

PROJET TUTORÉ L3 PRO

Intercomparaison de sondes de mesure

Niveau · Température · Conductivité

Synthèse technique : résultats de 5 expériences comparatives menées sur 7 sondes de terrain.



Température



Conductivité



Niveau

Expérience réalisée par Emma Amadei, Pierre Dumas-Granier, Antonin Many et Bastien Moureau

Support de communication et analyse approfondie réalisés par Guillaume Cinkus, Corinne Motte, Vincent Marc

Pourquoi comparer ces sondes ?

Le projet porte sur un ensemble de sondes de pression, conductivité et température utilisées en hydrogéologie. La démarche comparative vise à objectiver leur fiabilité, leurs avantages et leurs limites technologiques respectives, afin de constituer une base de documentation technique exploitable pour le choix du matériel sur le terrain.



Fiabilité

Cohérence et répétabilité des mesures entre sondes



Avantages

Installation, maintenance, accessibilité des données



Limites

Contraintes techniques et écarts observés

7

sondes testées

3

fabricants

3

paramètres physiques

5

expériences comparatives

7 sondes retenues pour la comparaison

Matériel prêté par des partenaires ou appartenant à Avignon Université.

Sonde	Fabricant	Conductivité	Niveau (labo)	Niveau (forage)	Température
CTD-Diver n°1 (T5538)	Van Essen Instruments	✓	✓	✓	✓
CTD-Diver n°2 (T5575)	Van Essen Instruments	✓	✓	✓	✓
CTD-Diver n°3 (X7012)	Van Essen Instruments	✓	✓	✓	✓
CTD-Diver n°4 (V9874)	Van Essen Instruments	✓	✓	✓	✓
Solinst LTC M30	Solinst	✓	✓	✓	✓
STS DL OCS n°1 (1180832)	STS / Retech	—	✓	✓	✓
STS DL OCS n°2 (827304)	STS / Retech	✓	✓	✓	✓

4 sondes Diver • 1 sonde Solinst • 2 sondes STS

5 expériences comparatives

Chaque sonde a été soumise aux mêmes conditions de test pour permettre une comparaison directe des trois paramètres physiques mesurés.

1



Conductivité

Variations lentes et brusques de salinité en b cher

2



Niveau (labo)

Cycles de remplissage / vidange à débit contrôlé

3



Température (24h)

Stabilité des mesures sur une longue durée

4



Température (brusque)

Choc thermique : glace puis eau chaude

5



Niveau (forage)

Essai de pompage sur piézomètre réel

Acquisition via 3 logiciels dédiés : Diver-Office (Van Essen), Levelogger (Solinst), DL.OCS (STS).

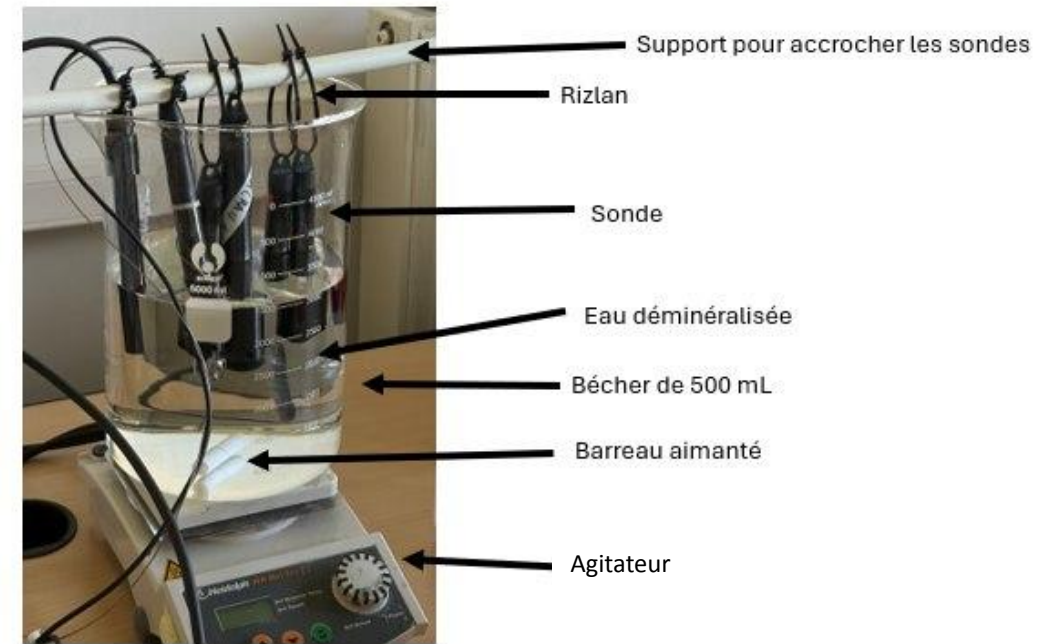
Protocole — variations de salinité contrôlées

Essai n°1 — Variation progressive

- Injections de 3 mL de solution saline (5 g/L) toutes les 30 s, ×16
- Puis injections de 3 mL d'eau déminéralisée, ×16 (retour progressif)
- 2 min de repos final pour vérifier le retour à la stabilité
- Durée totale : environ 10 minutes

