

# Suivi des périodes d'écoulement de drains agricoles en Bretagne : utilisation d'enregistreurs de température bas coût et miniatures

Tanguy Nardon<sup>1</sup>  
Virginie Parnaudeau<sup>1</sup>  
Olivier Godinot<sup>2</sup>

## CORRESPONDANCE

[virginie.parnaudeau@inrae.fr](mailto:virginie.parnaudeau@inrae.fr)

## RÉSUMÉ

Les drains agricoles modifient les écoulements de l'eau et sont des conduits majeurs de transferts de polluants vers les cours d'eau. Dans le cadre d'un projet visant à sensibiliser les agriculteurs aux questions de qualité de l'eau, nous avons réalisé des analyses chimiques et biologiques dans plusieurs drains agricoles situés en région Bretagne (France). Pour interpréter les résultats obtenus au cours de ce projet, il était nécessaire de dater les périodes d'écoulement et les périodes sèches des drains agricoles suivis. Les enregistreurs de température sont couramment utilisés par la communauté scientifique pour détecter la présence et l'absence d'eau dans un milieu semi-aquatique. En effet, les amplitudes de températures journalières en période sèche sont plus importantes que lors des périodes d'écoulement. L'objectif du travail présenté dans cet article a été de savoir si l'utilisation d'enregistreurs de température financièrement abordables est pertinente, techniquement faisable pour suivre les périodes d'écoulement des drains agricoles. Pour répondre à cette question, nous avons installé des enregistreurs de température du modèle HOBO (marque Onset), qui sont des outils miniatures, étanches et peu chers, dans les drains agricoles étudiés au cours du projet. Nous avons programmé les enregistreurs à une mesure au pas temps horaire entre octobre 2023 et mai 2024, et nous avons vérifié si les drains coulaient ou non lors de 13 visites de terrain par collecteur. Les données traitées ont porté sur l'amplitude thermique journalière au regard des observations de terrain. Les résultats montrent que les drains en écoulement présentent des amplitudes thermiques nettement plus faibles (inférieures à 5 °C) que lorsqu'ils ne coulent pas (jusqu'à plus de 15 °C). Cette différence est statistiquement significative ( $p < 0,001$ ). Un seuil d'amplitude journalière de 2,9 °C a été établi pour identifier la présence d'écoulement avec fiabilité. Par conséquent, il est possible d'utiliser des enregistreurs de température économiques et pratiques pour suivre les périodes d'écoulement des drains agricoles (mais ni les débits ni les volumes).

## MOTS-CLÉS

drains agricoles ; écoulement intermittent ; enregistreurs de température ; enregistreurs à bas coût

1. INRAE, UMR 1069 SAS, 35042, Rennes, France

2. Institut Agro, UMR 1069 SAS, 35042, Rennes, France

# Monitoring flow periods of tile drains in Brittany (France): use of low-cost and tiny temperature loggers

Tanguy Nardon<sup>1</sup>  
Virginie Parnaudeau<sup>1</sup>  
Olivier Godinot<sup>2</sup>

## CORRESPONDENCE

[virginie.parnaudeau@inrae.fr](mailto:virginie.parnaudeau@inrae.fr)

## ABSTRACT

Tile drains alter the natural water cycle and are major pathways for pollutants input into rivers. For a project that aims to sensitize farmers to water quality issues, we analyzed water quality of tile drains located in Brittany, north-western France. In order to interpret and to discuss results, we needed to follow the aquatic and dry periods of these tile drains during the hydrological season. Temperature loggers are common tools used by scientists to detect water presence/absence in semi-aquatic ecosystems, because temperature range is bigger for dry periods than for aquatic periods. In this work, we aimed to know if low-cost and convenient temperature loggers are scientifically relevant to follow dry and aquatic periods of tile drains. To answer this question, we set HOBO water temperature loggers (Onset Company) in four tile drains. These loggers are cheap, tiny and waterproof. We recorded temperature every hour from October 2023 to May 2024, and we checked whether the drains were flowing during 13 field visits to each collector. The processed data focused on daily temperature range in relation to field observations. The results show that drains with flow exhibit significantly lower temperature ranges (less than 5°C) than when they are dry (up to more than 15°C). This difference is statistically significant ( $p < 0.001$ ). A daily range threshold of 2.9°C was established to reliably identify the presence of flow. In conclusion, we can say that low-cost and tiny temperature loggers are suitable tools to follow dry and aquatic periods of tile drains.

