Zeitschrift: Actes de la Société jurassienne d'émulation

Herausgeber: Société jurassienne d'émulation

Band: 121 (2018)

Rubrik: Cahier des sciences

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Cahier des sciences

sc | nat

Swiss Academy of Sciences
Akademie der Naturwissenschaften
Accademia di scienze naturali
Académie des sciences naturelles

Introduction

DAMIEN BECKER

Trois contributions originales composent le cahier des sciences 2018, une sur un assemblage rare d'un fragment de crâne et d'une carapace d'une tortue fossile découverte dans les Marnes du Banné à Glovelier (Jura), une sur l'analyse pluviométrique de 1990 à 2017 en Ajoie et une troisième sur la gestion des points d'eau dans le bassin versant du réservoir de Manly (Nouvelle-Galles-du-Sud, Australie).

Le millésime 2018 propose pour commencer un article en systématique sur de nouveaux spécimens fossiles attribués à l'espèce *Plesiochelys bigleri*, nouvelle tortue récemment décrite sur la base du matériel déjà découvert sur sol jurassien. Un deuxième article sur des données régionales complète le cahier, traitant de la surveillance, par des analyses de la pluviométrie, des eaux souterraines et superficielles potentiellement touchées par la réalisation de l'autoroute A16 en Ajoie entre 1990 et 2017. La dernière contribution est le fruit du travail d'un ancien étudiant du lycée cantonal de Porrentruy, proposant une étude sur des écosystèmes aquatiques en Australie, pays où il a effectué une partie de ses études en biosciences.

Au-delà des aspects purement scientifiques de cette série d'articles, ce cahier est un clin d'œil tout particulier au travail souvent fastidieux de ces soldats de la science qui vont personnellement collecter des données inédites sur le terrain.

Nouveau matériel de tortue fossile découvert dans les Marnes du Banné à Glovelier (Jura)

IRENA RASELLI[1,2] & JÉRÉMY ANQUETIN[1,2]

Dans le canton du Jura, certains niveaux géologiques datés du Kimméridgien (Jurassique supérieur) livrent de nombreux fossiles de vertébrés marins (requins, poissons, tortues et crocodiles). Les tortues marines du Jurassique supérieur forment un groupe à part (*Thalassochelydia*) connu à travers toute l'Europe de l'Ouest. Grâce à la construction de l'autoroute A16, les environs de Porrentruy sont devenus un haut lieu pour l'étude de ces tortues, avec la découverte d'une centaine de carapaces plus ou moins complètes et de plusieurs milliers de restes fragmentaires.

Les niveaux fossilifères livrant les tortues marines en Ajoie se retrouvent également ailleurs dans le canton, notamment près de Glovelier. Dans cette contribution, nous décrivons des restes collectés récemment à Glovelier dans les Marnes du Banné (Kimméridgien inférieur). Ce matériel comprend notamment un fragment de crâne et une carapace qui se trouve être l'une des plus complètes et des mieux préservées découvertes dans le canton.

Ce nouveau matériel peut être attribué de manière certaine à l'espèce *Plesiochelys bigleri* et complète notre connaissance de cette espèce, notamment certains aspects de l'anatomie crânienne et la forme originale de la carapace. Ce matériel permet également de confirmer la présence de cette espèce dans les Marnes du Banné.

Introduction

Au Jurassique supérieur, il y a environ 150 millions d'années, la partie ouest de l'Europe était recouverte par une mer épicontinentale peu profonde. Quelques masses de terres émergées (notamment au niveau

de la péninsule Ibérique, du Massif central et du Massif de Londres-Brabant) et de multiples îles et îlots formaient un vaste archipel baigné par des eaux chaudes. Ces conditions environnementales propices favorisèrent le développement d'une riche biodiversité marine.

Ce contexte paléogéographique particulier fut le théâtre de la première radiation des tortues dans le milieu marin. L'origine des tortues marines modernes *(Pan-Chelonioidea)* remonte probablement au Crétacé inférieur, soit à environ 120 millions d'années (voir Cadena & Parham, 2015). Cependant, quelque 30 millions d'années plus tôt, au Jurassique supérieur, un autre groupe de tortues, les *Thalassochelydia*, s'est diversifié dans les milieux marins côtiers peu profonds de l'ouest de l'Europe (pour une synthèse, voir Anquetin *et al.*, 2017). Les *Thalassochelydia* sont généralement subdivisés en trois groupes, bien que la monophylie de ces derniers ne soit pas toujours clairement établie : les Eurysternidae, les Plesiochelyidae et les Thalassemydidae. Les Eurysternidae sont des formes de taille petite à moyenne que l'on retrouve essentiellement dans les dépôts lagunaires (p. ex. calcaires lithographiques), tels ceux de Solnhofen en Allemagne, ainsi que ceux de Cerin et Canjuers en France. À l'inverse, les Plesiochelyidae et les Thalassemydidae sont des tortues de taille moyenne à grande et sont interprétés comme des formes habitant des milieux marins côtiers plus ouverts. Il semble que les *Thalassochelydia* disparaissent à la fin du Jurassique avec le retrait progressif de la mer épicontinentale couvrant l'ouest de l'Europe.

Les fossiles de *Thalassochelydia* sont relativement communs dans les gisements du sud de l'Angleterre et de la région de Solnhofen en Allemagne, mais c'est incontestablement en Suisse qu'ils sont le plus abondants. Grâce aux efforts du professeur Hugi dans les années 1820 et 1830, un nombre impressionnant de tortues fossiles a été collecté dans un niveau désormais connu sous le nom de Calcaire à tortues *(Solothurner Schildkrötenkalk)* dans les environs de Soleure (Rütimeyer, 1873 ; Bräm, 1965 ; Meyer & Thüring, 2009). Certains des spécimens collectés par le professeur Hugi à Soleure furent même illustrés dans la seconde édition des *Recherches sur les ossements fossiles* du célèbre baron Georges Cuvier (1824). Pendant le siècle et demi qui suivit les découvertes de Soleure, la systématique des *Thalassochelydia*, basée principalement sur des caractères de la carapace, est restée un véritable casse-tête et ces tortues ont été finalement peu étudiées au XXe siècle. À partir des années 1970, la systématique des tortues fossiles a été entièrement revue sur la base de l'anatomie crânienne grâce notamment

aux travaux d'Eugene Gaffney de l'American Museum of Natural History à New York. Gaffney s'est intéressé aux *Thalassochelydia* et a décrit les quelques crânes de tortues provenant de Soleure, ainsi qu'un spécimen assez bien préservé provenant d'une localité inconnue près de Glovelier dans le canton du Jura (Gaffney, 1975, 1976). Ces crânes sont attribuables à l'espèce *Plesiochelys etalloni* (Pictet & Humbert, 1857). Toutefois, très peu d'espèces de *Thalassochelydia* sont connues par le crâne et la systématique du groupe est donc restée en partie floue.

À partir des années 2000, les travaux de construction de l'autoroute A16 dans le canton du Jura ont permis de mettre au jour des niveaux fossilifères particulièrement riches en restes de vertébrés marins du Kimméridgien dans la région de Porrentruy, notamment des requins, des poissons, des crocodiles marins et de nombreuses tortues appartenant au groupe des *Thalassochelydia*. Les niveaux sont un peu plus anciens que le Calcaire à tortues de Soleure, mais tout aussi riches en restes de tortues. Ces découvertes ont amené les scientifiques à s'intéresser de nouveau aux tortues marines côtières du Jurassique supérieur européen et à revoir leur systématique en détail (Anquetin *et al.*, 2014a, b, 2017). À l'heure actuelle, les travaux des scientifiques de la Paléontologie A16 de l'Office de la culture de la République et Canton du Jura et du Jurassica Museum ont permis de publier de nouvelles données sur l'espèce *Tropidemys langii* (Püntener *et al.*, 2014) et de décrire trois nouvelles espèces de tortues : *Portlandemys gracilis* (Anquetin *et al.*, 2015), *Thalassemys bruntrutana* (Püntener *et al.*, 2015) et l'une des espèces les plus communes *Plesiochelys bigleri* (Püntener *et al.*, 2017a).

Dans la présente contribution, nous présentons une étude préliminaire portant sur du nouveau matériel fossile attribuable à l'espèce *Plesiochelys bigleri* découvert dans des niveaux du Kimméridgien à l'ouest de Glovelier. Ce nouveau matériel apporte des éclaircissements sur cette espèce récemment décrite.

Matériel et méthodes

Matériel

Le matériel présenté dans cet article a été découvert en deux temps. Un premier bloc de calcaire a été prélevé en 2014 par le premier auteur lors d'une excursion menée par Bernhard Hostettler (Fondation paléontologique jurassienne et musée d'Histoire naturelle de Berne) alors

qu'elle était étudiante en géosciences à l'université de Berne. Deux années plus tard, Bernhard Hostettler a signalé au Jurassica Museum de Porrentruy qu'une carapace de tortue commençait à faire surface au même endroit. L'équipe du musée a immédiatement organisé une fouille pour extraire cette carapace fossile. Dans le bloc prélevé en 2014 ont été trouvés des restes fragmentaires d'une dossière (notamment quelques costales et deux périphérales), une scapula et un fragment de crâne. Le matériel prélevé en 2016 consiste en une carapace quasiment complète avec un fémur associé et un fragment de costale mal préservé, ce dernier n'appartenant pas au même spécimen. L'une des périphérales trouvées dans le bloc de 2014 a pu être replacée sur la carapace subcomplète collectée en 2016, ce qui atteste que les deux prélèvements ont été faits exactement au même endroit.

L'ensemble du matériel a donc été trouvé en association, même si la découverte s'est faite en deux temps. Il y a au minimum deux individus dans cet assemblage, puisque la carapace collectée en 2016 est quasiment complète (seule une petite partie de la région pygale est manquante). Ce premier individu est enregistré dans les collections du Jurassica Museum sous la référence MJSN CBE-0003. Les costales et autres éléments trouvés en 2014 ne peuvent pas appartenir au même individu et sont rassemblés sous le numéro MJSN CBE-0001. En ce qui concerne le crâne, il pourrait tout aussi bien appartenir à l'un des deux individus sus-cités que représenter un troisième individu. L'hypothèse la plus probable est qu'il appartienne à la carapace MJSN CBE-0003, mais nous n'en avons aucune preuve. Il a donc été choisi de référencer ce crâne sous un numéro différent (MJSN CBE-0002). L'attribution de la scapula est également incertaine, même si pour des raisons pratiques nous l'avons associée ici au spécimen MJSN CBE-0003.

Contexte géologique

Les spécimens décrits dans cet article proviennent d'un affleurement le long d'un chemin forestier dans la Combe du Bé (CBE) à l'ouest de Glovelier (coordonnées WGS84 : 47° 20′ 08″ N., 7° 11′ 29″ E.). Les couches affleurant le long de ce chemin correspondent aux Marnes du Banné, Formation de Reuchenette, Kimméridgien inférieur (fig. 1). Il s'agit de la plus ancienne des deux couches du Kimméridgien de la région de Porrentruy dans lesquelles ont été trouvés de nombreux restes de vertébrés marins (requins, poissons, crocodiles et tortues) lors de la construction de l'autoroute A16 (Comment *et al.*, 2011, 2015). Les fossiles

ont été collectés dans un banc calcaire relativement épais appartenant à la partie inférieure des Marnes du Banné.

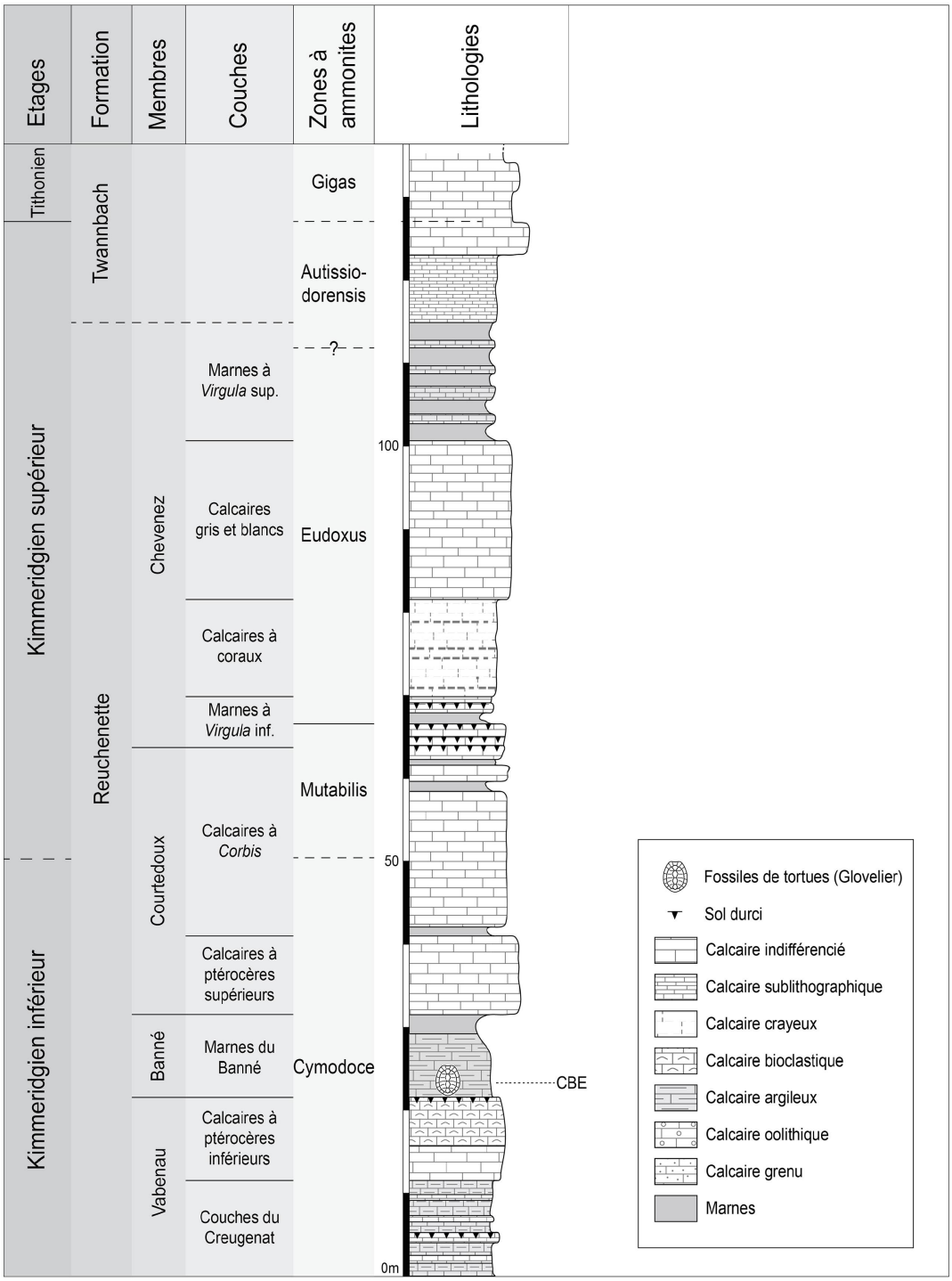


Fig. 1 : Colonne stratigraphique, Formation de Reuchenette, Kimméridgien, Jurassique supérieur. Abréviation : CBE, Combe du Bé, Glovelier, canton du Jura, Suisse. Modifiée d'après Püntener *et al.* (2017a) et Comment *et al.* (2015).

