



Ministère de de  
l'Hydraulique  
Urbaine et Rurale



# EVALUATION DES POTENTIALITÉS HYDROGÉOLOGIQUES DES NAPPES SOUTERRAINES EN ZONE DE SOCLE : CAS DES NAPPES DE LA VILLE DE MONGO ET SES ENVIRONS (GUERA, TCHAD)

**Nouradine, H.<sup>(1,2)</sup>, Plagnes, V.<sup>(1)</sup>, Valdès, D.<sup>(1)</sup>, Schamper, C.<sup>(1)</sup>., Ramel, D.<sup>(3)</sup> Moussa, I.<sup>(2)</sup>**

*(1) Sorbonne Université, CNRS, EPHE, METIS, 75005 Paris, France*

*(2) Université de N'Djamena, BP 1117, N'Djamena-Tchad*

*(3) Antea Group*

**Conférence Internationale**

**Les eaux souterraines, clé des Objectifs de développement durable**

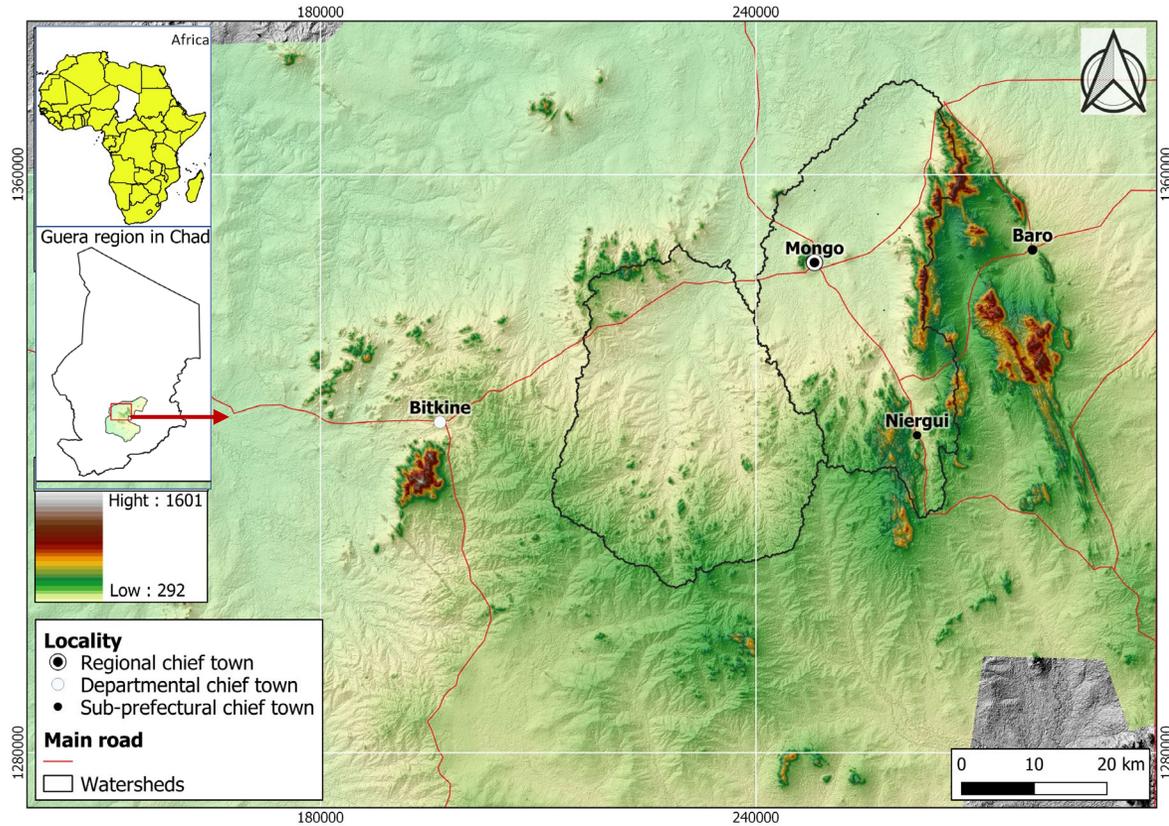
Paris, le 18-19-20 mai 2022

# CONTEXTE

## Localisation, démographie, activités socioéconomiques

Région d'étude : **Guera**, 23 262 km<sup>2</sup> / 550 000 habitants.

Activités : Agriculture. Elevage. Commerce.

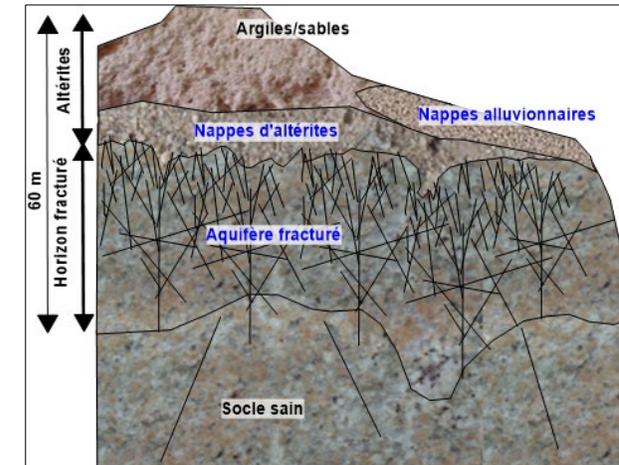
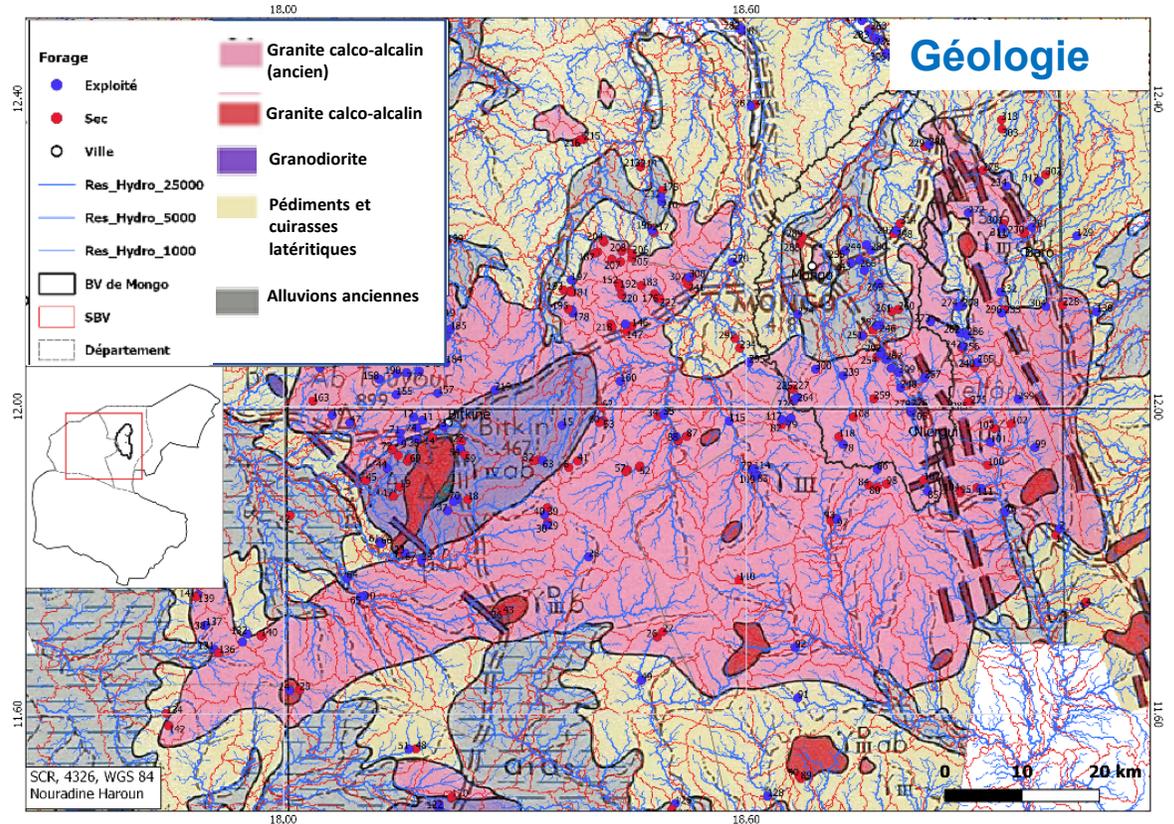
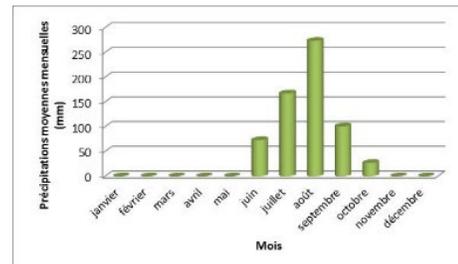