## KEYWORDS

tile drains; intermittent flow; temperature loggers; low-cost loggers

1. INRAE, UMR 1069 SAS, 35042, Rennes, France

2. Institut Agro, UMR 1069 SAS, 35042, Rennes, France

## Introduction

En Bretagne comme en France, de nombreuses surfaces ont été rendues cultivables par des travaux de drainage agricole, pratique ancienne qui s'est largement intensifiée entre les années 1960 et 1980 (Hirt *et al.*, 2011 ; Vincent, 2020). Ces opérations ont consisté à enterrer des tuyaux perforés dans le but d'évacuer l'eau du sol, essentiellement pendant sa période de saturation en hiver. Lors du recensement agricole de 2010, on estimait que 10,6 % de la surface agricole utile (SAU) française était drainée (Agreste, 2010), soit 3 millions d'ha. A l'échelle de la région Bretagne, cette proportion s'élevait à environ 6,2 % (Agreste, 2010).

L'écoulement annuel moyen des drains agricoles est, en France, de 180 mm ; cependant, leur fonctionnement hydrologique est saisonnier, il n'est pas homogène toute l'année (Tournebize *et al.*, 2020). En régions tempérées océaniques, l'amorce du drainage a lieu de novembre à décembre : l'évapotranspiration tend à diminuer, les pluies augmentent, le bilan hydrique climatique devient positif et l'eau s'accumule dans les sols jusqu'à saturation. Vient ensuite la phase de drainage intense (décembre à mars), période pendant laquelle les pluies sont abondantes, l'évapotranspiration minimale et les sols saturés en eau. Puis, d'avril à juin, les écoulements d'eau sont sporadiques car les pluies ont tendance à diminuer alors que l'évapotranspiration augmente. Enfin, il n'y a généralement pas d'écoulement de juillet à octobre, période pendant laquelle l'évapotranspiration est forte et les pluies faibles, ou alors intenses et ruisselant sur des sols secs, ce qui ne participe pas à recharger le réservoir hydrique des sols.

Les drains agricoles affectent le cycle naturel de l'eau car ils accélèrent l'évacuation de l'eau du sol et altèrent les régimes hydrologiques des cours d'eau récepteurs (Blann *et al.*, 2009 ; Schilling *et al.*, 2015). De plus, ils canalisent les pollutions diffuses aux exutoires des réseaux de drainage (Tournebize *et al.*, 2020). En effet, ils sont des conduits favorisant le transport de nutriments solubles, notamment azotés, ainsi que de pesticides depuis les parcelles drainées vers les cours d'eau (Blann *et al.*, 2009 ; Gilliam & Skaggs, 1986 ; Harris *et al.*, 1994). Les drains agricoles réduisent également la capacité de dénitrification du milieu en court-circuitant le cycle de l'eau dans le sol (Hirt *et al.*, 2011).

Dans le cadre d'un projet de recherche visant à sensibiliser les agriculteurs aux questions relatives à la qualité de l'eau issue de leurs parcelles agricoles, nous avons réalisé des analyses chimiques et biologiques à la sortie des collecteurs de plusieurs drains d'un territoire agricole breton. Nous nous sommes intéressés aux concentrations en nitrates et pesticides et avons également mis en place des méthodes de bio-indication, utilisant des gammarus (*Gammarus fossarum*) vivants qui devaient rester dans l'eau courante pendant des périodes de 7 jours (Branchet *et al.*, 2025). Pour interpréter les résultats sur ce dernier volet, il était important de dater les périodes avec et sans écoulement d'eau dans les drains agricoles auxquels nous nous sommes intéressés.

A l'échelle de ce territoire agricole, les écoulements des drains étudiés, situés à plusieurs dizaines de kilomètres les uns des autres, ne suivent pas forcément la même dynamique du fait de la variabilité locale des précipitations, de la connexion avec la nappe, de la nature et de l'occupation des sols et de la différence entre les aires drainées. Ce suivi des périodes avec et sans écoulement étant nécessaire dans notre étude mais n'en étant pas un objectif

central, nous avons cherché une méthode de suivi facile à mettre en œuvre et peu coûteuse, ce qui semblait réaliste, du fait notamment que nous n'avions pas besoin de la mesure des débits des drains pour notre étude.

Les capteurs de température sont des outils utilisés pour détecter la présence d'eau dans des milieux semi-aquatiques, tels que des mares temporaires (Campbell & Hyslop, 2023) ou des rivières intermittentes (Constantz *et al.*, 2001). En effet, la capacité thermique de l'eau étant supérieure à celle de l'air (Kodešová *et al.*, 2013), les amplitudes thermiques journalières sont nettement moins marquées lorsqu'un milieu est aquatique que lorsqu'il est sec. Quelques articles scientifiques traitent de la mesure des températures dans des drains agricoles, mais ils sont assez rares. La plupart de ces publications, n'ont, d'ailleurs, pas pour objectif de suivre les périodes d'écoulement des drains, mais d'utiliser la température de l'eau comme moyen de déterminer la provenance et le trajet de l'eau de drainage dans le sol (Pluer *et al.*, 2020 ; Zajíček *et al.*, 2011 ; Zajíček *et al.*, 2016). De plus, les capteurs utilisés dans le cadre de ces travaux sont peu diffusibles à large échelle, du fait de grandes dimensions (Zajíček *et al.*, 2011) ou de prix d'achat élevés (Pluer *et al.*, 2020 ; Zajíček *et al.*, 2011), puisqu'ils servent également à mesurer le débit d'écoulement.

