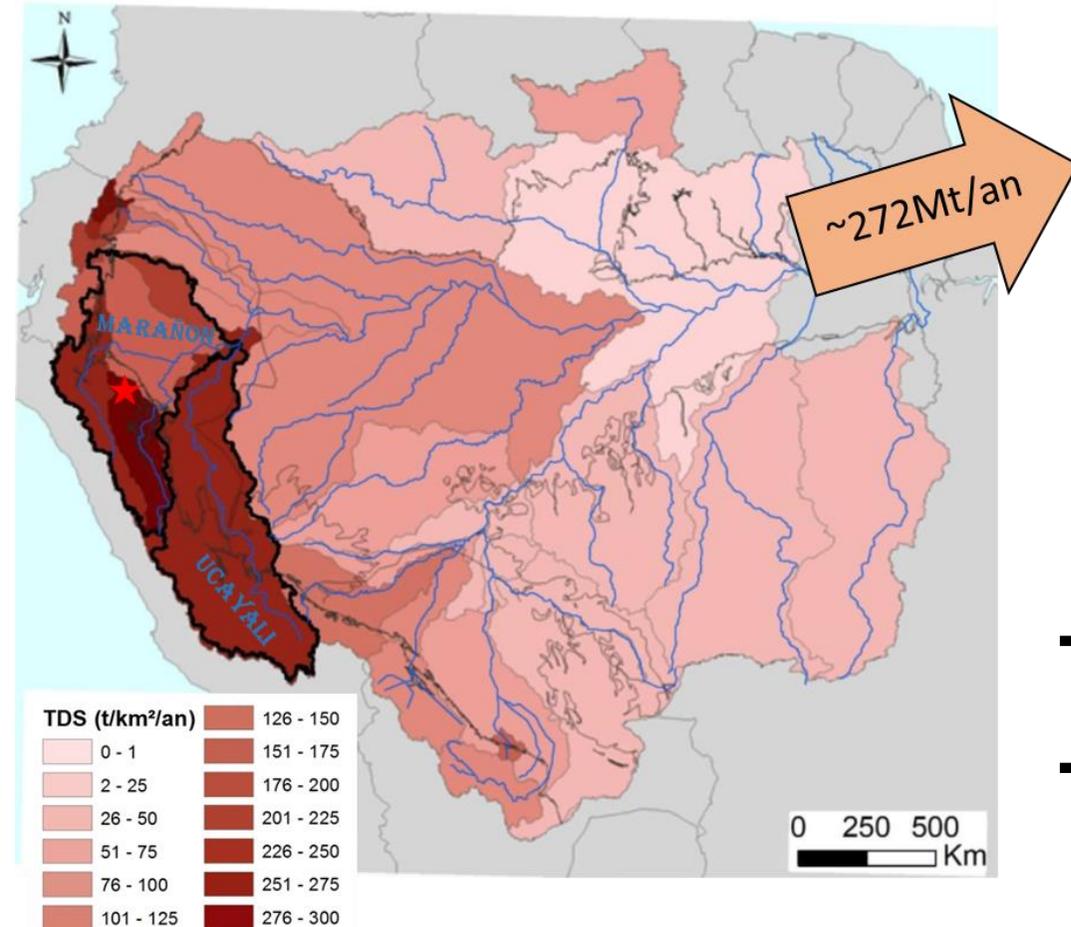
Marañón + Ucayali :

~ 45% flux dissous Amazone et > 75 % des flux d'altération -> carbonates

(Moquet et al., 2011)

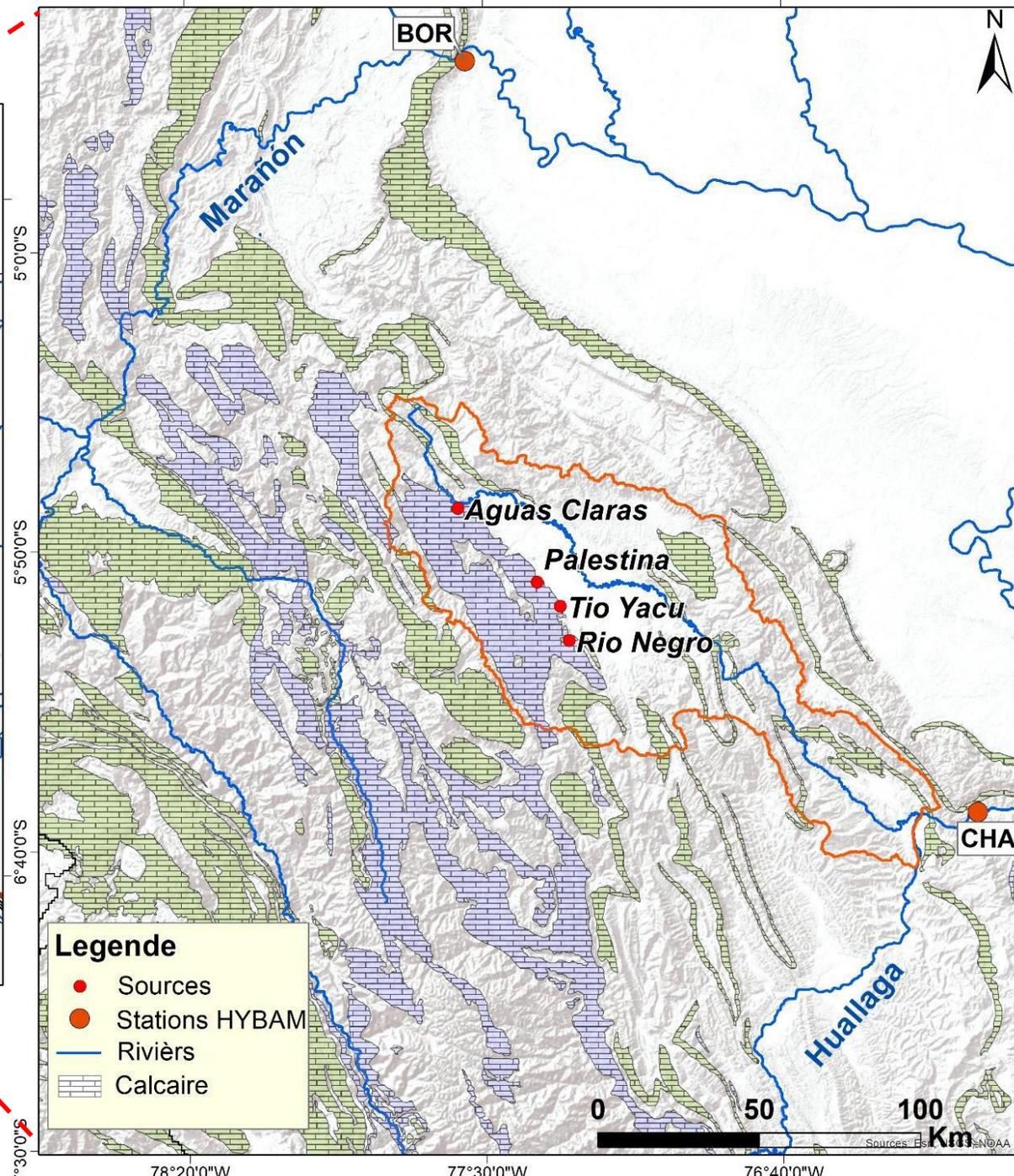
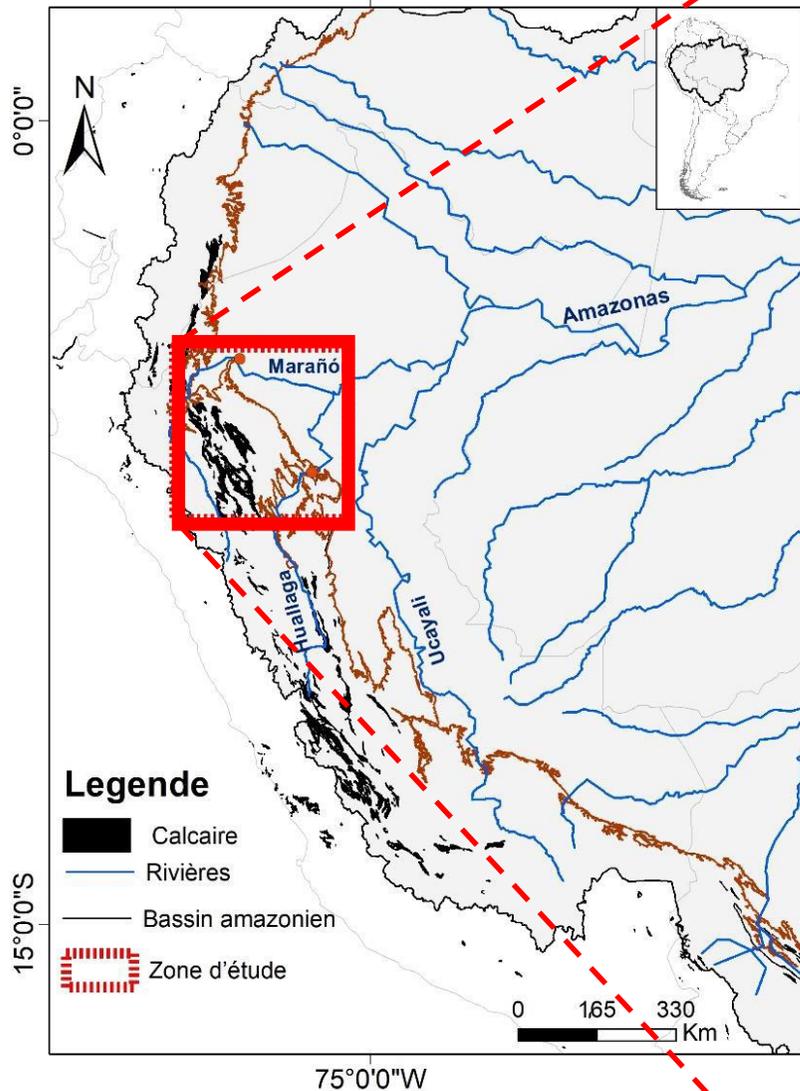
➔ Quel est le taux d'altération de carbonates?