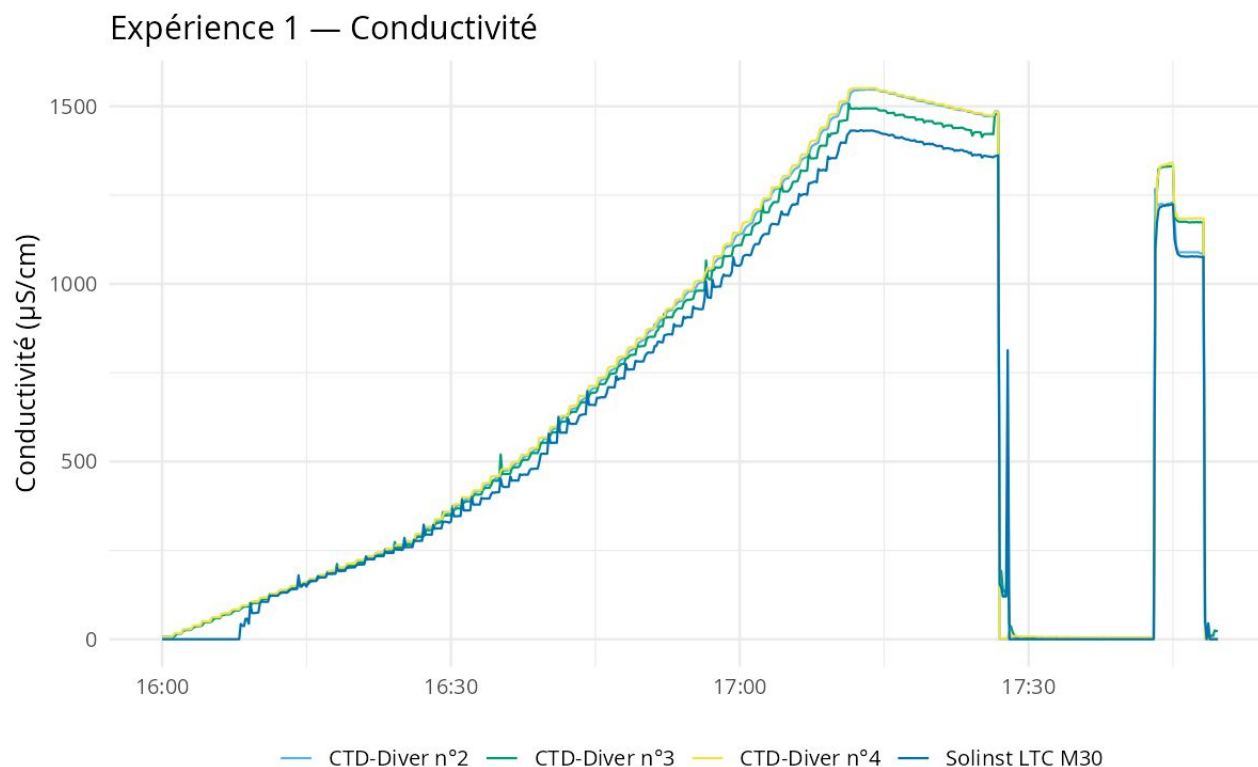
Essai n°2 — Pic de salinité

- Injection de solution concentrée (25 g/L) → pic de conductivité
- Objectif : évaluer la capacité des sondes à détecter une forte variation
- Durée totale : environ 1 minute



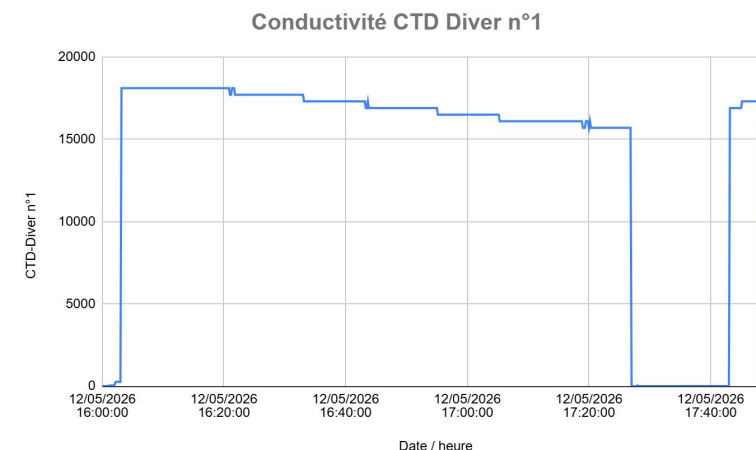
Dispositif de test : bécher 500 mL, agitation magnétique, conductimètre de référence étalonné à 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Résultats — bonne cohérence mais écarts en sur les valeurs élevées



Variation lente : réponses quasi superposées entre sondes, avec un léger écart de pente.

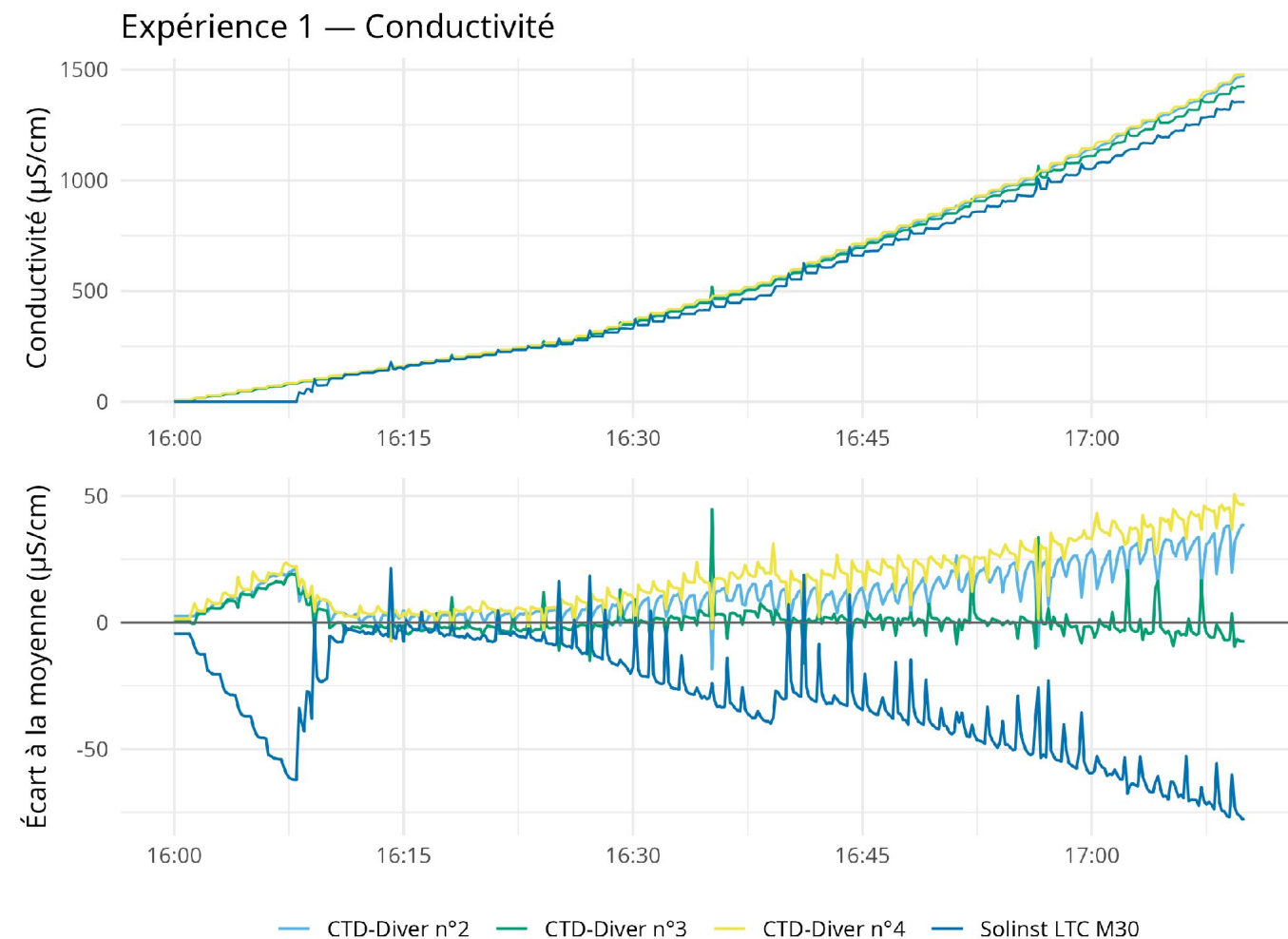
Variation brusque (pic) : analyse pas très pertinente en l'état car les sondes ont été sorties de l'eau.



