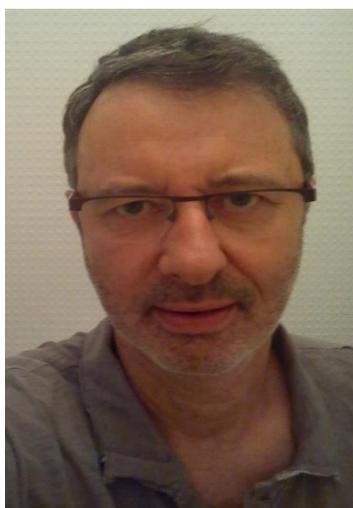


Dispositif automatique de caractérisation et de prélèvement des eaux de drainage du site de Virey-le-Grand

Arnaud Coffin¹, Frédéric Lombard¹, Marjorie Ubertosi¹



J'ai commencé ma carrière professionnelle en 1998 dans l'industrie agro-alimentaire. Sensible depuis toujours aux questions scientifiques, en 2005 j'ai intégré l'INRA. Technicien d'instrumentations j'ai pu développer des outils de mesures diversifiés comme des systèmes de mesures automatiques de GES ou des « pots capteurs » : prototype pour lequel j'ai reçu le Prix de l'Innovation par la société Campbell Scientific. J'ai souhaité valoriser l'appui technique à la recherche en participant à des activités d'enseignements et de transfert. Pour cela j'ai intégré en février 2014 l'école d'ingénieurs AgroSup Dijon. Assistant Ingénieur je partage mes activités entre l'appui à l'enseignement et des projets de recherche dans l'UMR Agroécologie. Je travaille sur la compréhension du rôle filtre du sol dans les agrosystèmes en particulier sur sa capacité à dégrader les intrants.



Fonctionnaire à AgroSup Dijon depuis 2003, j'ai travaillé pendant 10 ans au service du patrimoine et de l'hébergement. En 2013 j'ai souhaité réorienter ma carrière vers l'appui technique à l'enseignement et à la recherche. Pour cela j'ai intégré le Département 2A2E et l'UMR Agroécologie en exerçant les fonctions de technicien de formation et de recherche. Mon expérience et mon ingéniosité m'ont permis de trouver des solutions simples et de faibles coûts aux problèmes rencontrés. J'exerce deux types d'activité qui sont fortement liées : l'appui à l'enseignement en sciences du sol, agronomie et écologie et l'appui à la recherche pour des programmes portant sur l'évaluation de systèmes agricoles innovants.

¹ Agrosup Dijon UMR 1347 Agroécologie, 26 Boulevard Docteur Petitjean, 21000 Dijon France ; arnaud.coffin@agrosupdijon.fr



Enseignant-chercheur à AgroSup Dijon depuis 2007 je développe mes enseignements autour de deux compartiments de l'environnement : le sol et l'eau. Côté recherche, intégrée à l'équipe EMFEED de l'UMR Agroécologie (AgroSup Dijon-CNRS-INRAE-Université de Bourgogne) je travaille sur l'étude des effets à moyen et long terme de l'action de l'homme sur la qualité des sols et des eaux. Depuis 2012, j'ai plus particulièrement mené des recherches portant sur l'impact des systèmes de culture sur la qualité des eaux : nitrates et produits phytosanitaires à l'échelle de parcelles et de bassins versants (projets Hyccare, PSDR4-ProSys, EcoPhytoP4).

Résumé. Le drainage a pour objectif d'évacuer rapidement l'excès d'eau de la partie supérieure du sol. Par conséquent il entraîne des perturbations dans l'environnement notamment en favorisant la lixiviation d'intrants. Le dispositif de Virey-le-Grand, conçu dans les années 1970 pour étudier les différentes modalités de drainage, a été ré-instrumenté et automatisé afin de travailler sur l'évaluation de l'impact des pratiques agricoles sur la qualité de l'eau. Cette ré-instrumentation associe des équipements robustes comme les augets basculants à de la technologie plus récente telle que les panneaux photovoltaïques et une centrale d'acquisition. L'évolution des technologies a permis de le rendre autonome en énergie et modulable dans son plan d'échantillonnage. Ce dispositif permet de faire le lien entre les intrants appliqués et les fuites d'intrants via le drainage vers le milieu aquatique à l'exutoire.

Mots clés : drainage, préleveur, augets basculants, centrale d'acquisition, panneaux photovoltaïques

Abstract. The drainage has the objective of evacuate rapidly the excess of water from the soil upper layers. Therefore it disturbs the environment and furthers input leaching. The device of Virey-le-Grand was conceived in the 1970s to study the different types of drainage. It has been re-instrumented and automated to work on the impact of agricultural practices on water quality. This re-instrumentation combines robust equipments like tipping buckets with recent technologies like photovoltaic panels and a data logger. The evolution of technology makes it energy independent and adjustable for the samplings. This device allows to study the link between the inputs applied and the inputs leaks via the drainage towards the aquatic environment to the outlet.

