



**HAL**  
open science

## Note technique d'implantation d'un réseau de pluviomètres en terrain viticole sur la côte de Beaune (France).

Basile Pauthier, Benjamin Bois, Thierry Castel, Yves Richard

► **To cite this version:**

Basile Pauthier, Benjamin Bois, Thierry Castel, Yves Richard. Note technique d'implantation d'un réseau de pluviomètres en terrain viticole sur la côte de Beaune (France).. *Climatologie*, 2014, 11, pp.34-46. 10.4267/climatologie.570 . hal-01217568

**HAL Id: hal-01217568**

**<https://hal.science/hal-01217568>**

Submitted on 12 Jun 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# NOTE TECHNIQUE D'IMPLANTATION D'UN RÉSEAU DE PLUVIOMÈTRES EN TERRAIN VITICOLE SUR LA COTE DE BEAUNE (FRANCE)

**Basile PAUTHIER, Benjamin BOIS, Thierry CASTEL & Yves RICHARD**

**Centre de Recherches de Climatologie**  
**Biogéosciences, UMR 6282 CNRS - Université Bourgogne Franche-Comté**  
6 bd Gabriel  
21000 Dijon – France  
*basile.pauthier@u-bourgogne.fr*

## Résumé

La mesure précise des précipitations est indispensable dans de nombreux domaines et en particulier en viticulture. En domaine viticole, les précipitations sont généralement mesurées par des pluviomètres formant des réseaux peu denses. Dans le cadre du projet Hydravitis, un réseau de 45 pluviomètres a été implanté sur une zone de 28 km<sup>2</sup> située au nord de Beaune (Bourgogne, France). La méthodologie mise en œuvre est présentée pour chacune des étapes (choix du matériel, contrôle en laboratoire, détermination des sites, installation et entretien, contrôles *in situ*) de l'implantation de ce réseau. En perspective, le réseau Hydravitis devrait permettre de traiter de multiples questions sur la variabilité spatiale des précipitations au niveau de la zone d'étude et de fournir une base de données permettant la validation d'outils de télédétection comme les systèmes radar météo ou d'outils prédictifs comme les modèles climatiques régionaux ou phytosanitaires.

**Mots-clés** : Pluviomètres, implantation, contrôle, réseau, haute densité.

## Abstract

### **A technical note on a rain gauge network over the Beaune grapevine area**

Accurate rainfall measurement is a key climate variable needed in many fields and particularly in viticulture. In winegrowing regions, precipitations are, most of the time, measured by sparse rain gauges networks. As part of the Hydravitis project, a 45 rain gauges network was implemented in a small zone located at the North of the city of Beaune (Burgundy, France). The methodology is developed for every step (equipment selection, laboratory control, site selection, implementation and maintenance, field controls) of the rain gauges network implementation. For future works, this network should allow to answer to many questions concerning spatial variability of precipitations at local scale. It can also provide useful data for validation of remote sensing data like weather radar systems or predictive tools like phytosanitary or regional climate models.

**Key-words**: Rain gauges, implementation, control, network, high density.

## Introduction

Localement, des découplages atmosphériques peuvent se produire (Daly *et al.*, 2010) et moduler fortement le climat (e.g. inversion de température, très forte variabilité du cumul de pluie) sur quelques centaines (Clements *et al.*, 2003), milliers (Diodato, 2005) ou plusieurs dizaines de milliers de mètres (Johansson et Chen, 2003). C'est notamment à très fine échelle (de quelques mètres à quelques centaines de mètres) que le lien entre les états de surface (relief, sol et occupation du sol) et l'atmosphère se noue pour former des microclimats, avec des conséquences multiples sur les agro-, les écosystèmes et l'hydrologie (Bonan, 2008). Cette variabilité climatique spatio-temporelle reste sous documentée à très fine échelle (Prudhomme et Reed, 1999 ; Ciach et Krawjewski, 2006). Récemment, l'utilisation de radar météo a permis de compléter les mesures *in situ* pour estimer des lames d'eau à haute résolution spatio-temporelle (Tabary *et al.*, 2007). La précision et la portée de la mesure radar dépendent toutefois de nombreux paramètres (longueur d'onde, polarisation, site de prospection,

résolution temporelle ; Le Bouar *et al.*, 2001). De plus, la relation entre l'intensité du signal reçu par le radar et l'intensité des précipitations varie pour chaque événement pluvieux (Sauvageot, 1994 ; Tabary *et al.*, 2007). Enfin, dans les régions pour lesquelles le relief limite la portée de la mesure radar, ou dans celles où cette technologie n'est pas encore disponible, l'implantation d'un tel dispositif implique des coûts considérables et une ingénierie complexe. Dans tous les cas, les cumuls estimés, ainsi que l'inversion de cette mesure, requièrent une calibration à partir de mesures au sol.