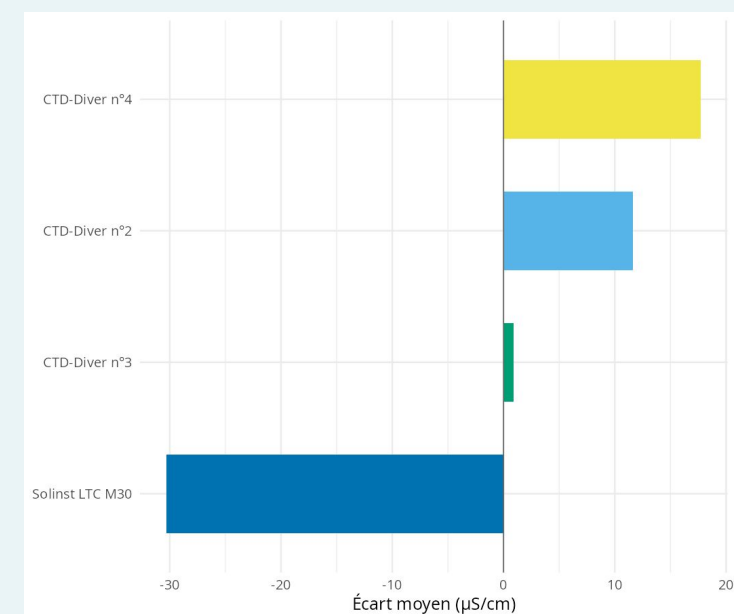
Anomalie détectée — CTD-Diver n°1

Capteur de conductivité probablement défaillant (dérive jusqu'à 18 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Sonde exclue de l'analyse pour ce paramètre.

Un écart qui grandit pendant la montée



Décalage moyen pendant la montée



CTD-Diver n°4 le plus haut (+18 µS/cm), Solinst le plus bas (-30 µS/cm).

La dérive augmente en fonction de la salinité.

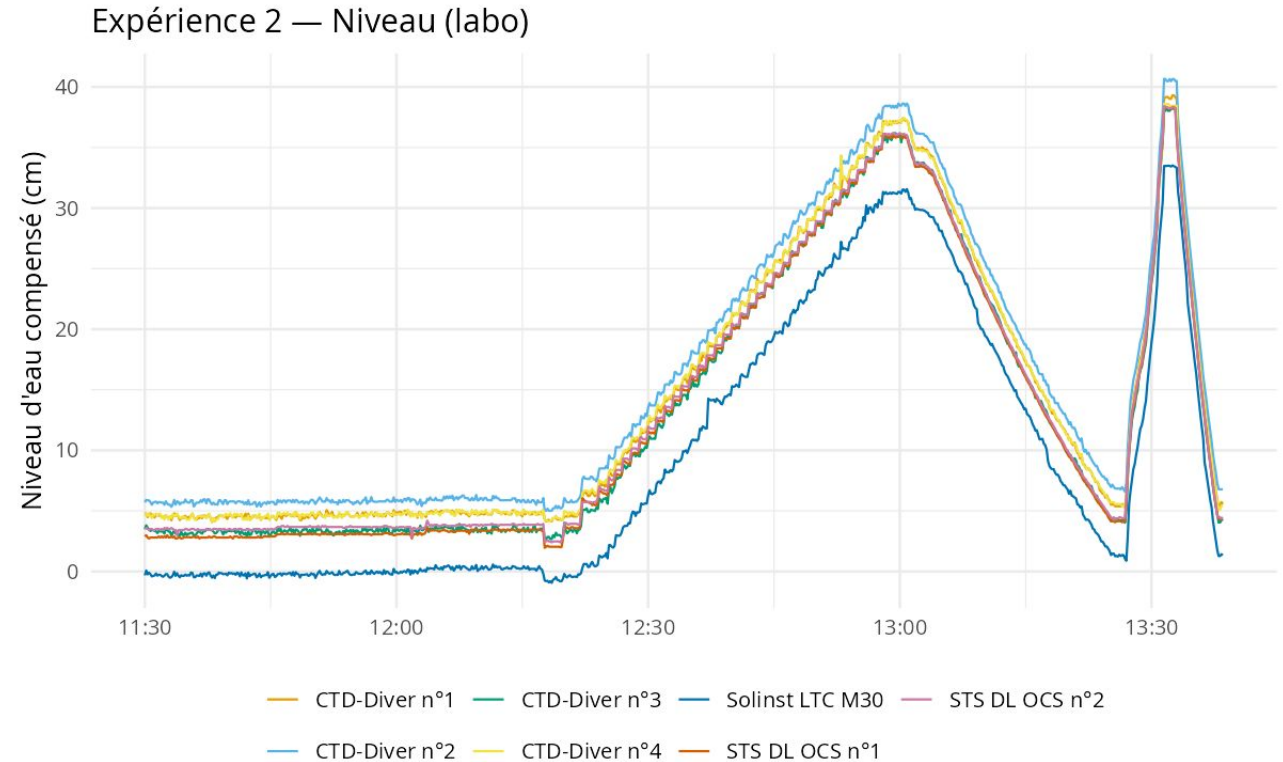
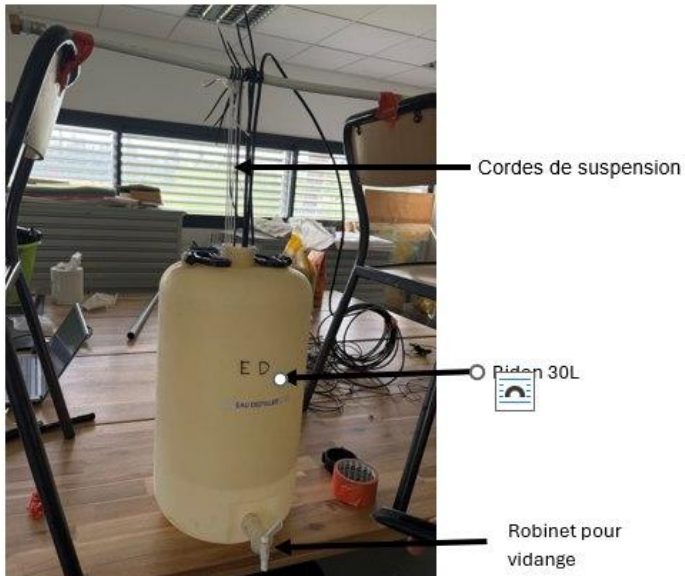
Cycles de remplissage / vidange à débit contrôlé