Keywords : drainage, sampler, tipping bucket, command center, photovoltaic panels

Le Cahier des Techniques de l'Inra 2021 (105)

Contexte général

L'objectif du drainage agricole souterrain est de contrôler le niveau de la nappe en favorisant l'évacuation de l'excès d'eau apportée le plus souvent par les précipitations. Les deux intérêts majeurs de cette technique sont la création de conditions favorables 1) à la partie racinaire de la plante en évitant l'anaérobie, 2) à la réalisation aisée de travaux agricoles mécanisés. En France, en 2010 les surfaces drainées représentent 10,5 % de la surface agricole utile soit environ 2,8 millions d'hectares (Agreste, 2014).

Les impacts de l'agriculture sur l'environnement sont de plus en plus étudiés. Les réglementations récentes de préservation de l'environnement (Plan Ecophyto, arrêtés nationaux et régionaux de la Directive Nitrates...) favorisent des modifications de pratiques qu'il est important d'étudier ; plus particulièrement l'impact de ces pratiques sur les flux d'eau et de micropolluants qu'elle transporte.

Le dispositif de Virey-le-Grand a initialement été conçu en 1974/1975 pour évaluer différentes modalités de drainage souterrain. Il était composé à l'origine 1) d'une parcelle agricole divisée en neuf sous-parcelles élémentaires, isolées hydrauliquement 2) d'une chambre de mesure enterrée située aux arrivées des collecteurs des systèmes de drainages des neufs sous-parcelles 3) d'augets basculants situés sous chaque collecteur permettant la mesure du débit. Entre 1988 et 2000 il a servi de support à une étude visant à caractériser les effets du drainage et des conduites culturales sur les lixiviations d'azote nitrique (Trouche *et al.*, 1999). Les connaissances acquises lors des précédentes expérimentations et la robustesse du système ont été les arguments principaux pour le remettre en fonctionnement afin d'évaluer l'influence des itinéraires techniques sur les flux d'azote ou de produits phytosanitaires à l'échelle de la campagne agricole.

Dans cet article nous présenterons la conception du système de caractérisation des débits qui, associé à un système de prélèvements automatisés, permet d'améliorer l'état des connaissances sur les flux d'azote et de pesticides issus de cette parcelle agricole.

Le site d'études

Le site est localisé sur une ancienne terrasse de la Saône, sur une parcelle de 10 hectares. Issue d'un ancien défrichage de forêt, elle est située à environ dix kilomètres au nord de Chalon-sur-Saône (46°52'24,8"N ; 4°52'02.1"E) au lieu-dit *Le Défriché*. Son sol est considéré comme pédologiquement homogène, il est constitué de quatre horizons distincts de texture majoritairement limono-argileuse (Tableau 1), fréquent dans la vallée de la Saône sous la dénomination de limon de Bresse ou limon battant (Trouche *et al.*, 1999). Le climat est de type continental sous influence océanique par l'Ouest et méditerranéen par le Sud. La pluviométrie annuelle moyenne entre 2000 et 2015 est de 725 mm (Station Météorologique Champforgeuil, 71).

Horizons (cm)	Sables (%)	Limons (%)	Argiles (%)	Textures	Structures	Couleurs
0-30	13,7	65,5	20,8	limono-argileuse	polyédrique	brun jaune (10 YR 5/4)
30-45	14,1	65,1	20,8	limono-argileuse	massive	brun foncé (7,5 YR 5/6) et brun très pâle (10 YR 7/3)

45-65	9,7	64,6	25,7	limon-argileuse	prismatique avec sous-structure polyédrique	brun foncé (7,5 YR 5/8) et brun jaune clair (10 YR 6/4)
65-90	14,0	60,2	25,8	limono-argileuse	prismatique	brun jaune (10 YR 5/8) et gris brun clair (10 YR 6/2)

Tableau 1 : Texture, structure et couleur des horizons du sol de la parcelle du Défriché (Trouche, 1981)

La parcelle du Défriché supporte l'ensemble du dispositif expérimental. Sa conduite en agriculture conventionnelle est réalisée par un agriculteur qui y applique les mêmes règles de décisions que pour le reste de son exploitation. Le dispositif expérimental, de 8 hectares, avait été installé afin d'évaluer l'efficacité de différentes modalités de mise en place de réseau de drainage (écartements, matériaux, sous-solage). Celui-ci se compose de neuf sous-parcelles isolées hydrauliquement par des drains de ceintures. Un collecteur pour chacune d'elles restitue l'eau issue de leurs antennes respectives dans le local de mesure situé à l'extrémité de la parcelle (Figure 2). En 2013, dans le cadre d'un projet de recherche portant sur les flux de pesticides issus de parcelles agricoles, il a été décidé de ré-instrumenter deux sous-parcelles : P5 et P6, ayant respectivement une surface de 0,43 et 0,46 ha, et une surface drainée et collectée par le dispositif de 0,35 et 0,42 ha. Les parcelles P5 et P6 présentent le même écartement entre les drains, douze mètres ; les drains sont nus et les tranchées non remplies de remblais poreux. Seule P6 a été sous-solée en automne 1979 (Trouche, 1981).