Anatomie comparée

Le nouveau matériel de Glovelier a été comparé en priorité avec les riches collections mises au jour à Courtedoux et Porrentruy lors de la construction de l'autoroute A16 (Püntener *et al.*, 2017b), puisque celles-ci proviennent de niveaux géologiques comparables. Le matériel attribuable au genre *Plesiochelys*, et plus spécifiquement aux espèces *Plesiochelys etalloni* et *Plesiochelys bigleri,* a été décrit en détail par Püntener *et al.* (2017a). Les comparaisons ont été étendues au matériel provenant d'autres parties de la Suisse et de l'Europe tel que révisé ces dernières années par le second auteur (Anquetin *et al.*, 2014a, b, 2015, 2017 ; Anquetin & Chapman, 2016). Les descriptions anatomiques du crâne suivent la nomenclature établie par Gaffney (1972, 1979) et mise à jour par Rabi *et al.* (2013). La nomenclature des éléments de la carapace suit Zangerl (1969).

Abréviations

Institutions. — MJSN, Jurassica Museum, Porrentruy, Suisse.

Localités. — BSY, Bois de Sylleux, Courtedoux, Suisse ; **CBE**, Combe du Bé, Glovelier, Suisse ; **SCR**, Sur Combe Ronde, Courtedoux, Suisse ; **TCH**, Tchâfouè, Courtedoux, Suisse.

Systématique

Testudines Batsch, 1788

Pan-Cryptodira Joyce *et al.,* 2004

Thalassochelydia Anquetin *et al.*, 2017

Plesiochelyidae Baur, 1888

Plesiochelys Rütimeyer, 1873

Espèce type : *Plesiochelys solodurensis* Rütimeyer, 1873

***Plesiochelys bigleri* Püntener *et al.*, 2017a**

Matériel type. — MJSN TCH007-252 (holotype), une carapace subcomplète associée à un crâne partiel et quelques os du squelette appendiculaire (Püntener *et al.*, 2017a, fig. 4, 7, 11, 12). MJSN TCH006-1451 (paratype), un crâne isolé incomplet (Püntener *et al.*, 2017a, fig. 5, 6).

Localité type et horizon. — Courtedoux, canton du Jura, Suisse. Marnes à *virgula* inférieures, Membre de Chevenez, Formation de Reuchenette, Kimméridgien supérieur, Jurassique supérieur (Comment *et al.*, 2011, 2015 ; Püntener *et al.*, 2017a).

Spécimens référés. — MJSN CBE-0001, restes très fragmentaires d'une carapace (quelques costales, une périphérale et des fragments non identifiables) ; MJSN CBE-0002, un basicrâne incomplet associé à une columella auris ; MJSN CBE-0003, une carapace quasiment complète associée à quelques restes du squelette appendiculaire (scapula et fémur) et de la colonne vertébrale (vertèbre cervicale et vertèbre caudale). Voir figures 2 à 7.

Description

L'anatomie crânienne et postcrânienne de *Plesiochelys bigleri* a été décrite en détail récemment par Püntener *et al.* (2017a). Il n'y a donc pas d'intérêt à répéter cette description ici. La description qui suit est donc volontairement succincte et axée principalement sur les éclaircissements apportés par le nouveau matériel de Glovelier. Les caractères nous permettant d'attribuer ces nouveaux restes à l'espèce *P. bigleri* sont également clairement mis en avant.

Crâne

MJSN CBE-0002 consiste en un fragment partiel de basicrâne (fig. 2). Toute la partie du crâne plus antérieure que le basisphénoïde est manquante. Seule la partie la plus médiale de la chambre otique droite est préservée, tandis que la partie la plus latérale de la chambre otique gauche est érodée. Les squamosaux et pariétaux sont manquants. Ventralement, la région basioccipitale est particulièrement érodée et le condylus occipitalis n'est pas préservé. Les dimensions maximales de ce fossile sont de 31 mm de longueur et 40 mm de largeur.

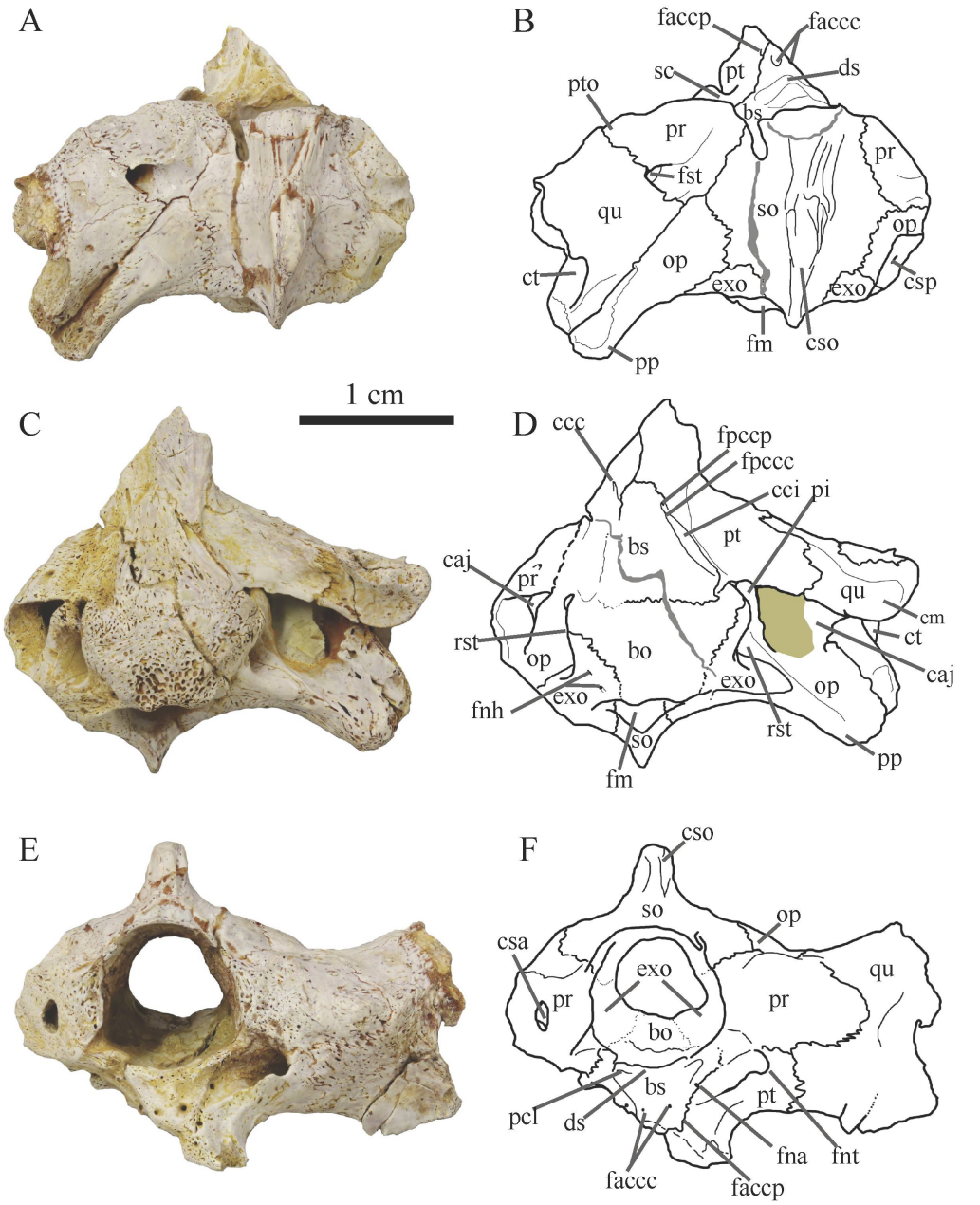


Fig. 2 : Basicrâne MJSN CBE-0002. A et B : vue dorsale ; C et D : vue ventrale ; E et F : vue antérieure. Abréviations. — bo, basioccipital ; bs, basisphénoïde ; caj, cavum acustico-jugulare ; ccc, canalis caroticus cerebralis ; cci, canalis caroticus internus ; cm, condylus mandibularis ; csa, canalis semicircularis anterior ; cso, crista supraoccipitalis ; csp, canalis semicircularis posterior ; ct, cavum tympani ; ds, dorsum sellae ; exo, exoccipital ; faccc, foramen anterius canalis carotici cerebralis ; faccp, foramen anterius canalis carotici palatinum ; fm, foramen magnum ; fna, foramen nervi abducentis ; fnh, foramen nervi hypoglossi ; fnt, foramen nervi trigemini ; fpccc, formamen posterius canalis carotici cerebralis ; fpccp, foramen posterius canalis carotici palatinum ; fst, foramen stapedio-temporale ; op, opisthotic ; pcl, processus clinoideus ; pi, processus interfenestralis ; pp, processus paroccipitalis ; pr, prootic ; pt, ptérygoïde ; pto, processus trochlearis oticum ; qu, carré ; rst, recessus scalae tympani ; sc, sulcus cavernosus ; so, supraoccipital. La couleur brune représente un remplissage de matrice calcaire. Barre d'échelle : 1 cm.

Par chance, le basicrâne est une partie du squelette hautement significative pour la systématique du groupe. Ce crâne incomplet peut être attribué de manière certaine à l'espèce *Plesiochelys bigleri* par la combinaison de caractères suivante : fosse ptérygoïdienne peu profonde, processus trochlearis oticum réduit, foramen nervi trigemini arrondi, foramen anterius canalis carotici cerebralis situé plus antérieurement que chez *Plesiochelys* spp., canalis caroticus internus superficiel restant sans doute partiellement ouvert ventralement sur une partie de sa longueur, extension réduite du ptérygoïde au niveau du cavum acusticojugulare et processus paroccipitalis orienté postérolatéralement (voir Püntener *et al.*, 2017a).

Bien que la préservation dans cette région ne soit pas optimale, MJSN CBE-0002 montre un contact clair entre le ptérygoïde et le basioccipital. Ce contact était seulement suggéré comme présent dans la description originale de *P. bigleri* (Püntener *et al.*, 2017a). Le nouveau spécimen confirme également qu'il n'y a pas de contact entre le ptérygoïde et l'exoccipital, ce qui distingue *P. bigleri* de *P. etalloni*. Enfin, comme sur les deux autres crânes connus de *P. bigleri* (MSJN TCH007-252 et MJSN TCH006-1451), il y a un contact clair entre le prootique et l'opisthotique sur la surface dorsale de la chambre otique. Ce contact est absent chez la plupart des spécimens attribués à *P. etalloni*.

Dossière

MJSN CBE-0003 est l'une des carapaces les plus complètes et les mieux conservées connues à ce jour pour l'espèce *Plesiochelys bigleri*. Seuls une petite partie de la région pygale et un fragment de la périphérale 4 gauche sont manquants (fig. 3 et 4). La dossière mesure 450 mm de long pour une largeur maximale de 425 mm. MJSN CBE-0001 est une dossière beaucoup plus fragmentaire. Le fragment principal correspond aux costales 5-7 gauches encore en articulation (fig. 5). La superposition de ces costales sur leur équivalent de la carapace MJSN CBE-0003 indique que les deux individus étaient de taille similaire. Le reste du matériel consiste en quelques fragments de costales et une périphérale.

Ce matériel peut être attribué à l'espèce *Plesiochelys bigleri* par la combinaison de caractères suivante : épaisseur réduite des neurales et costales par rapport à *P. etalloni*, renflements épiplastraux absents ou faiblement développés et lobe antérieur du plastron à contour antérieur quadrangulaire (voir Püntener *et al.*, 2017a).

Fig. 3 : Carapace MJSN CBE-0003 en vue dorsale (dossière). Barre d'échelle : 5 cm.