Essai n°1 — débit constant

- Remplissage par paliers de 500 mL/min jusqu'à 46,5 cm, puis vidange à ≈ 1 L/min jusqu'à 15 cm

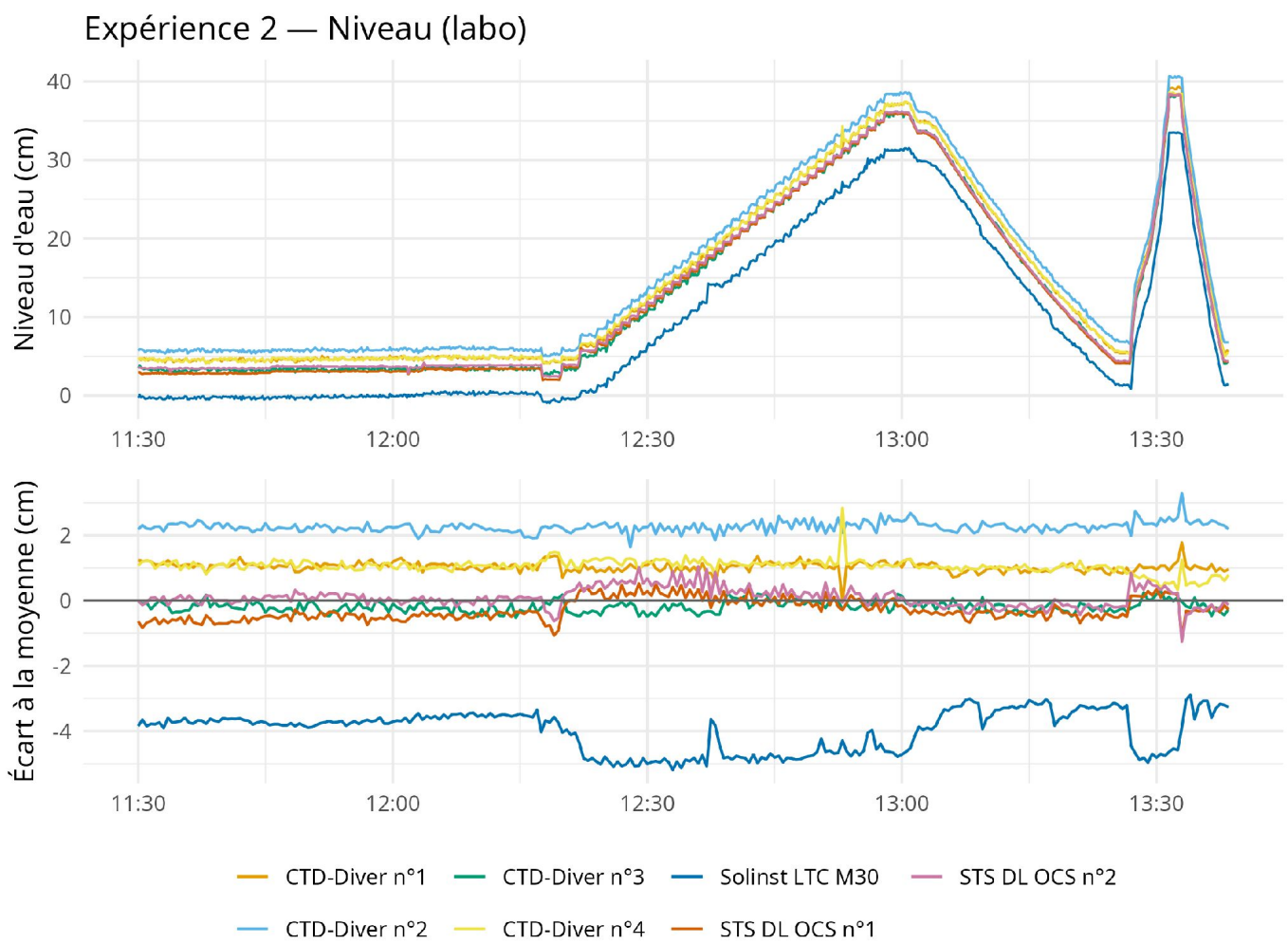
Essai n°2 — débit élevé

- Remplissage rapide (7 min), vidange à débit élevé (13 s/L, soit 4 min 57 s au total)
- Sondes suspendues à profondeur identique, acquisition synchronisée à 11h30

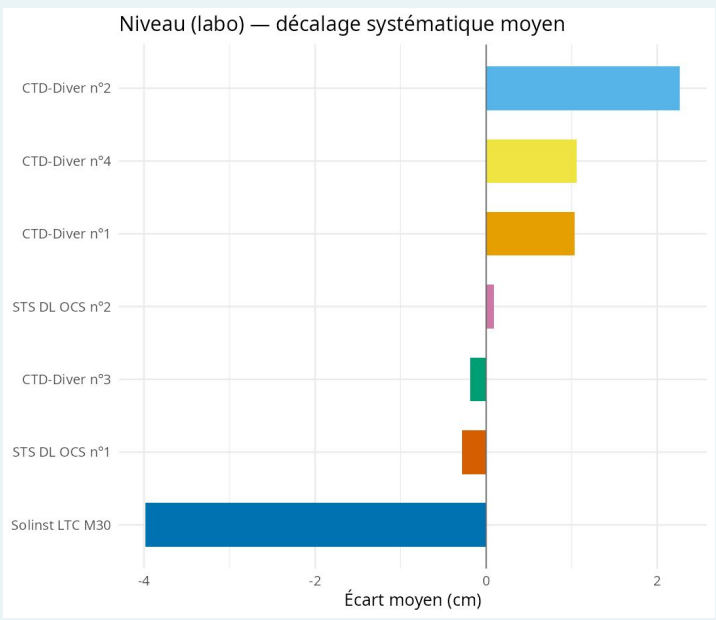


Tendances cohérentes entre sondes. La sonde Solinst présente un décalage systématique vers le bas. Les groupes CTD-Diver et STS sont très homogènes entre eux (valeurs et pentes proches).