L'objectif du travail rapporté dans cet article est de répondre à la question suivante : est-il possible d'utiliser des enregistreurs de température diffusibles à large échelle (c'est-à-dire simples d'utilisation, miniatures, financièrement abordables, tout en restant scientifiquement fiables) pour suivre les périodes d'écoulement des drains agricoles ?

Nous avons installé des enregistreurs de température de petite taille et peu coûteux (modèle HOB0, marque Onset) dans plusieurs drains agricoles situés en région Bretagne (France) lors de la saison hydrologique 2023/2024. Nous posons l'hypothèse que nous serons en mesure d'identifier, grâce à ces enregistreurs, les périodes d'écoulement et les périodes sèches des drains agricoles, malgré le fait que les drains sont des milieux fermés et que le sol pourrait y tamponner la température de l'air. Nous prévoyons que les variations thermiques soient faibles lorsque l'eau s'écoule dans les drains et importantes lorsqu'ils sont secs.

Dans cet article, nous décrivons d'abord la méthode que nous avons mise en œuvre pour installer les enregistreurs de température dans les drains, ainsi que pour traiter les données collectées. Ensuite, nous présentons les résultats obtenus en les confrontant à nos observations de terrain, et discutons de la pertinence des enregistreurs de température en tant qu'outils simples et économiques pour le suivi de l'écoulement des drains agricoles.

## Matériel et méthode

### Description des sites d'étude

Nous avons choisi quatre parcelles agricoles drainées situées dans le département d'Ille et Vilaine, à l'Est de la région Bretagne (figure 1). Le climat de ce secteur est tempéré océanique, avec une pluviométrie moyenne annuelle de 691 mm et une température moyenne annuelle de 12,4 °C (relevés Météo-France à la station Rennes – Saint-Jacques entre 1991 et 2020).

Les parcelles drainées sont distantes de quelques centaines de mètres (CIQ-B et CIQ-C) à plusieurs kilomètres (CIQ-D et surtout CIQ-A). Les cultures en place étaient soit du blé, soit un couvert d'interculture, soit du colza (tableau 1).

Les drains agricoles étudiés sont des tuyaux en plastique annelés et perforés, dont les diamètres sont compris entre 80 et 125 mm (figure 2). Nous ne connaissons pas les profondeurs exactes, mais elles sont inférieures à 1 m. Les parcelles agricoles sont drainées selon le schéma présenté en figure 3.

Chacun des collecteurs de drains a été équipé d'un enregistreur de température lors de la saison hydrologique 2023/2024, qui a été particulièrement pluvieuse en Bretagne (505 mm de précipitations à Rennes entre octobre 2023 et avril 2024 contre 438 mm de moyenne sur la même période entre 1991 et 2020, soit +15 % ; Météo-France, 2024), ce qui a engendré des niveaux de nappes souterraines libres supérieures à la normale entre décembre 2023 et août 2024 (BRGM, 2024).

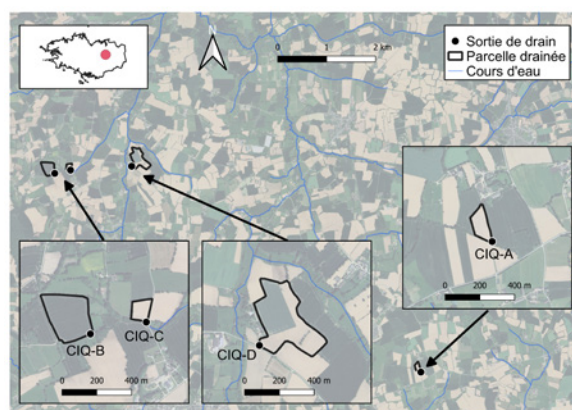


Figure 1. Localisation des parcelles étudiées



Figure 2. Photos de deux sorties de collecteurs de drains

Tableau 1. Localisation des collecteurs, occupation du sol et dates de mise en place et de retrait des enregistreurs de température

Codes des drains	CIQ-A	CIQ-B	CIQ-C	CIQ-D
Occupation du sol de la parcelle drainée	Couvert (phacélie + moutarde)	Colza et plantes compagnes (féverole + trèfle)	Blé et bande enherbée	Blé
Dates de mise en place	20/12/23	25/10/23	25/10/23	25/10/23
Dates de retrait	28/05/24	28/05/24	28/05/24	20/05/24