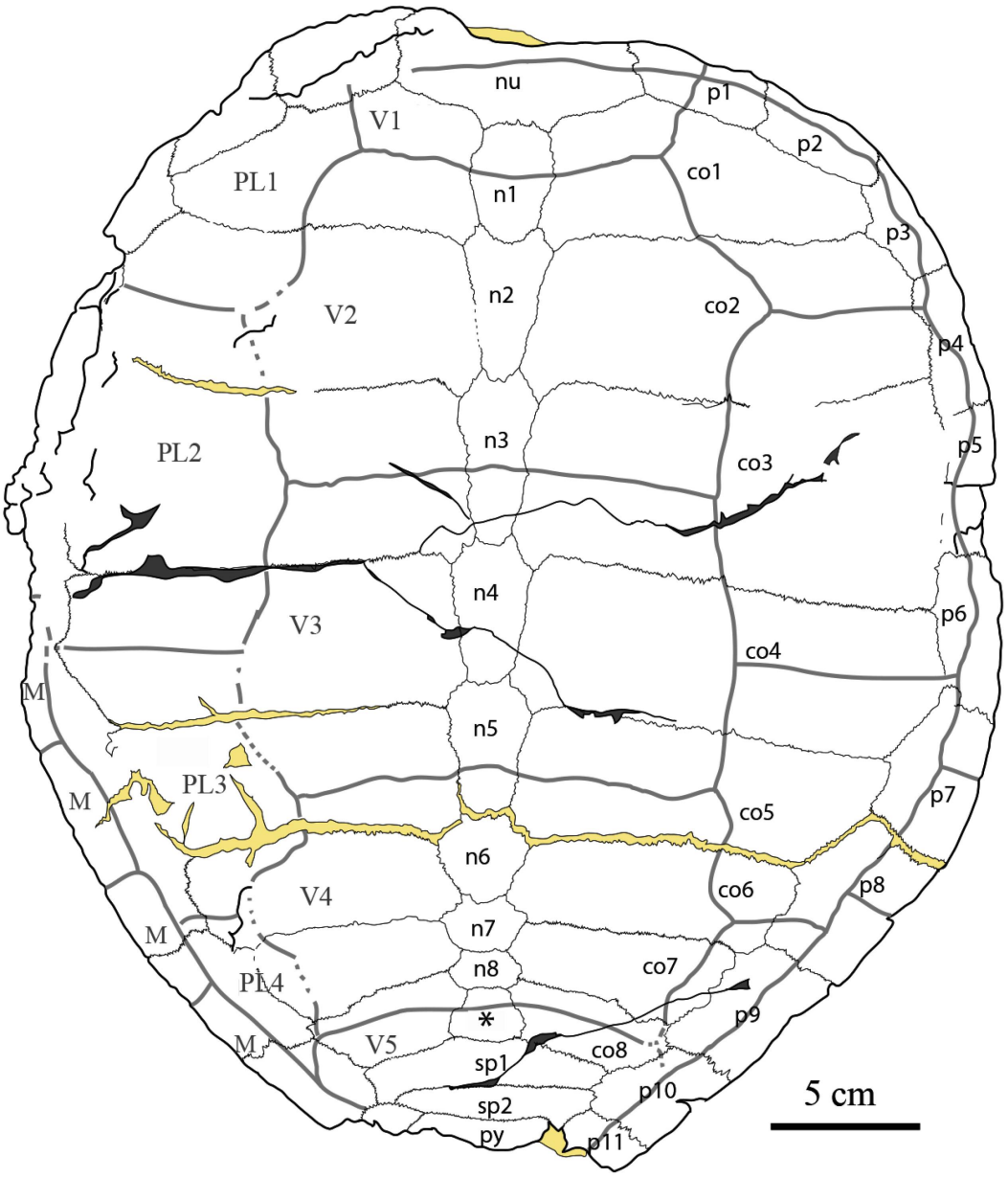


Fig. 4 : Dessin interprétatif de la carapace MJSN CBE-0003 en vue dorsale (dossière). Abréviations. — co, costale ; M, écaille marginale ; n, neurale ; nu, nuchale ; p, périphérale ; PL, écaille pleurale ; py, pygale ; sp, suprapygale ; V, écaille vertébrale ; *, élément intermédiaire. Les sulci des écailles sont indiqués en gris clair. La couleur jaune représente la matrice calcaire. Barre d'échelle : 5 cm.

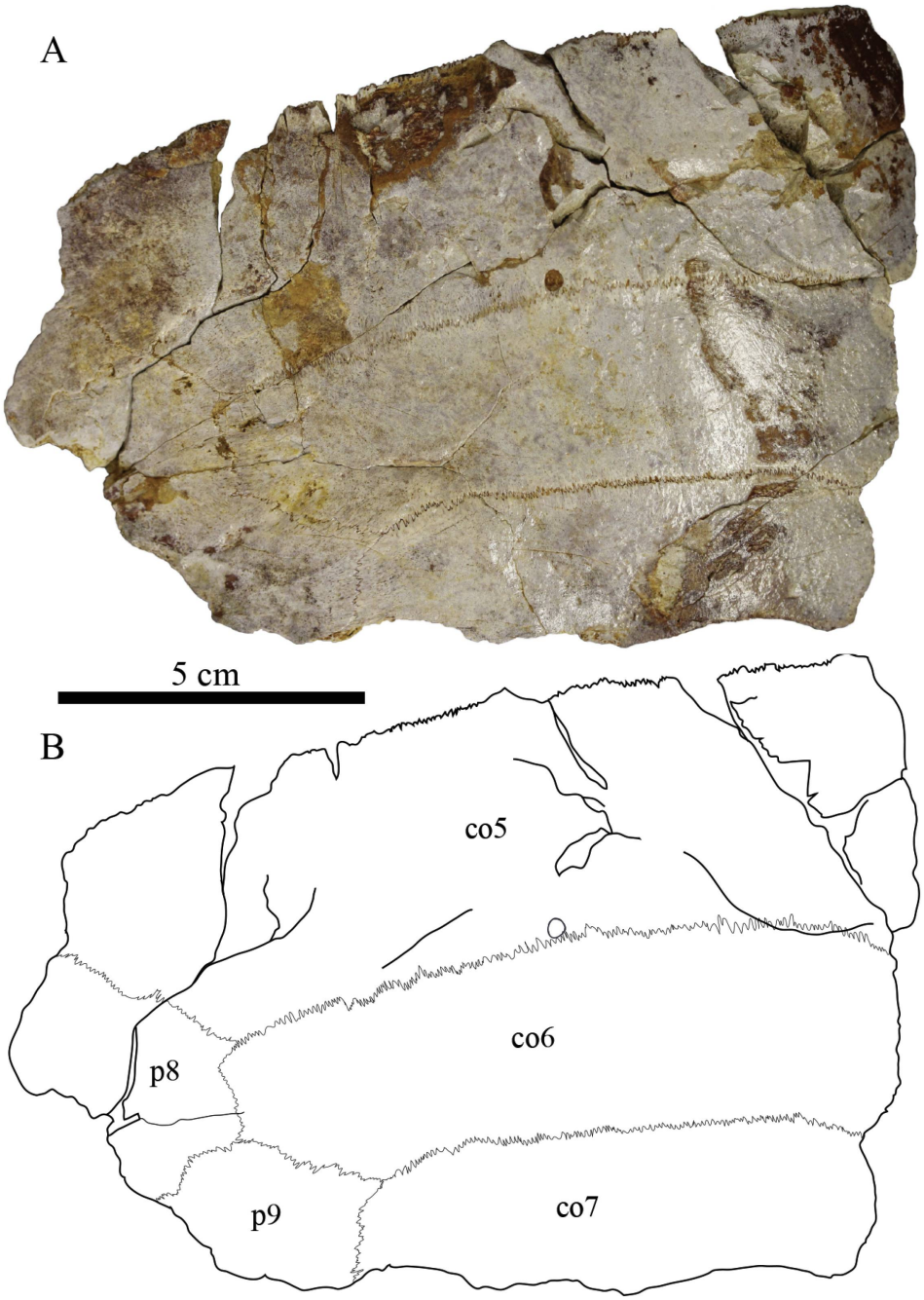


Fig. 5 : Fragment de dossière MJSN CBE-0001 en vue dorsale. A : photographie ; B : dessin interprétatif. Abréviations. — co, costale ; p, périphérale. Barre d'échelle : 5 cm.

Étant donné que *P. bigleri* a été décrit sur la base de 41 carapaces plus ou moins complètes (Püntener *et al.*, 2017a), le nouveau matériel de Glovelier révèle au final peu de nouveaux caractères anatomiques. Toutefois, c'est la première fois pour cette espèce que la dossière est préservée sans déformation notoire. L'ensemble des spécimens provenant

de la région de Porrentruy décrits initialement sont soit fortement compressés dorso-ventralement, soit retrouvés complètement désarticulés. Plusieurs spécimens désarticulés ont été réassemblés en trois dimensions lors de l'étude originale. Cependant, ces reconstructions donnaient des résultats peu cohérents allant d'une dossière très bombée à une dossière assez plate, car chaque élément osseux a subi une déformation qui lui est propre (Püntener *et al.*, 2017a). Avec MJSN CBE-0003, nous avons pour la première fois une carapace complètement articulée et très peu déformée. Il y a seulement un léger écrasement de la bordure gauche de la dossière et une désarticulation minime entre les costales 5 et 6 (fig. 3 et 4). La dossière de *P. bigleri* est finalement très peu bombée dorsalement. Dans la description originale, Püntener *et al.* (2017a) décrivaient le contour de la dossière comme allant d'ovale à arrondi. Le contour de la dossière de MJSN CBE-0003 est vaguement pentagonal avec une portion postérieure de la dossière légèrement pointue (fig. 3 et 4). Un contour similaire se retrouve chez certains spécimens attribués à *P. bigleri* (p. ex., MJSN TCH007-252, MJSN BSY009-815 et MJSN SCR011-30) et correspond probablement à l'état naturel chez cette espèce.

Plastron

Le plastron du spécimen MJSN CBE-0003 est presque complet (fig. 6 et 7). La bordure antérieure du lobe plastral antérieur est très légèrement érodée, tandis qu'une petite partie de l'extrémité postérieure de chacun des xiphiplastrons est probablement manquante. La longueur maximale du plastron est de 370 mm.

Le bord antérieur du lobe plastral antérieur est relativement quadrangulaire et les renflements épiplastraux sont absents. Ces caractères sont diagnostiques pour *Plesiochelys bigleri*. Parmi les autres caractères notables, il faut citer la taille réduite de l'entoplastron. Cependant, la forme et la taille de l'entoplastron semblent très variables chez les Plesiochelyidae. Une fontanelle plastrale centrale de forme ovale est présente sur le nouveau spécimen de Glovelier, mais là aussi, il s'agit d'un caractère qui est connu pour être variable intraspécifiquement chez *P. bigleri* et *P. etalloni*. Il faut noter également la grande longueur des xiphiplastrons sur le spécimen MJSN CBE-0003, qui se retrouve chez de nombreux spécimens référés à *P. bigleri* (Püntener *et al.*, 2017a).

Fig. 6 : Carapace MJSN CBE-0003 en vue ventrale (plastron). Barre d'échelle : 5 cm.

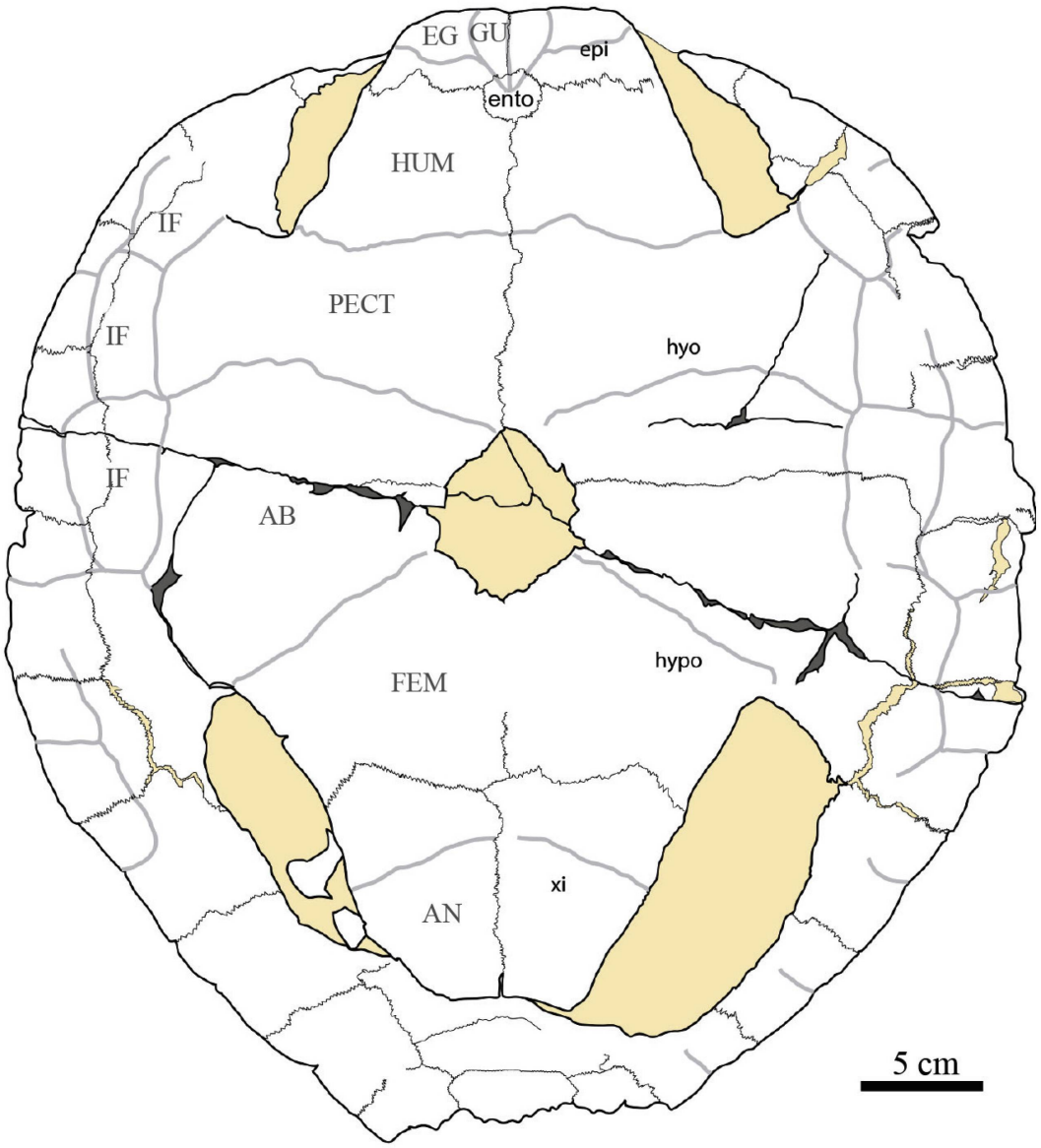


Fig. 7 : Dessin interprétatif de la carapace MJSN CBE-0003 en vue ventrale (plastron). Abréviations : AB, écaille abdominale ; AN, écaille anale ; EG, écaille extragulaire ; ento, entoplastron ; epi, epiplastron ; FEM, écaille fémorale ; GU, écaille gulaire ; HUM, écaille humérale ; hyo, hyoplastron ; hypo, hypoplastron ; IF, écaille inframarginale ; PECT, écaille pectorale ; xi, xiphiplastron. Les sulci des écailles sont indiqués en gris clair. La couleur jaune représente la matrice calcaire. Barre d'échelle : 5 cm.