➔ Quels sont les facteurs de contrôle?



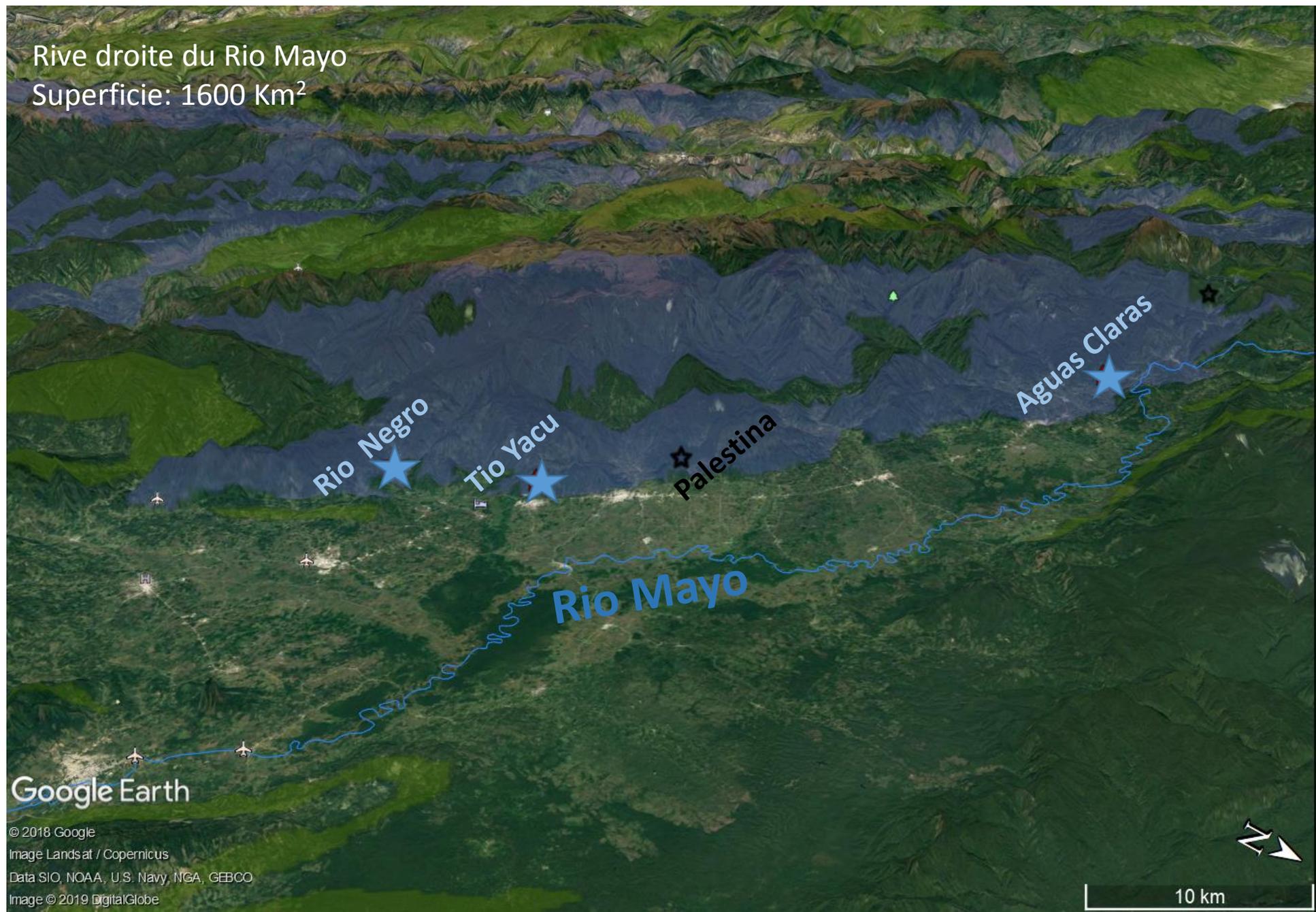
➔ **Apport du karst à la réponse hydrochimique du bassin Amazonien**