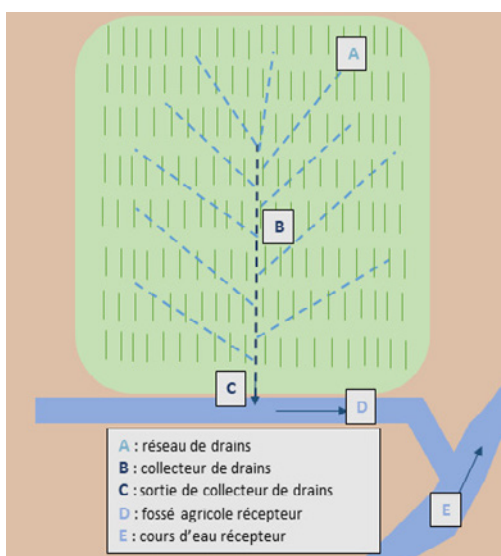


Figure 3. Schéma d'un réseau de drainage

### Installation des enregistreurs de température HOBO

L'installation des enregistreurs de température est intervenue dans le cadre d'un projet plus global au cours duquel nous avons étudié la qualité de l'eau des drains agricoles. Pour ce faire, les sorties des collecteurs de drains ont été prolongées par des gaines étanches (diamètre 90 mm) et raccordées à des caisses en plastique de dimensions 40 x 30 x 27 cm (figure 4). Dans les cas où les collecteurs avaient un diamètre différent de 90 mm, des réductions en PVC ont été utilisées.

Pour chacun des collecteurs, le capteur de température a été installé à l'intérieur de la gaine, en amont immédiat de la caisse en plastique (figure 5). L'enregistreur a été lié à un fil métallique lui-même retenu par une vis insérée dans la gaine. Pour relever la ligne d'eau et assurer l'immersion du capteur lors de faibles niveaux d'eau, une barrette en plastique a été posée en travers de la gaine, perpendiculairement à l'écoulement (figure 5).

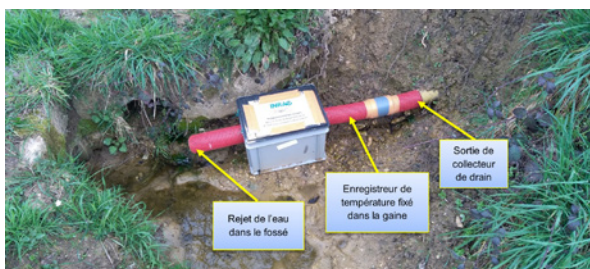


Figure 4. Dispositif installé en sortie de collecteur de drain. Exemple du drain D

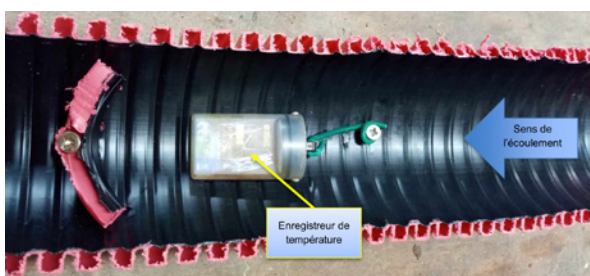


Figure 5. Illustration de la méthode de fixation d'un capteur dans la gaine. Cette photo sert d'illustration théorique car les gaines n'ont en réalité pas été ouvertes de la sorte.

Les caisses ont été disposées de telle façon que l'eau du fossé ne puisse pas y remonter via le tuyau de sortie. Les capteurs étant situés dans des gaines étanches en amont de la caisse, les températures mesurées correspondaient donc à la température de l'eau issue des drains.

Les enregistreurs de température que nous avons utilisés sont du modèle HOBO (marque Onset, USA), de référence UA-001-64 (figure 6). Les sondes de températures associées sont de type CTN (Coefficient de Température Négatif) de résistance  $10\text{ k}\Omega$  à  $25^\circ\text{C}$ .

Ces capteurs sont de taille miniature (masse : 18 g, dimensions :  $58 \times 33 \times 23\text{ mm}$ ), ils sont étanches et fonctionnent avec des piles communes (piles plates CR2032). Ils sont aussi financièrement abordables puisque le coût unitaire est d'environ 80 €, auquel s'ajoute celui de la base de connexion à l'ordinateur pour extraire les données (environ 250 € ; référence BASE-U-4, HOBOWare<sup>®</sup>). Le logiciel qui permet de traiter les données (HOBOWare<sup>®</sup>) est généralement fourni gratuitement lors de l'achat des enregistreurs et de la base optique.