Discussion

En paléontologie, il est finalement assez rare qu'une espèce de tétrapode soit connue par plusieurs dizaines de spécimens relativement complets provenant d'une même localité ou région. Les tortues côtières *Plesiochelys etalloni* et *Plesiochelys bigleri* du Jurassique supérieur d'Europe font partie des exceptions. *Plesiochelys etalloni* est notamment connue par des dizaines de carapaces provenant de Soleure et de la région de Porrentruy, auxquelles s'ajoutent des restes provenant de Glovelier, du Jura français, du nord-est de l'Allemagne et du sud de l'Angleterre (pour une révision, voir Anquetin *et al.*, 2017). Jusque-là, *Plesiochelys bigleri* était connue par une quarantaine de spécimens provenant tous de la région de Porrentruy (Püntener *et al.*, 2017a). Avec les nouvelles découvertes rapportées ici, Glovelier devient une localité supplémentaire pour cette espèce.

Parmi la quarantaine de spécimens jusque-là connus de *P. bigleri*, seules deux carapaces incomplètes proviennent des Marnes du Banné datées du Kimméridgien inférieur. Les autres spécimens proviennent tous d'un niveau géologique légèrement plus récent (Kimméridgien supérieur) : les Marnes à *virgula* inférieures (fig. 1). Les nouveaux spécimens de Glovelier permettent de confirmer de manière indiscutable la présence de *P. bigleri* dans les Marnes du Banné.

Les nouveaux restes de Glovelier permettent enfin de compléter la description de l'espèce *P. bigleri*. Le crâne MJSN CBE-0002 montre clairement un contact entre le ptérygoïde et le basioccipital, tandis qu'un contact entre le ptérygoïde et l'exoccipital est absent (fig. 3 et 4). La carapace MJSN CBE-0003 est l'une des plus complètes et des mieux préservées connues pour cette espèce. Elle documente notamment pour la première fois la forme de la carapace. *Plesiochelys bigleri* avait une carapace peu bombée et à contour relativement pentagonal avec la partie postérieure plus pointue (fig. 6 et 7). Cette forme n'est pas sans rappeler celle des tortues marines modernes, même si la carapace de *P. bigleri* était sensiblement plus plate.

Remerciements

Ce travail est l'aboutissement d'un stage universitaire réalisé par le premier auteur au Jurassica Museum en février et mars 2018. Cette étude n'aurait pas été possible sans le concours de Bernhard Hostettler

(Fondation paléontologique jurassienne et musée d'Histoire naturelle de Berne) qui a conseillé le premier auteur lors de la collecte et de la préparation du matériel de 2014 et qui a informé le Jurassica Museum de la présence de la carapace prélevée en 2016. Le premier auteur tient également à remercier Ursula Menkveld pour l'accès au laboratoire de préparation du musée d'Histoire naturelle de Berne. Renaud Roch, Rolf Stouder et Gaël Comment du Jurassica Museum sont remerciés pour leur contribution à la collecte et à la préparation du matériel de 2016.

Irena Raselli, titulaire d'un master en paléontologie, est actuellement doctorante au Jurassica Museum et à l'université de Fribourg.

Jérémy Anquetin, docteur ès sciences (paléontologie) et habilité de l'université de Fribourg, est maître d'enseignement et de recherche au Jurassica Museum et spécialiste des tortues fossiles.

RÉFÉRENCES

Anquetin J. & Chapman S. D. 2016 : First report of *Plesiochelys etalloni* and *Tropidemys langii* from the Late Jurassic of the UK and the palaeobiogeography of plesiochelyid turtles. *Royal Society Open Science* 3, 150470.

Anquetin J., Deschamps S. & Claude J. 2014a : The rediscovery and redescription of the holotype of the Late Jurassic turtle *Plesiochelys etalloni*. *PeerJ* 2, e258.

Anquetin J., Püntener C. & Billon-Bruyat J.-P. 2014b : A taxonomic review of the Late Jurassic eucryptodiran turtles from the Jura Mountains (Switzerland and France). *PeerJ* 2, e369.

Anquetin J., Püntener C. & Billon-Bruyat J.-P. 2015 : *Portlandemys gracilis* n. sp., a new coastal marine turtle from the Late Jurassic of Porrentruy (Switzerland) and a reconsideration of plesiochelyid cranial anatomy. *PLOS One* 10 (6), e0129193.

Anquetin J., Püntener C. & Joyce W. G. 2017 : A review of the fossil record of turtles of the clade *Thalassochelydia*. *Bulletin of the Peabody Museum of Natural History* 58 (2), 317-369.

Batsch A. J. G. K. 1788 : *Versuch einer Anleitung, zur Kenntniss und Geschichte der Thiere und Mineralien*. Akademische Buchhandlung, Jena.

Baur G. 1888 : Osteologische Notizen über Reptilien (Fortsetzung II). *Zoologischer Anzeiger* 11, 417-424.

Bräm H. 1965 : Die Schildkröten aus dem oberen Jura (Malm) der Gegend von Solothurn. *Schweizerische Paläontologische Abhandlungen* 83, 1-190.

Cadena E. A. & Parham J. F. 2015 : Oldest known marine turtle ? A new protostegid from the Lower Cretaceous of Columbia. *Paleobios* 32, 1-42.

Comment G., Ayer J. & Becker D. 2011 : Deux nouveaux membres lithostratigraphiques de la Formation de Reuchenette (Kimméridgien, Ajoie, Jura suisse) — Nouvelles données géologiques et paléontologiques acquises dans le cadre de la construction de l'autoroute A16 (Transjurane). *Swiss Bulletin für angewandte Geologie* 16, 3-24.

Comment G., Lefort A., Koppka J. & Hantzpergue P. 2015 : Le Kimméridgien d'Ajoie (Jura, Suisse) : lithostratigraphie et biostratigraphie de la Formation de Reuchenette. *Revue de Paléobiologie* 34 (2), 161-194.

Cuvier G. 1824 : *Recherches sur les ossements fossiles, où l'on rétablit les caractères de plusieurs animaux dont les révolutions du globe ont détruit les espèces.* 2e édition, tome 5, partie 2. Dufour et d'Ocagne, Paris.

Gaffney E. S. 1972 : An illustrated glossary of turtle skull nomenclature. *American Museum Novitates* 2486, 1-33.

Gaffney E. S. 1975 : A taxonomic revision of the Jurassic turtles *Portlandemys* and *Plesiochelys. American Museum Novitates* 2574, 1-19.

Gaffney E. S. 1976 : Cranial morphology of the European Jurassic turtles *Portlandemys* and *Plesiochelys. Bulletin of the American Museum of Natural History* 157, 487-544.

Gaffney E. S. 1979 : Comparative cranial morphology of Recent and fossil turtles. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 164 (2), 65-376.

Joyce W. G., Parham J. F. & Gauthier J. A. 2004 : Developing a protocol for the conversion of rank-based taxon names to phylogenetically defined clade names, as exemplified by turtles. *Journal of Paleontology* 78 (5), 989-1013.

Meyer C. A. & Thüring S. 2009 : Late Jurassic marginal marine ecosystem of the Southern Jura Mountains. *In* : Billon-Bruyat J.-P., Marty D., Costeur L., Meyer C. A. & Thüring B. (eds.). *Abstracts and Field Guides, 5th International Symposium on Lithographic Limestone and Plattenkalk, Actes 2009 bis de La Société jurassienne d'Émulation,* 130-141. Porrentruy, Switzerland.

Pictet F.-J. & Humbert A. 1857 : Description d'une émyde nouvelle (*Emys Etalloni*) du terrain jurassique supérieur des environs de Saint-Claude. *In* : Pictet F.-J. (éd.). *Matériaux pour la paléontologie suisse,* première série, 1-10. J. Kessmann, Genève.

Püntener C., Anquetin J. & Billon-Bruyat J.-P. 2015 : *Thalassemys bruntrutana* n. sp., a new coastal marine turtle from the Late Jurassic of Porrentruy (Switzerland), and the paleobiogeography of the Thalassemydidae. *PeerJ* 3, e1282.

Püntener C., Anquetin J. & Billon-Bruyat J.-P. 2017a : The comparative osteology of *Plesiochelys bigleri* n. sp., a new coastal marine turtle from the Late Jurassic of Porrentruy (Switzerland). *PeerJ* 5, e3482.

Püntener C., Anquetin J. & Billon-Bruyat J.-P. 2017b : *Vertébrés mésozoïques – Tortues.* Office de la culture, Paléontologie A16, Porrentruy. (Catalogues du patrimoine paléontologique jurassien – A16.)

Püntener C., Billon-Bruyat J.-P., Bocat L., Berger J.-P. & Joyce W. G. 2014 : Taxonomy and phylogeny of the turtle *Tropidemys langii* Rütimeyer, 1873 based on new specimens from the Kimmeridgian of the Swiss Jura Mountains. *Journal of Vertebrate Paleontology* 34 (2), 353-374.

Rabi M., Zhou C.-F., Wings O., Ge S. & Joyce W. G. 2013 : A new xinjiangchelyid turtle from the Middle Jurassic of Xinjiang, China and the evolution of the basipterygoid process in Mesozoic turtles. *BMC Evolutionary Biology* 13, 203.

Rütimeyer L. 1873 : Die fossilen Schildkröten von Solothurn und der übrigen Juraformation. *Neue Denkschrift der allgemeinen schweizerischen naturforschenden Gesellschaft* 25, 1-185.

Zangerl R. 1969 : The turtle shell. *In* : Gans C., Bellairs A. A. & Parsons T. S. (eds.). *Biology of the Reptilia.* Volume 1, Morphology A, 311-339. Academic Press, London.

NOTES

[1] Jurassica Museum, route de Fontenais 21, 2900 Porrentruy.

[2] Département des géosciences, université de Fribourg, chemin du Musée 6, 1700 Fribourg.

Relations entre paramètres physico-chimiques et communautés biologiques dans un environnement lentique

NICOLAS ROESCHLI [1]

La gestion des points d'eau, aussi nommés écosystèmes lentiques, est un sujet en plein développement en Australie du fait de l'eutrophisation et du développement d'algues. Ici, nous évaluons le lien entre divers paramètres physico-chimiques et les populations d'algues et de macro-invertébrés. Notre étude a eu lieu dans le bassin versant du réservoir de Manly (Nouvelle-Galles-du-Sud, Australie). Nous avions 4 sites d'échantillonnage gérés de manière différente et avec des fonctionnements écologiques variés. Nous avons utilisé diverses méthodes d'échantillonnage pour avoir une vue globale de l'écologie de nos sites. Toutefois, l'échantillonnage n'a été effectué que durant une journée, ce qui constitue une limitation majeure. Nous avons constaté de grandes variations dans les paramètres physico-chimiques, ainsi qu'un étrange profil en fonction de la profondeur dans le réservoir de Manly. Nous avons trouvé que l'usage des terrains adjacents pouvait causer un apport excessif de nutriments et une modification des communautés algales. Certains sites avaient des concentrations en *Microcystis* trop importantes. Les différences dans les populations de macro-invertébrés entre les divers sites sont probablement liées au fonctionnement lentique ou lotique. Nous avons également constaté un déclin dans la diversité des macro-invertébrés qui pourrait avoir été causé par une pollution à l'ammonium ou à d'autres contaminants.

Introduction

Les activités humaines ont un fort impact sur les écosystèmes aquatiques, mais dans un même temps, les humains ont besoin de ces

écosystèmes pour diverses raisons, notamment l'agriculture, l'eau potable et les activités récréatives. L'eutrophisation (Davis & Koop, 2006) et le développement intempestif d'algues sont des thématiques majeures du fait : *a*) du manque d'esthétisme des tapis d'algues pour les activités récréatives ; *b*) de la possible toxicité des algues en concentration élevée (Ye et coll., 2009 ; Otto et coll., 2008 ; Davis et coll., 2009) ; *c*) des possibles effets adverses sur la biodiversité.

Les écosystèmes lentiques en environnement périurbain, comme le réservoir de Manly, sont sensibles à diverses contaminations (notamment des nutriments ou des métaux lourds) et à des modifications de leur fonctionnement naturel du fait de l'exploitation des terres adjacentes. Les nutriments principaux incluent le phosphate et l'azote sous plusieurs formes, dont le nitrate, le nitrite et l'ammonium (Barroin, 2003, 2004). Toutefois, les scientifiques ne s'accordent pas sur le rôle exact de l'azote dans les écosystèmes aquatiques, les cyanobactéries étant capables de former de l'ammonium à partir de diazote atmosphérique. Cela suggère que l'azote n'est pas forcément un nutriment limitant pour la croissance algale (Buson, 2012). Le carbone organique est également un nutriment important pour les organismes hétérotrophes (organismes n'étant pas capables de fixer le carbone inorganique ; Craig, 2016). Bien entendu, d'autres facteurs limitants pour la croissance algale existent. Les facteurs physiques importants sont : *a*) la température de l'eau (Konopka & Brock, 1978) de par son rôle sur le métabolisme (à plus haute température, les réactions chimiques sont plus rapides), mais également son influence sur la thermocline (zone de changement rapide de la température de l'eau) et la stratification de la masse d'eau (Cantin, 2009 ; Cantin et coll., 2011 ; Mercier-Blais, 2014) ; *b*) la disponibilité de la lumière (Havens et coll., 1998) dépendante de la turbidité.