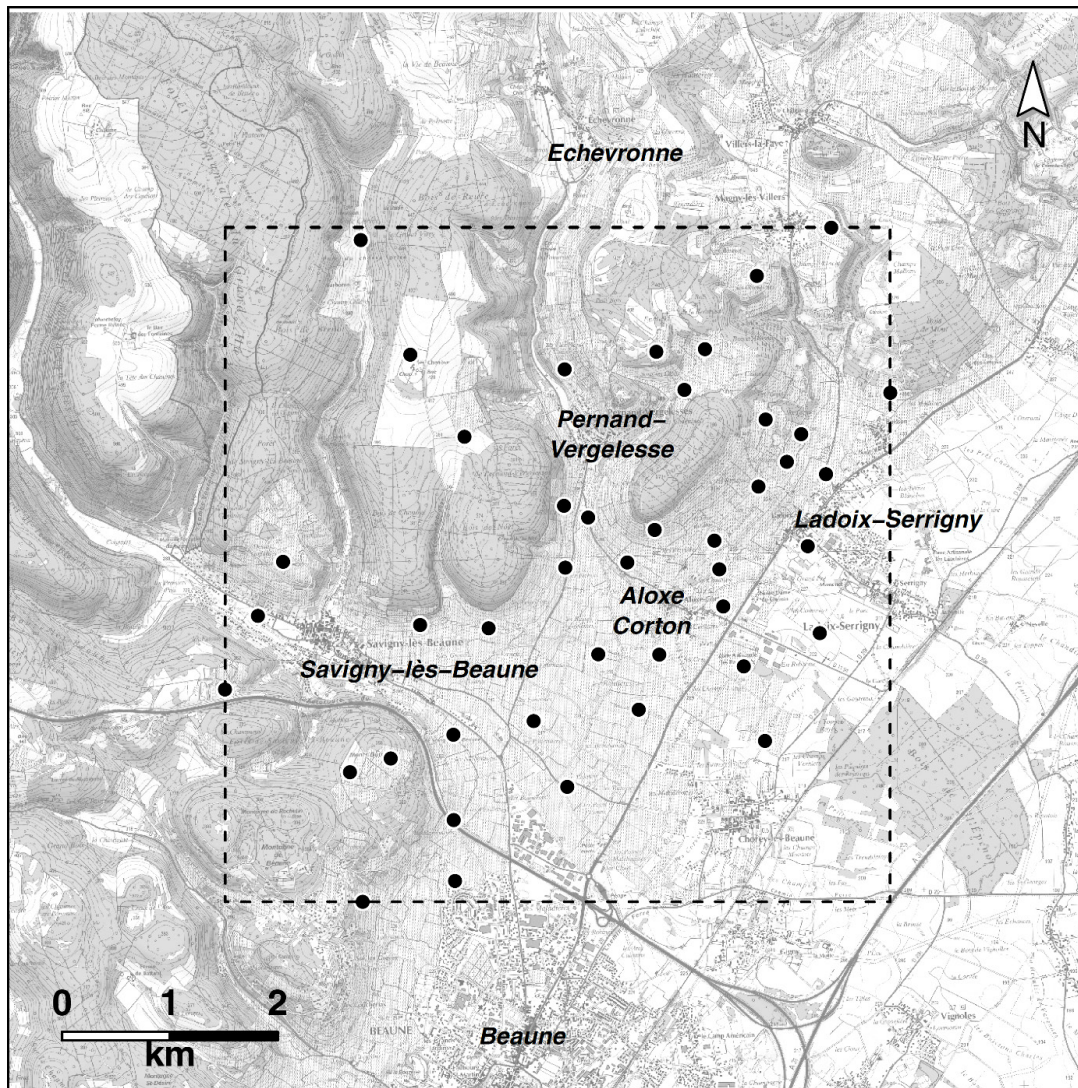
Une mesure efficace et précise de la répartition des précipitations peut s'avérer essentielle, en particulier pour la viticulture (Nieuwolt, 1982 ; Graef et Haigis, 2001 ; Bois, 2007). Plusieurs outils permettent cette mesure. En milieu viticole, la pluie est généralement enregistrée par le biais de pluviomètres répartis sur l'exploitation ou la région viticole. La densité des réseaux varie d'un pluviomètre pour plusieurs hectares, voire pour plusieurs dizaines ou centaines d'hectares. Sur la côte de Beaune (Bourgogne, France), le projet Hydravitis vise à documenter la variabilité spatio-temporelle pédo-climatique. Un des objectifs est la caractérisation du bilan hydrique en situation de relief moyennement contrasté. En Bourgogne viticole, comme dans tous les vignobles non irrigués, ce bilan est fortement dépendant des précipitations représentant l'unique apport en eau pour la vigne. Les précipitations jouent un rôle clé dans le développement de plusieurs maladies de la vigne (Dubos, 2002). La faible densité des réseaux de pluviomètres est bien souvent une condition limitant l'interprétation de la variabilité spatio-temporelle des données pour quantifier des éléments clés (e.g. bilan hydrique), ou pour la prise de décisions rapides et différenciées (e.g. traitements phytosanitaires).

Cette note technique présente, sur une zone de 28 km<sup>2</sup> située en Bourgogne viticole, au nord de Beaune, centrée sur le village viticole d'Aloxe-Corton, le déploiement d'un réseau de 45 pluviomètres autonomes à augets basculants (figure 1). Ce dispositif, qui est l'une des composantes du projet Hydravitis (projet financé par la région Bourgogne ainsi que le Bureau Interprofessionnel des Vins de Bourgogne sur la période 2011-2016), sera nommé réseau Hydravitis dans la suite de l'article. Il vise à mesurer la variabilité des pluies à l'échelle topo-climatique pour des pas de temps allant de l'événement (quelques heures) à l'annuel. Cette note comporte une présentation des performances du matériel retenu éprouvées via des tests, des contraintes et caractéristiques d'implantation, et elle propose des préconisations en termes de maintenance. Une première partie présente différents types de pluviomètres et plus particulièrement, ceux à augets basculants. La seconde partie liste les erreurs associées aux pluviomètres à augets basculants. La troisième présente le processus de contrôle, sur le terrain et en laboratoire, permettant d'évaluer la précision du matériel. Enfin, la quatrième partie expose les critères ayant guidé leur implantation. Le premier retour d'expérience sur les éléments clés de la mise en place d'un tel dispositif est repris en conclusion.

## 1. Principaux types de pluviomètres

### 1.1. Les principaux types et leurs caractéristiques techniques

Les pluviomètres manuels sont, dans l'ensemble, bon marché (environ trente euros pièce). Ils ont l'avantage d'être extrêmement simples d'utilisation. L'évaporation, la lecture directe et leur forme conique les rend sensibles à l'action du vent qui modifie la trajectoire des précipitations et biaisent les mesures (Leroy, 2000). Ces pluviomètres demandent également des relevés quotidiens ou quasi quotidiens, ce qui représente une charge de travail considérable lorsque de nombreux pluviomètres sont installés. Ce type de dispositif ne permet pas de disposer d'une résolution temporelle suffisamment fine pour les événements pluvieux courts, *i.e.* se produisant entre deux relevés quotidiens.