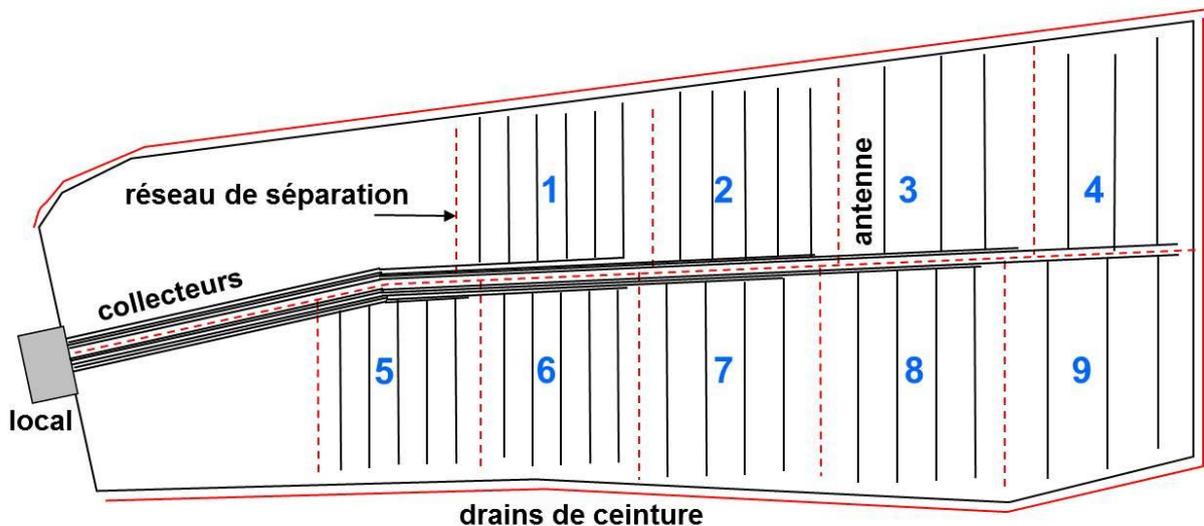


Figure 1. Schéma du dispositif expérimental

Les attentes et les contraintes

Connaitre les débits pour déterminer les flux de substances lixiviées

Le drainage agricole augmente le transfert des solutés, tels que l'azote ou les résidus de matières actives des produits phytosanitaires (Cartensen *et al.*, 2019). Ces flux correspondent à une masse de produits lixiviés (en g ou kg), par surface (en ha) et par unité de temps (généralement par an). Ainsi, pour les caractériser et les comparer à l'échelle pluriannuelle, il est nécessaire de déterminer les concentrations des solutés dans l'eau mais aussi le débit. La surface drainée et le pas de temps ne variant pas.

Le Cahier des Techniques de l'Inra 2021 (105)

Le débit (Q) correspond à un volume de liquide écoulé par unité de temps est exprimé en $L.s^{-1}$. La mesure du débit est essentielle pour calculer les différents flux impliqués dans les systèmes de cultures, tel que les flux d'azote ou de pesticides. Plusieurs techniques permettent d'effectuer cette mesure, tels que les déversoirs, les augets basculants ou les mesures d'hauteur d'eau. Le choix de la technique la plus appropriée dépend de la gamme de débit à mesurer (Benoist *et al.*, 2002). Ainsi les augets basculants, technique utilisée par exemple pour mesurer la pluviométrie, seront plus adaptés à des débits faibles (inférieurs à $1 L.s^{-1}$). Alors que les courbes de tarages (hauteur d'eau) seront plus adaptées à des débits élevés voir très élevés (plusieurs dizaines de $m^3.s^{-1}$).

Deux augets basculants en inox d'environ 17 L ont été fabriqués et positionnés à la sortie des deux collecteurs P5 et P6. Les basculements sont détectés par un capteur inductif étanche Wenglor® (IP68). Les augets pouvant être submergés lors d'évènements exceptionnels ce composant garantit la reprise de la mesure après de tels évènements. Les basculements sont enregistrés et traités par une centrale d'acquisition CR800 de Campbell Scientific installée hors d'eau. Les précédentes expérimentations avaient déjà fait le choix d'utiliser des augets basculants pour mesurer les débits. La pertinence de ce choix a été vérifiée en calculant le cumul de pourcentage de débit inférieur à $1 L.s^{-1}$ sur les campagnes où le pas de temps d'enregistrement des débits étaient proches du pas de temps choisit pour la remise en fonction. Ainsi sur 8 campagnes complètes avec un enregistrement toutes les 2 heures entre 1990 et 2000, 99 % des débits enregistrés sur cette période étaient inférieurs à $1 L.s^{-1}$ (Figure 2).