Dans la présente étude, nous mesurerons divers paramètres physiques et chimiques et décrirons les communautés d'algues et de macro-invertébrés. Nous essayerons ensuite de lier les paramètres physico-chimiques et les communautés biologiques et de comprendre les mécanismes contrôlant la biodiversité ainsi que l'impact des activités humaines sur cet écosystème.

Contexte

L'étude a pris place sur 4 sites dans le bassin versant du réservoir de Manly (33,782° S., 151,253° E.), en Nouvelle-Galles-du-Sud (Australie). Le lieu de l'étude est montré sur la figure 1. Le bassin versant a une surface approximative de 2,44 km² alors que le réservoir lui-même couvre environ 0,26 km². Notons que le réservoir de Manly est artificiel et fermé par un barrage à son extrémité sud-est. Six affluents permanents alimentent le réservoir. Durant les forts événements de pluie, le ruissellement est également une source importante d'apport d'eau. Approximativement 56 % du bassin versant est couvert de végétation sclérophylle sèche (végétation à feuilles coriaces, se décomposant mal). L'usage des terres au sein du bassin versant inclut également un terrain de golf et des zones résidentielles.

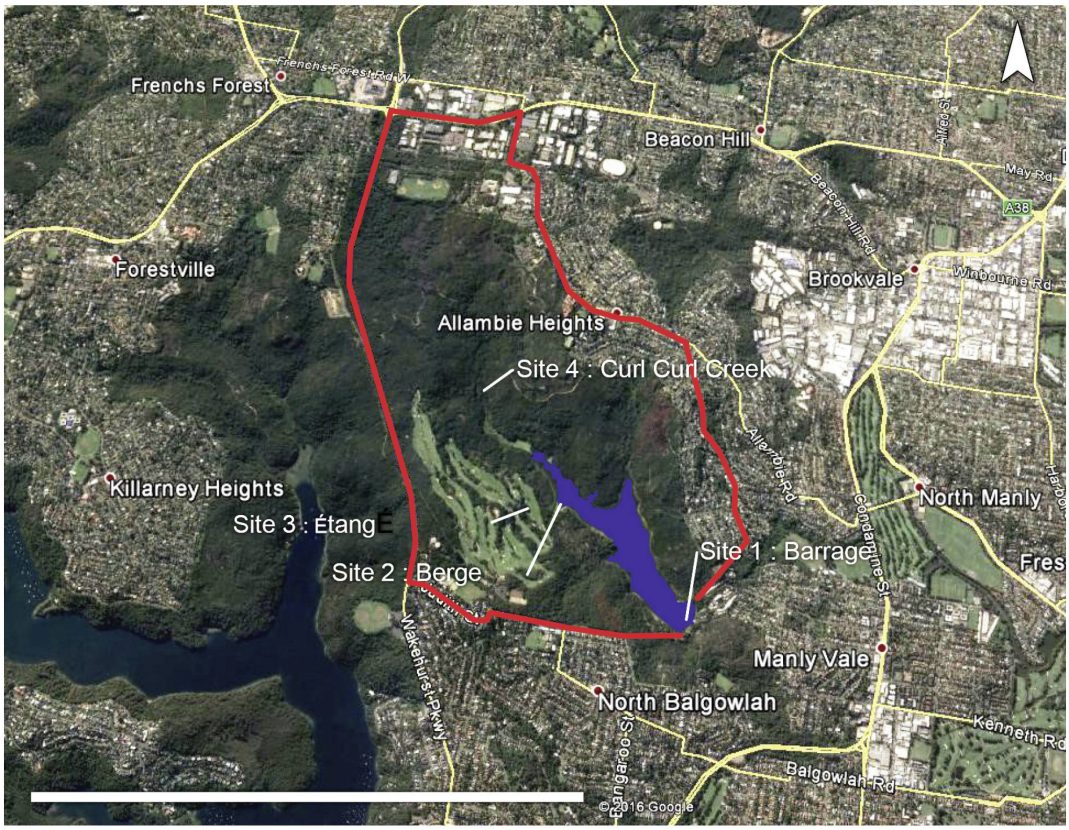


Fig. 1 : Image satellite du site d'étude (tirée de Google Earth). 4 sites ont été échantillonnés et sont représentés sur l'image. La forme bleue foncée représente le réservoir. Notons que la partie vert clair à l'extrémité nord-ouest fait également partie du réservoir, mais elle est couverte de macrophytes. La ligne rouge représente approximativement le bassin versant, défini à l'aide de la position des routes principales (nous n'avions pas de courbes de niveau précises à notre disposition). Barre d'échelle : 3 km.

Le site 1 est situé juste à côté du barrage fermant le réservoir. Il s'agit du plus profond de nos 4 sites (12 m). Une autre particularité est la présence d'une hélice devant prévenir la stratification de la masse d'eau et le développement intempestif d'algues. Notons que l'hélice n'était pas en fonction lors de notre échantillonnage.

Le site 2 est situé sur la rive ouest du lac. Il est à côté d'un marécage artificiel qui a été créé afin de retenir les nutriments arrivant depuis le terrain de golf. L'eau est peu profonde et des macrophytes (plantes multicellulaires visibles à l'œil nu) attachés au fond du lac s'y développent.

Le site 3 est un étang dans le terrain de golf. Il est utilisé pour l'irrigation du terrain et reçoit beaucoup de nutriments du fait du ruissellement sur le terrain. Notons que les gestionnaires du terrain utilisent en ce moment des fertilisants azotés tandis qu'il y a quelques années, ils utilisaient des fertilisants phosphatés, avant qu'une étude ne révèle que les quantités de phosphore dans le sol étaient suffisantes pour des années.

Le site 4 est Curl Curl Creek. Il s'agit d'un ruisseau alimentant le lac à son extrémité nord-ouest. De plus, c'est le seul écosystème lotique de notre étude. Notons que le substrat est principalement de la roche mère (pas de gravier ni de sable).

Matériel et méthode

Méthode de terrain

L'échantillonnage a eu lieu le 30 mars 2017 par conditions orageuses. Nous avons mesuré : *a*) le pH des sites 1,2 et 3 (tous les mètres sur un profil vertical dans le site 1) ; *b*) la conductivité électrique aux sites 1 (tous les mètres), 2 et 3 ; *c*) la concentration absolue en oxygène (DO_2 [mg/l]) aux sites 2, 3 et 4 et la concentration relative en oxygène (DO_2 $\%_{sat}$) aux sites 1 (tous les mètres), 2 et 3 ; *d*) la température dans tous les sites (chaque mètre au site 1).

Le même jour, nous avons mesuré la transparence grâce à trois méthodes, soit : *a*) un disque de Secchi (disque blanc et noir) aux sites 1 et 2, *b*) un disque noir aux sites 2 et 4 ; *c*) un tube à transparence aux sites 2 et 4.

Nous avons filtré 1 L d'eau avec un filtre GFC pour une analyse quantitative de la concentration en chlorophylle α. Nous avons gardé 100 mL d'eau filtrée par site pour une analyse chimique quantitative des concen-

trations en nutriments principaux. Trois réplicats ont été faits pour chaque site.

Dans chaque site, du phytoplancton a été collecté grâce à un filet à phytoplancton. Les échantillons ont ensuite été placés dans des conteneurs de 500 mL et du lugol a été ajouté pour une analyse quantitative de la concentration en mycrocystis. Trois réplicats ont été faits par site.

Nous avons également placé du phytoplancton dans d'autres récipients qui ont immédiatement été réfrigérés pour analyse qualitative des communautés algales sur échantillon vivant. Trois réplicats ont été faits dans chaque site. Ci-après, le nombre de réplicats sera donné par la lettre N.

Sur les sites 2 et 4, nous avons collecté des macro-invertébrés grâce à un filet *kick* et par collecte manuelle. Les invertébrés ont été préservés dans des tubes à échantillons contenant de l'éthanol afin d'être identifiés ultérieurement.

Méthode de laboratoire

Les filtres GFC employés précédemment ont été utilisés pour déterminer la concentration en chlorophylle α de chaque site. Pour extraire la chlorophylle, nous avons utilisé la technique du méthanol bouillant *(boiling methanol*[2]*)*. Nous avons ensuite placé l'échantillon dans un photo-spectromètre et mesuré sa densité optique à 665 et 750 µm. Puis nous avons obtenu la concentration en chlorophylle α grâce à la formule suivante :

$$\text{Chlorophylle}\,\alpha[\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}] = OD_{(665-750)}\cdot 13{,}9\cdot\frac{1\,000}{V_1}\cdot V_2$$

Où $OD_{(665\text{-}750)}$ est la soustraction de la densité optique à 665 et 750 µm., V_1 est le volume d'échantillon filtré (en mL) et V_2 est le volume de méthanol (en mL) utilisé.

Les échantillons d'eau de 100 mL (N = 3 pour chaque site) ont été analysés pour la concentration en *a*) ammonium ; *b*) phosphate dissout ; *c*) NO_x (soit toutes les formes d'oxydes d'azote confondues) ; *d*) nitrite ; *e*) nitrate. La méthode d'analyse par injection de flux (*flow injection analysis*[2]) a été utilisée.

Le phytoplancton a été analysé qualitativement grâce à une identification des genres et des groupes présents à l'aide de microscopes optiques. Nous avons aussi donné une appréciation relative (haut, moyen, bas) de

la présence des genres identifiés. Environ 60 élèves ont travaillé sur les microscopes pendant 2 h ce qui correspond à 120 h d'observation au total. Les invertébrés ont été identifiés au niveau de la famille pour les sites 2 et 4. L'abondance relative n'a pas été donnée, seule la donnée présence/absence a été notée.

Traitement des données et analyses statistiques

Microsoft Excel 2007 a été utilisé pour l'agrégation des données. Toutes les analyses statistiques ont été réalisées avec R 3.0.4 dans Rstudio mis à part une régression linéaire effectuée avec Gnuplot 5.0. Tous les graphes ont été créés avec Gnuplot 5.0.

Pour la concentration en chlorophylle, nous avons calculé la moyenne et l'erreur type de la moyenne grâce à des données de 2013, 2014 et 2017 (N = 3 pour les sites 1, 3 et 4 et N = 2 pour le site 2). Nous avons ensuite cherché des différences entre les sites grâce à une analyse de Kruskal (nos données ne se prêtant pas à une ANOVA) et un test de Dunn.

Pour la concentration en *Microcystis*, nous avons calculé la moyenne et l'erreur type de la moyenne et avons cherché des différences entre les sites grâce à une analyse de la variance (ANOVA) et au test *post-hoc* de Tukey.

Les résultats concernant le phytoplancton ont d'abord été nettoyés, c'est-à-dire que les groupes apparaissant sous des noms différents tels *algue verte* et *Chlorophyta* ont été agrégés et renommés avec l'un seul des deux noms. La terminaison *-phyta* (faisant référence à la nature photosynthétique des organismes) a toujours été préférée pour maximiser la cohérence (par ex. nous avons choisi *Cyanophyta* plutôt que *cyanobactéries*). Les données ont ensuite été agrégées en sommant les genres de chaque groupe.

Nous avons ensuite analysé graphiquement les données afin d'identifier de possibles corrélations entre la concentration en chlorophylle, *Microcystis* et nutriments et les autres paramètres physico-chimiques. Lorsqu'une corrélation possible était détectée, nous créions un modèle linéaire et utilisions une ANOVA pour déterminer la valeur-p et le R^2.

Les résultats des macro-invertébrés ont été agrégés en calculant la somme des familles par site tout en y ajoutant des données de 2009, 2010, 2013, 2014 et 2016.

Résultats

Les résultats des divers relevés sont présentés dans cette section. Le lecteur sans formation scientifique s'intéressera principalement aux graphiques, le jargon statistique pouvant être quelque peu technique. Mentionnons toutefois que le but des analyses statistiques présentées est généralement de voir si les différences observées a priori sont réelles ou s'il s'agit juste d'artefacts créés par un nombre insuffisant d'échantillons. Pour se faire, on se fie à une valeur-p rendue par divers tests. La valeur-p représente la probabilité que l'observation soit un pur fruit du hasard et non pas une réalité. En sciences de la vie, le seuil critique utilisé pour décider si la mesure est fiable est de 5 % (soit 0,05). Une autre utilité des tests statistiques est de voir si deux paramètres sont corrélés et, le cas échéant (donc avec une valeur-p < 0.05), quel pourcentage de la variation est expliqué par la corrélation. Ceci est donné par la valeur R^2.

Paramètres physico-chimiques

Divers paramètres physico-chimiques sont présentés dans le tableau 1.

Paramètre	**Site 1 (Barrage)**			**Site 2 (Berge)**	**Site 3 (Étang)**	**Site 4 (Curl Curl Creek)**
	Surface	**1 m de profondeur**	**Fond**			
Température [°C]	24,8	24,4	23,6	24,0	24,2	21,0
DO2 [mg/L]				4,2	7,0	8,6
DO2 [%sat]	90,1	83,0	52,2	52,2	83,4	
Conductivité [µS/cm]	187,0	188,0	191,9	207,3	392,5	352,0
pH	8,2	7,8	7,0	6,3	8,0	valeur manquante
Disque de Secchi [m]	1,0			0,2		
Disque noir [m]				0,2		0,2
Tube à transparence [cm]				36,7		11,0

Tabl. 1 : Température, conductivité, oxygène dissout et transparence aux quatre sites.

Un profil de divers paramètres physico-chimiques en fonction de la profondeur au site 1 est présenté en figure 2.