## Climat

Soudano-sahélien :  
Saison sèche et pluvieuse.

Pluviométrie : 430 à 867 mm/an

Température moyenne annuelle : 30°C.  
(2000-2020).



## Hydrogéologie

Coupe schématique réadaptée de Wyns et al. (2004).

## Problème d'approvisionnement

Saison pluvieuse : eau de surface



Disponible en saison de pluie

Saison sèche : eau souterraine



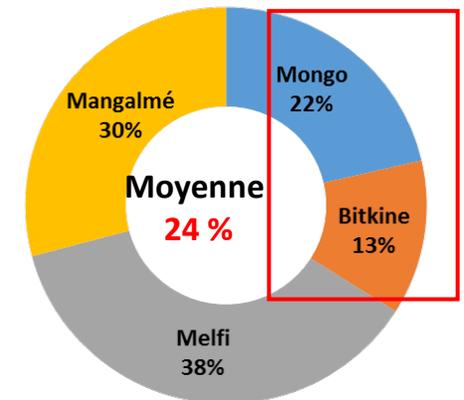
Puits superficiels tarissent avant le retour des pluies.



Forages profonds insuffisants

## Prospection des eaux souterraines

- ❑ PNUD, UNICEF, PHPTCI/AFD, PHPTCII/AFD, 9<sup>eme</sup> FED, 10<sup>eme</sup> FED ont réalisé plusieurs centaines des forages profonds.
- ❑ Manque de connaissances détaillées sur l'hydrogéologie.
- ❑ Taux d'échec très élevé : 57 %.



Taux d'accès à l'eau potable régional

## Questions et objectifs de recherche

**Facteurs** qui contrôlent la productivité des puits :

*Géologique*

*Climatique*

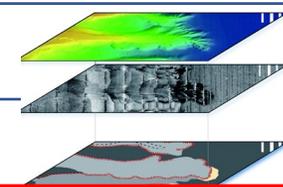
*Hydrologique*

*Géomorphologique, autres*



### **Objectif principal :**

Mettre mise en place une nouvelle approche méthodologique multidimensionnelle et pluridisciplinaire afin d'améliorer les conditions d'accès à l'eau potable.



## Analyse multicritère :

Géophysique

Hydrogéologie

Géochimie

Machine Learning

Application SIG

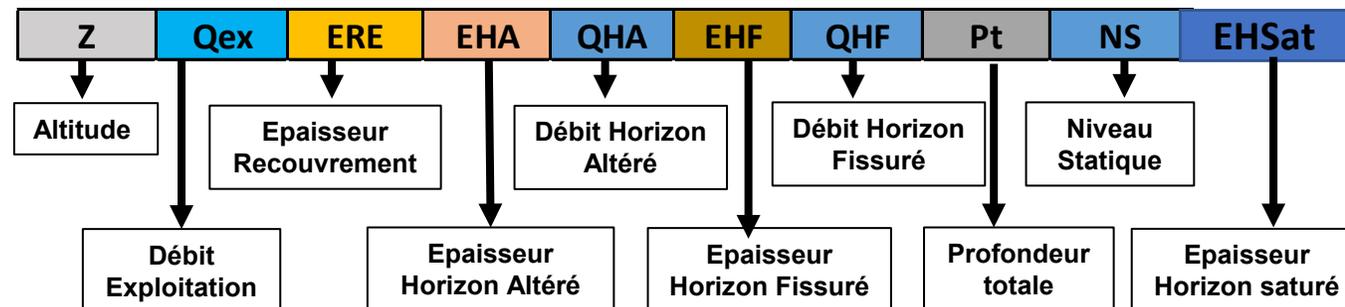
## Données existantes des programmes

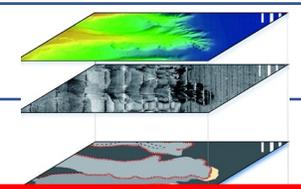
- 9<sup>ème</sup> FED :
- ✓ Données géophysiques : 700 profils EM34 et 592 panneaux électriques
  - ✓ Données techniques : 798 forages
  - ✓ Données physico-chimiques et chimiques : 320

- Réinterprétation des panneaux électriques
- Validation et Traitement de données de forages

Constitution de la base de données : 315 sites validés avec 62 paramètres

13 paramètres retenus pour la caractérisation hydrogéologique





## Analyse multicritère :

Géophysique

Hydrogéologie

Géochimie

Machine Learning

Application SIG

## Données acquises dans le cadre de la thèse (2019-2022)

Campagnes de terrain :

Analyse au laboratoire :

Nombre d'échantillons prélevés au cours de 4 campagnes

Parmi les paramètres	Campagne 1 (hautes eaux)	Campagne 2 (hautes eaux)	Campagne 3 (basses eaux)	Campagne 4 (hautes eaux)
T°C, pH, CE	53	66	70	32
Majeurs	50	63	67	32
$^{18}\text{O}$ , $^2\text{H}$	40	59	63	
$^3\text{H}$				32
Niveau statique	28	33	38	