La Solinst décalée, le reste est assez cohérent



Décalage moyen par sonde



La Solinst est environ ~4 cm sous le groupe sur tout l'essai.

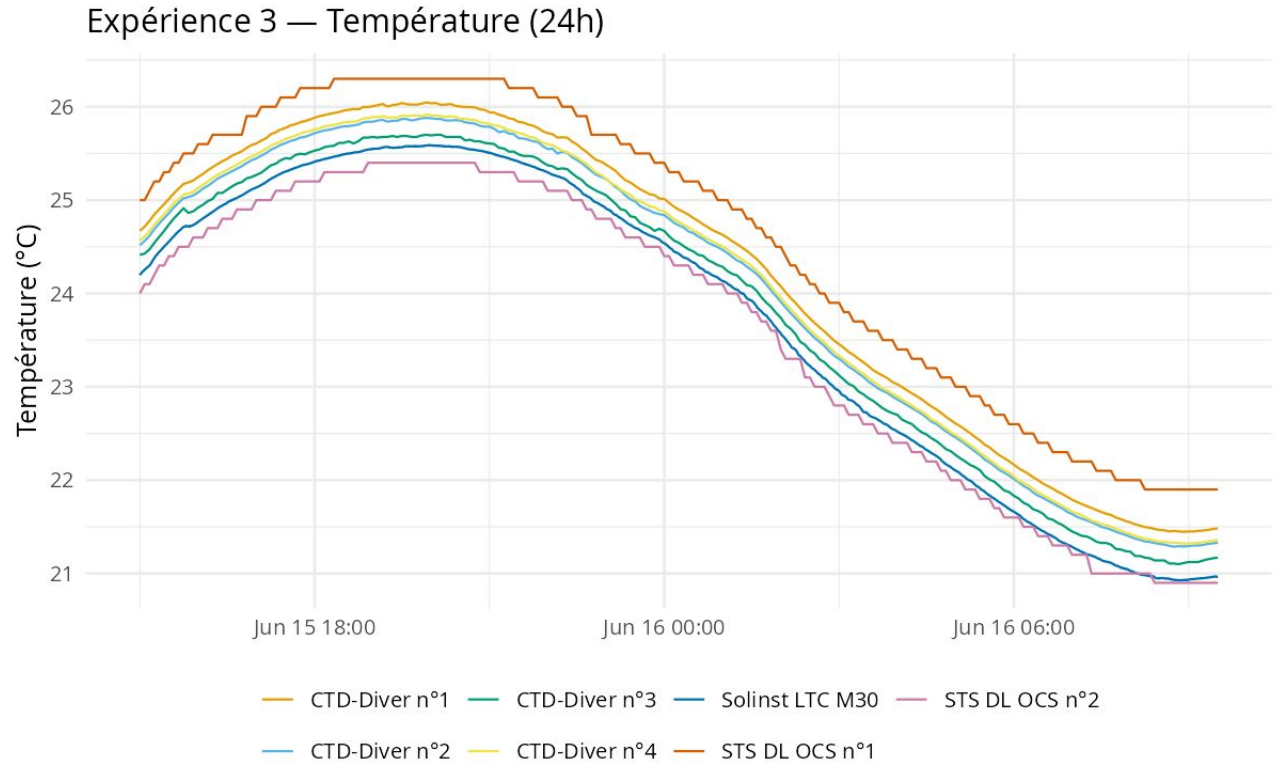
Pas de dérive observée en fonction de la pression.

Stabilité des mesures sur une longue durée

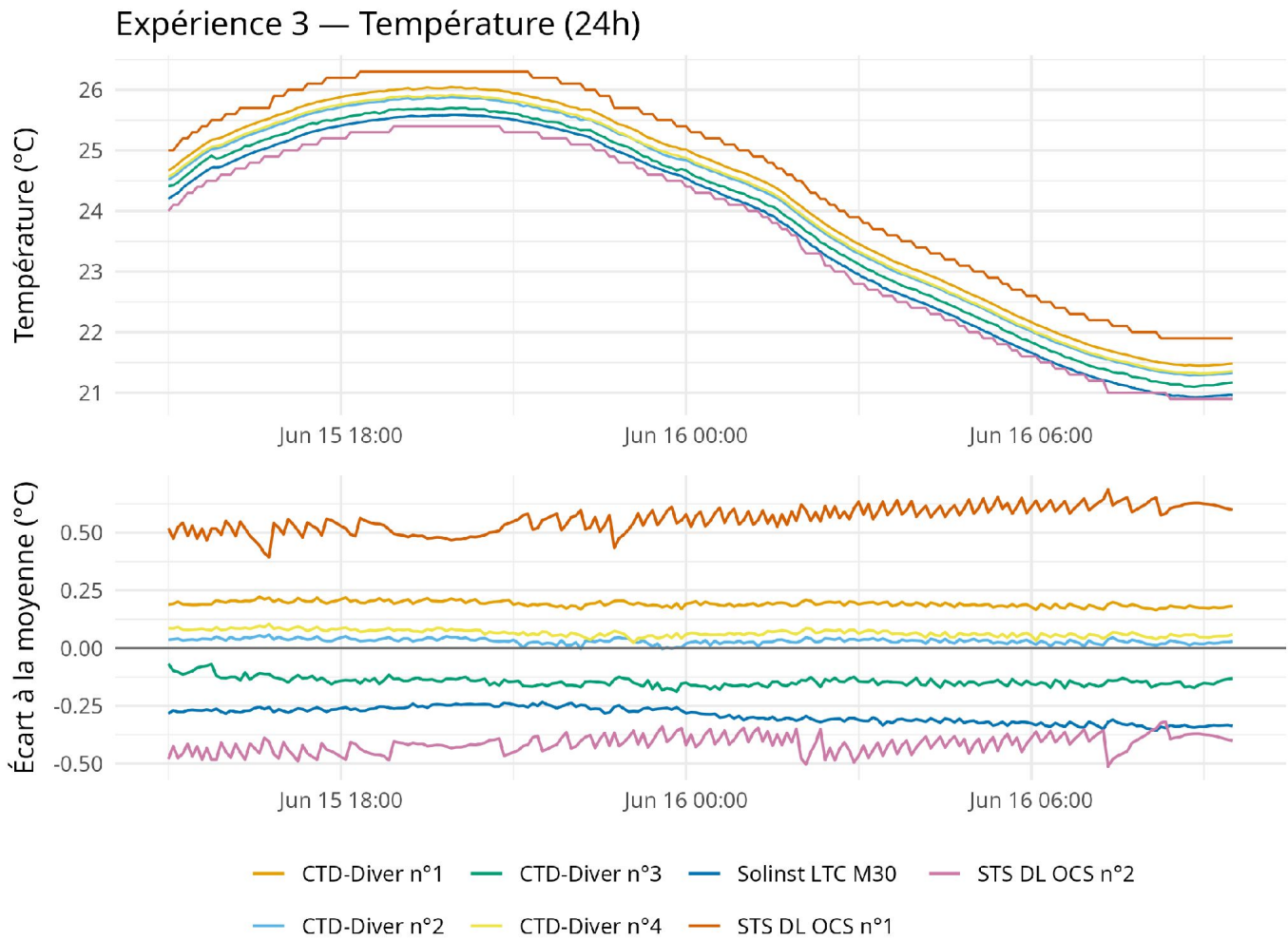
- ≈ 30 L d'eau à température ambiante (≈ 24 °C au départ)
- Mesure toutes les 5 minutes pendant 24 heures
- Dispositif installé en extérieur (patio) — conditions météo non maîtrisées (soleil, ombre)
- Contrôles ponctuels au thermomètre de référence