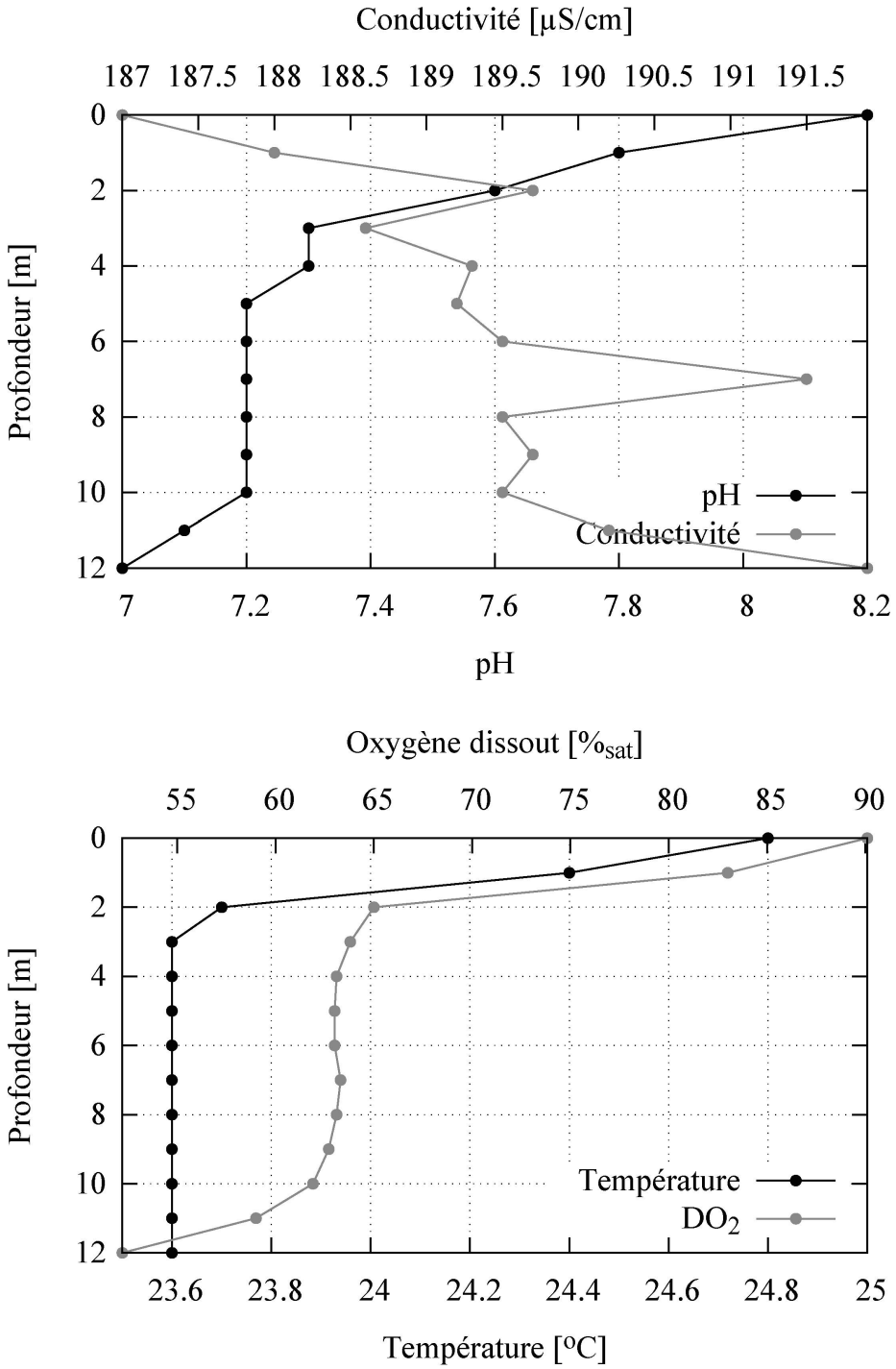


Fig. 2 : Profil de diverses variables en fonction de la profondeur pour le site 1 (Barrage). Notons que les axes x et y sont échangés et que l'échelle y est inversée. À gauche : température et oxygène dissout. À droite : conductivité et pH.

Les concentrations des nutriments principaux pour chaque site sont présentées dans le tableau 2.

Nutriment	Site 1 (Barrage)	Site 2 (Berge)	Site 3 (Étang)	Site 4 (Curl Curl Creek)	Standards d'alerte
Ammonium (NH_4^+ en µg N/L)	18,82	42,83	74,67	236,82	10
Phosphate dissout (PO_4^{3-} en µg P/L)	0,92	3,1	35,72	3,84	10
NO_x (µg N/L)	12,53	232,35	169,91	1023,22	500
Nitrite (NO_2 en µg N/L)	0,00	11,52	19,94	51,54	100
Nitrate (NO_3^- en µg N/L)	12,53	220,82	149,96	971,68	400

Tabl. 2 : Profil de diverses variables en fonction de la profondeur pour le site 1 (Barrage). Notons que les axes x et y sont échangés et que l'échelle y est inversée. À gauche : température et oxygène dissout. À droite : conductivité et pH.

Diversité phytoplanctonique

Un résumé de la diversité phytoplanctonique est présenté en figure 3. Un inventaire complet du phytoplancton est présenté en annexe (tableau 6).

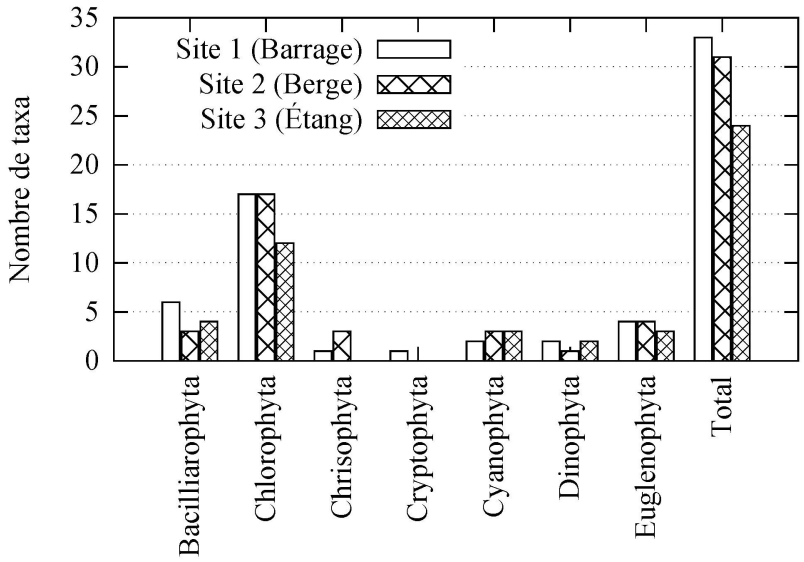


Fig. 3 : Nombre de taxons de phytoplancton par groupe dans les sites 1, 2 et 3. Le site 4 est absent du graphe, car nous n'y avons pas trouvé de phytoplancton.

Concentration en *Microcystis*

La valeur moyenne et l'erreur standard de la moyenne de la concentration en *Microcystis* sont montrées dans la figure 4.

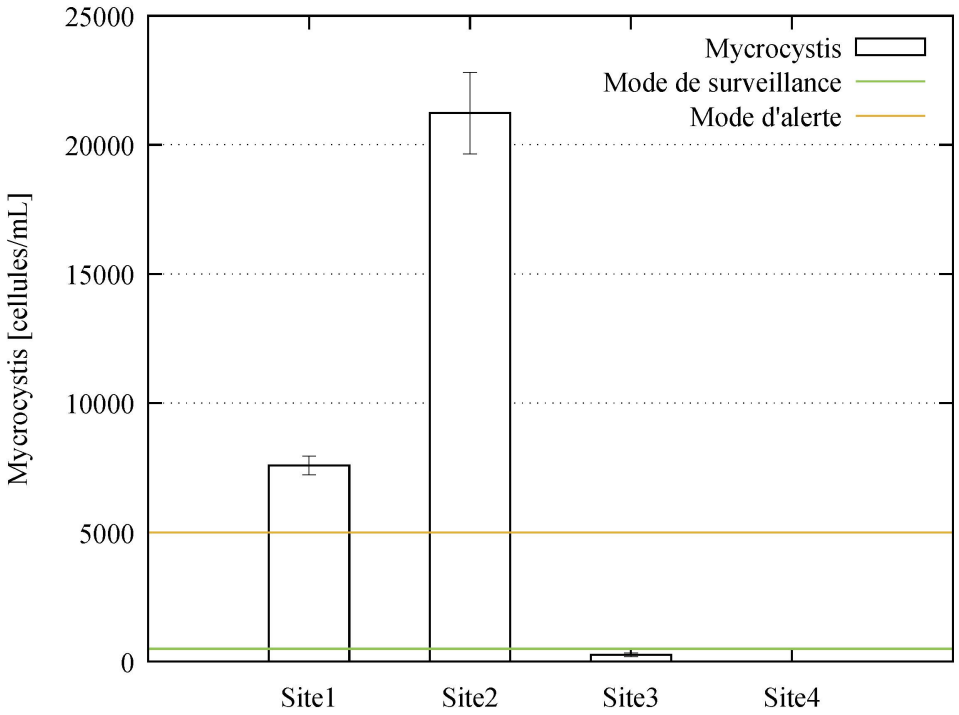


Fig. 4 : Concentration de *Microcystis* dans chaque site. Les barres représentent l'erreur standard de la moyenne. Les limites inférieures du niveau vert (mode de surveillance) et orange (mode d'alerte) sont indiquées. Notons que le niveau rouge (mode d'action) est fixé à 50 000 cellules par millilitres.

Comparaison	Z	Valeur R (non ajustée)	Valeur R (ajustée)
Site 1 – site 2	-1,03	0,30	0,30
Site 1 – site 3	1,03	0,30	0,37
Site 2 – site 3	2,05	0,04	0,08
Site 1 – site 4	2,05	0,04	0,12
Site 2 – site 4	3,08	< 0,01	0,01
Site 3 – site 4	1,03	0,30	0,46

Tabl. 3 : Test de Dunn sur les données de *Microcystis*. Rouge : significatif.

Les données de concentration en *Microcystis* n'étaient pas adaptées à une ANOVA (test de normalité de Shapiro-Wilk : W = 0,81, valeur-p = 0,01. Test de Bartlett : $K^2 = \infty$, df = 3, valeur-p < 10^{-15}). Nous avons donc procédé à un test de Kruskal. Le test de Kruskal a montré des différences significatives dans les concentrations de *Microcystis* entre les sites χ^2= 10,53, df = 3, valeur-p = 0,01). Comme les données n'étaient pas adaptées au test *post-hoc* de Tukey, nous avons effectué un test de Dunn. Les résultats sont présentés dans le tableau 3.

Concentration en chlorophylle

La valeur moyenne en chlorophylle ainsi que l'erreur standard pour chaque site sont montrées en figure 5.

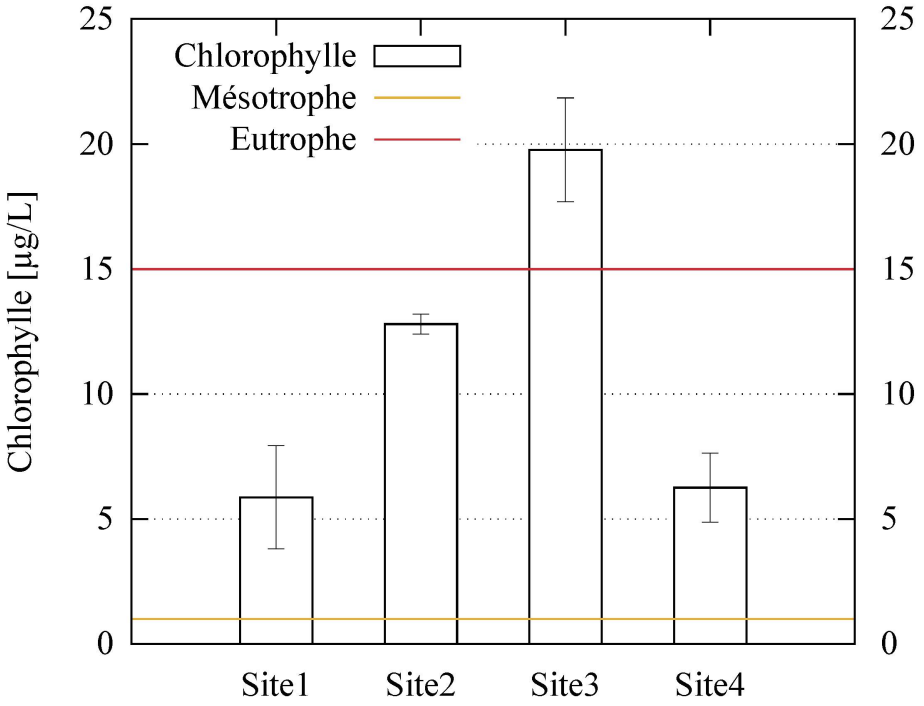


Fig. 5 : Concentration en chlorophylle pour chaque site, les barres représentant l'erreur standard. Les limites inférieures de l'état mésotrophe et eutrophe sont indiquées.

Les données sur la concentration en chlorophylle étaient adaptées à une ANOVA (Test de normalité de Shapiro-Wilk : W = 0,97, valeur-p = 0,91. Test de Bartlett : K^2= 2,24, df = 3, valeur-p = 0,52). L'ANOVA a montré des différences significatives dans la concentration de chlorophylle entre les sites (R^2 ajusté = 0,80, statistique-F = 14,16 avec 3 et 7 degrés de liberté, valeur-p < 0,01). Nous avons ensuite conduit un test *post-hoc* de Tukey. Les résultats sont présentés dans le tableau 4.