Site d'étude



Site d'étude

Rive droite du Rio Mayo
Superficie: 1600 Km²



Google Earth

© 2018 Google

Image Landsat / Copernicus

Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO

Image © 2019 DigitalGlobe

10 km



Site d'étude

Rive droite du Rio Mayo

Superficie: 1600 Km²

Altitude: 800m- 4000m

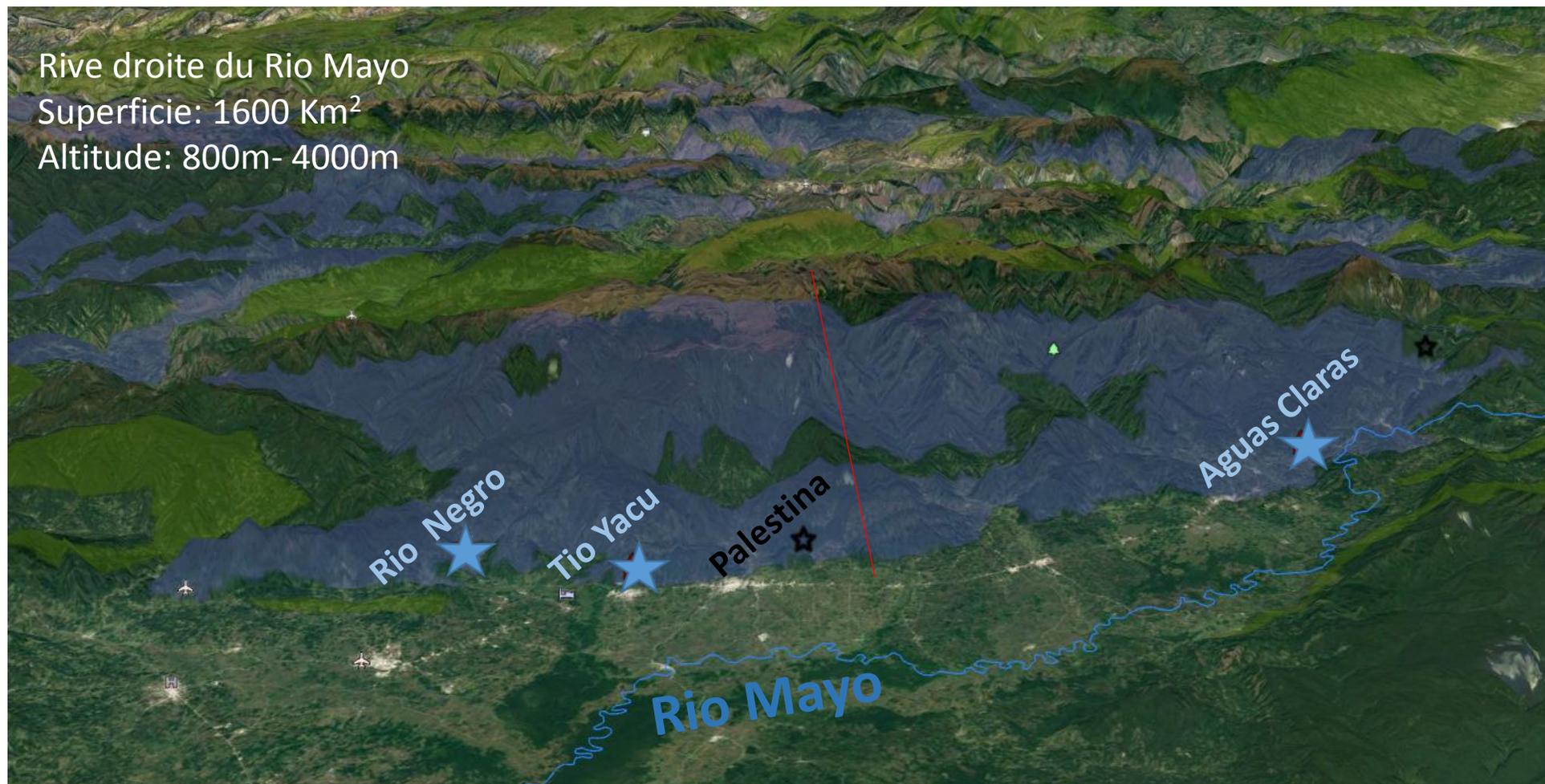


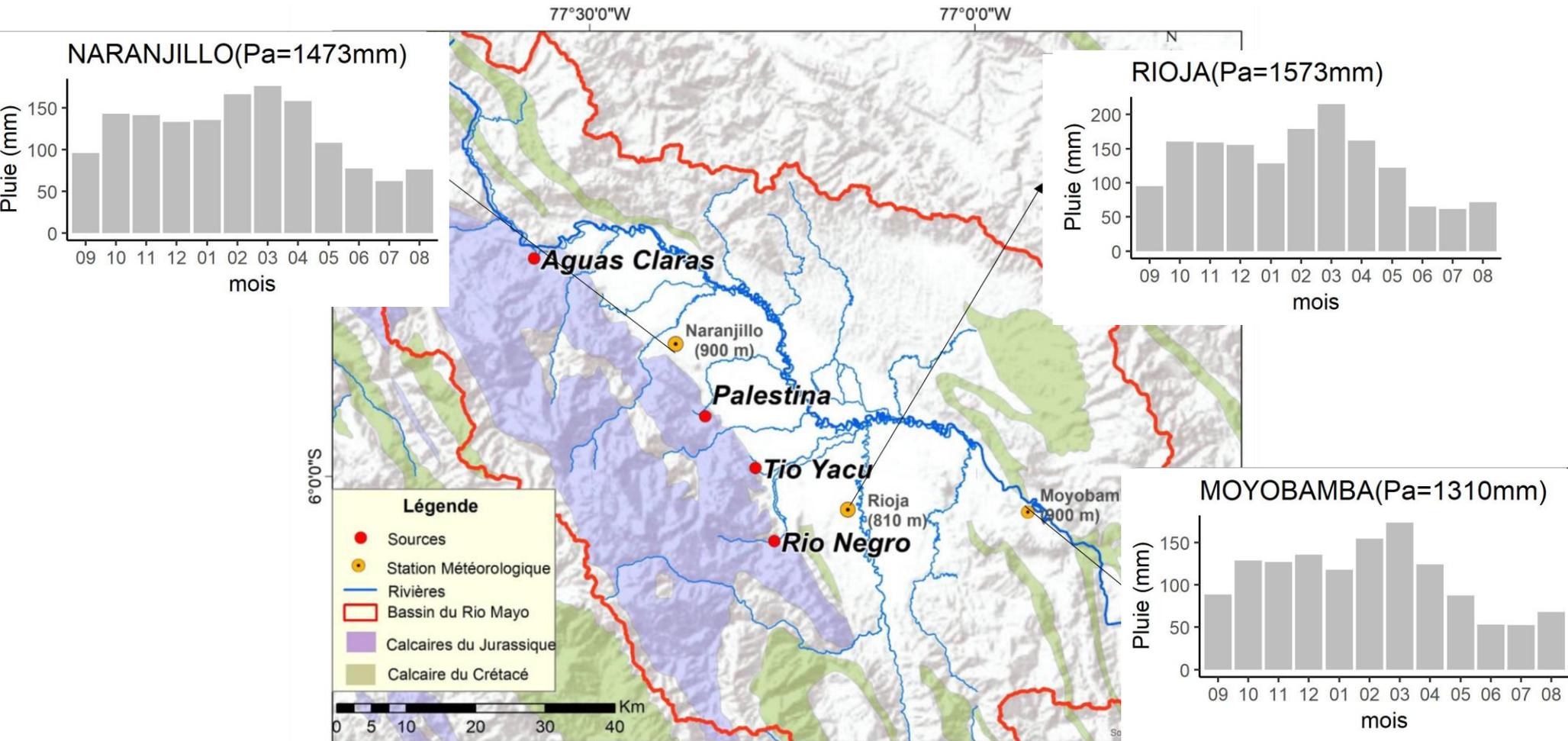


photo: JL Guyot

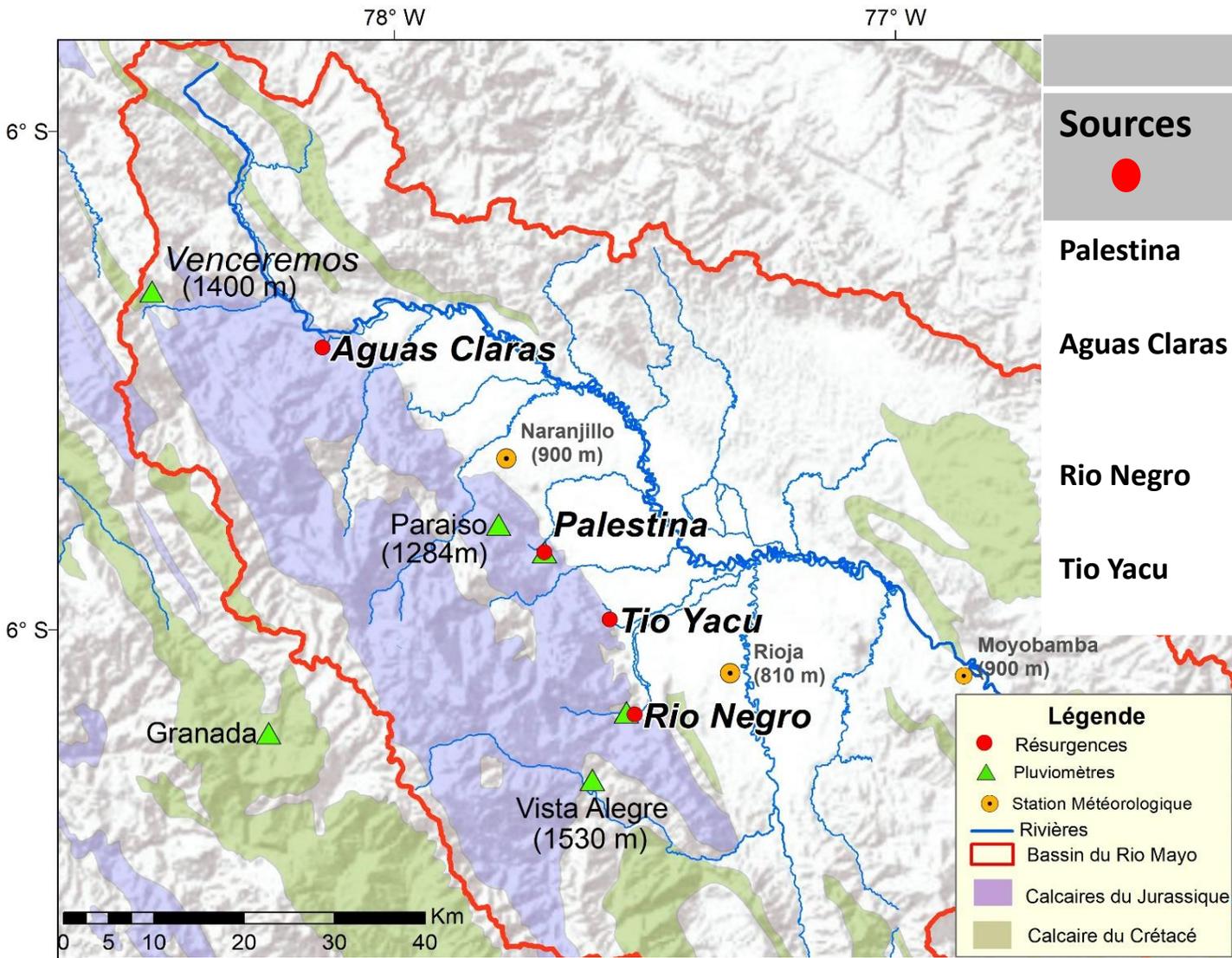


photo: JY Bigot

Site d'étude: Climatologie (1981 - 2016)