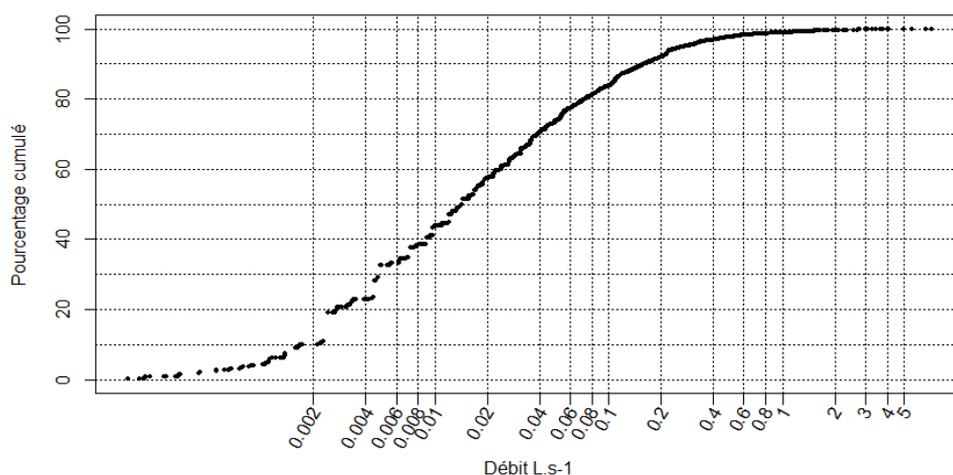


Figure 2. Pourcentage cumulé des débits moyens sur 2 heures observés sur 8 campagnes entre 1990 et 2000 ; les débits sont représentés sur une échelle logarithmique

Faire des prélèvements pour connaître les flux de solutés

Pour connaître les concentrations de ces contaminants dans l'eau de drainage il convient de mener des analyses chimiques sur des échantillons d'eau. Le prélèvement d'échantillons d'eau se fait couramment à l'aide de préleveurs automatiques programmables. Deux échantillonneurs ISCO 3700 avec 24 tubes de 300 mL ont été choisis pour leur grande souplesse dans les prélèvements. Ceux-ci peuvent être programmés en fonction d'un temps passé (ex : toutes les 24h) ou si l'échantillonneur est relié à un débitmètre, d'un débit seuil (ex : $>1 L.s^{-1}$) ou d'un volume passé (ex : tous les $10 m^3$). La programmation peut permettre de faire varier le volume de prélèvement ainsi que la répartition des prélèvements dans les tubes. Il est possible de réaliser plusieurs prélèvements dans un tube ou de répartir un prélèvement dans plusieurs tubes. Ceci pour permettre par exemple de collecter les volumes

minimums permettant les analyses au laboratoire. Les augets basculants associés à la centrale d'acquisition CR800 vont permettre de calculer les débits en continu. Le programme final choisi permet de réaliser un prélèvement de 250 mL dans un tube en fonction d'un volume passé seuil variant en fonction du débit.

Optimiser les prélèvements afin de réduire les déplacements

Le dimensionnement de l'expérimentation a nécessité l'étude des données des expérimentations précédentes. Il s'agissait de définir un plan d'échantillonnage adapté à la question scientifique mais également au budget du projet et soutenable par les équipes techniques du fait des déplacements à prévoir (environ 150 km aller-retour). Ces données historiques comprenant 15 campagnes de mesures de 1979 à 1996 ont permis d'identifier 2 périodes 1) une période où les volumes drainés étaient importants : de novembre à mai, 2) une période avec des volumes plus faibles de mai à octobre (Figure 3). Le mois d'août était réservé à la maintenance des appareils. L'étude pluriannuelle a permis de montrer de fortes variations des volumes drainés : annuellement ils varient de 200 à 2200 m³/mois/collecteur avec une moyenne de l'ordre de 750 m³/mois/collecteur. Ces données ont permis d'établir des prévisions de nombre de prélèvements par jour :

1) avec un prélèvement tous les 10 m³, le préleveur fonctionnera moins d'une fois par jour puisque dans 90 % des cas les volumes journaliers récoltés ne dépassent pas 10 m³, 2) le régime de forte crue représente les 10 % des débits les plus élevés, ainsi, dans 10 % des cas, le préleveur devra fonctionner 3 à 5 fois par jour, 3) en cas d'événements extrêmes les volumes récoltés pouvant atteindre environ 100 m³/jour, le préleveur devrait alors fonctionner au minimum 10 fois dans la journée. Toutefois ces événements extrêmes ne se sont produits que 5 fois en 10 ans sur P5 et 3 fois sur P6.

Au final cette stratégie d'échantillonnage tous les 10 m³ permet le suivi en période « normale » et en période de crue. Une sécurité a été ajoutée afin d'éviter de remplir trop rapidement les 24 tubes de l'échantillonneur lors d'événement exceptionnel : à un débit de 5 L.s⁻¹ appelé « débit de garde » les prélèvements se feront tous les 20 m³.

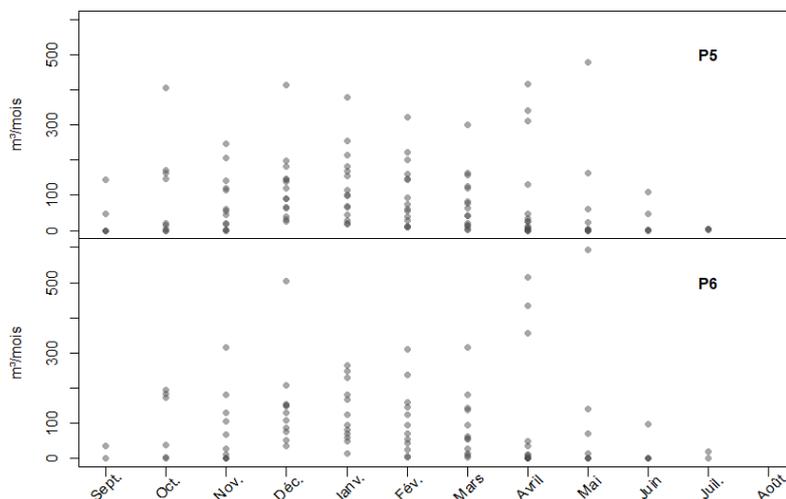


Figure 3. Distribution des volumes drainés par mois issus des mesures enregistrées entre 1979 à 1996. Deux mesures proches intensifient le niveau de gris du point.