Analyse de  $\text{HCO}_3$  par Titration  
au Labo METIS, Sorbonne Université

Analyse de : K, Na, Ca, Mg, Cl,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{NO}_3$   
par Chromato ionique liquide et ICP-OES  
au Labo METIS, Sorbonne Université

Analyses isotopiques :  $^{18}\text{O}$  et  $^2\text{H}$   
au labo GEOPS à l'Université Paris-Saclay

Analyse isotopique :  $^3\text{H}$   
à l'Ecole Nationale d'Ingénieurs  
de SFAX (ENIS)



# RÉSULTATS

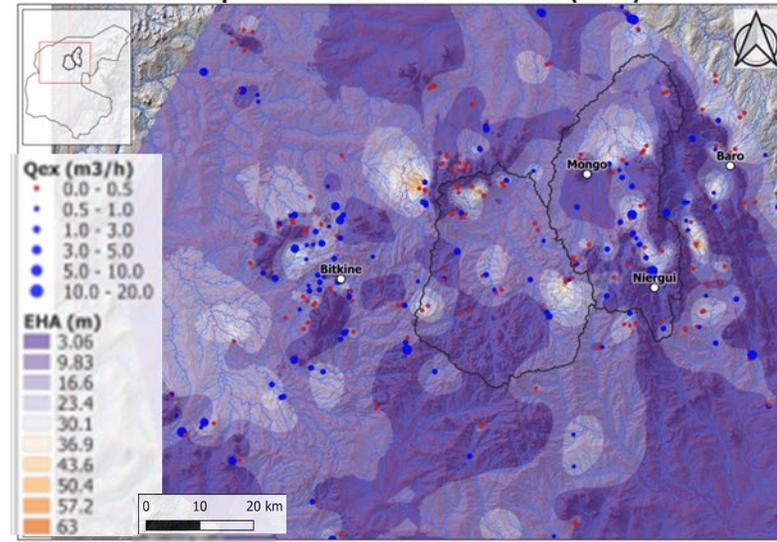
315 sites validés

## Fonctionnement hydrogéologique et configuration des aquifères

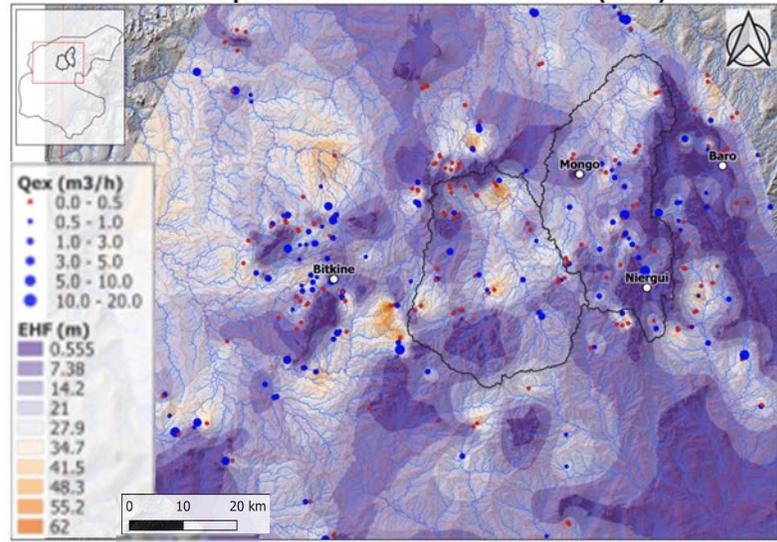
Z	Qex	ERE	EHA	QHA	EHF	QHF	Pt	NS	EHSat	$\Omega_m_{RE}$	$\Omega_m_{HA}$	$\Omega_m_{HF}$
---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	----	-------	-----------------	-----------------	-----------------

### Identification des couches à potentiel aquifère

Carte d'épaisseur de l'horizon altéré (EHA)

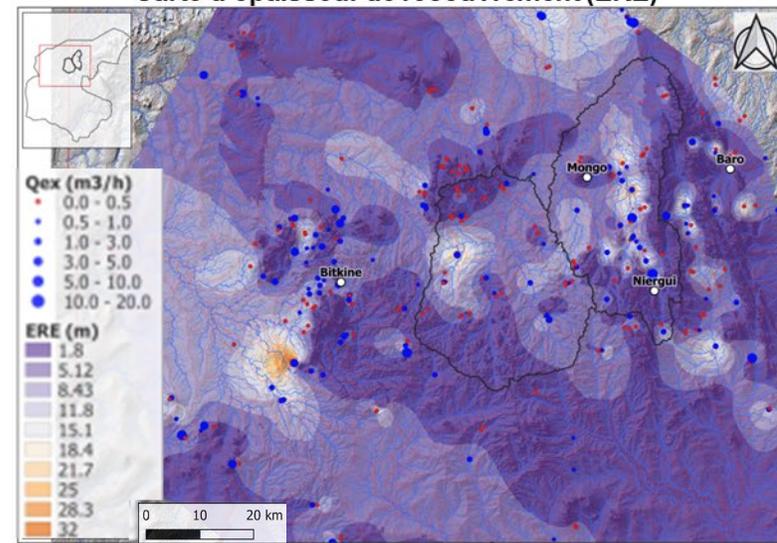


Carte d'épaisseur de l'horizon fissuré (EHF)

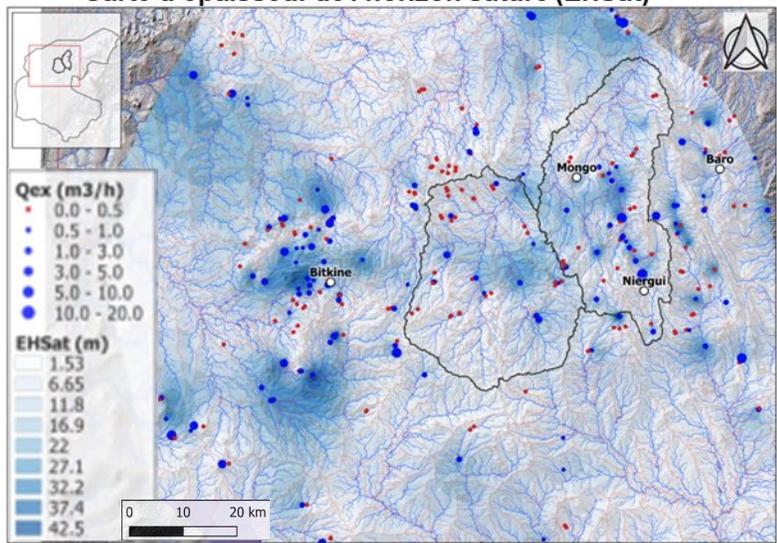


Méthode d'interpolation :  
krigeage

Carte d'épaisseur de recouvrement (ERE)



Carte d'épaisseur de l'horizon saturé (EHSat)



# RÉSULTATS

315 sites validés

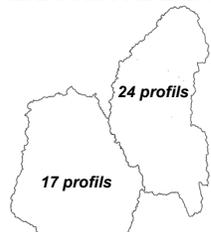
## Fonctionnement hydrogéologique et configuration des aquifères