Site d'étude: stations et données



| | Nombre de cycles hydrologiques suivis | |
|--------------|---------------------------------------|-----------------------------|
| Sources | CTD (Q, T°, CE) (30 min) | Chimie des eaux (bimensuel) |
| ● | | |
| Palestina | 6 (2011 – 2017) | - |
| Aguas Claras | 3 (2014-2015, 2016-2018) | 2 (2016-2018) |
| Rio Negro | 3 (2015-2018) | 2 (2016-2018) |
| Tio Yacu | 2 (2016-2018) | - |

-> 113 analyses chimiques des sources suivies
 -> 43 analyses chimiques des autres sources du massif

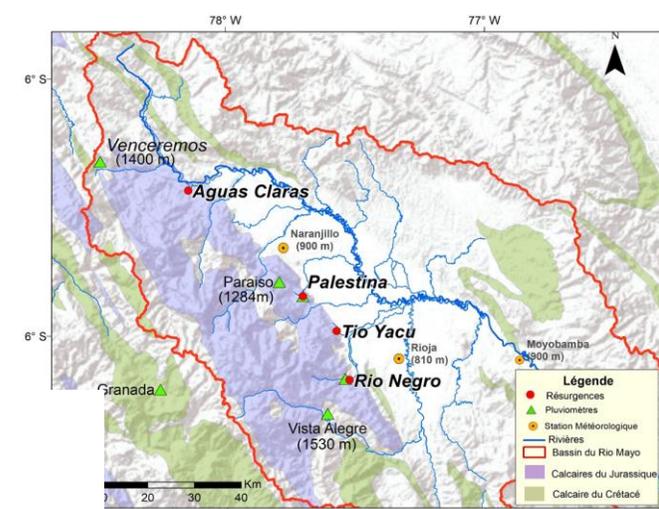
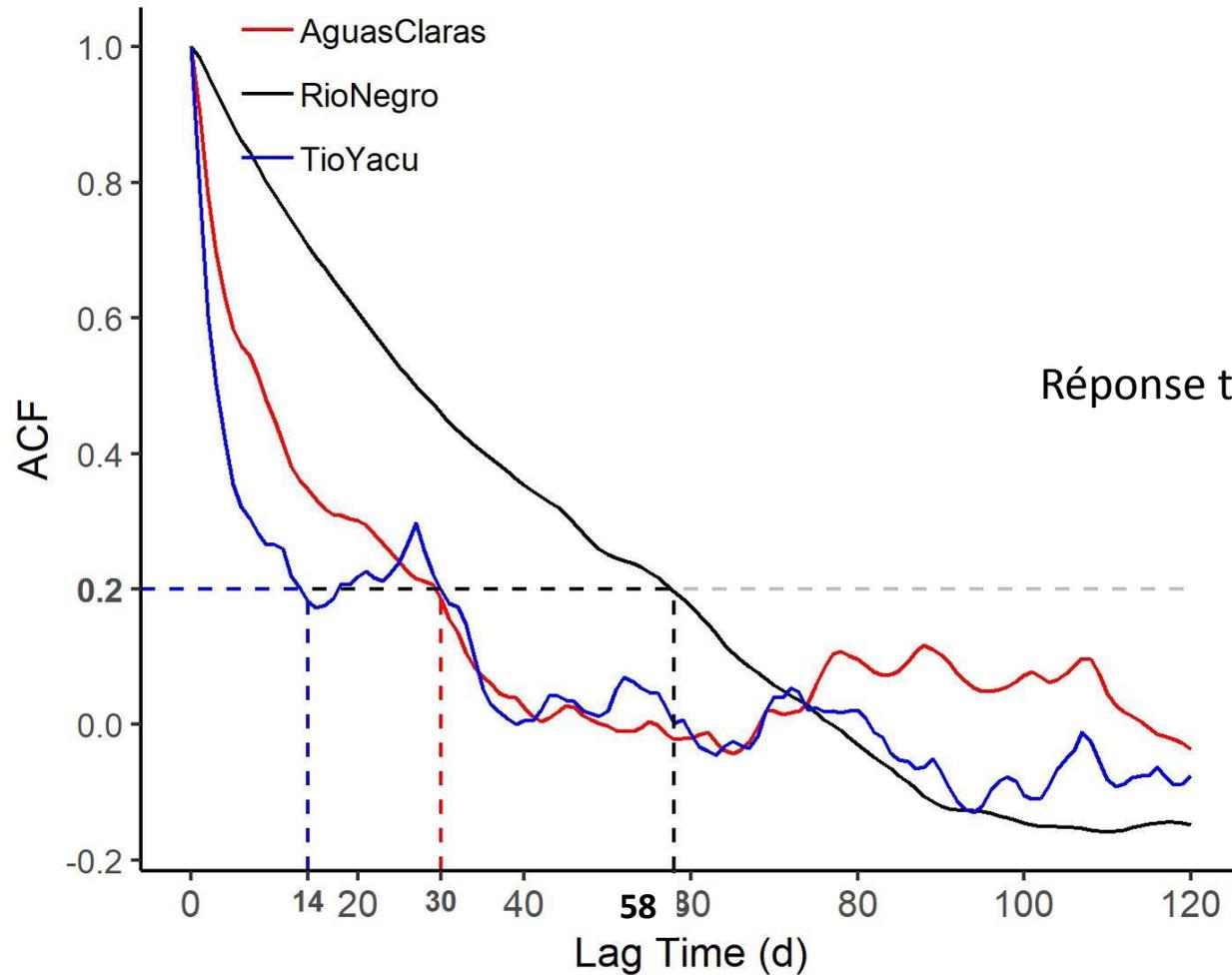
▲ **6 pluviomètres installés:** 4 pluvio. manuels (11/2016-08/2018)
 2 pluvio. automatiques (01/2017 – 08/2017)

● Stations météo.