Étalonnage des augets

Il a été montré que les volumes écoulés entre deux basculements des augets varient en fonction de la fréquence de basculements (Barrier *et al.*, 2006, Sypka, 2019) : le volume d'eau à l'intérieur de l'auget augmente quand la fréquence de basculement augmente. Ceci s'explique par deux phénomènes : 1) l'auget continue à capter de l'écoulement pendant son basculement, 2) lors de débits importants la force non négligeable du flux d'eau sur les parois de l'auget provoque son basculement prématurément. Autre phénomène à prendre en compte : plus l'auget aura un volume important plus le temps de remplissage et de basculement augmenteront ce qui entrainera un écart entre le débit attendu et le volume d'eau mesurée (Edwards *et al.*, 1974). Pour ces différentes raisons, le volume d'eau évacué par les augets entre deux basculements successifs varie en fonction du débit d'alimentation et de la conception du système. Un étalonnage en laboratoire (Figure 4), sur des débits compris entre $0 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ à $0.5 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$, soit plus de 95% des débits attendus (Figure 2) a donc été nécessaire avant leur installation.

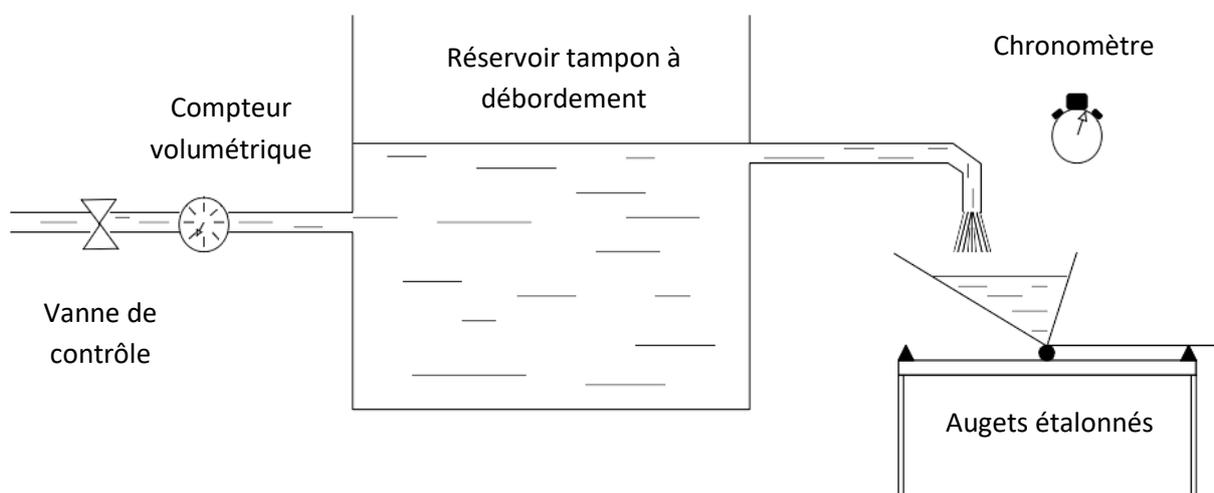
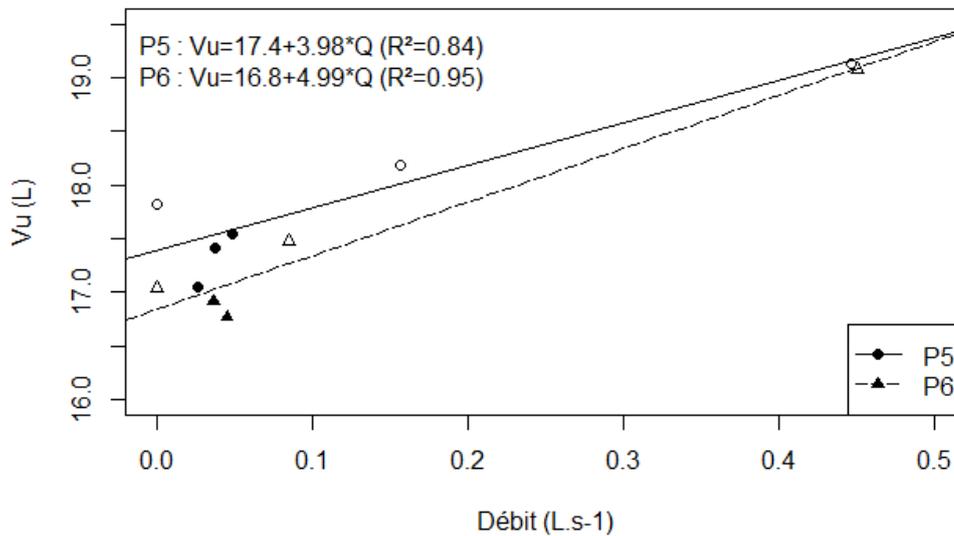