Z	Qex	ERE	EHA	QHA	EHF	QHF	Pt	NS	EHSat	Ωm_RE	Ωm_HA	Ωm_HF
---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	----	-------	-------	-------	-------

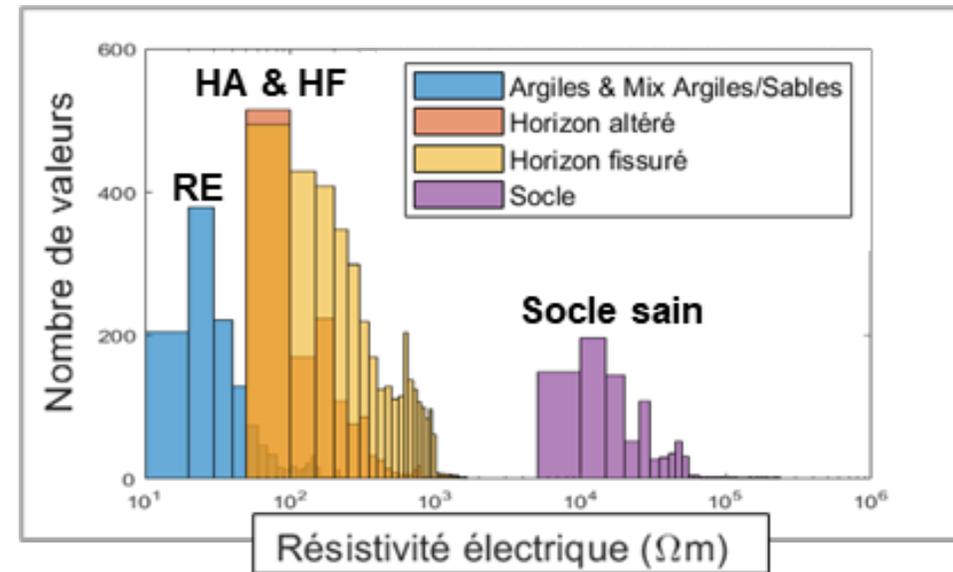
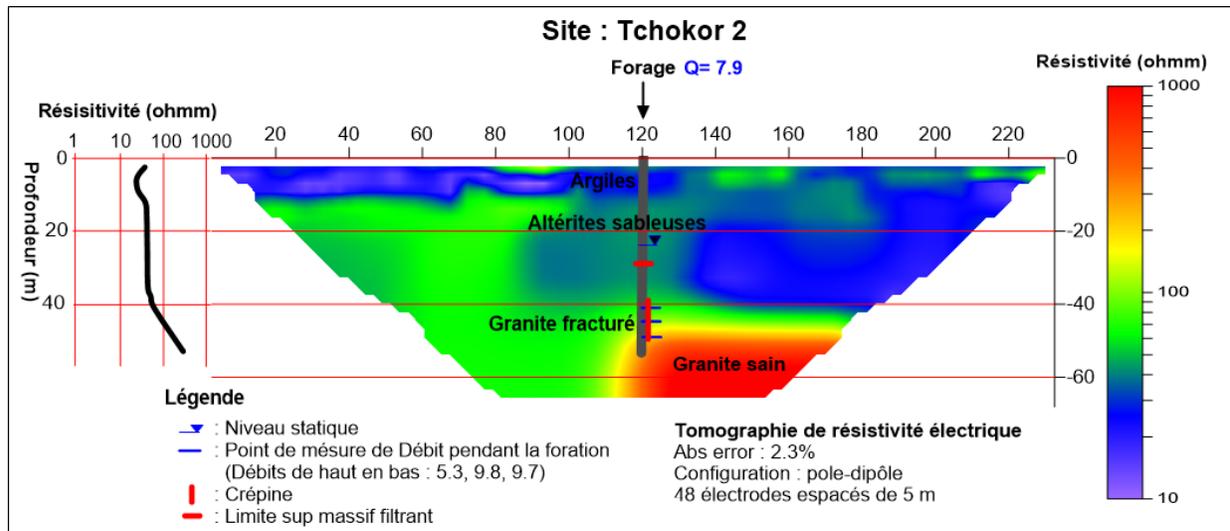
## Identification des gammes de résistivités électriques des couches à potentiel aquifère

Deux exemples de 41 profils réinterprétés

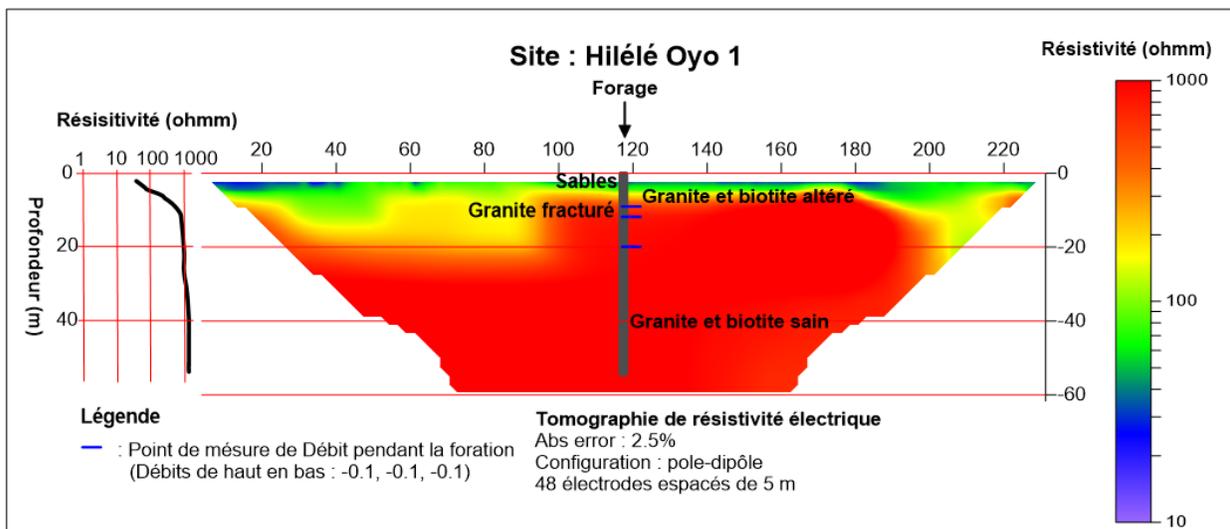
Gammes de résistivités électriques (Ωm) des différentes formations



Forages productifs  
Q ≈ 7.9 m<sup>3</sup>/h



Forages non productifs  
Q = 0 m<sup>3</sup>/h



- ☐ Recouvrement : < 50 Ωm
- ☐ Horizon altéré : 50-300 Ωm
- ☐ Horizon fissuré : 50-1000 Ωm
- ☐ Roche saine : > 1000 Ωm