Fonctionnement hydrogéologique

Réponse hydrodynamique

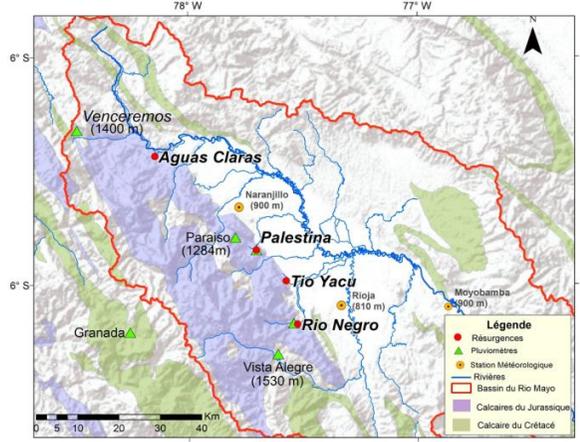
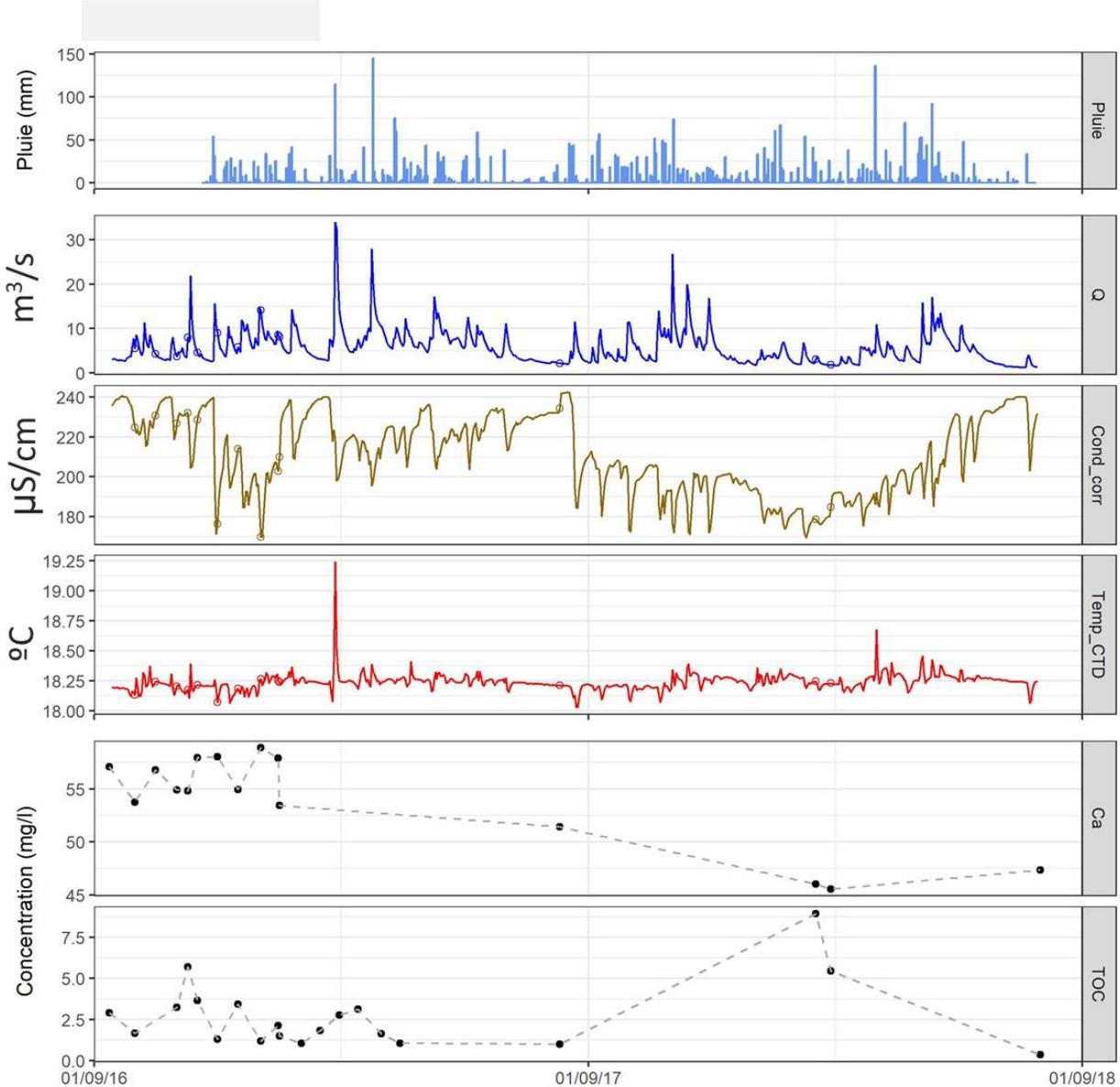
Période 09/2016 – 08/2018



Réponse très inertielle pour Rio Negro

Fonctionnement hydrogéologique

Réponse hydrogéochimique



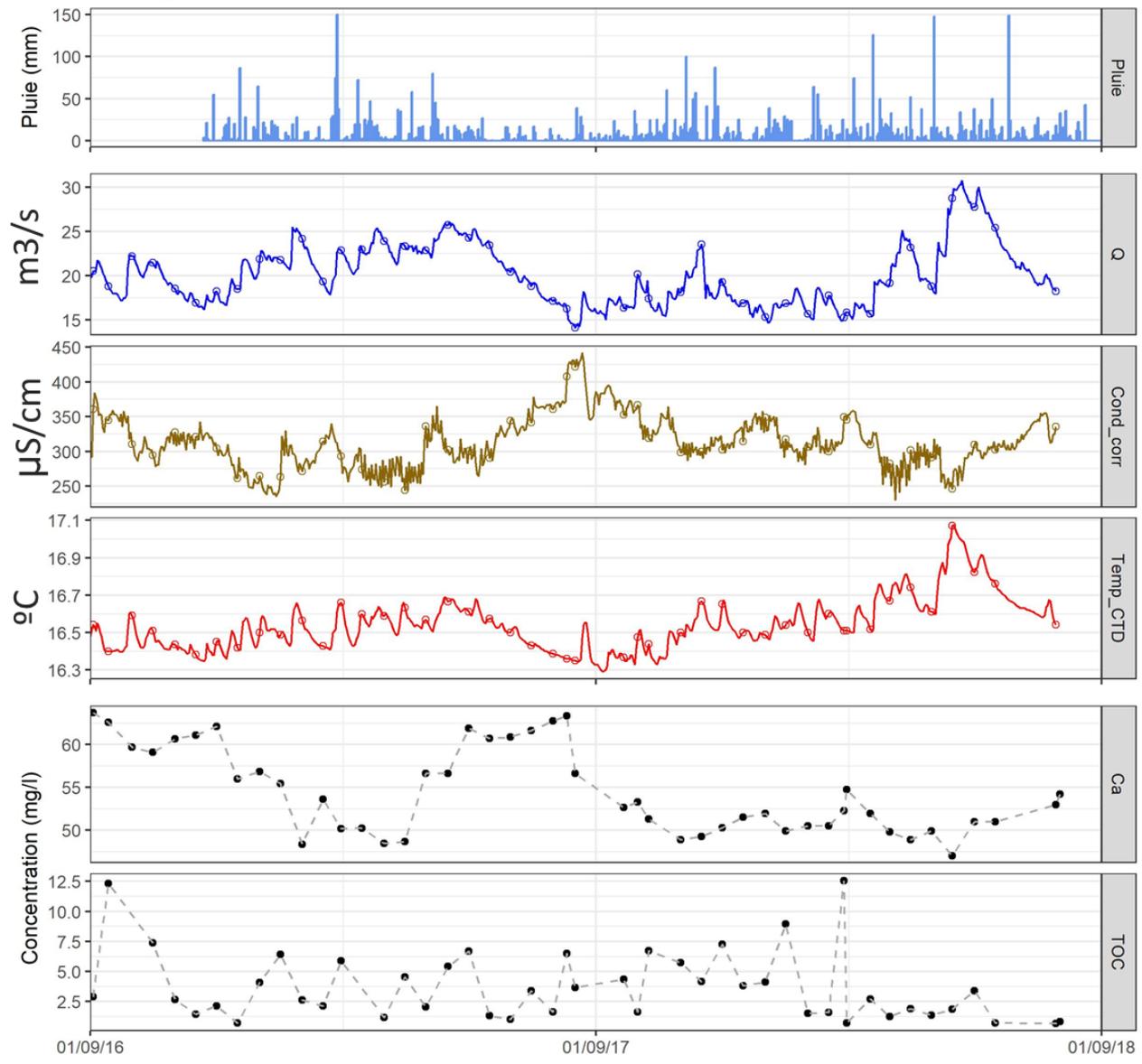
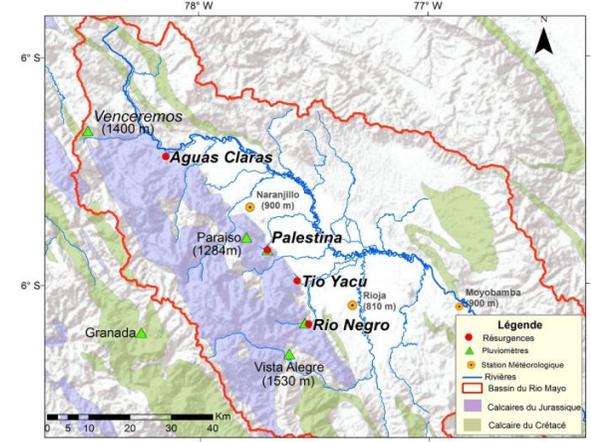
Tío Yacu:

Réponse évènementielle, mais suivi hydrochimique réduit (pbm observateur)