**Figure 1** : Cartographie du réseau Hydravitis. Rond noir : emplacement de chaque pluviomètre. *Hydravitis network map. Rain gauge location: black point.*

Les pluviomètres automatiques à pesée sont les plus onéreux (minimum 500 euros). Ils fonctionnent grâce à une jauge qui pèse un récipient qui bascule une fois plein. Ce type de pluviomètre réduit considérablement les manipulations. Leur partie électronique connaît malheureusement des risques élevés de défaillance (Nayak *et al.*, 2008). Les jauges utilisées se dérèglent assez souvent, ce qui nécessite des tarages fréquents. Malgré ces limites, ces pluviomètres restent les plus précis avec une erreur maximale moyenne de 8 % (Wagner, 2009). Notons qu'ils présentent les meilleurs résultats en cas de précipitations solides (grêle, neige...), ce qui est un atout en climat froid.

## 1.2. Les pluviomètres à augets basculants

Les pluviomètres automatiques à augets basculants sont les plus répandus au sein des services météorologiques. Ils fournissent une mesure fiable avec une incertitude maximale moyenne de 10 % (Leroy, 2000). Leur nom est lié au mécanisme comportant deux augets qui alternativement basculent une fois remplis d'eau. Ce principe de mesure relativement simple, repose sur peu d'électronique limitant les risques de défaillance. Ils demandent cependant un entretien régulier afin d'éviter au collecteur de se boucher. Le nettoyage des augets sur lesquels peut se déposer de la poussière ou dans lesquels les insectes se réfugient parfois

nécessite des interventions fréquentes. C'est ce type de pluviomètre qui a été retenu et déployé pour le réseau Hydravitis.

### 1.3. Les pluviomètres Rainew 111 (Rainwise® inc)

Dans le cadre du projet Hydravitis, le choix s'est porté sur les pluviomètres Rainew 111 (Rainwise® inc). Quarante pluviomètres ont été installés en janvier 2012 et cinq en avril 2014. Afin d'enregistrer les données, chaque pluviomètre est relié à un enregistreur d'événement Hobo-pendant® UA-003-64 (société Onset). Ces enregistreurs sont équipés de thermistances mesurant la température de l'air avec une résolution de 0,14°C selon une précision de 0,5°C (données constructeur). Ce modèle de pluviomètre a été choisi pour 1) ses performances, 2) sa simplicité d'utilisation et 3) son coût modéré (200 euros l'ensemble pluviomètre + sonde). L'erreur liée à l'effet du vent, à la forme cylindrique et à l'absence de pare-vent est estimée entre 5 à 10 % (Sevruk et Hamon, 1984) dans le cas de vents forts. Les effets de dérive temporelle sont limités car un redémarrage de la sonde est effectué à chaque relevé, ce qui permet de caler sa base temporelle sur l'horloge de l'ordinateur utilisé. Ces pluviomètres sont constitués de plastique noir favorisant l'évaporation sur les parois des collecteurs (Photo 1). L'absence de système de chauffage oblige à négliger les épisodes neigeux, ce qui a des conséquences sur l'estimation de la lame d'eau hivernale. Ce biais pourra être estimé à partir de la station Météo France de Dijon. Il est envisagé d'ajouter au dispositif un pluviomètre possédant un système de chauffage ou un disdromètre.

**Photo 1** : Contrôle d'un pluviomètre sur le terrain sur la côte viticole de Pernand Vergelesses : test de la pluie modérée. *Field control of a rain gauge: moderate rain test step.* (cliché : B. Pauthier, 2013).



## 2 Les biais instrumentaux

La littérature distingue quatre grands types de biais associés à ces matériels (Richter, 1995).

### 2.1. L'erreur de mouillage

La manifestation de cette erreur de mouillage est liée au fait qu'une partie de l'eau qui tombe dans le collecteur reste sur ce dernier ou sur la grille de protection. L'eau restante n'est donc pas mesurée. Cette erreur est estimée inférieure à 0,1 mm par événement (Leroy, 2000) mais peut atteindre 0,2 mm (Sevruk, 2004). L'erreur de mouillage varie également en fonction du type de précipitations et de l'environnement autour du pluviomètre (Goodison *et al.*, 1989 ; Yang *et al.*, 1999 ; Sevruk, 2004).

### 2.2. L'évaporation

En climat tempéré, l'évaporation au printemps et en été après un événement pluvieux peut fortement affecter la mesure (Legates *et al.*, 2005 ; WMO, 2008b) suite aux imprécisions induites :

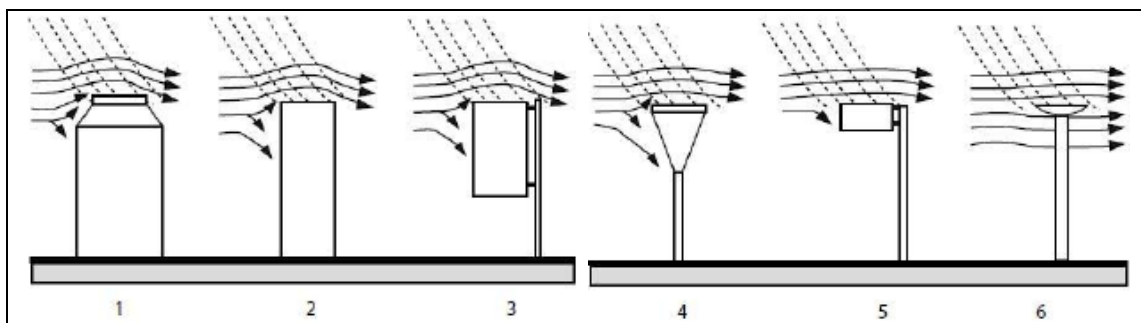
- **par l'évaporation de l'eau résiduelle restant sur le collecteur** accentuée en cela par la capacité de conduction de la chaleur du matériau de construction. On estime ce biais à un maximum de 0,5 % de l'événement pluvieux (Leroy, 2000). L'impact de cette évaporation est dans le cas d'averses (orageuses ou non) dépendant de leur intensité. Le biais relatif est inversement proportionnel à l'intensité et au volume total de la pluie ;

- **par évaporation de l'eau dans l'auget** (cf. §2.4 sur le remplissage).

Ces deux types d'erreurs sont intimement liés, car plus l'évaporation est importante, plus l'erreur de mouillage l'est également.