Allures de courbes similaires d'une sonde à l'autre.

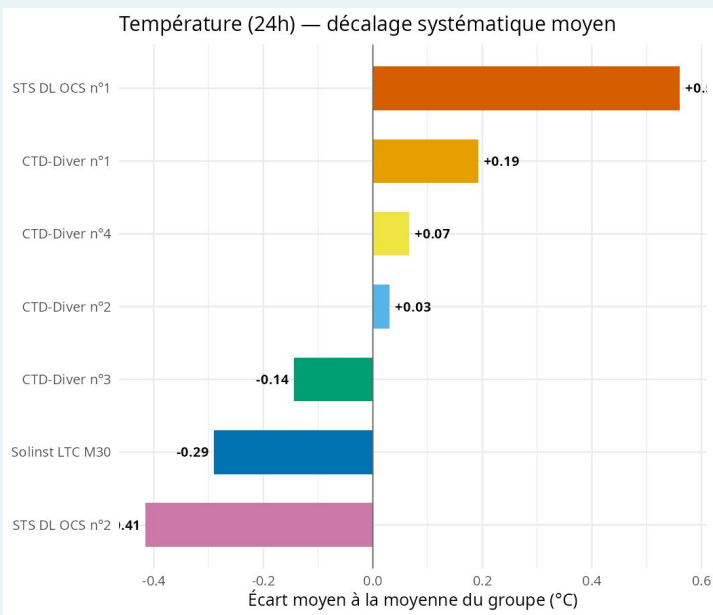
Écart stable d'environ 0,3 °C entre sondes sur l'ensemble des 24 h.



Des décalages stables, une dérive quasi nulle



Décalage moyen par sonde



STS n°1 le plus haut (+0,56 °C), STS n°2 le plus bas (-0,41 °C)

Des décalages stables et très peu de dérives.