# RÉSULTATS

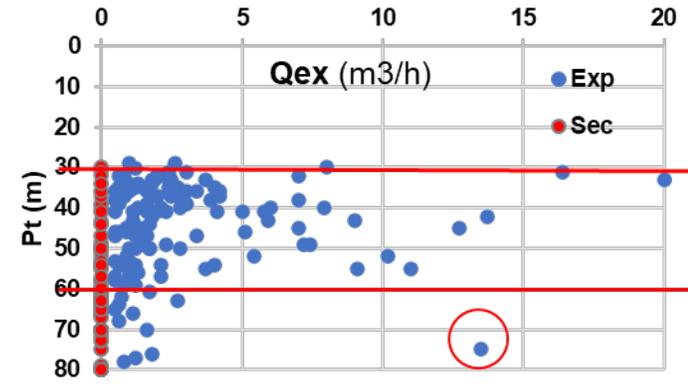
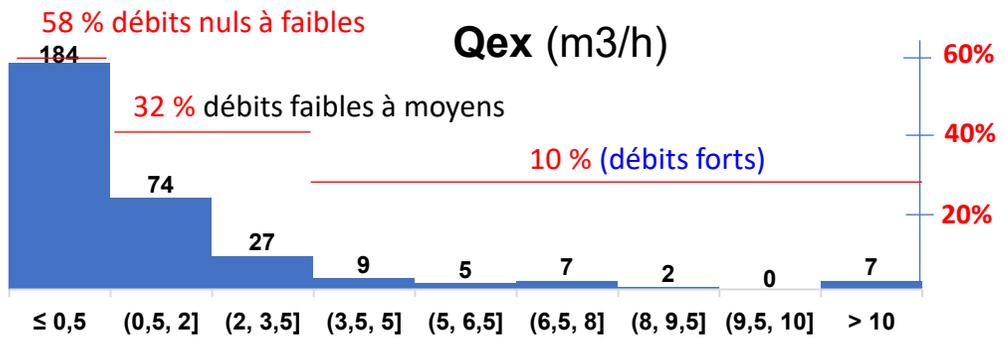
315 sites validés

## Fonctionnement hydrogéologique et configuration des aquifères



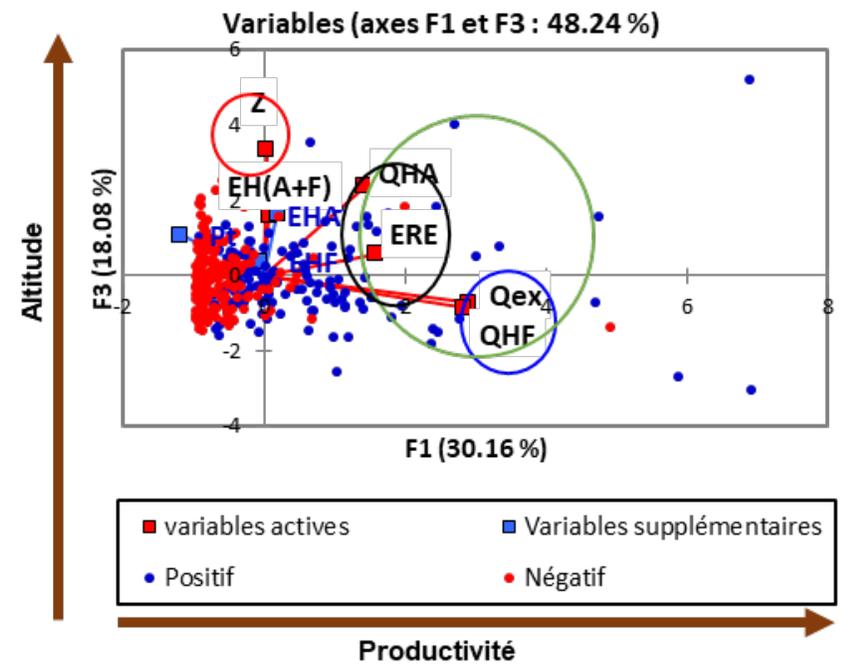
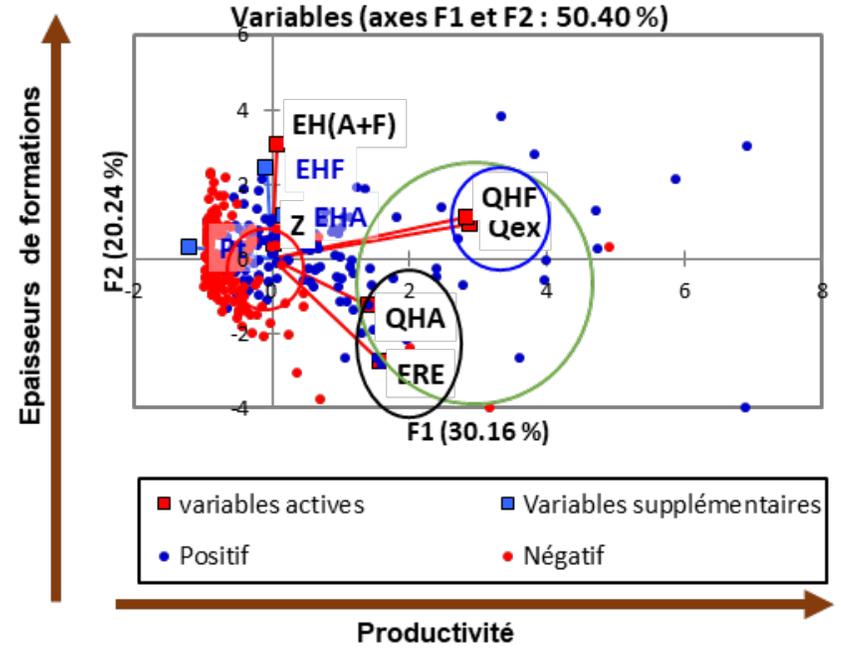
### Evaluation de la productivité des couches à potentiel aquifère

#### 315 forages



Profondeurs entre 30 et 58 m, sous le recouvrement et les altérites

#### 315 individus



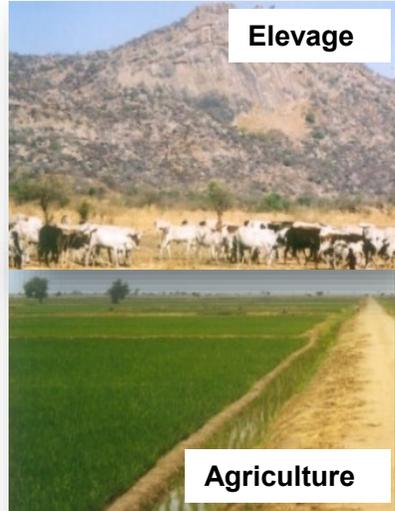
Ressource contenue dans l'horizon fissuré