Figure 4. Installation permettant l'étalonnage des augets en conditions contrôlées au laboratoire

L'étalonnage a consisté à mesurer, pendant un temps déterminé, le volume d'eau écoulé du réservoir par débordement, pour un certain nombre de basculements d'augets. La relation entre le débit et le volume passé à chaque basculement peut être approchée par une relation linéaire.

Ainsi plus le débit est élevé, plus le volume permettant le basculement est élevé. Donc, la prise en compte, dans les différents calculs de débits et volumes, d'un volume constant de l'auget est une erreur. L'étalonnage en laboratoire a été complété par un étalonnage *in situ* de nos augets fait lors de débit dit normal, ce qui nous a permis d'affiner les équations pour chacun des augets (Figure 5).



*Figure 5. Volume d'eau dans l'auge (V_u) en fonction du débit.
L'étalonnage in situ sont les marqueurs pleins et en laboratoire les marqueurs vides.*

Le pilotage du dispositif

Gérer la variation de volume des augets

Comme expliqué précédemment, le dispositif doit assurer le suivi de période dite « normale » et de période de crue en pratiquant des prélèvements tous les 10 m³ pour des débits inférieurs à 5 L.s⁻¹ et lors d'événements exceptionnels il a été fait le choix de passer ce volume à 20 m³ soit pour des débits supérieurs à 5 L.s⁻¹. Comme le volume de l'auge varie avec le débit, il est impossible de prendre un volume constant d'auge pour le calcul de débits. Cette contrainte est paradoxale car dans les faits cela équivaut à mesurer une grandeur avec un instrument variant en fonction de la valeur de cette grandeur. Il a fallu intégrer cette variation du volume de l'auge lui permettant de basculer dans les calculs de débits. Deux méthodes existent pour cela, la première consiste à déterminer le temps de remplissage et de basculement de l'auge en fonction du débit, intégrant ainsi la partie de l'écoulement encore capté. La seconde consiste à compter le nombre de basculements pendant un pas de temps défini et de le comparer, à travers une table de recherche, aux nombres de basculement pour chaque classes de débits connues. Nous avons choisi d'utiliser la deuxième méthode car cela permet d'intégrer des valeurs sur un pas de temps long (chaque jour) cohérent avec la fréquence de prélèvement souhaitée et l'analyse des données à l'échelle de la campagne agronomique. A partir de l'équation de V_u des augets, des classes de volumes de basculements sont déterminées en fonction du nombre de basculements en 15 minutes pour la parcelle P5 et la parcelle P6. Cette table de recherche, intégrée dans une sous-routine du programme de la centrale d'acquisition, permet de déterminer le volume de l'auge en fonction de la fréquence de basculement sur 15 minutes. D'autres méthodes utilisent une table de recherche pour mesurer le volume de l'auge en fonction de l'écart de temps entre deux basculements (Sypka, 2019). Notre méthode est moins précise qu'un calcul d'une différence de temps entre les basculements. Ce manque de précision sur le calcul du débit est lissé à l'échelle de la journée.

Le Cahier des Techniques de l'Inra 2021 (105)

CR800 : Enregistrer les données et commander les prélèvements

La centrale d'acquisition CR800 de Campbell Scientific permet l'enregistrement des données du dispositif mais elle en est aussi l'organe de commande. La centrale effectue un scan toutes les quinze minutes. Ce scan permet de déterminer le volume en fonction du nombre de basculements. La centrale pilote les préleveurs : le nombre de basculements en quinze minutes détermine le volume V_u de l'auget à utiliser pour le calcul du débit drainé (Q). Le débit détermine si le dispositif se trouve sous régime normal ou sous régime exceptionnel (débit de garde : $Q > 5 \text{ L.s}^{-1}$). A partir du débit est calculé le volume écoulé (V_a). Ce volume est additionné et enregistré dans une table (V_t) et est comparé au volume seuil soit 10 m^3 soit 20 m^3 . Quand ce volume seuil ($V_t > 10 \text{ m}^3$ ou 20 m^3) est atteint le prélèvement est effectué. L'ensemble des opérations est synthétisé dans le « grafcet » (Figure 6). L'heure du prélèvement est enregistrée par la centrale. Un enregistrement est fait toutes les trois heures par parcelle. Il comprend le débit moyen sur trois heures, le volume d'eau drainé et le nombre de basculements. Cette configuration permet une grande adaptabilité du dispositif. Les volumes seuil (10 m^3 et 20 m^3) ainsi que le débit de référence (5 L.s^{-1}) peuvent être modulés en fonction des questions scientifiques et des contraintes techniques.