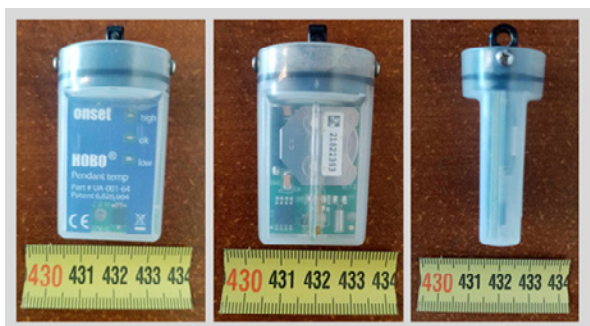


Figure 6. Photos sous différents angles d'un enregistreur de température HOBO UA-001-64

La veille de l'installation des enregistreurs de température dans les drains, nous avons vérifié le niveau des piles. Toutes étaient à 100%. Le jour de leur déploiement, les enregistreurs HOBO ont été programmés à un enregistrement de température toutes les 60 minutes, puis immédiatement installés dans les gaines. Ce pas de temps horaire permet de limiter le nombre de données accumulées, donc simplifier les fichiers et faciliter leur traitement, le tout en ayant suffisamment d'informations à propos des variations de températures journalières.

L'enregistrement des températures par les capteurs HOBO a été lancé entre le 25/10/2023 et le 20/12/2023, puis arrêté entre le 20/05/2024 et le 28/05/2024 (tableau 1). Nous sommes allés vérifier la présence ou non d'écoulement au niveau des collecteurs lors de 13 visites de terrain aux dates suivantes : 25 octobre, 22 novembre, 07 décembre, 20 décembre, 10 janvier, 23 janvier, 30 janvier, 13 février, 20 février, 05 mars, 19 mars, 29 avril, 28 mai.

Il est important de noter que la gaine prolongeant le collecteur CIQ-B a été arrachée à deux reprises, suite à deux crues du fossé récepteur, ayant provoqué la mise à l'air libre du capteur de température. La première crue a eu lieu le 17 janvier et nous avons remis en place notre dispositif le 23 janvier. La deuxième crue a eu lieu le 09 février et nous avons réparé le 13 février.

## Extraction et traitement des données

Une fois les enregistreurs HOBO retirés des drains puis arrêtés en mai 2024, ils ont été connectés à l'ordinateur via la base optique. Nous avons exporté les données, via le logiciel HOBOWare<sup>®</sup>, en format .csv.

Le traitement des données et la réalisation des graphiques ont été réalisés avec le logiciel R, version 4.1.1 (R Core Team, 2021) et son environnement R studio (R Studio Team, 2021).

Nous avons d'abord calculé pour chaque collecteur les amplitudes journalières des températures à partir de données horaires issues des enregistreurs (max - min journalier sur des données horaires).

Pour chacun des jours où nous avons des observations de terrain (constatation d'un écoulement d'eau ou d'une absence d'écoulement au niveau du collecteur), nous avons d'abord mis cette information au regard de l'amplitude thermique journalière calculée précédemment. Nous avons ensuite calculé les paramètres statistiques représentant la variabilité des amplitudes journalières et les avons représentés sous forme de « boxplots », en distinguant les situations avec ou sans écoulement d'eau. La distribution des amplitudes thermiques journalières ne suivant pas la loi normale, nous avons utilisé le test statistique de Mann-Whitney (W) pour tester la différence de médiane entre les deux cas. Nous avons ensuite réalisé le même test à l'échelle des périodes d'écoulement supposées et des périodes sèches. Nous avons enfin proposé un seuil d'amplitude thermique journalière en-dessous duquel on peut affirmer que le drain coule, basé sur le quantile 90 de la distribution des données.