# RÉSULTATS

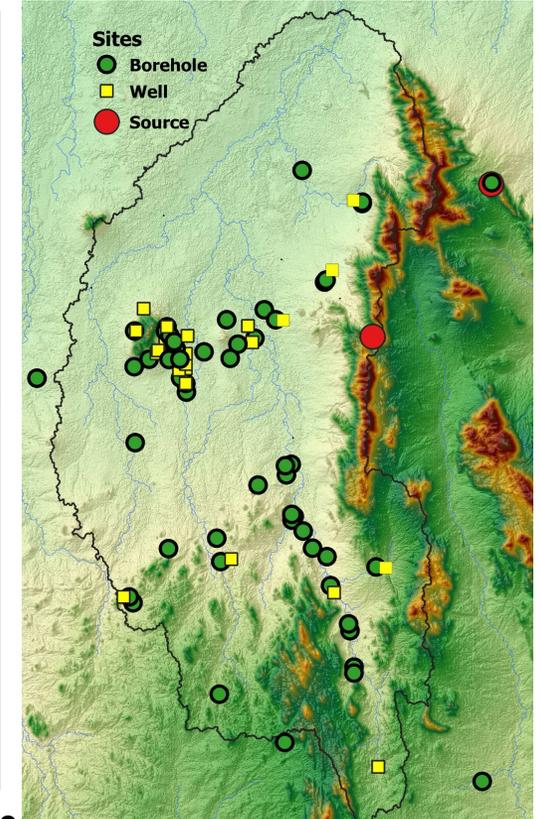
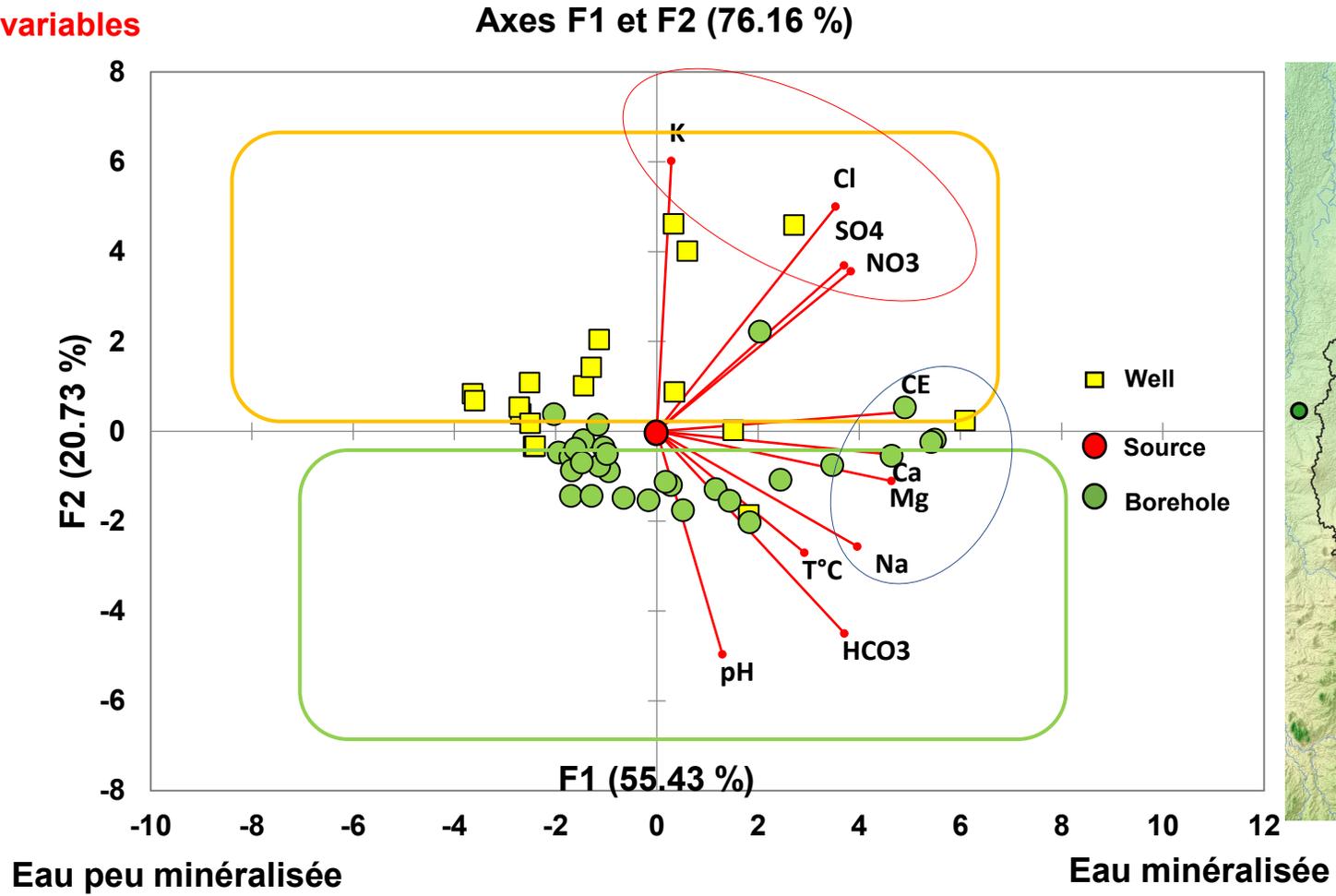
## Caractérisation chimique des eaux souterraines : campagne de terrain hautes eaux 2019

48 individus

11 variables



Anthropisation



Les eaux de puits peu profonds se distinguent clairement des eaux de forages profonds.