### 2.3. L'efficacité de la captation

Plusieurs éléments impactent cette efficacité. L'inclinaison de la surface de captation modifie la quantité de pluie interceptée. Un défaut de 10° diminue la surface horizontale d'interception de 2 % (Leroy, 2000). Cet effet est également influencé par la vitesse du vent. En l'absence de vent, l'erreur est limitée à la tolérance de la surface de captation (< 5 %). Selon Wagner (2009), le vent, en modifiant la captation, est la principale source de sous-estimation des précipitations. En présence de vent, les filets d'air sont déformés par le pluviomètre, lui-même modifiant ainsi la trajectoire des gouttes d'eau et leur interception. L'effet de la vitesse du vent est à prendre en compte lors de l'analyse des données pluviométriques. L'amplitude de cet effet est fonction de la forme des pluviomètres (figure 2).



**Figure 2 :** Différentes formes de pluviomètres. Trait plein : trajectoire du vent ; pointillés : trajectoires des gouttes d'eau. *Different rain gauges shapes. Full lines: trajectories of the wind; dotted lines: trajectories of water drops.* (d'après WMO, 2008a).

Les précipitations « traces » (cumul inférieur à la résolution du pluviomètre) ou « occultes » (rosée, givre, gelée blanche) ne sont pas enregistrées par les pluviomètres à augets basculants. Cette erreur est le plus souvent rencontrée en climat polaire ou prévaut lors de très faibles épisodes neigeux. Enfin, la nature des précipitations est également à prendre en compte. La neige se présentant sous forme de flocons est plus légère, donc plus aisément déviée par le vent. Une fonte rapide peut également engendrer une erreur liée aux pertes lors de fortes intensités (Upton et Rahimi, 2003). Des systèmes de chauffages conçus pour les pluviomètres à augets basculants existent mais leur intérêt est qualifié comme « très pauvre » (Goodison *et al.*, 1989). Pour un vent de 5 m/s avec de la neige, l'erreur est d'environ 10 %, de 25 % avec un vent de 10 m/s (Leroy, 2000) et peut atteindre 80 % (Sevruk, 1996).

### 2.4. Les erreurs liées à l'auget

Les cinq points listés ci-dessous résument ces erreurs.

**1) Le remplissage :** en fin d'événement pluvieux, l'auget peut se retrouver presque rempli et ne pas basculer. La quantité restante est mesurée sur l'épisode suivant. Suivant

l'intervalle entre deux épisodes, une partie voire la totalité de l'eau contenue dans l'auget peut s'évaporer. Cette erreur est une des principales causes d'une sous-estimation de la lame d'eau estivale aux moyennes latitudes (Seibert et Morén, 1999).

- 2) **L'équilibre des augets** : les augets d'un pluviomètre doivent être réglés ou testés avant l'implantation, de telle façon que le volume correspondant à un basculement soit connu. La tolérance par rapport au volume désiré ou indiqué par le constructeur est de 3 % (Leroy, 2000). Un auget sous-réglé peut être compensé par le second à condition que le déséquilibre entre les deux ne dépasse pas 10 %.
- 3) **Le nivellement** : l'implantation correcte d'un pluviomètre doit passer par un contrôle et un ajustement du niveau de l'ensemble collecteur/plateforme à augets. Le niveau du pluviomètre doit être à l'horizontale à +/- 3 % (Leroy, 2000).
- 4) **Le mouillage** : le réglage des augets doit être effectué avec les augets "mouillés", c'est-à-dire avec des augets ayant déjà effectué quelques basculements après remplissage. Un réglage fait sur des augets secs peut induire une erreur de 10 % (Leroy, 2000). Ce biais s'ajoute à l'erreur de mouillage vue précédemment.
- 5) **La perte à forte intensité** : les pluviomètres à augets basculants sont connus pour sous-estimer les précipitations de forte intensité (Humphrey *et al.*, 1997 ; Nystuen, 1999 ; WMO, 2008b). En effet, le temps de basculement d'un auget à l'autre suffit à perdre de l'eau. La perte augmente avec l'intensité jusqu'à arriver à un seuil correspondant au débit maximum de l'orifice du cône collecteur (qui varie en fonction du constructeur), seuil rarement atteint toutefois.

## 2.5. Autres sources potentielles d'erreur

- **Le système d'acquisition** : des pannes électroniques peuvent survenir sur le matériel. Il s'agit d'erreurs du dispositif de transduction ou d'enregistrement et de stockage des données. Avec un entretien régulier (*a minima* mensuel), l'erreur liée à ce type de problème peut être réduite, mais les pannes électroniques restent la cause principale de données manquantes dans les bases de données élaborées à partir des pluviomètres à auget.
- **La base de temps** : une dérive temporelle de la base de temps peut introduire des décalages de l'ordre de quelques secondes à quelques minutes par rapport au temps réel à l'instant  $t$  que représente le relevé des données. Ces erreurs peuvent être préjudiciables dans le cas d'événements de courte durée (de l'ordre de quelques minutes), car les données vont être décalées dans le temps (Leroy, 2000). Ceci complique les comparaisons avec d'autres séries dont la base de temps est stable (par exemple une lame d'eau radar). La seule solution est de recalibrer la base de temps des sondes à chaque relevé afin de limiter la dérive temporelle.
- **Le pluviomètre bouché ou encombré** : poussière, feuilles, insectes, déjections d'oiseaux voire proies de rapaces, sont autant de facteurs conduisant au bouchage d'un pluviomètre (Sevruk, 1996 ; Chvila *et al.*, 2005). Cette liste est non exhaustive et d'autres facteurs peuvent apparaître en fonction du milieu. Seul un entretien régulier peut réduire ce problème. Météo France préconise un nettoyage au minimum tous les six mois (Leroy, 2000).

Ce court récapitulatif montre que la mesure précise des précipitations est un exercice complexe qui obéit à des règles strictes et conditionnées par le type de matériel employé et le type de milieu.