## Résultats

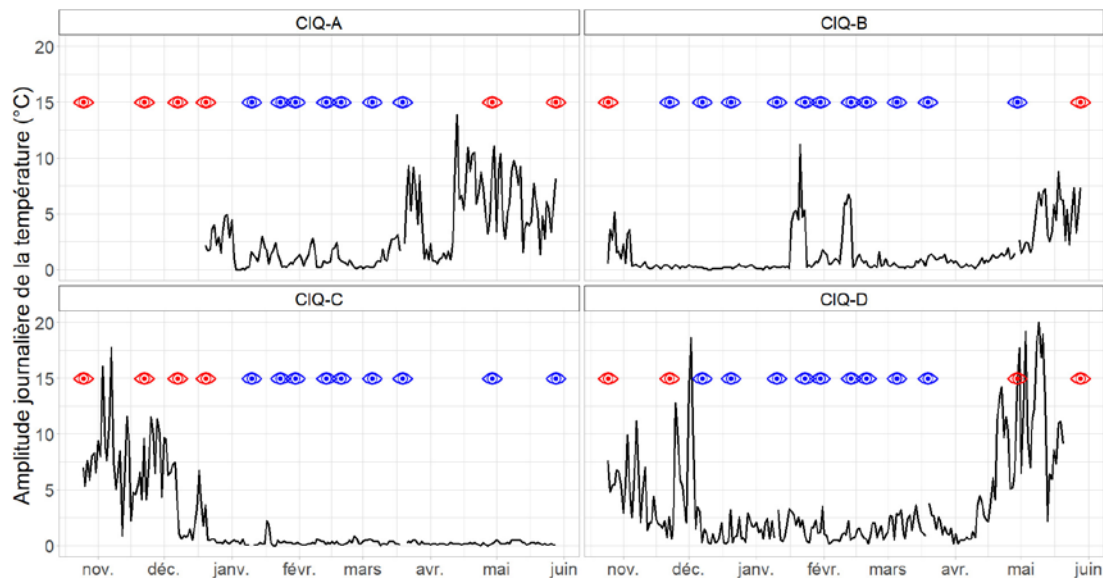
La figure 7 représente l'évolution de l'amplitude journalière des températures issues de mesures en continu dans les quatre collecteurs (pas de temps horaire) au regard des observations visuelles issues des visites de terrains quant à l'écoulement ou non au niveau des collecteurs. On observe une variabilité de l'amplitude des températures qui semble moindre dans les périodes d'écoulement des drains (inférieure à 5 °C), que dans celles où les collecteurs ne coulent pas où l'amplitude peut aller jusqu'à plus de 15 °C. On note l'exception de la période février-mars au niveau du collecteur CIQ-B où l'on constate une amplitude plus importante sur quelques jours qui semble pourtant correspondre à une période d'écoulement. Cela s'explique par l'incident rapporté dans la partie « Matériel et méthode » mentionnant que cet enregistreur a pu se retrouver à l'air libre dans le collecteur sur une courte période en raison de deux crues du fossé récepteur.

Ces graphiques, et notamment les observations de terrain, permettent également d'observer que les drains coulent en continu à partir du moment où ils ont commencé à couler ; on n'observe pas d'intermittence au cours de cette saison de drainage.

La médiane des amplitudes thermiques journalières mesurées au niveau des collecteurs dans les cas où l'on observe un écoulement sur le terrain est significativement inférieure à celle des cas où l'on n'observe pas d'écoulement sur le terrain ( $W = 29$  ;  $p < 0,001$ ) (figure 8a). Comme attendu on note également que les valeurs sont plus dispersées dans les cas sans écoulement observé.

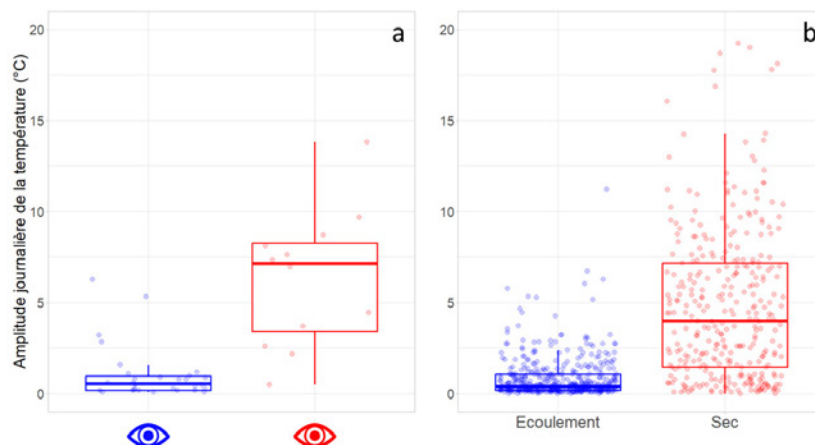
En considérant un écoulement continu entre la première observation d'écoulement et la dernière pour chacun des quatre collecteurs, la différence d'amplitude thermique journalière entre les cas avec et sans écoulement est également significative ( $W = 24231$  ;  $p < 0,001$ ) (figure 8b), même si elle est moindre que celle concernant uniquement les observations.

À l'issue de ces résultats, nous proposons le seuil de 2.9 °C au-dessous duquel nous pouvons considérer que le drain coule : celui-ci correspond au quantile 90 (Q90) des situations observées avec écoulement (figure 8a). Le Q90 correspondant à la figure 8b (périodes d'écoulement) est de 2,2 °C et se situe donc bien en deçà du seuil proposé.