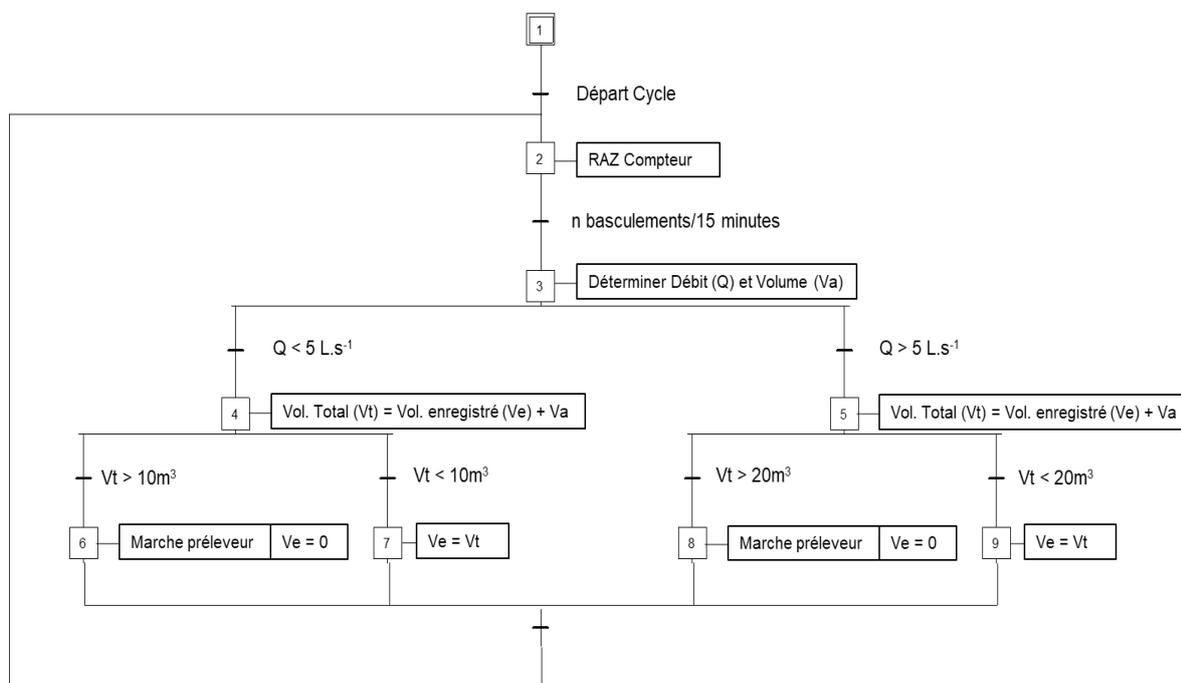


Figure 6 : « Grafcet » de la fonction permettant le déclenchement des prélèvements

Etre autonome en électricité pour alimenter le dispositif

L'absence de source d'électricité à proximité du site est une contrainte fréquemment rencontrée dans les dispositifs expérimentaux de terrain. La solution choisie dans le cas de notre dispositif est une alimentation par panneau solaire photovoltaïque et batterie de 12 V. Le dimensionnement de l'alimentation électrique doit répondre à la demande extrême de prélèvements évoquée ci-dessus : au moins 10 fois dans la journée. Un nombre de 12 sollicitations a été choisi pour assurer une marge de sécurité. Les caractéristiques des appareils issus des fiches techniques constructeurs (centrale d'acquisition et les deux préleveurs) permettent de déterminer la consommation

journalière. Celle-ci est égale à la puissance nécessaire pour maintenir les appareils en veille 24 heures additionnée de la puissance nécessaire pour faire l'ensemble des prélèvements. Le temps pour prélever un échantillon est de 2 minutes, soit 24 minutes pour 12 échantillons, arrondi à une demi-heure. La puissance totale sera majorée de 20 % pour compenser les pertes provoquées par le transport de l'électricité.

$$P_{\text{jour}} = ((I_{\text{veille centrale}} \times 24\text{h} \times U) + (I_{\text{veille préleveur}} \times 2 \times 24\text{h} \times U) + (I_{\text{prélèvement}} \times 0.5\text{h} \times 2 \times U)) \times 1.2$$

Avec : P_{jour} la puissance nécessaire pour 1 jour (en W/jour)

$I_{\text{veille centrale}}$: intensité de veille de la centrale (en A)

$I_{\text{veille préleveur}}$: intensité de veille du préleveur (en A)

$I_{\text{prélèvement}}$: intensité lors du prélèvement (en A)

U : tension (en V)