### 3. Contrôle des pluviomètres

Nous avons procédé à deux contrôles de qualité des pluviomètres. Le premier a été effectué sur le terrain, le second en laboratoire suivant une méthode s'inspirant de celle proposée par Humphrey *et al.* (1997). Afin de procéder à ces contrôles, la première chose fût de déterminer, en laboratoire, la résolution d'acquisition du pluviomètre, *i.e.* convertir le volume en équivalent millimètres. Nous avons pour cela utilisé une burette graduée de 25 ml d'une précision de 0,1 ml. L'expérience a été faite sur 3 pluviomètres sélectionnés aléatoirement sur lesquels 60 mesures de basculements ont été réalisées. Les résultats de ce premier contrôle donnent un volume moyen d'auget de 8,605 ml, pour une superficie du collecteur de 0,032 m<sup>2</sup>, soit une résolution de 0,258 mm, à savoir une valeur proche de la donnée constructeur de 0,254 mm.

#### 3.1. Contrôle sur le terrain

Ce contrôle a été réalisé au moment de la mise en place du réseau. Ce contrôle repose sur deux points complémentaires : 1) le test d'équilibre des augets et 2) le test de la pluie modérée.

- 1) **Le test d'équilibre des augets** utilise une pipette automatique dont la contenance est supérieure à celle d'un auget (capacité maximale d'un auget de pluviomètre Rainwise® fixée à 8,605 ml) avant basculement. Une pipette de 10 ml d'eau distillée a servi à injecter le volume d'eau correspondant à celui d'un auget afin de vérifier si la bascule se produisait bien au volume correspondant à la résolution d'acquisition. Dans 92,5 % des cas, le volume des augets correspondait à celui établi en laboratoire, ce qui indique un bon équilibre des augets. Pour les 7,5 % restants, un problème venant d'une mauvaise mise à niveau du pluviomètre a été détecté. Une réinstallation a alors été faite avant l'application d'un nouveau test montrant que le problème était résolu.
- 2) **Le test de la pluie modérée** consiste en une simulation de pluie (~14 mm/h) à l'aide d'un bidon d'eau dont le bouchon est composé d'une membrane en caoutchouc percée en son centre et sur laquelle vient se positionner une buse métallique permettant de concentrer le flux d'eau. Ce matériel a été prêté par le Bureau Interprofessionnel des Vins de Bourgogne (BIVB) qui l'utilise régulièrement pour le contrôle des stations climatiques. Pour maintenir le bidon, un support en bois s'adaptant sur le pluviomètre a été conçu sur mesure (photo 1). Un volume de 250 ml d'eau distillée a été introduit avec une éprouvette graduée (précision +/- 2 ml) dans le bidon qui a ensuite été placé dans le pluviomètre. Les données ont été collectées suite à la manipulation afin d'être compilées et traitées en laboratoire.

Les résultats montrent une précision élevée des pluviomètres sur le terrain, puisqu'associée aux 7,054 mm que représentent 250 ml d'eau, l'écart-type est de 0,45 mm et l'erreur relative de 0,25 %. Cette précision confirme la performance des pluviomètres

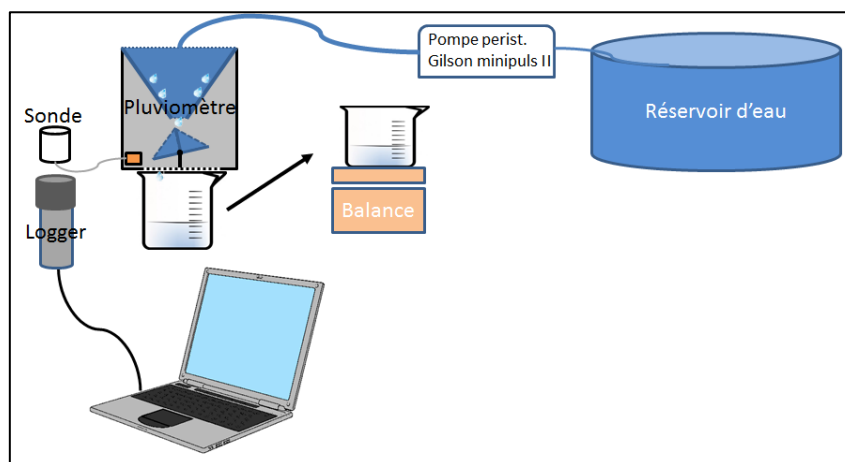
#### 3.2. Contrôle en laboratoire

En complément du contrôle *in situ*, une expérience de contrôle en laboratoire a été conduite. Les pluviomètres à augets basculants sont réputés pour sous-estimer les précipitations (Nystuen, 1999), et particulièrement les précipitations intenses (cf. §1.2.). Les conditions du contrôle sur le terrain ne permettant pas de faire varier et de contrôler précisément l'intensité des précipitations, nous avons choisi de réaliser un contrôle en laboratoire en utilisant la méthode de Humphrey *et al.* (1997). Cette méthode utilise une pompe péristaltique afin de simuler plusieurs intensités pluviométriques et de mesurer la



capacité des pluviomètres à enregistrer ces différentes précipitations. Trois points dans le dispositif ont fait l'objet d'une attention particulier :

- 1) **Le dispositif de contrôle** basé sur une reproduction aussi fidèle que possible de l'installation de Humphrey *et al.* (1997). Est utilisée une pompe péristaltique Gilson minipuls 2 alimentée en eau distillée par un réservoir d'une capacité de 1,5 l (figure 3). Ce dernier était rempli régulièrement. L'enregistrement des données s'est fait via la sonde d'événement Hobo-pendant® UA-003-64. Le débit de la pompe réglé par pesée sur une balance de précision s'est fait par l'intermédiaire d'un béccher dans lequel l'eau s'écoule durant un temps défini. Le béccher est ensuite pesé afin d'estimer le volume injecté par la pompe sur la période ;



**Figure 3** : Schéma récapitulatif des composants du système d'étalonnage automatique de pluviomètres à augets basculants. *Components of the rain gauges automatic calibration system.*