Réactivité lors de chocs thermiques



Refroidissement — 4 kg de glaçons

21,0 °C → 8,1 °C

Mesure toutes les 10 secondes



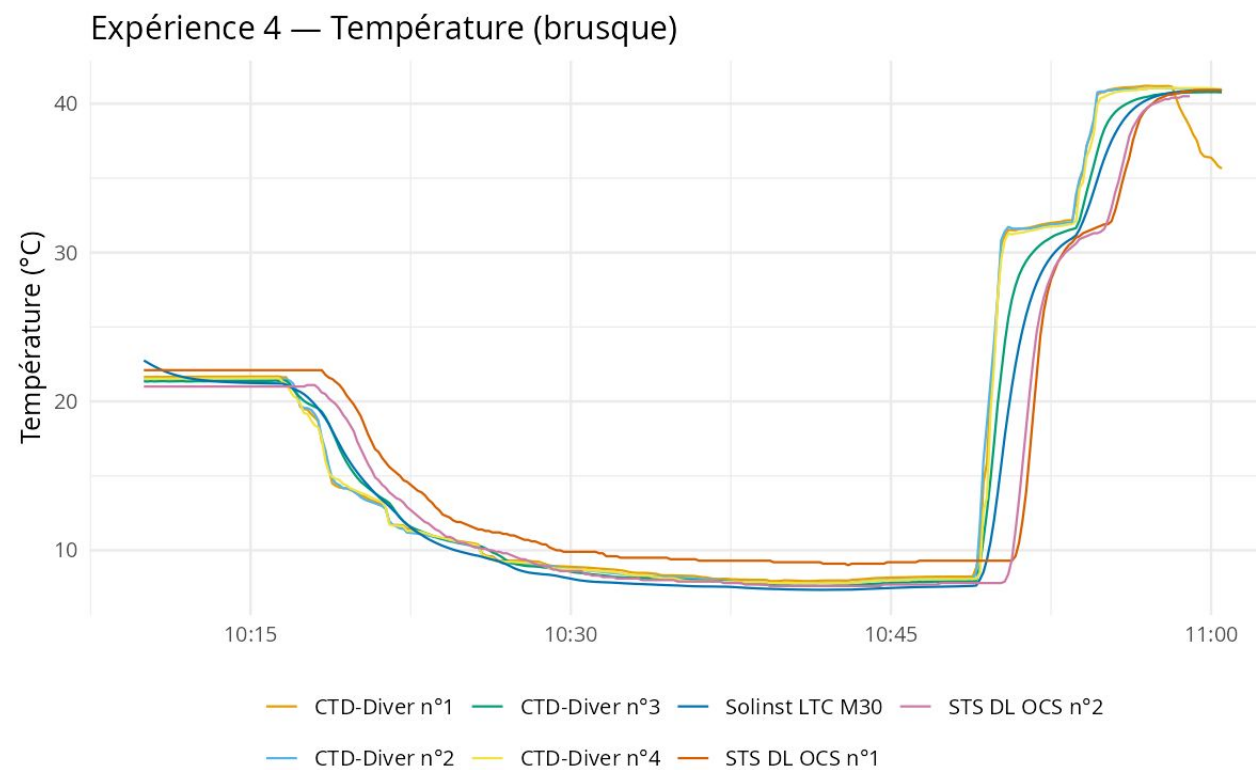
Réchauffement — eau à ≈ 50 °C ajoutée

8,1 °C → 41,2 °C

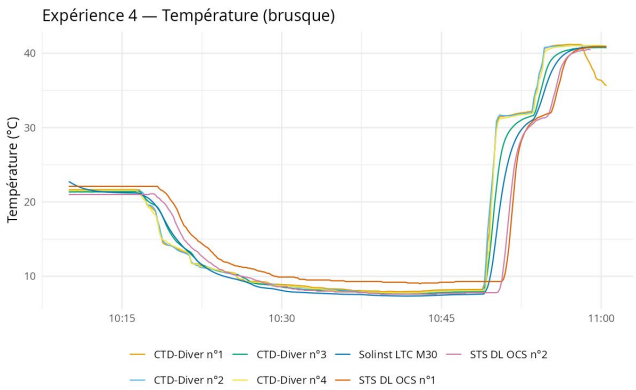
Mesure toutes les 10 secondes

Moins de corrélation qu'en régime stable. La Solinst et la Diver n°3 réagissent de façon plus inertielle ; les deux STS et la Solinst mettent davantage de temps à atteindre le palier final que les Diver.

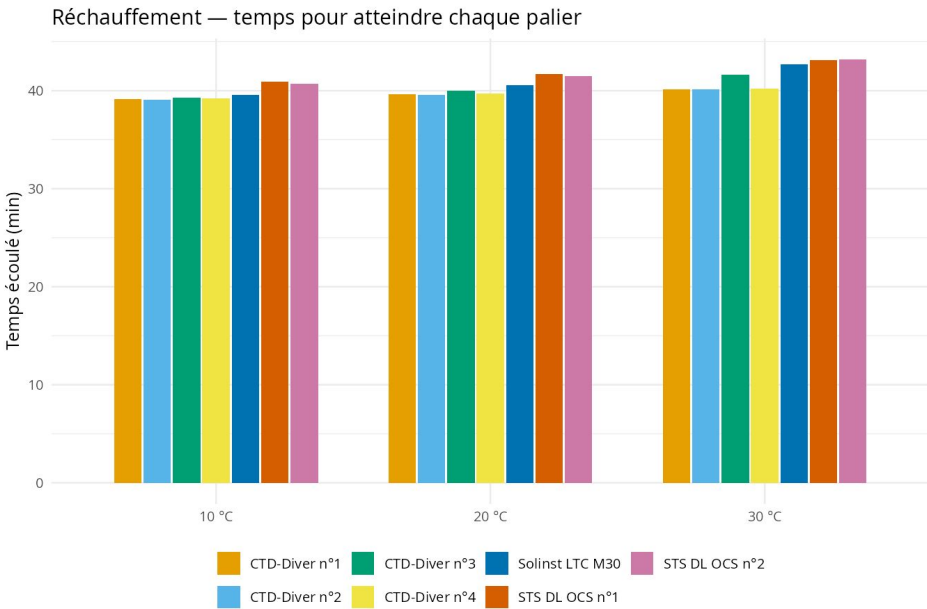
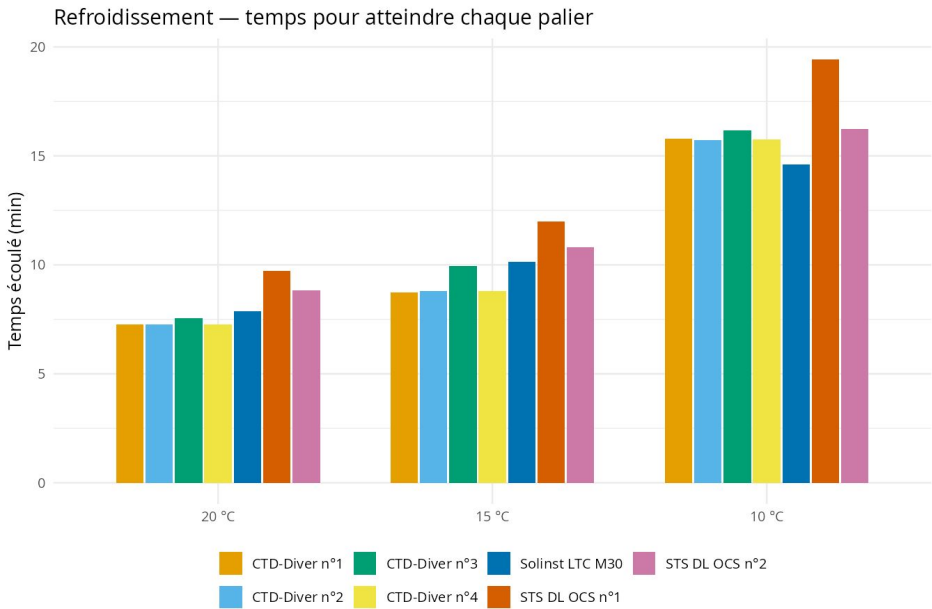
On observe un écart plus important dans les faibles températures pour la STS.



Le temps pour atteindre chaque palier de température



- On mesure le temps écoulé pour chaque sonde pour atteindre des paliers absolus de température
- A noter que le refroidissement a pris plus de temps que le réchauffement donc les deux dynamiques ne sont pas comparables



Essai de pompage sur piézomètre

4,10 m

hauteur d'eau initiale

9,83 m

profondeur totale du forage

8 m

sonde la plus profonde

Phase de rabattement

- Pompage continu pendant 45 minutes
- Hauteur d'eau après rabattement : 4,54 m
- Sonde pas de temps 30 s