Comparaison	Valeur-p (ajustée)
Site 2 – site 1	0,14
Site 3 – site 1	<0,01
Site 4 – site 1	0,1
Site 3 – site 2	0,14
Site 4 – site 2	0,17
Site 4 – site 3	< 0,01

Tabl. 4 : Test de Tukey sur les données de chlorophylle. Rouge : significatif.

Corrélations entre concentration en chlorophylle, *Microcystis*, diversité phytoplanctonique, concentration en nutriment et autres paramètres physico-chimiques

Après analyse visuelle des résultats obtenus dans les figures 3, 4, 5 et les tableaux 1 et 2, nous avons décidé d'essayer les régressions linéaires suivantes : *a*) concentration en chlorophylle en fonction de la concentration en ammonium ; *b*) concentration en chlorophylle en fonction de la concentration en nitrite ; *c*) diversité phytoplanctonique en fonction de la concentration en ammonium ; *d*) diversité phytoplanctonique en fonction de la concentration en nitrite ; *e*) concentration en chlorophylle en fonction de la diversité phytoplanctonique. Les résultats des ANOVA sont présentés dans le tableau 5.

Modèle	R^2 ajusté	valeur-p
Concentration en chlorophylle – ammonium	0,99	0,05
Concentration en chlorophylle – nitrite	0,98	0,06
Diversité du phytoplancton – ammonium	0,89	0,15
Diversité du phytoplancton – nitrite	0,6968	0,25
Concentration en chlorophylle – diversité du phytoplancton	0,81	0,2

Tabl. 5 : Résultats des ANOVA pour nos quatre modèles.

Pour le modèle chlorophylle – ammonium, nous avons décidé de poursuivre l'analyse de manière plus détaillée, car la valeur-p était presque significative. L'ANOVA en R (ne prenant pas en compte l'erreur standard sur la concentration en chlorophylle) a retourné $f(x) = 0{,}25x + 1{,}57$ (R^2 ajusté = 0,9874, statistique-F = 158 sur 1 et 1 degrés de liberté, valeur-p = 0,05054). L'analyse Gnuplot (prenant en compte l'erreur standard sur la concentration en chlorophylle) a retourné $f(x) = 0{,}24x + 2{,}2597$. Notons que les autres statistiques, telle la valeur-p, ne sont malheureusement pas implémentées dans Gnuplot. Les deux régressions linéaires sont représentées dans la figure 6.

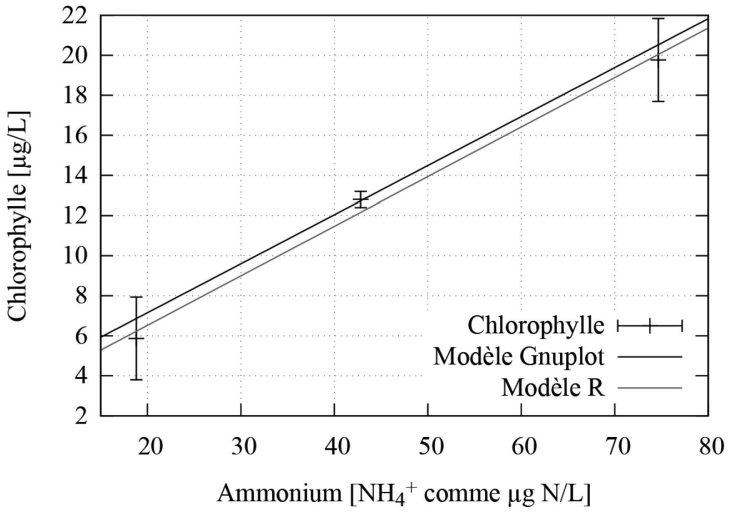


Fig. 6 :
Concentration de chlorophylle en fonction de la concentration en ammonium. Deux modèles linéaires calculés avec différents logiciels sont présentés.

Diversité en macro-invertébrés

Une série temporelle de la diversité en macro-invertébrés est présentée dans la figure 7. Pour une liste plus détaillée, voir le tableau 7 en annexe.

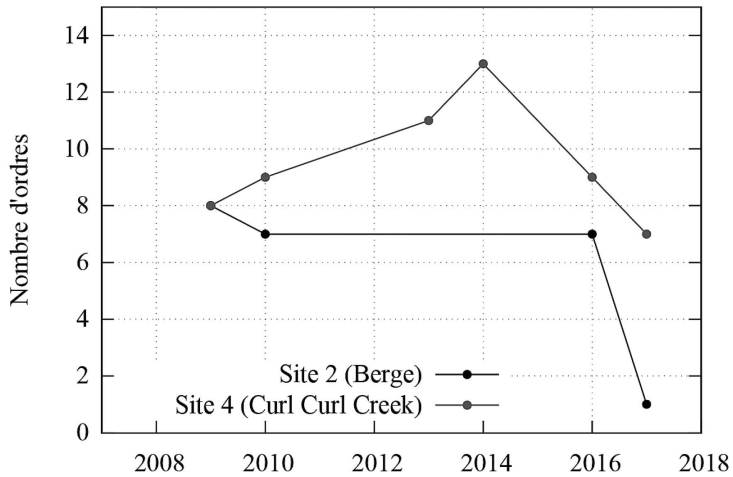


Fig. 7 :
Nombre d'ordres de macro-invertébrés dans les sites 2 et 4.

Discussion

La température de l'eau entre les sites est similaire excepté pour le site 4 qui est au moins 3 °C plus froid que n'importe quel autre site (tableau 1). Cela est probablement dû au peu de profondeur de l'eau (ne fournissant que peu d'inertie thermique) et à sa nature lotique : l'eau ne stagnant pas, le soleil ne peut pas la réchauffer. Un mécanisme d'ombrage par la végétation riveraine est également possible.

Le site 4 semble également avoir un haut taux de saturation en oxygène (8,6 mg · L^{-1}), toutefois, les comparaisons sont difficiles, car il nous manque la valeur absolue de la saturation en oxygène pour le site 1 et la valeur relative pour le site 4 (tableau 1). La nature lotique du site 4 pourrait également en être responsable. Plus de turbulences aident à dissoudre l'oxygène et une température plus basse augmente la solubilité de l'oxygène. Le site 2 a une très basse concentration en oxygène, sous les valeurs recommandées par les normes ANZECC[3]. Les sites 1 et 3 ont des niveaux en oxygène normaux d'après les normes ANZECC. Cependant, une unique mesure ne garantit pas d'être en présence d'un écosystème lentique en bonne santé ; en effet, sous conditions eutrophes, un écosystème aquatique peut avoir un très haut taux de saturation en oxygène durant le jour (à cause de la photosynthèse oxygénique, autrement dit de l'oxygène relâché par les algues) et très bas durant la nuit (à cause de la respiration oxygénique, qui est également une partie du métabolisme desdites algues, mais qui n'est pas contrebalancée par la photosynthèse durant la nuit). Un schéma d'échantillonnage plus réaliste devrait prendre cela en compte.

Les sites 3 et 4 ont une conductivité plus haute que les sites 1 et 2 (tableau 1). La plus haute conductivité au site 3 est liée à l'utilisation de fertilisants (Butler et coll., 2000). Au site 4 (et peut-être également au site 3), nous percevons probablement l'effet du lessivage dû au fort événement de pluie qui a eu lieu pendant notre relevé.

Les sites 1 et 3 sont plutôt alcalins (pH de 8,2 et 8,0 respectivement). Le haut pH du site 3 est lié à l'utilisation de fertilisants (Pond, 2010). Le site 2 en revanche est légèrement acide (pH de 6,3). Une étude plus poussée serait nécessaire pour trouver la cause de cette acidité, mais cela pourrait être lié de manière indirecte à la flore présente.

En ce qui concerne la turbidité, les données sont manquantes pour le site 3. Le site 1 a l'eau la plus claire tandis que les sites 2 et 4 ont une valeur de turbidité équivalente. Le site 4 est un écosystème lotique et donc une entrée de sédiments dans le réservoir. Le site 2 se trouve proche

de la berge et beaucoup de sédiments sont directement délavés en son sein durant les forts événements de pluie. Le site 1 est à côté du barrage, à équidistance et relativement éloigné des deux berges et peut donc ne pas être affecté par l'entrée rapide de sédiments à la rive durant les forts événements pluvieux.

Le profil en fonction de la profondeur au site 1 est peu commun. Nous nous attendions à un graphique classique avec une couche de mélange en surface (épilimnion), un changement rapide après quelques mètres (thermocline) et une autre masse d'eau stable au fond (hypolimnion). Au lieu de cela, nous avons un changement rapide de température, oxygène dissout, pH et salinité dans les 3-4 premiers mètres ; puis les valeurs semblent assez stables avant de changer à nouveau vers 10 mètres de profondeur.

La concentration en dioxygène dissout pourrait être expliquée par la photosynthèse oxygénique et la respiration oxygénique. La zone photique (zone où la lumière pénètre, de l'ordre de 1 à 2 m d'après les mesures du disque de Secchi et de dioxygène dissout) héberge la photosynthèse oxygénique et de l'oxygène est donc produit. De 2 m à 10 m de profondeur, les phénomènes de respiration et de photosynthèse oxygéniques sont probablement moins importants. En revanche, à partir de 10 m et jusqu'au fond (12 m), on a un gradient de matière organique dissoute et en suspension lié à la présence des sédiments. Cette matière organique est décomposée par respiration oxygénique, ce qui consomme l'oxygène.

Le pH et la conductivité pourraient être régulés par les conditions redox au travers de la concentration en oxygène dissout. Le pH en surface peut aussi être influencé par des polluants alcalins (comme les produits de lessive et autres savons) relâchés par les déversoirs d'orage durant les pluies. Notons de plus que le changement de conductivité n'est que d'environ 2,5 %, même si l'échelle du graphique semble exagérer cette différence (figure 2).

Toutefois, pour avoir plus de certitudes quant à ce qui se passe réellement le long de ce profil de profondeur, plus de données sont requises. Elles devraient être collectées selon un schéma d'échantillonnage temporel et événementiel (*time driven fashion* et *event driven fashion*), c'est-à-dire que nous avons besoin de données à différentes saisons et par conditions météorologiques différentes.

En ce qui concerne les nutriments, tous les sites sont bien au-dessus des standards d'alerte ANZECC, de 2 à 24 fois (tableau 2), le site 4 étant le

plus contaminé, le site 1 le moins contaminé et les sites 2 et 3 entre les deux. Cela suggère que l'apport principal en ammonium dans le réservoir de Manly est le site 4 et que les nutriments sont ensuite dilués et dégradés au site 2 puis au site 1. Le terrain de baseball au nord-ouest du réservoir ainsi que la zone résidentielle devraient être analysés en tant que potentielles sources de contamination de Curl Curl Creek. Le terrain de baseball devrait être relativement facile à étudier et est à notre avis la source la plus probable. De plus, Coulter et Williams (2001) ont déjà démontré l'inefficacité des marais artificiels qui ont été créés afin de stopper la libération de nutriments depuis ce site en particulier. Le site 3 n'est plus la préoccupation principale par rapport à la contamination en ammonium bien que la concentration dans ce site soit toujours 8 fois supérieure aux normes. Notons que le terrain de golf était précédemment fertilisé avec un engrais azoté, mais que l'épandage a été arrêté il y a quelques années. Le sol est en revanche toujours saturé et va le rester pour des années.

Seul le site 4 est au-dessus des normes pour les autres formes d'azote (nitrate et azote total, ou NO_x). Les sources potentielles ont déjà été discutées.

Le phosphate présente une distribution totalement différente. Seul le site 3 est au-dessus des normes, environ 3,5 fois. En effet, après avoir arrêté l'usage de fertilisants azotés, les gérants du terrain de golf ont commencé à employer des engrais phosphatés, ce qui explique cette contamination. Cependant, il semble que la contamination n'atteigne pas le réservoir de Manly. Des marais ont été créés entre le terrain de golf et le réservoir. L'absorption de nutriments par les plantes ainsi que leur capacité à retenir les sédiments (Howel et coll., 1998) semblent pouvoir contenir la contamination. Néanmoins, cet effet ne peut être maintenu qu'avec une gestion précautionneuse incluant un retrait régulier de matière organique végétale.

Finalement, notons que les échantillons d'eau ont été récoltés durant une forte pluie, ce qui implique un dévalement des nutriments depuis les zones adjacentes. Lay et Forest (2001) ont trouvé une forte variation dans les concentrations en nutriments dans l'étang du terrain de golf en fonction des conditions météorologiques.

Nous pouvons affirmer que le site 3 (qui peut être classé comme eutrophe) a une concentration en chlorophylle significativement plus haute que les sites 1 et 4 (tableau 4). Les autres comparaisons ne sont pas statistiquement significatives. Cela est probablement dû à la haute erreur standard, ce qui reflète la variabilité annuelle de la chlorophylle.

Probablement qu'avec plus de données, nous aurions trouvé plus de différences significatives comme le suggère la figure 5. La concentration en chlorophylle semble être corrélée à la concentration en nutriments, en particulier l'ammonium pour lequel un modèle linéaire permet d'expliquer 99 % de la variation dans le taux de chlorophylle. Toutefois, la valeur-p est de 0,05 et donc non significative. Il est probable qu'avec un point de plus, le modèle deviendrait significatif.

La concentration en phosphate semble être moins bien corrélée avec le contenu en chlorophylle. Cela signifie soit que l'azote est le facteur limitant de la croissance algale, soit que les algues génèrent de l'ammonium. Les cyanobactéries ont en effet la capacité de fixer l'azote atmosphérique. Readford et coll. (2 000) ont suggéré que le facteur limitant pour l'étang du terrain de golf était plutôt le nitrate.

La diversité phytoplanctonique varie entre les sites, le site 3 ayant la plus basse diversité. Cela pourrait être corrélé aux nutriments et à la nature eutrophe du site 3, mais nos modèles n'étaient pas significatifs (tableau 5). Plus de données seraient à nouveau requises. La constatation la plus frappante est que le site 3 a une diversité réduite de chlorophytes (ou algues vertes) qui pourraient ne pas être capables de rivaliser avec d'autres groupes, comme les cyanobactéries, en conditions eutrophes.