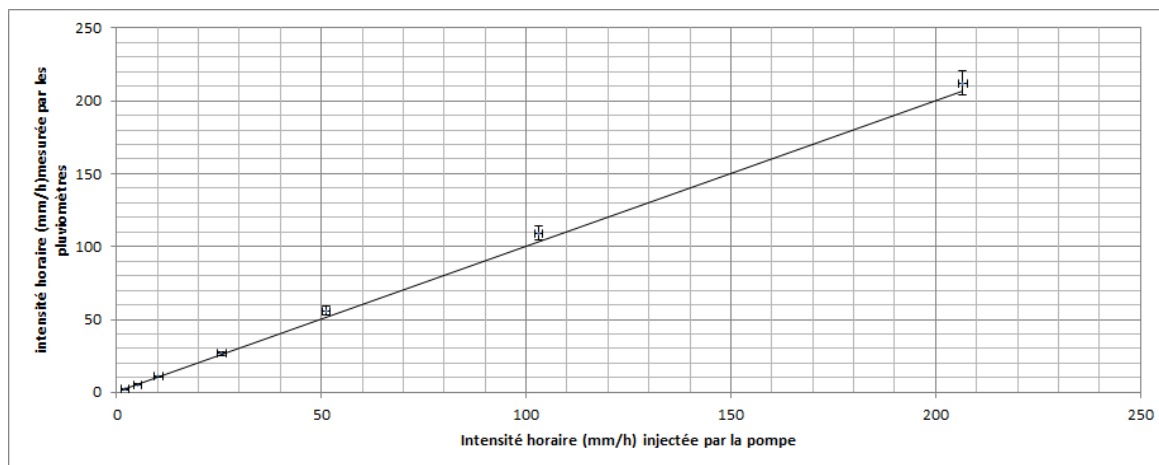
- 2) **Le contrôle aléatoire de dix pluviomètres** du réseau Hydravitis. Sept intensités de pluie 2, 5, 10, 25, 50, 100 et 200 mm/h ont été testées. Les débits étaient réglés à la pompe par pesée à 0,01 mg près sur une balance de précision de type ABT-220-5DM. La tolérance admise de réglage de la pompe est de 0,2 ml/min, soit 0,36 mm/h au maximum. Un contrôle type s'appuie sur les trois étapes suivantes : *i*) la mise en marche de la sonde, *ii*) l'introduction du tuyau de sortie de la pompe dans le collecteur du pluviomètre et le démarrage simultané du chronomètre, *iii*) le retrait du tuyau au bout d'une heure et la récupération des données ;
- 3) **Le contrôle de la pompe péristaltique** qui requière un temps de mise en route avant de délivrer un débit constant. Ce temps varie en fonction des débits réglés à la pompe. Cette variable n'étant pas connue avant le contrôle et, afin de corriger les erreurs liées à ces temps d'inertie, les temps nécessaires à la pompe pour atteindre un débit régulier ont été testés. Un coefficient de correction est ensuite calculé à partir d'un débit initial ( $t = t_0$ ) correspondant à celui utilisé pour le contrôle. Ensuite, le débit est mesuré toutes les quinze minutes, pour suivre l'évolution de la pompe. Cette mesure est réalisée jusqu'à stabilisation du débit à la pompe (*i.e.* mesures égales pendant quarante-cinq minutes). Le coefficient de correction est calculé de la manière suivante :

$$\text{Coeffcorr} = q(t = t_0)/q(t)$$

Avec Coeffcorr = coefficient de correction du débit de la pompe à l'instant  $t$  ;  $q(t=0)$  = débit mesuré à la pompe à  $t=t_0$  ;  $q(t)$  = débit mesuré à la pompe au temps  $t$ .

Chaque coefficient a été ensuite utilisé en fonction de l'état de la pompe au moment du contrôle (défini en fonction de l'heure indiquée dans les fichiers).

Les résultats du contrôle (figure 4) montrent que pour des intensités faibles (de 2 à 10 mm/h), les pluviomètres retranscrivent très bien les débits injectés (écarts-types < 1 mm/h). Pour les intensités de 25, 50 et 100 mm/h, les performances restent de qualité, avec des écarts-types respectivement de 0,56, 1,13 et 1,66 mm/h. L'écart le plus important est observé pour un volume injecté de 200 mm/h avec un écart-type de 8,3 mm/h, soit 4,2 %. Ceci peut s'expliquer par le phénomène de pertes à forte intensité avec un temps de basculement des augets trop long par rapport au flux d'eau provenant du collecteur.



**Figure 4** : Écarts entre intensité mesurée et injectée par la pompe (représentée par la fonction  $f(x)=x$ ). Barres verticales et horizontales : écarts types. Mesures effectuées en laboratoire, les écarts types sont calculés sur la base de dix mesures pour chaque intensité. Differences between measured and pump injected intensity (pump is represented by the function  $f(x)=x$ ). Vertical and horizontal bars: standard deviations. These measure were made in laboratory, every deviations are performed from ten measure for every intensity.

Par comparaison avec l'étude de Humphrey *et al.* (1997), qui ont testé plusieurs modèles de pluviomètres, les pluviomètres Rainwise®, avec une erreur de sous-estimation moyenne de 2,56 %, ont obtenu de meilleurs résultats que les pluviomètres NovaLynx (pourtant les plus performants selon cette même étude) dont l'erreur associée est de l'ordre de 7,5 %. Les pluviomètres Rainwise® sont donc performants pour l'enregistrement d'événements que l'on pourrait qualifier de « standards », majoritaires sur l'ensemble de la France hors pourtour méditerranéen (événements cévenols). Rares sont les événements présentant une intensité supérieure à 200 mm/h en Bourgogne. Même si une telle intensité peut être observée, elle dure très peu de temps et n'occasionne *in fine* que des cumuls assez faibles. Mizrahi (1998) a choisi un seuil de 20 mm pour étudier les précipitations quotidiennes intenses, seuil qui correspond au percentile 98 et qui a été établi par Météo France pour la Bourgogne et le Centre de la France.

Les écarts observés suite aux contrôles réalisés indiquent des erreurs négligeables pour des cumuls de 20 mm/h, pour les pluviomètres Rainwise®. Ils peuvent donc être considérés comme fiables dans des conditions expérimentales de laboratoire. Dans les conditions *in situ*, les problèmes associés au vent et à la neige subsistent.