*Pluie station Paraiso

Fonctionnement hydrogéologique

Réponse hydrogéochimique

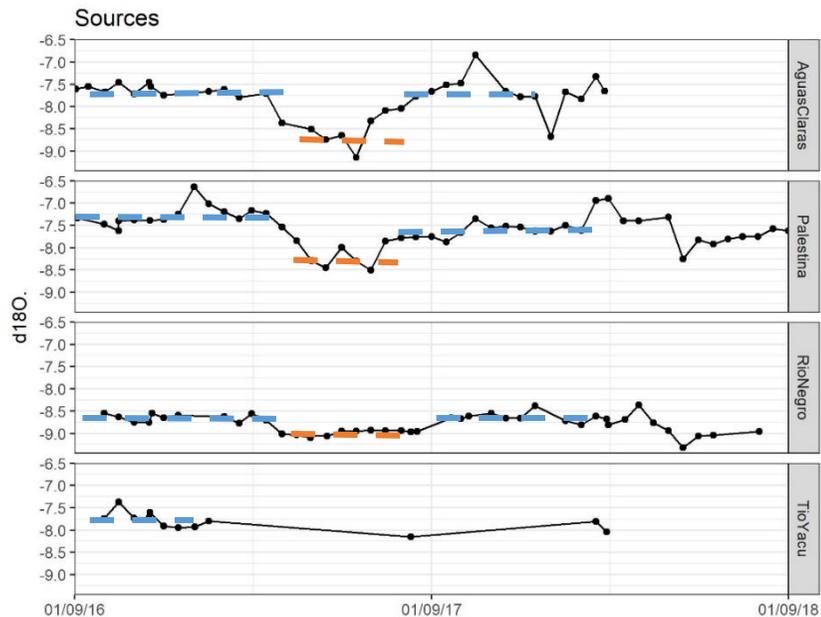
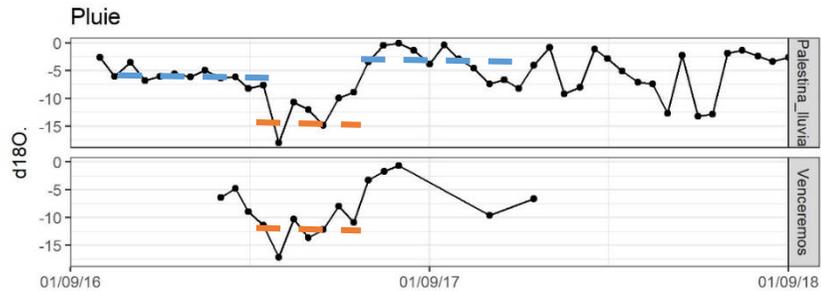
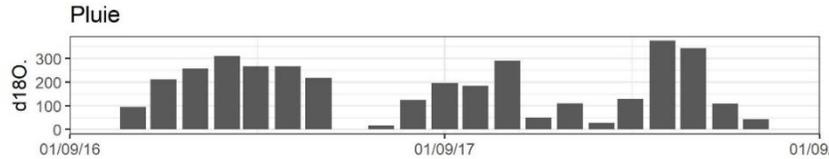
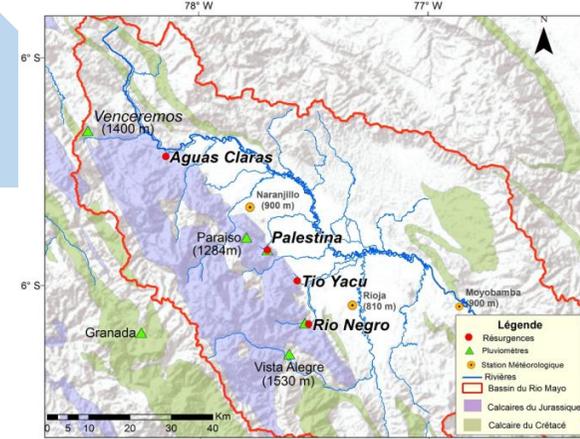


Rio Negro:
Variations saisonnières

*Pluie station Rio Negro

Fonctionnement hydrogéologique

Réponse hydrogéochimique – Isotopes stables de l'eau



- **Variations saisonnières des pluies en fonction de l'origine des masses d'air** (saison humide: signal enrichi, masse d'air du nord l'Amazonie / saison sèche: signal appauvri, masse du sud de l'Amazonie)
- **Confirmation de la réponse très inertielle du système de Rio Negro** à l'aide des isotopes stables de l'eau. Zone de recharge à une altitude plus haute

Flux de carbonates exportés vers l'amazone

- Estimation à l'aide des mesures hydrochimiques ponctuelles au niveau des sources
- Calcul des flux:

Atmosfera: < 0,5%

$$[X]_{atm} = [Cl^-]_{atm} * \left(\frac{[X]}{[Cl^-]} \right)_{pluie}$$

(Consideramos la concentración de Cl en Tío Yacu como indicador de fuente atmosférica ())

Evaporitas: < 15%

- Halita (NaCl) →
- Gipso (CaSO₄) →

Atmosphère $Ca_{total} = Ca_{carbonatos} + Ca_{evap} + Ca_{atmosferico}$

$$Ca_{evap} = SO4_{evap}$$

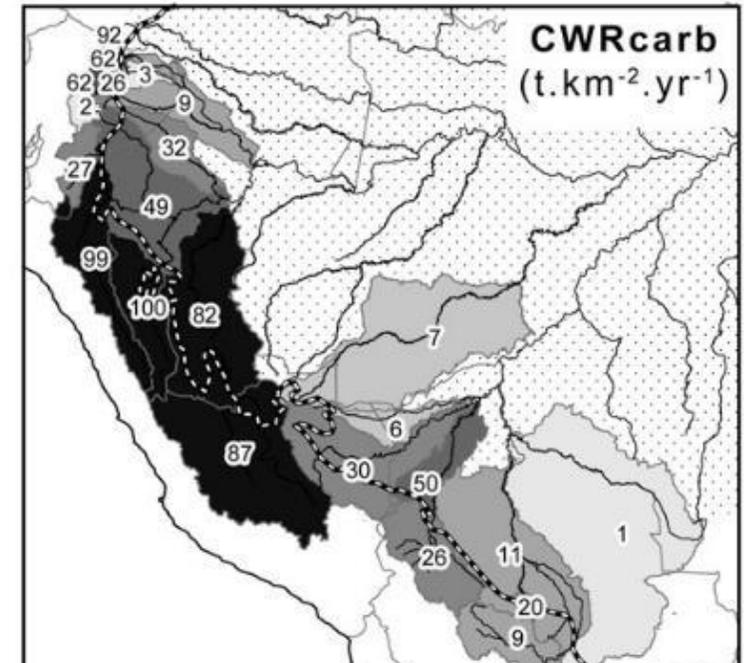
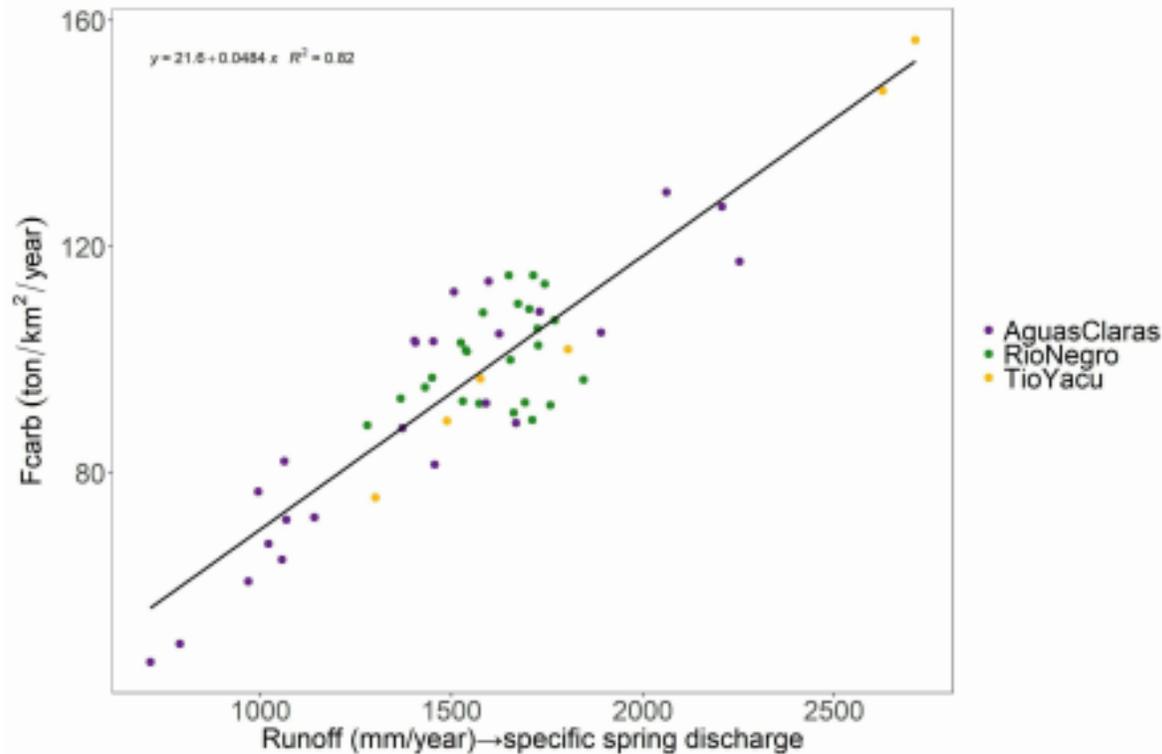
Lithologie Evaporites → 5%