# RÉSULTATS

## Caractérisation isotopique des eaux souterraines : campagnes de terrain 2019-2020-2021

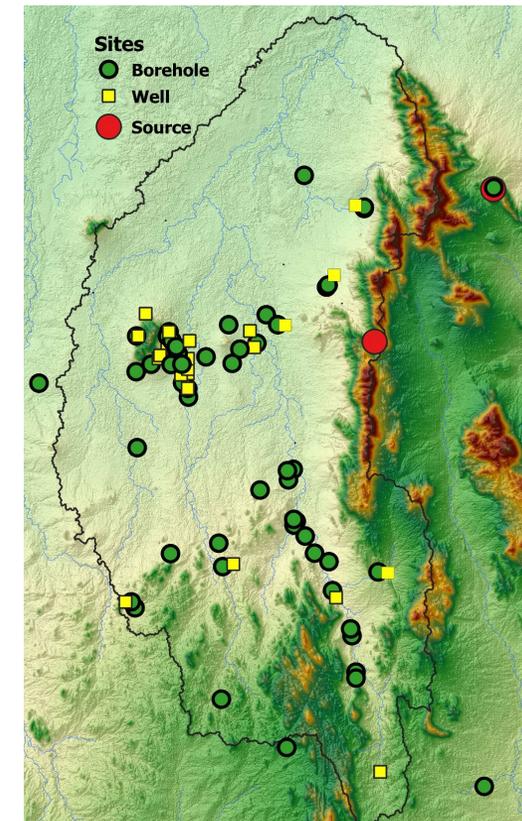
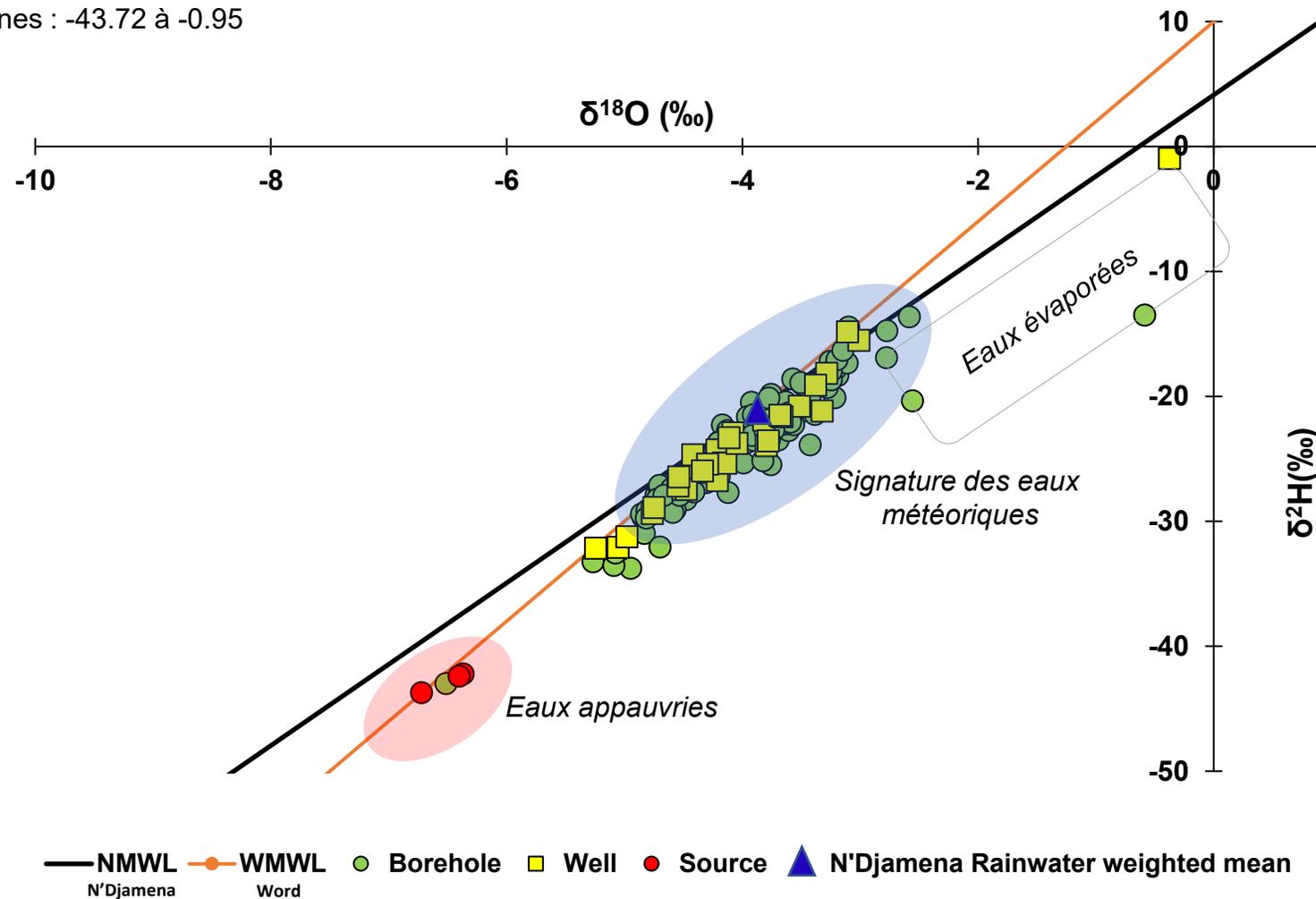
$\delta^{18}\text{O}$  des eaux souterraines : -6.72 à -0.37

$\delta^2\text{H}$  des eaux souterraines : -43.72 à -0.95

Moyenne pondérée  
de précipitation  
à N'Djamena  
(2015-2018)

$\delta^{18}\text{O}$  (‰) : -3.85  
 $\delta^2\text{H}$  (‰) : -20.70

Résultats comparables à  
ceux de *Huneau, 2020* ;  
*Abdallah, 2021* et *Song,  
2022* dans le bassin du  
Lac-Tchad