## 4. L'implantation du réseau de pluviomètres Hydravitis

### 4.1. Les contraintes liées à l'environnement local

Selon les recommandations de l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM), le lieu d'implantation d'un pluviomètre doit être dégagé de tout obstacle, avec une végétation rase, ou bien encore entouré d'obstacles homogènes (WMO, 2008b). Dans le cas du réseau

Hydravitis, les pluviomètres sont localisés dans des parcelles de vigne. Les rangs de vignes, de même hauteur et espacés uniformément pour une parcelle donnée, représentent un obstacle homogène. La localisation des pluviomètres dans un vignoble a conduit à tenir compte de certains éléments en lien avec les pratiques viticoles. L'implantation a nécessité l'accord des viticulteurs et imposé que le travail de la vigne soit peu perturbé. Pour certains pluviomètres, les conditions météorologiques recommandées ne sont pas rencontrées avec la présence à proximité de quelques obstacles (arbres ou constructions). Afin de limiter l'effet d'abri, Météo France conseille de placer les pluviomètres à une distance d'au moins dix fois la hauteur de l'obstacle le plus proche ou trois fois au minimum dans les cas où ce critère ne peut pas être respecté.

Pour 41 des 45 pluviomètres, les recommandations sont respectées. Trois types d'implantations ont été sélectionnés. Les piquets de tête d'une rangée de vigne pour 39 pluviomètres (photos 2 ; vigne basse positionnant le collecteur à environ 1,2 m du sol : 35 cas ; vigne haute plaçant le collecteur à environ 2 m du sol : 4 cas) et des piquets indépendants du rang pour 4 autres ont été sélectionnés. Les deux derniers pluviomètres, ont été positionnés sur un muret d'une hauteur de 1,40 m et le toit d'une maisonnette d'une hauteur de 1,80 m. Dans tous les cas, l'enregistreur est installé sous abri à 60 cm du sol. La résolution temporelle choisie est de l'ordre de la seconde pour les précipitations et de cinq minutes pour les températures. La capacité de stockage de ce matériel compte tenu de ces réglages permet d'enregistrer les données pour une durée de 180 jours. Une évaluation de la qualité d'implantation des pluviomètres a également été réalisée afin de constituer les métadonnées dans un fichier "qualité" de référence. Ce fichier est constitué de quatre photographies de chaque pluviomètre prises selon les quatre directions cardinales. Sont également indiquées la hauteur d'implantation du pluviomètre, la distance et la hauteur estimées de l'obstacle le plus proche (quand obstacle il y a).



**Photos 2** : Exemples d'implantation d'un pluviomètre. Gauche : en vignes basses (entre 85 cm et 1 m). Droite : en vignes hautes (entre 1,80 et 2 m). *Left: low vines rain gauge implementation (between 85 cm and 1 m). Right: high vines rain gauge implementation (between 1.80 and 2 m).* Clichés : B. Pauthier, 2014.

#### 4.2. Le réseau et sa maintenance

Le dispositif Hydravitis forme un réseau constitué de quarante-cinq pluviomètres répartis autour du village d'Aloxe-Corton, zone de 28 km<sup>2</sup> située au nord de Beaune (figure 1). Pour chaque pluviomètre, le plus proche pluviomètre voisin est situé en moyenne à une distance de 512 m. La densité moyenne est de 1,61 pluviomètre par km<sup>2</sup>, ce qui est rare sur le territoire

français. Seuls certains réseaux présentent une densité instrumentale similaire voire supérieure, comme par exemple les réseaux de capteurs thermiques implantés dans le cadre du projet Terviclim (Quenol, 2014).

Le nettoyage du collecteur et des augets est nécessaire lors de chaque relevé, idéalement à effectuer de manière hebdomadaire en saison végétative (mars à octobre), et mensuelle le reste de l'année. Malgré une maintenance respectant ces préconisations, plusieurs cas de bouchage ont été constatés entre deux relevés. Chaque problème rencontré lors des relevés est alors consigné dans un fichier de métadonnées permettant de compiler toutes les erreurs ainsi que leurs causes pour chaque pluviomètre. Ces métadonnées devraient permettre de filtrer les entrées erronées lors du traitement des données.

## Conclusion

L'implantation d'un réseau de pluviomètres nécessite la prise en compte de nombreux facteurs et doit obéir à un minimum de règles pour garantir la qualité des mesures. Le choix du matériel relève d'un arbitrage entre performance, coûts et contraintes d'entretien. Il dépend également du climat et des difficultés principales observées en termes de mesures des précipitations. Le contrôle en laboratoire (étape lourde et chronophage dans la mise au point du dispositif) est indispensable pour estimer l'erreur associée au matériel et identifier les configurations dans lesquelles les erreurs sont maximales. Pour le réseau Hydravitis, compte tenu du climat de la côte viticole bourguignonne, le compromis climat/matériel retenu permet d'avoir un haut niveau de confiance dans les mesures, hors situations de neige (en moyenne 23 jours par an), de vent fort (en moyenne 24 jours par an) et de précipitations supérieures à 200 mm/h (exceptionnelles).

Néanmoins, le maintien de performances dans la durée exige un entretien régulier (hebdomadaire en saison végétative et mensuelle le reste de l'année). Ces conditions assurées offrent au réseau Hydravitis de multiples perspectives d'application (analyse de la variabilité spatiale des précipitations, calage de modèles climatiques et agroclimatiques d'échelle régionale et locale).

## Bibliographie

- BOIS B., 2007 : *Cartographie agroclimatique à méso-échelle : méthodologie et application à la variabilité spatiale du climat en Gironde viticole. Conséquences pour le développement de la vigne et la maturation du raisin*. Thèse de doctorat, Université Sciences et Technologies-Bordeaux I, 209 pages.
- BONAN G. B., 2008 : *Ecological Climatology: Concepts and Applications*. Cambridge University Press, 2<sup>ème</sup> éd., Cambridge, 550 pages.
- CHVILA B., SEVRUK B. et ONDRÁŠ M., 2005 : *Intercomparison measurements of recording precipitation gauges in Slovakia*. In: WMO CIMO Technical Conference.
- CIACH G. J. et KRAJEWSKI W. F., 2006 : Analysis and modeling of spatial correlation structure in small-scale rainfall in Central Oklahoma. *Advances in water resources*, 29, 1450-1463.
- CLEMENTS C. B., WHITEMAN C. D. et HOREL J. D., 2003 : Cold-air-pool structure and evolution in a mountain basin: Peter Sinks, Utah. *Journal of Applied Meteorology*, 42, 752-768.
- DALY C., CONKLIN D. R. et UNSWORTH M. H., 2010 : Local atmospheric decoupling in complex topography alters climate change impacts. *Int. J. Climatol*, 30, 1857-1864.