Carbonates → 80 – 90 %

Silicates 5-8 %

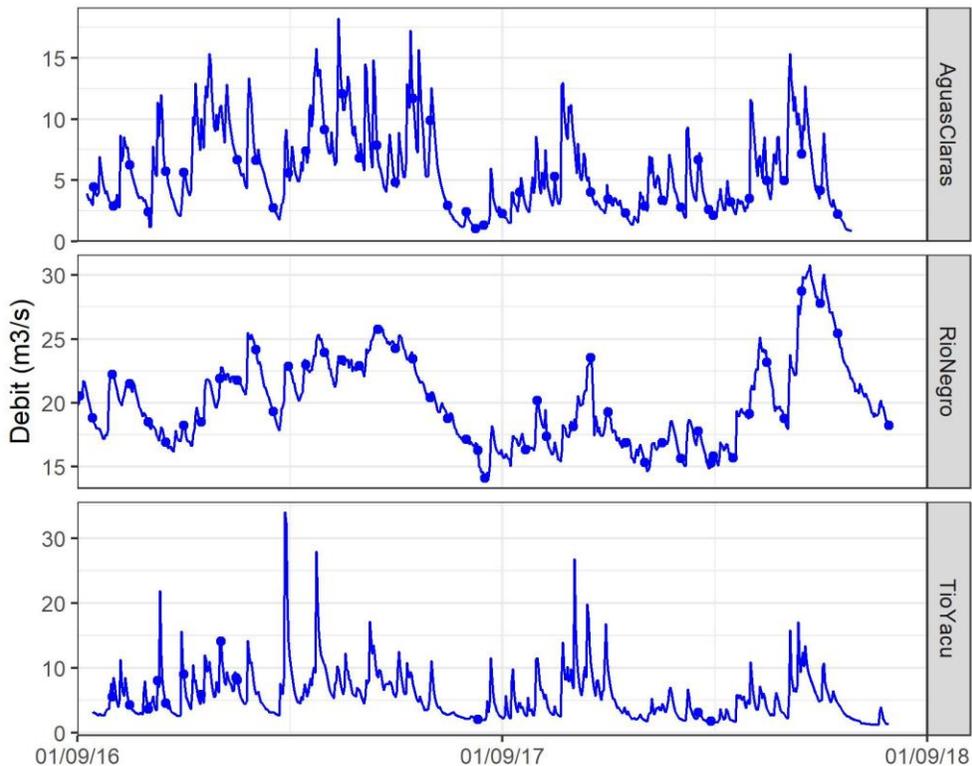
Flux de carbonates exportés vers l'amazone

| Station | Année hydrologique | Superficie (km ²) | Pluie (mm) | Débit (m ³ /s) | Débit (mm/an) | Coef d'écoulement | Fcarb (ton/an/km ²) |
|--------------|--------------------|-------------------------------|------------|---------------------------|---------------|-------------------|---------------------------------|
| Rio Negro | 2016 | 547 | 1698 | 25 | 1441 | 0,85 | 187 |
| Tio Yacu | 2016 | 62 | 2013 | 6 | 2830 | 1,41 | 199 |
| Aguas Claras | 2016 | 107 | 1619 | 6 | 1705 | 1,05 | 157 |



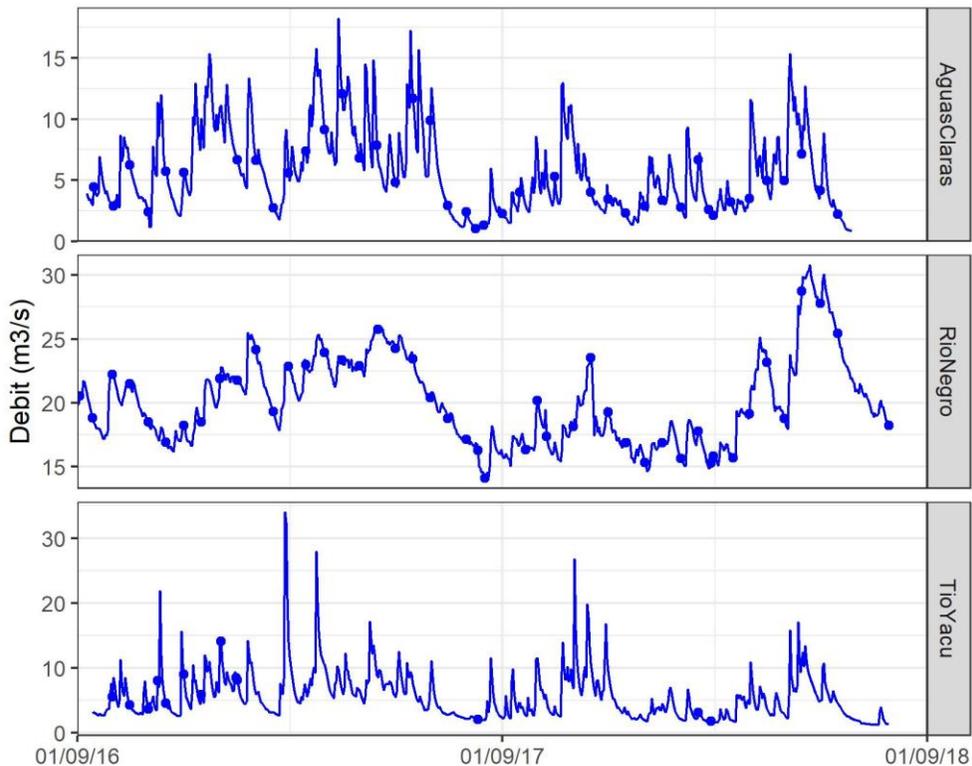
Incertitude des calculs de flux de carbonates exportés

- Flux exportés aux exutoires karstiques estimés à partir de suivis ponctuels répartis au cours du cycle
- Pbm de la représentativité des prélèvements chimiques au cours du cycle hydrologique (peu d'éch en très HE)



● Prélèvements ponctuels

Incertitude des calculs de flux de carbonates exportés



● Prélèvements ponctuels

- Flux exportés aux exutoires karstiques estimés à partir de suivis ponctuels répartis au cours du cycle
- Pbm de la représentativité des prélèvements chimiques au cours du cycle hydrologique (peu d'éch en très HE)



- **Calculer les flux de matières dissoutes exportés par les bassins karstiques à haute fréquence**, en travaillant sur une relation Ca+Mg (ou TDS) en fonction des suivis de CE mesurés via les CTD aux exutoires
- **Comparer avec des données du SNO KARST et travail de G. Cinkus** (stage à l'EMMAH)

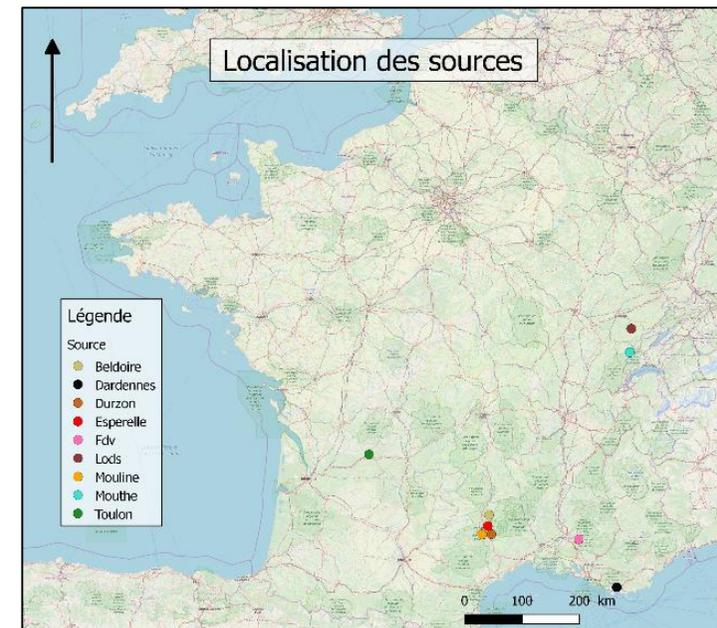
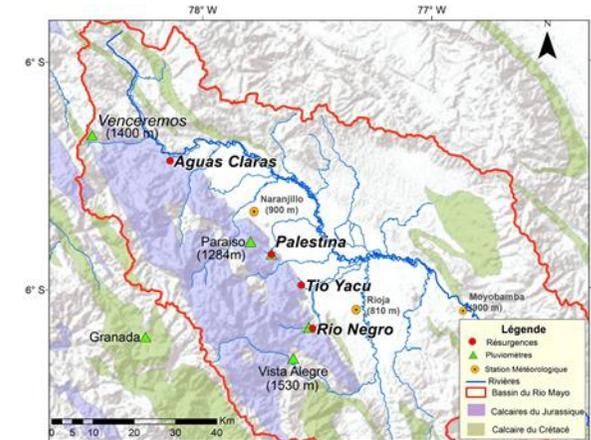
Etablissement d'une relation liant les suivis en matière dissoute (TDS/cations) et la CE (suivis CTD). Confrontation avec des données du SNO KARST