**Figure 7.** Amplitude journalière des températures au niveau des 4 collecteurs

*Au regard des observations relevant un écoulement (œil bleu) ou non (œil rouge) au niveau du collecteur lors des 13 visites de terrain*



**Figure 8.** Variabilité de l'amplitude journalière au niveau des collecteurs de drain

*a/ Pour les situations où un écoulement a été observé (œil bleu) ou non (œil rouge)  
b/ Pour les périodes situées entre deux observations d'écoulement (« Écoulement ») et les autres périodes (« Sec »)*

## Discussion

Les résultats de cette étude nous ont permis d'identifier, sur une période allant de 5 à 9 mois selon les cas, les périodes d'écoulement et sèches au niveau de plusieurs collecteurs de drains agricoles grâce à des capteurs de températures économiques et pratiques. Nous avons vérifié par des observations que les faibles variations de températures étaient mesurées lors des périodes d'écoulement, et que les variations plus importantes étaient mesurées en périodes sèches.

Ainsi, notre travail enrichit la littérature à propos de l'utilisation de capteurs de température à bas coût et miniatures pour suivre la présence d'eau dans des milieux semi-aquatiques. En effet, nous montrons qu'il est possible d'en utiliser dans des collecteurs de drains agricoles, au même titre que ce qui a été réalisé par d'autres scientifiques dans des rivières intermittentes (Constanz *et al.*, 2001) ou des mares temporaires (Campbell & Hyslop, 2023), malgré les difficultés que présentent les collecteurs de drains : accessibilité restreinte, impossibilité pour l'eau de stagner, et risque de tamponnage par le sol des amplitudes thermiques de l'air.

Les drains agricoles que nous avons étudiés ont montré une certaine saisonnalité d'écoulement, cohérente avec les travaux de Tournebize *et al.* (2020). Effectivement, la saison de drainage a débuté au mois de novembre et s'est terminée entre mi-avril et début mai. Cependant, le drain CIQ-C coulait toujours après l'arrêt des mesures le 28/05/2024, mais les visites de terrain ont montré qu'il s'est finalement arrêté début juillet.

Le choix du modèle HOBO (Onset, USA) pour les enregistreurs de température a été essentiellement porté par leur accessibilité financière, leur facilité d'utilisation et leur taille. Néanmoins, la limite principale de ce type de capteur est qu'ils ne permettent pas d'envoyer les données à distance. Il est nécessaire d'extraire les données par voie filaire. Il n'est donc pas possible d'utiliser ces enregistreurs de température pour, par exemple, déclencher des campagnes de prélèvement d'eau selon que les drains coulent ou pas. Dans notre travail, nous avons exploité les données enregistrées par les capteurs HOBO seulement a posteriori.

Pour de prochains travaux qui nécessitent un suivi en temps réel de l'écoulement, il serait pertinent de déployer dans des drains agricoles des capteurs de température capables de transmettre les données à distance, dans le but d'évaluer leur possibilité de diffusion à large échelle en termes de prix, de faisabilité technique et de fiabilité scientifique. Ces capteurs permettraient, par exemple, de déclencher des campagnes de prélèvement d'eau calées sur les périodes d'écoulement des drains agricoles.

## Conclusion

Nous avons mesuré à haute fréquence entre novembre 2023 et mai 2024 la température à la sortie de collecteurs de drains, dans un territoire breton. En analysant les amplitudes journalières mesurées au regard des observations réalisées in situ durant la campagne de mesure, nous avons montré que l'utilisation d'enregistreurs simples et financièrement abordables permet de suivre l'écoulement des drains agricoles (sans mesure de débit). Nous proposons un seuil d'amplitude journalière mesuré de 2,9°C en dessous duquel nous pouvons considérer que les drains coulent. La méthode proposée est facile à mettre en œuvre : pose des capteurs et extraction des données enregistrées, calcul de l'amplitude journalière et comparaison au seuil déterminé. L'accessibilité de la méthode et le faible prix des capteurs permettent d'envisager de les diffuser à large échelle, c'est-à-dire à toute structure intéressée par le suivi des périodes d'écoulement dans les drains agricoles : collectivités territoriales, groupements d'agriculteurs, associations, scientifiques. Enfin, il faudrait évaluer la possibilité de diffusion à large échelle (coût, faisabilité technique, fiabilité scientifique) de capteurs de température capables de transmettre les données à distance. ■

## Remerciements

*Les auteurs remercient la Collectivité Eaux du Bassin Rennais et la Banque de Territoires qui ont financé le programme Terres de Sources dans lequel s'inscrit cette étude. Ils remercient également les agriculteurs des fermes de l'étude ainsi que Jan-Mickaël Busnel (UMR SAS) qui a contribué à l'appui technique.*