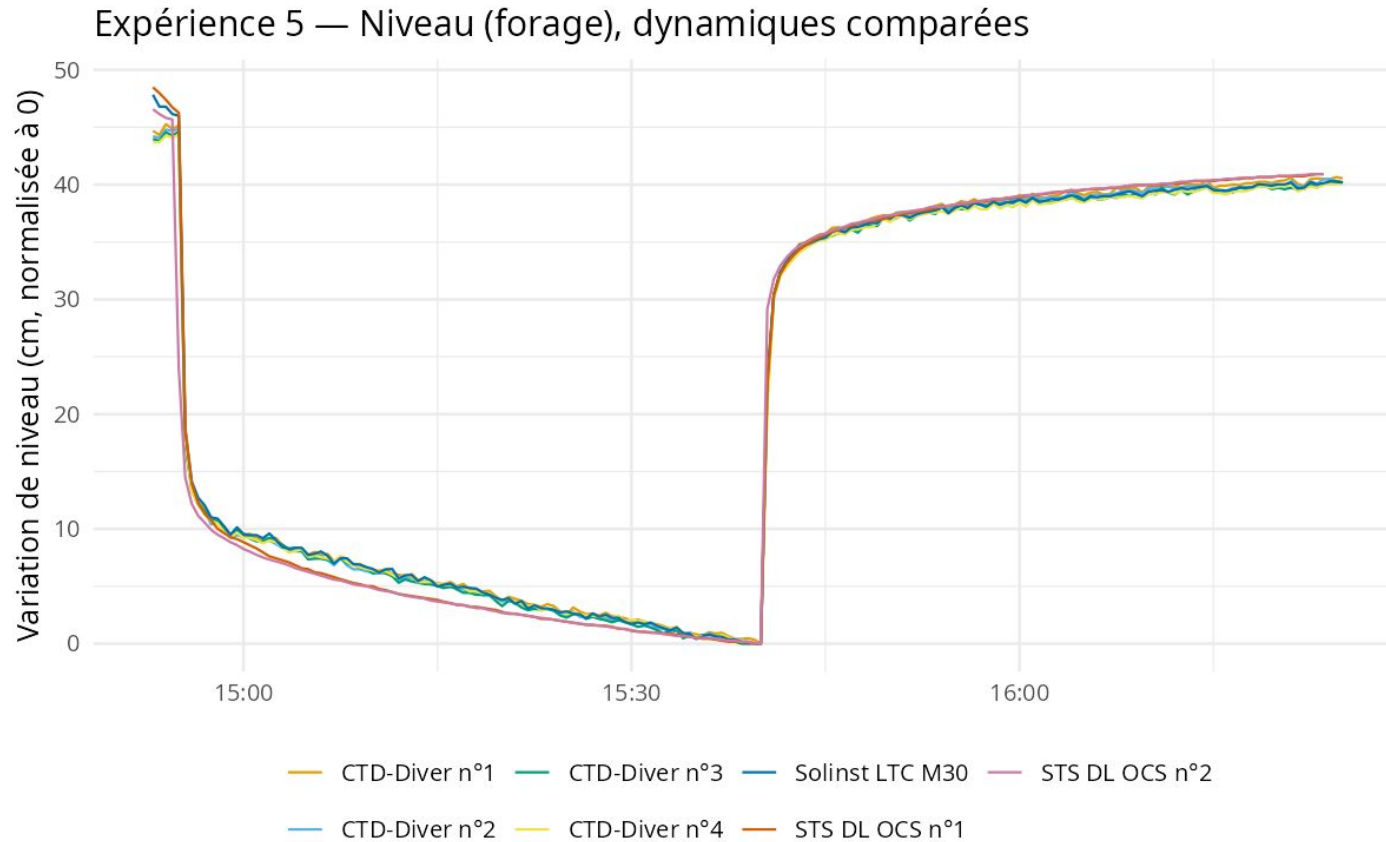
Phase de remontée

- Arrêt de la pompe, 45 min d'attente puis mesures toutes les 5 min
- Stabilisation à 4,125 m (paliers 4,18 → 4,125 m)
- Sonde pas de temps 30 s



Fixation des sondes par ficelle et scotch, assemblées verticalement en série avec double point d'ancrage en surface (sécurité anti-chute).

Cohérence confirmée par la position des sondes



Ordre des sondes (de la plus profonde à la moins profonde)

- Diver n°4
- STS n°1
- STS n°2
- Solinst
- Diver n°3
- Diver n°2
- Diver n°1

Les observations ont été ramenées au même niveau afin de comparer les dynamiques.

Décalage notable des deux sondes STS qui sont beaucoup plus inertielles, sinon les courbes restent cohérentes entre elles sur l'ensemble de l'essai.

Quatre profils de comportement

1 Diver n°1, n°2, n°4

Mesures proches sur tous les paramètres, tendances et temps de réaction similaires, y compris lors des changements brusques. Exception : Diver n°1 exclue en conductivité (capteur défaillant).

2 Diver n°3

Allure de courbe distincte, davantage de variations (stabilité plus faible). Réaction plus progressive lors des changements brusques,.

3 Solinst LTC M30

Décalage systématique vers le bas sur les essais de niveau. Réponse plus inertielle et progressive lors des chocs de température.

4 STS DL OCS n°1 & n°2

Variations similaires entre elles (ex. stabilisation conjointe en température), mais avec une précision de valeur différente l'une de l'autre.

Limites identifiées & pistes d'amélioration



Température

Glaçons non fondus au préalable et conditions extérieures non maîtrisées (soleil, ombre). Prévoir une eau froide homogène.



Conductivité

Concentration saline trop faible. Prévoir de monter aux alentours de 4000-5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ avec une injection régulière homogène.



Niveau (labo)

Bidon opaque et matériel de fortune ont perturbé les mesures lors du remplissage. Privilégier un bidon transparent avec remplissage par le fond.



Niveau (forage)

Distance entre sondes à mesurer plus précisément. Envisager un suivi en temps réel par sonde piézométrique manuelle.

À noter : certaines sondes plus anciennes présentent une tendance à la dérive, à surveiller lors des futures campagnes.

Une expérience enrichissante

- Les sondes ont des capteurs et des programmations différents
- Il faut être vigilant lorsqu'on change de matériel, et bien veiller à étalonner les sondes
- Il faut vérifier la mesure de la sonde régulièrement avec une sonde manuelle calibrée
- Il faut être critique à l'égard des données de suivi



Prochaine étape

Le projet tutoré sera réalisé à nouveau en 2027, avec pour objectifs : (i) intégrer davantage de matériel, y compris des sondes “low-cost”, (ii) finaliser les fiches de description des sondes et le tableau comparatif, et (iii) prendre en compte les améliorations du protocole identifiées dans ce premier projet.

Un grand merci aux personnes ayant permis la réalisation de ce projet, ainsi qu'aux partenaires ayant prêté du matériel (SYMCRAU).