- **Pérou :**

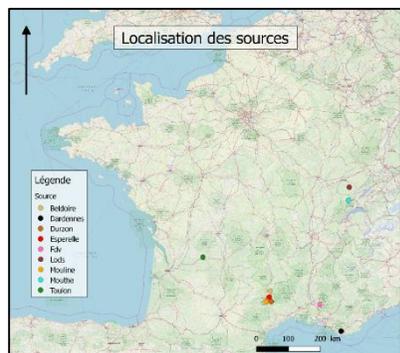
Paletina, Aguas Claras, Rio Negro

- **Sites du SNO KARST et/ou collaborations**

- Source du Toulon (Périgueux)
- PNRGC (Parc Naturel Régional des Grands Causses) : Beldoire, Durzon, Esperelle, Mouline
- Jura : Lods (source du Grand Bief), Mouthe
- Sources de Dardennes (Toulon)
- Fontaine de Vaucluse



Etablissement d'une relation liant les suivis en matière dissoute (TDS/cations) et la CE (suivis CTD). Confrontation avec des données du SNO KARST



Données disponibles

Merci aux contributeurs!

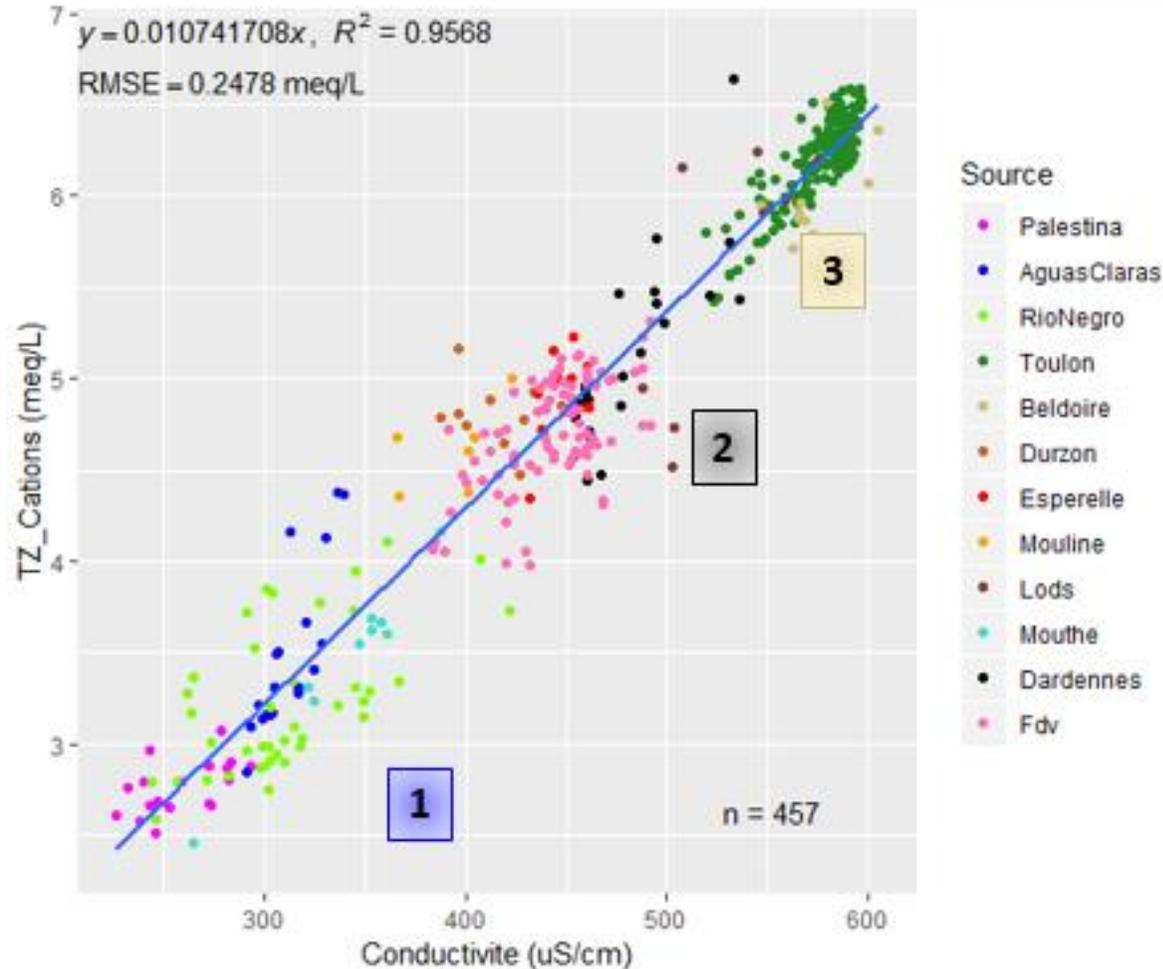
Débit (m³/s), *suivi haute fréquence*

Conductivité spécifique à 25°C (μS/cm), *suivi haute fréquence*

Chimie : ions majeurs (mg/L), *analyses mensuelles*

| Source | Débit moyen interannuel (m ³ /s) | Débit - coefficient de variation | Conductivité moyenne interannuelle (μS/cm) | Conductivité - coefficient de variation | Conductivité - Pas de temps | Conductivité - amplitude (μS/cm) | Nombres d'analyses physico-chimiques | Aire du bassin d'alimentation (km ²) |
|--------------|---|----------------------------------|--|---|-----------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--|
| Palestina | 0,48 | 165,27 | 248,43 | 6,69 | 24h | 129,06 | 47 | 15 |
| Aguas Claras | 7,63 | 68,34 | 312,97 | 11,27 | 30min | 291,00 | 32 | 115 |
| Rio Negro | 22,05 | 23,30 | 299,65 | 16,79 | 30min | 294,00 | 38 | 464 |
| Toulon | 0,48 | 36,97 | 580,27 | 2,27 | 5-15min | 80,50 | 366 | 100 |
| Belduire | 0,29 | 42,80 | 569,85 | 2,96 | 30min | 126,77 | 32 | 131 |
| Durzon | 1,63 | 61,02 | 429,49 | 4,72 | 30min | 106,50 | 247 | 101 |
| Esperelle | 1,07 | 142,98 | 452,35 | 2,80 | 30min | 270,50 | 261 | 91 |
| Mouline | 0,49 | 45,27 | 399,38 | 4,63 | 30min | 158,00 | 223 | 32 |
| Lods | 0,99 | 130,77 | 535,45 | 5,48 | 15min | 208,00 | 38 | 35 |
| Mouthé | 1,74 | 133,74 | 334,33 | 8,75 | 15min | 160,25 | 26 | 50 |
| Dardennes | 0,64 | 298,59 | 483,49 | 4,53 | 15min | 165,26 | 30 | 70 |
| Fdv | 15,88 | 72,40 | 447,15 | 5,75 | 15min | 249,00 | 127 | 1115 |

Etablissement d'une relation liant les suivis en matière dissoute (TDS/cations) et la CE (suivis CTD). Confrontation avec des données du SNO KARST



Stage G. Cinkus
en cours

- Régression linéaire en cours de validation sur l'ensemble des cations (\sum cations) en meq/L en vue de calculer des flux exportés aux exutoires à haute fréquence
- Dispersion des points: plusieurs facteurs explicatifs (faciès, gammes de valeurs de CE, pbms de conservation des éch...)

Conclusions et perspectives



- Fonctionnement hydrogéologique de massifs karstiques tropicaux du piedmont Andino-Amazonien
- Estimation des flux d'altération de carbonates à haute fréquence permettant de davantage contraindre le rôle du karst en termes d'exportation vers le BV Amazonien
- Comparaison des flux de carbonates exportés sur des BV karstiques dans des contextes pédo-climatiques très variés. Apport à la connaissance de la dynamique globale du cycle du C à petite et grande échelle

Merci de votre attention