En se basant sur les documents techniques de la centrale et du préleveur, la consommation de courant en mode veille pour la centrale est de 30 mA dans le cas le plus défavorable et pour le préleveur de 10 mA. D'après les mêmes documents le préleveur a une consommation de 5 A durant le prélèvement. La consommation électrique nécessaire par jour est estimée à environ 90 W/jour. Le module photovoltaïque, ensemble de cellules photovoltaïques, permet la production en continu d'électricité en présence de lumière et est caractérisé par sa puissance maximale appelée watt-crête (W_c):

$$W_c = \text{besoin en énergie/coefficient d'ensoleillement}$$

La production d'électricité doit être excédentaire pour pouvoir stocker puis fournir de l'énergie lorsque la production devient déficitaire ou nulle. Le coefficient d'ensoleillement (en $\text{kWh/m}^2/\text{jour}$) de Virey-le-Grand en Saône-et-Loire varie de 1 en décembre 3,1 en juillet (Flynn *et al.* ;1996). Un coefficient de 1 est choisi car c'est en hiver que se font l'essentiel des prélèvements et que c'est aussi la période la plus contraignante en ensoleillement. Ainsi, la puissance de panneau requise est égale au besoin en production journalière c'est-à-dire 90 W_c . Ce résultat, fondé sur la valeur théorique astrale du coefficient d'ensoleillement, ne tient pas compte de la nébulosité. La capacité de la batterie, exprimée en ampère-heure (Ah), est la quantité d'énergie électrique qu'elle est capable de restituer après une charge complète. En utilisation continue elle est égale à :

$$Ah = \frac{\text{Puissance à stocker (en Wh)} \times \text{Autonomie (en J)}}{\text{Tension batterie (en V)}}$$

Un choix de 4 jours d'autonomie a été fait afin que le dispositif continue à fonctionner en cas de chutes de neiges recouvrant le panneau. De ce fait la batterie choisie a pour caractéristique : 12 volts et 30 Ah. Pour résumer, le dimensionnement de l'alimentation électrique correspond à un panneau photovoltaïque délivrant 90 W_c , un régulateur de charge avec une tension d'entrée et de sortie égale à 12 V et une batterie de 12 V et 30 Ah.

Applications et perspectives

Le dispositif a été mis en fonctionnement en septembre 2013. En six années d'exploitations, en plus des données de débit, un nombre d'échantillons d'eau conséquent (environ 750) a été récolté et analysé. Ces données ont permis d'étudier le vieillissement des réseaux de drainage ou les flux de transferts d'azote sur plusieurs campagnes agricoles. Et que les flux d'azote lessivé sont fonction de facteurs climatiques, de facteurs hydrologique (débits), et de facteurs cultureux (dates d'application des engrais, occupation du sol, types de cultures, gestion de la fertilisation

Le Cahier des Techniques de l'Inra 2021 (105)

azotée). Les atouts majeurs de ce dispositif pour son intégration dans de futurs programmes de recherches sont la disponibilité d'une base de données importante du fait de son historique et l'adaptabilité engendrée par la souplesse de programmation de la centrale et du préleveur. Cette capacité adaptative permettra à l'avenir d'intégrer un calcul de débit différent en se basant sur le temps que met l'auget à se remplir et à basculer et de comparer les deux méthodes. Cette plasticité permettrait aussi d'avoir un suivi plus fin des débits et de programmer des prélèvements plus fréquents pour, par exemple étudier les flux d'antibiotiques ou de bactéries issus des amendements (boues de STEP, fumiers, lisiers...) dans le sol.

Remerciements

Nous remercions M. Régis TÉTU pour nous donner accès à sa parcelle agricole et pour avoir accepté l'installation de ce dispositif expérimental. Nous remercions M. Fabrice MARTIN-LAURENT (directeur adjoint UMR Agroécologie) pour la lecture critique de ce manuscrit.

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 « Le Cahier des Techniques de l'Inra », la date de sa publication et son URL).

Bibliographie

Agreste (2014) Part de la superficie drainée dans la superficie agricole utilisée (SAU) en 2010.

Trouche G, Coquille JC, Pierson F, Chopinet B (1999) Bilan de 5 années de suivi des exportations de nitrate par les eaux de drainage agricole à Virey-le-Grand (Saône-et-Loire). *Journal Européen d'hydrologie*. 30(2) : 221-244.

Trouche G (1981) Aspect agronomiques et hydrodynamiques du drainage des sols à profil différencié du val de Saône. Thèse, Institut des sciences et de la terre de l'université de Dijon, 201p.

Benoist JC, Birgand F (2002) Les dispositifs de mesures des débits dans les bassins versants agricoles, *Ingénieries eau-agriculture-territoires*, Lavoisier ; IRSTEA ; CEMAGREF, p.51-63.

Barrier C, Klockiewicz M, Duprix P (2006) Création d'un banc destiné à l'étalonnage d'appareils de mesure de ruissellement « auget basculeur » en parcelle agricole, *Cahiers des Techniques de l'INRA n°58* : 27-34

Sypka P (2019), Dynamic real-time volumetric correction for tipping-bucket rain gauges, *Agricultural and Forest Meteorology* 271 : 158-167

Edwards IJ, Jakon WD, Fleming PM (1974) Tipping bucket gauges for measuring run-off from experimental plots, *Agricultural Meteorology* 13 : 189-201

Cartensen MV, Børgesen CD, Ovesen NB, Poulsen JR, Hvid SK, Kronvang B (2019) Controlled Drainage as a targeted mitigation measure for nitrogen and phosphorus, *Journal of Environmental Quality Abstract* 48(3) : 677-685.

Flynn RJ, Palz W, Page JK., Preuveneers G (1996) European solar radiation atlas Volume II: Global and Diffuse Radiation on Vertical and Inclined Surfaces, European Commission, EUR 9345.