## Références

- Agreste (2010). Recensement Général Agricole de 2010. Agreste. <https://stats.agriculture.gouv.fr/cartostat/#view-map11&c=indicator>
- Blann, K. L., Anderson, J. L., Sands, G. R., & Vondracek, B. (2009). Effects of Agricultural Drainage on Aquatic Ecosystems: A Review. *Critical Reviews In Environmental Science And Technology*, 39(11), 909-1001. <https://doi.org/10.1080/10643380801977966>
- Branchet, P., Godinot, O., Akkal-Corfini, N., Carof, M., Jaeger, C., Roche, B., Vertès, F., & Parnaudeau, V. (2025). On-farm water quality: Co-design of result-based indicators. *Agricultural Systems*, 225, 104275. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2025.104275>
- BRGM (2024). État des nappes d'eau souterraine de France. <https://www.brgm.fr/fr/actualite/communique-presse/nappes-eau-souterraine-au-1er-juillet-2024>
- Campbell, G. R., & Hyslop, E. J. (2023). Technical Reports: Methods—The Application of Temperature and Light Intensity as Intermittency Sensors in a Temporary Pond. *Water Resources Research*, 59(2). <https://doi.org/10.1029/2021wr031574>
- Constantz, J., Stonestrom, D., Stewart, A. E., Niswonger, R., & Smith, T. R. (2001). Analysis of streambed temperatures in ephemeral channels to determine streamflow frequency and duration. *Water Resources Research*, 37(2), 317-328. <https://doi.org/10.1029/2000wr900271>
- Gilliam, J. W., & Skaggs, R. W. (1986). Controlled Agricultural Drainage to Maintain Water Quality. *Journal Of Irrigation And Drainage Engineering*, 112(3), 254-263. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1986\)112:3\(254\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1986)112:3(254))
- Harris, G., Nicholls, P., Bailey, S., Howse, K., & Mason, D. (1994). Factors influencing the loss of pesticides in drainage from a cracking clay soil. *Journal Of Hydrology*, 159(1-4), 235-253. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(94\)90259-3](https://doi.org/10.1016/0022-1694(94)90259-3)
- Hirt, U., Wetzig, A., Amatya, M. D., & Matraga, M. (2011). Impact of Seasonality on Artificial Drainage Discharge under Temperate Climate Conditions. *International Review Of Hydrobiology*, 96(5), 561-577. <https://doi.org/10.1002/iroh.201111274>
- Kodešová, R., Vlasáková, M., Fěr, M., Teplá, D., Jakšik, O., Neuberger, P., & Adamovský, R. (2013). Thermal properties of representative soils of the Czech Republic. *Soil And Water Research*, 8(4), 141-150. <https://doi.org/10.17221/33/2013-swr>
- Météo-France (2024). Bilan climatique de l'hiver 2024. Bulletin de presse du 29/02/2024. [https://meteofrance.fr/sites/meteofrance.fr/files/files/editorial/bilan\\_hiver\\_2024\\_web\\_o.pdf](https://meteofrance.fr/sites/meteofrance.fr/files/files/editorial/bilan_hiver_2024_web_o.pdf)
- Pluer, W. T., Macrae, M., Buckley, A., & Reid, K. (2020). Contribution of preferential flow to tile drainage varies spatially and temporally. *Vadose Zone Journal*, 19(1). <https://doi.org/10.1002/vzj2.20043>
- R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- R Studio Team (2021). RStudio: Integrated Development Environment for R. RStudio, PBC, Boston, MA, USA. <http://www.rstudio.com/>
- Schilling, K. E., Wolter, C. F., Isenhardt, T. M., & Schultz, R. C. (2015). Tile Drainage Density Reduces Groundwater Travel Times and Compromises Riparian Buffer Effectiveness. *Journal Of Environmental Quality*, 44(6), 1754-1763. <https://doi.org/10.2134/jeq2015.02.0105>
- Tournebize, J., Henine, H., & Chaumont. (2020). Gérer les eaux de drainage agricole: du génie hydraulique au génie écologique. *Sciences Eaux & Territoires*, (32), 32-41. <https://doi.org/10.14758/SET-REVUE.2020.2.06>
- Vincent, B. (2020). Principes techniques et chiffres du drainage agricole – De la tuyautique à l'hydro-diplomatie. *Sciences Eaux & Territoires*, (32), 8-15. <https://doi.org/10.14758/SET-REVUE.2020.2.02>
- Zajíček, A., Kvítek, T., Kaplická, M., Doležal, F., Kulhavý, Z., Bystrický, V., & Žlábek, P. (2011). Drainage water temperature as a basis for verifying drainage runoff composition on slopes. *Hydrological Processes*, 25(20), 3204-3215. <https://doi.org/10.1002/hyp.8039>
- Zajíček, A., Pomije, T., & Kvítek, T. (2016). Event water detection in tile drainage runoff using stable isotopes and a water temperature in small agricultural catchment in Bohemian-Moravian Highlands, Czech Republic. *Environmental Earth Sciences*, 75(9). <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5561-1>



Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-SA). <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>.

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « NOV'AE », la date de sa publication et son URL.