- DIODATO N., 2005 : The influence of topographic co-variables on the spatial variability of precipitation over small regions of complex terrain. *Int. J. Climatol.*, 25, 351-363.
- DUBOS B., 2002 : Les maladies cryptogamiques de la vigne, champignons parasites des organes herbacés et du bois de la vigne. Féret, 2<sup>ème</sup> éd., 200 pages.
- GOODISON B. E., SEVRUK B. et KLEMM S., 1989 : WMO solid precipitation measurement intercomparison: objectives, methodology, analysis. Atmospheric Deposition (Proceedings of the Baltimore Symposium), *IAHS publication 179*, 57-64.
- GRAEF F. et HAIGIS J., 2001 : Spatial and temporal rainfall variability in the Sahel and its effects on farmers' management strategies. *J. Arid Environ.*, 48, 221-231.
- HUMPHREY M. D., ISTOK J. D., LEE J. Y., HEVESI J. A. et FLINT A. L., 1997 : A new method for automated dynamic calibration of tipping-bucket rain gauges. *J. Amer. Meteor. Soc.*, 14, 1513-1519.
- JOHANSSON B. et CHEN D., 2003 : The influence of wind and topography on precipitation distribution in Sweden: statistical analysis and modelling. *Int. J. Climatol.*, 23, 1523-1535.
- LEGATES D. R., YANG D., QUIRING S., FREEMAN K. et BOGART T., 2005 : Bias adjustments to Arctic precipitation: a comparison of daily versus monthly bias adjustments. 8<sup>th</sup> Conference on polar meteorology and oceanography, the 85<sup>th</sup> AMS Annual Meeting (San Diego, CA), 8 pages.
- LEROY M., 2000 : *Estimation de l'incertitude de mesure des précipitations*. Météo France, Technical report, DSO, 13 pages ; <http://ccrom.meteo.fr/ccrom/IMG/pdf/note42-3.pdf>.
- LE BOUAR E., TESTUD J. et KEENAN T.D., 2001 : Validation of the Rain Profiling Algorithm "ZPHI" from the C-Band Polarimetric Weather Radar in Darwin. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 18, 1819-1837.
- MIZRAHI F., 1998 : *Les fortes précipitations dans le Centre-Est de la France : étude de climatologie synoptique*. Thèse de doctorat, Dijon, Université de Bourgogne, 273 pages.
- NAYAK A., CHANDLER D. G., MARKS D., Mc NAMARA J. P. et SEYFRIED M., 2008 : Correction of electronic record for weighing bucket precipitation gauge measurements. *Water Resour. Res.*, 44, W00D11, doi: 10.1029/2008WR006875.
- NIEUWOLT S., 1982 : Tropical rainfall variability - The agroclimatic impact. *Agriculture and Environment*, 7, 135-148.
- NYSTUEN J. A., 1999 : Relative performance of automatic rain gauges under different rainfall conditions. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 16, 1025-1043.
- PRUDHOMME C. et REED D.W., 1999 : Mapping extreme rainfall in a mountainous region using geostatistical techniques: a case study in Scotland. *Inter. J. Climatol.*, 19, 1337-1356.
- QUENOL H., 2014 : *Changement climatique et terroirs viticoles*. Lavoisier, Tec&doc, 444 pages.
- RICHTER D., 1995 : *Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur des systematischen Messfehlers des Hellmann-Niederschlagsmessers Graph. Darstellung*. Selbstverl. d. Dt. Wetterdienstes b194, Offenbach am Main, ISBN 388148-309-8.
- SAUVAGEOT H., 1994 : Rainfall measurement by radar: a review. *Atmospheric Research*, 35, 27-54.
- SEIBERT J. et MORÈN A.-S., 1999 : Reducing systematic errors in rainfall measurements using a new type of gauge. *Agric. For. Meteorol.*, 98-99, 341-348.

- SEVRUK B., 1996 : Adjustment of tipping-bucket precipitation gauge measurements. *Atmos. Res.*, 42, 237-246.
- SEVRUK B., 2004 : *Niederschlag als Wasserkreislaufelement. Theory und Praxis der Niederschlagsmessung*. Zurich-Nitra, 300 pages.
- SEVRUK B. et HAMON W. R., 1984 : *International comparison of national precipitation gauges with a reference pit gauge*. Instruments and Observing Methods Rep., vol. 17, WMO, Geneva, 135 pp.
- TABARY P., DESPLATS J., DO KHAC K., EIDELIMAN F., GUEGUEN C. et HEINRICH J. C., 2007 : The New French Operational Radar Rainfall Product. Part II: Validation. *Wea. Forecasting*, 22, 409-427.
- UPTON G. J. G. et RAHIMI A. R., 2003 : On-line detection of errors in tipping-bucket raingauges. *J. Hydrol.*, 278, 197-212.
- WAGNER A., 2009 : *Literature study on the correction of precipitation measurement*. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. FutMon C1-Met-29(BY), 32 pages.
- World Meteorological Organization, 2008a : *Guide to meteorological instruments and methods of observation*. Seventh edition, WMO-N°8, Geneva, 681 pages.
- World Meteorological Organization, 2008b : *Guide to hydrological practices, vol.1: Hydrology - From measurement to hydrological information*. Sixth edition, WMO-N°168, Geneva, 296 pages.
- YANG D., ISHIDA S., GOODISON B. E. et GUNTHER T., 1999 : Bias correction of daily precipitation measurements for Greenland. *J. Geophys. Res.*, 104, 6171-6181.