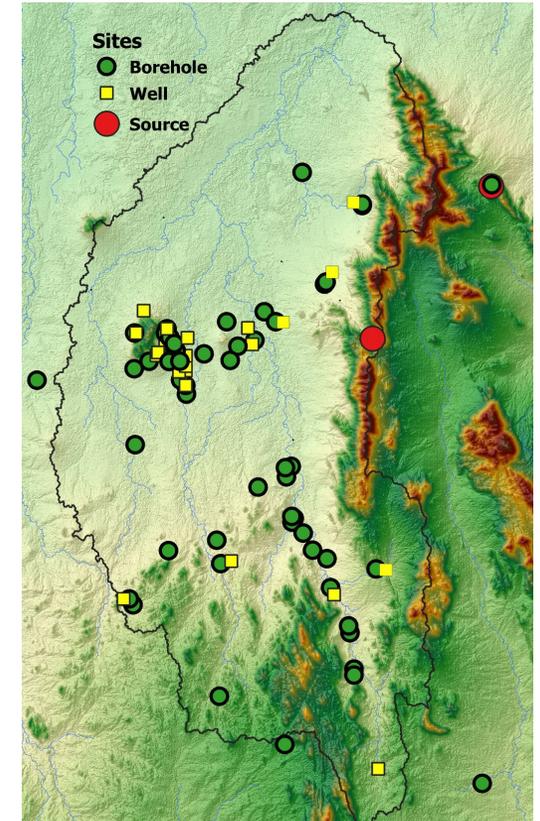
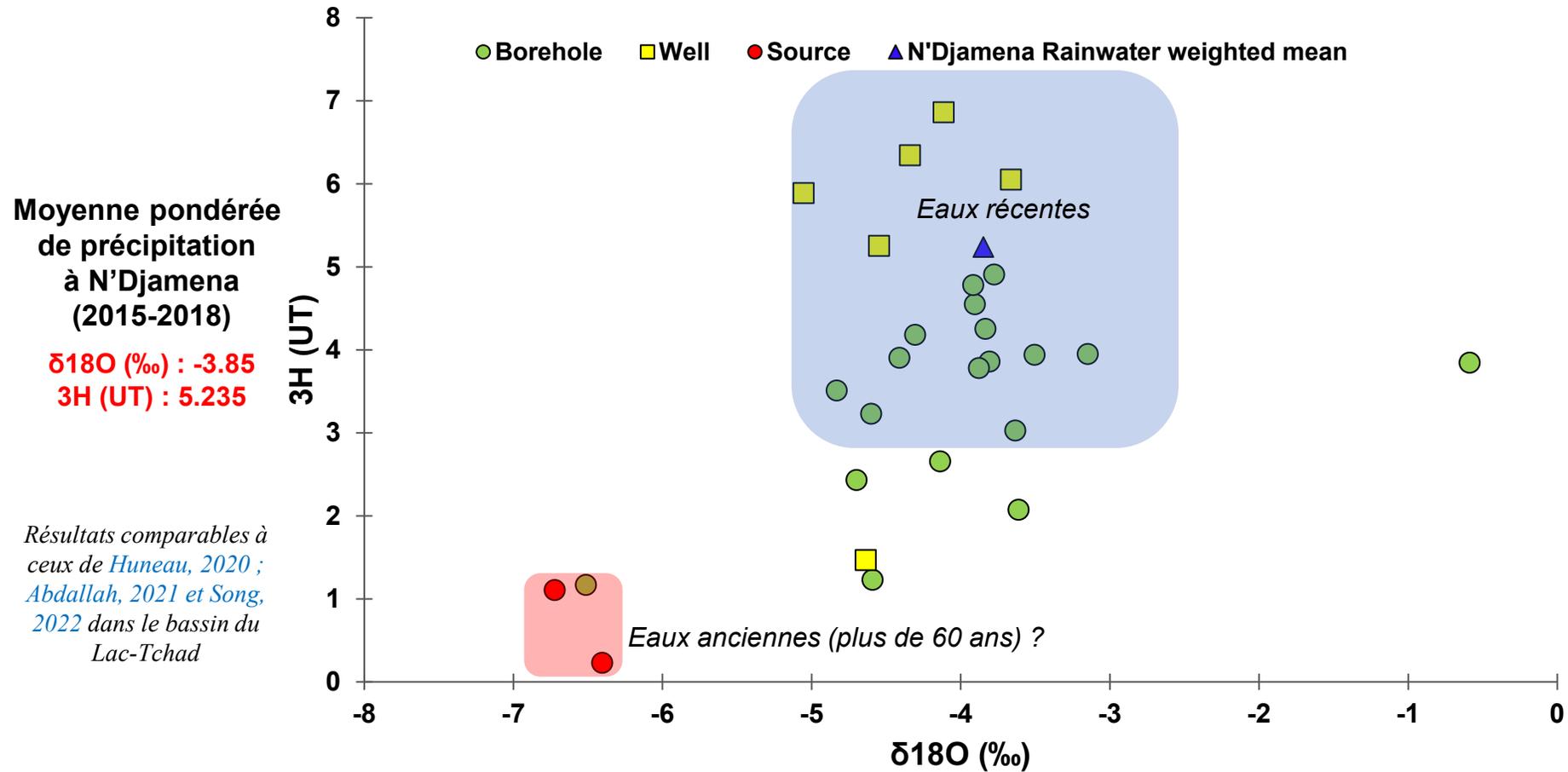


Les eaux des puits et des forages ont la même recharge (recharge actuelle vu la position de la pluie moyenne) car ils sont confondus sur la ligne météorique.

# RÉSULTATS

## Caractérisation isotopiques des eaux souterraines : tritium 2021 (31 échantillons)

$^3\text{H}$  (UT) des eaux souterraines : 0.23 à 6.86 avec un écartype de 1.74



Pour les eaux supposées anciennes, il faudrait confirmer cela par un autre prélèvement ou autre méthode (14C).

# CONCLUSION & PERSPECTIVES

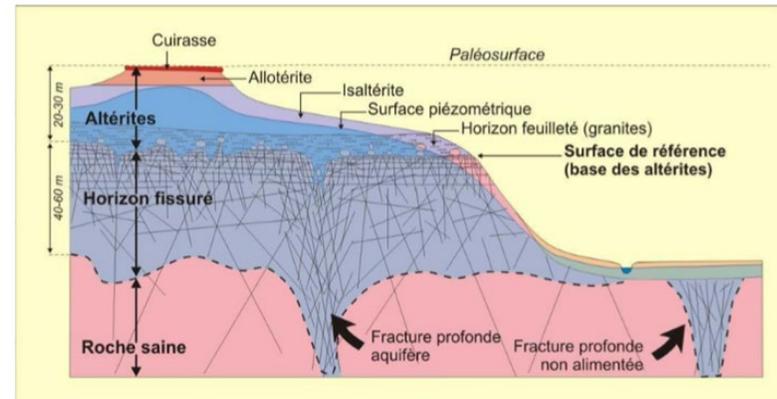
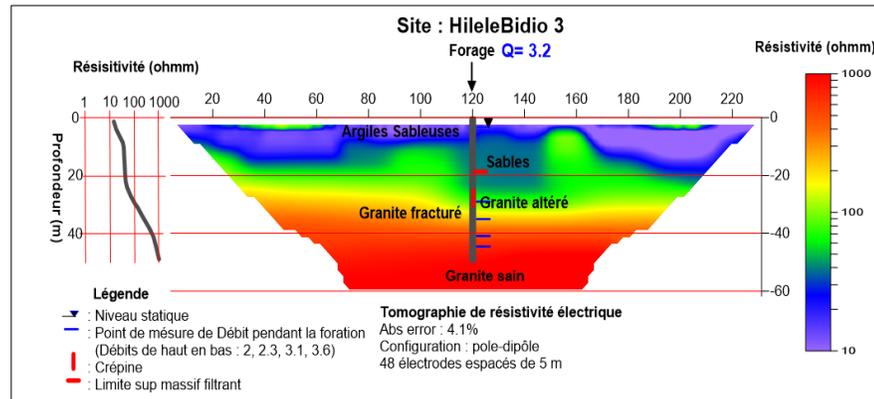
## ❑ Productivité de forages :

- ✓ Les forages positifs ( $Q \geq 1 \text{ m}^3/\text{h}$ ) : horizon altéré et fissuré épais et recouvrement peu ou pas argileux ;
- ✓ La productivité la plus importante est située entre 30 et 60 m, sous un recouvrement et des altérites.

## ❑ Identification des gammes de principales couches aquifères :

- ✓ Recouvrement :  $< 50 \text{ } \Omega\text{m}$  ;
- ✓ Horizon altéré :  $50\text{-}300 \text{ } \Omega\text{m}$  ;
- ✓ Horizon fissuré :  $50\text{-}1000 \text{ } \Omega\text{m}$ .

## ❑ Comparaison avec le modèle de Wyns : modèle conceptuel à priori cohérent avec le modèle de Wyns et *al.* (2004).



## ❑ Eaux souterraines des puits et forages modestement minéralisées, rechargées par les précipitations modernes.

- ✓ Analyse et interprétation de toutes les données géochimiques et isotopiques.
- ✓ Application du Machine Learning.
- ✓ Réalisation d'une analyse multicritère et pluridisciplinaire couplant les paramètres hydrogéologiques, géochimiques et géophysiques.

# Merci de votre aimable attention!



[nouradineh@yahoo.fr](mailto:nouradineh@yahoo.fr)  
[haroun.nouradine@sorbonne-universite.fr](mailto:haroun.nouradine@sorbonne-universite.fr)