La concentration en *Microcystis* était significativement plus élevée au site 2 par rapport au site 4. Les valeurs-p non ajustées suggèrent que des différences pourraient exister entre *a*) les sites 2 et 3 et *b*) les sites 1 et 4. Notons que le test de Dunn utilisé pour cette analyse est parfois critiqué comme étant trop conservateur, ce qui est également notre opinion au vu de la figure 4. Si nous pouvions obtenir des données respectant les conditions de l'ANOVA et des tests *post-hoc* de Tukey, nous trouverions probablement plus de différences significatives.

En regardant les tableaux 1, 2, 3 et la figure 5, nous ne trouvons aucune explication satisfaisante pour le mécanisme engendrant le très haut taux de *Microcystis* au site 2. Nous suggérons que d'autres paramètres physico-chimiques, comme la présence de métaux lourds toxiques pour d'autres genres d'algues et perturbant l'équilibre des communautés algales, pourraient être responsables.

La diversité en invertébrés est plus grande au site 4 qu'au site 2 (figure 7). Cela est vraisemblablement dû à la nature différente des deux sites. Le site 4 est un écosystème lotique, ce qui signifie un plus haut taux d'oxygène dissout, ce qui est un facteur critique pour les invertébrés. De plus, au site 2, qui est un écosystème lentique, les invertébrés filtreurs

pourraient avoir de la peine à se nourrir étant donné qu'un flux permanent d'eau n'est pas présent. Une analyse plus détaillée au niveau du genre serait nécessaire pour confirmer cette hypothèse. La différence entre les sites 2 et 4 serait vraisemblablement encore plus grande si le site 4 avait un substrat approprié, c'est-à-dire du gravier au lieu de la roche nue.

L'effondrement de la diversité des populations entre 2016 et 2017 a pu être causé par une rapide et forte pollution. Malheureusement, nous n'avons pas les données d'années précédentes pour comparaison.

Nou et Fong (2001) suggèrent que la concentration en ammonium contrôle la diversité des invertébrés des ruisseaux du bassin versant du réservoir de Manly. À bas pH, l'ammonium peut se dissocier et devenir toxique. Le site 2 est le site avec le plus bas pH, donc nous devrions davantage investiguer cette piste. D'autres pollutions, telle la salinité de l'eau (Kefford et coll., 2011; les sites 2 et 4 ont tous deux une très haute conductivité) ou les métaux lourds, sont aussi envisageables. Elith et Garwood (2001) ont trouvé qu'en 2001, la concentration en métaux lourds dans les sédiments fins du bassin versant du réservoir de Manly était relativement basse. Toutefois, cela pourrait avoir changé. Une nouvelle étude serait bienvenue.

Conclusion

Nous avons vu que les sites d'études étaient différents de par leur nature physico-chimique et les communautés biologiques qu'ils abritent. Le site 3 est le plus pollué au phosphate et est en dessus des valeurs ANZECC recommandées pour l'ammonium. C'est un environnement eutrophe avec une diversité plus faible que les autres sites. Le site 4 est responsable pour la pollution à l'ammonium du réservoir et est très différent des autres sites de par sa nature lotique. Le site 2 a une haute concentration en *Microcystis*, mais nous n'avons pas été capables de trouver une explication satisfaisante. Le site 1 devrait être sous surveillance en ce qui concerne la concentration en *Microcystis* mais autrement, les paramètres physico-chimiques ainsi que la concentration en chlorophylle semblent raisonnables. Le profil de la profondeur était quelque peu intrigant et plus d'analyses seraient nécessaires.

Limitations

Cette étude a été réalisée durant un cours de bachelor. Son but était de donner aux élèves un aperçu des divers facteurs influençant un écosystème aquatique plus que de produire une étude fiable pour la prise de décision. L'étude complète était basée sur seulement un jour d'échantillonnage, par forte pluie. Plus de données, suivant un schéma d'échantillonnage temporel et événementiel, seraient nécessaires pour produire des résultats fiables. Le nombre de sites échantillonnés pourrait également être insuffisant pour différencier les relations spatiales des paramètres physico-chimiques, c'est-à-dire pour comprendre d'où viennent précisément les contaminations. Le manque de données induit des résultats peu signifiants, alors que nous aurions pu établir des relations avec un vrai jeu de données. Le fait que les données aient été collectées par des étudiants inexpérimentés pourrait également avoir causé des imprécisions qui conduisent à une variance excessive dans les données. La détermination des invertébrés a aussi été conduite à un haut rang taxinomique. Pour le *biomonitoring*, l'identification est typiquement réalisée au niveau du genre, ce qui donne plus de renseignements sur la qualité de l'eau.

Annexes

Des données additionnelles sont présentées ci-dessous. Celles-ci incluent le tableau 6 présentant le détail du phytoplancton présent et le tableau 7 présentant le détail des invertébrés présents.

Groupe	Genre	Site 1 (Barrage)	Site 2 (Berge)	Site 3 (Étang)
Bacilliarophyta	*Aulacosiera*	B		M
Bacilliarophyta	*Cyclotella*	B	M	
Bacilliarophyta	*Fragilaria*	B	M	B
Bacilliarophyta	*Gomphonema*	B	B	B
Bacilliarophyta	*Melosira*	B		
Bacilliarophyta	*Navicula*	B		B
Chlorophyta	*Ankistrodesmus*	B		
Chlorophyta	*Botryococcus*	B		M
Chlorophyta	*Closterium*	B	M	B
Chlorophyta	*Cosmarium*	B	B	
Chlorophyta	*Crucigena*		M	
Chlorophyta	*Elakacothrix*	B		
Chlorophyta	*Gonium*		B	M
Chlorophyta	*Gymnodinium*		B	
Chlorophyta	*Hyalotheca*	B	M	B
Chlorophyta	*Microspora*	B	B	
Chlorophyta	*Mougeotia*	B	B	B
Chlorophyta	*Oedogonium*	B	B	B
Chlorophyta	*Oocystis*	M	B	
Chlorophyta	*Pediastrum*	B	B	
Chlorophyta	*Pseudosphaerocystis*	B	M	
Chlorophyta	*Scendesmus*	B		B
Chlorophyta	*Spirogyra*	B	M	H

Groupe	Genre	Site 1 (Barrage)	Site 2 (Berge)	Site 3 (Étang)
Chlorophyta	*Staurastrum*	M		B
Chlorophyta	*Staurodesmus*			B
Chlorophyta	*Stigeolonium*		M	
Chlorophyta	*Straustrum*	B	B	B
Chlorophyta	*Strombomonas*	B		
Chlorophyta	*Tripoceras*		B	
Chlorophyta	*Zygnema*		M	B
Chrisophyta	*Dinobryon*		M	
Chrisophyta	*Mallamonas*		B	
Chrisophyta	*Synura*	B	M	
Cryptophyta	*Cryptomonas*	B		
Cyanophyta	*Anabaena*		B	B
Cyanophyta	*Microcystis*	H	M	B
Cyanophyta	*Oscillatoria*	B	B	M
Dinophyta	*Ceratium*	M		B
Dinophyta	*Perdinium*	M	H	B
Euglenophyta	*Chlamydomonas*	B	M	B
Euglenophyta	*Euglena*	B	M	M
Euglenophyta	*Phacus*	B	M	
Euglenophyta	*Trachelamonas*	B	M	H

Tabl. 6 : Présence/absence de phytoplancton. L'abondance relative est donnée. H : haute ; M : moyenne ; B : basse ; aucune lettre : absent. Notons que le site 4 est absent du tableau, car aucune algue n'y a été trouvée.

	2009		2010		2013	2014	2016		2017	
Ordre	Site 2	Site 4	Site 2	Site 4	Site 4	Site 4	Site 2	Site 4	Site 2	Site 4
Acarina	P	P	P	P			P			
Coleoptera		P		P	P	P		P		
Decapoda	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Diptera	P	P	P	P	P	P	P	P		P
Ephermeroptera	P			P	P	P	P	P		
Euhiruidinea						P		P		
Hemiptera		P	P	P	P	P	P	P		P
Lepidoptera										
Mecoptera					P					
Megaloptera						P				
Mollusca	P	P	P	P	P	P	P			P
Neuroptera					P	P				
Odonata	P	P	P	P	P	P	P	P		P
Oligochaeta	P	P		P	P	P				P
Plecoptera						P		P		P
Tricoptera	P		P		P	P		P		
Total	8	8	7	9	11	13	7	9	1	7

Tabl. 7 : Présence/absence des ordres de macro-invertébrés. P : présent ; vide : absent.

Remerciements

Je tiens à remercier l'université de Neuchâtel et l'université de technologie de Sydney (UTS) qui m'ont permis de réaliser mon séjour en Australie. Je remercie également les responsables du cours d'écologie aquatique à l'UTS, Simon Mitrovic, Peter Jones et Brad Murray, ainsi que les étudiants ayant pris part aux mesures sur le terrain. Je remercie mes relecteurs, Théodore Hafen et Gilles Felber.

Nicolas Roeschli a effectué sa maturité gymnasiale au lycée cantonal de Porrentruy en option spécifique biochimie et option complémentaire informatique. Il a ensuite entrepris un bachelor en systèmes naturels option biologie à l'université de Neuchâtel et a effectué le dernier semestre de celui-ci en échange à l'université de technologie de Sydney en suivant les cours du bachelor en biologie environnementale. Il poursuit actuellement ses études avec un master en biogéosciences, donné conjointement par les universités de Neuchâtel et de Lausanne.

RÉFÉRENCES

Barroin G., 2004. On en parle encore — À propos de l'article « Phosphore, azote et prolifération des végétaux aquatique » par Guy Barroin. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA* 52, 109-112.

Barroin G., 2003. « Phosphore, azote et prolifération des végétaux aquatiques ». *Le Courrier de l'environnement de l'INRA* 48, 13-25.

Buson C., 2012. « Retour écologique sur la question des nitrates ». *Recursos rural*, vol. 1, p. 39-49.

Butler M., Murray C., Johnson R., Farrugia D., 2000. « Analysis of nutrients from stored and runoff water on the Wakehurst Golf Course ». *UTS Freshwater Ecology Report of 2000*.

Cantin A., 2009. Abaissement artificiel de la thermocline d'un lac : effets sur le plancton.

Cantin A., Beisner, B. E., Gunn, J. M., Prairie, Y. T., Winter, J. G., 2011. « Effects of thermocline deepening on lake plankton communities ». *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 68, 260-276.

Coulter J., Williams M., 2001. « The Efficiency of the Artificial Wetlands Surrounding Manly Dam ». *UTS Freshwater Ecology Report of 2001*.

Craig N., 2016. *Impacts of dissolved organic carbon on productivity of fish and benthic macroinvertebrates in north temperate lakes*. Thèse non publiée, université McGill, Montréal.

Davis J. R., Koop K., 2006. « Eutrophication in Australian rivers, reservoirs and estuaries – a southern hemisphere perspective on the science and its implications ». *Hydrobiologia* 559, 23-76.

Davis T. W., Berry D. L., Boyer G. L., Gobler C. J., 2009. « The effects of temperature and nutrients on the growth and dynamics of toxic and non-toxic strains of *Microcystis* during cyanobacteria blooms ». *Harmful Algae* 8, 715-725.

Elith M., Garwood S., 2001. « Investigation into the levels of heavy metals within Manly Dam Catchment ». *UTS Freshwater Ecology Report of 2001*.

Havens K. E., Phlips E. J., Cichra M. F., Li, B., 1998. « Light availability as a possible regulator of cyanobacteria species composition in a shallow subtropical lake ». *Freshwater Biology* 39, 547-556.

Hotto A. M., Satchwell M. F., Berry D. L., Gobler C. J., Boyer G. L., 2008. « Spatial and temporal diversity of microcystins and microcystin-producing genotypes in Oneida Lake, NY ». *Harmful Algae* 7, 671-681.

Howell J., Benson D., McDougall L., 1994. « Developing a strategy for rehabilitating riparian vegetation of the Hawkesbury-Nepean River, Sydney, Australia ». *Pacific Conservation Biology* 1, 257–271.

Kefford B. J., Marchant R., Schäfer R. B., Metzeling, L., Dunlop, J.E., Choy, S.C., Goonan, P., 2011. « The definition of species richness used by species sensitivity distributions approximates observed effects of salinity on stream macroinvertebrates ». *Environmental Pollution* 159, 302-310.

Konopka A., Brock T. D., 1978. « Effect of temperature on blue-green algae (cyanobacteria) in Lake Mendota ». *Applied and Environmental Microbiology* 36, 572-576.

Lay D., Forrest J., 2001. « Nutrient analysis of run-off from the Wakehurst Golf Course into Manly Dam ». *UTS Freshwater Ecology Report of 2001*.

Mercier-Blais S., 2014. *Effets d'un abaissement artificiel de la thermocline d'un lac sur les dynamiques physiques et les transformations de carbone*. Travail de mémoire non publié réalisé dans le cadre du projet TIMEX. Université du Québec, Montréal, 72 p.

Nou T., Fong M., 2001. « The diversity of benthic macroinvertebrates within the creeks of the Manly Dam catchment ». *UTS Freshwater Ecology Report of 2000*.

Pond G. J., 2010. « Patterns of Ephemeroptera taxa loss in Appalachian headwater streams (Kentucky, USA) ». *Hydrobiologia* 641, 185-201.

Readford K., Harris S., Tang C., 2000. « Algal Bioassays using water collected from Manly Dam catchment ». *UTS Freshwater Ecology Report of 2000*.

Ye W., Liu X., Tan J., Li D., Yang H., 2009. « Diversity and dynamics of microcystin — Producing cyanobacteria in China's third largest lake, Lake Taihu ». *Harmful Algae* 8, 637-644.

NOTES

[1] Nicolas Roeschli, School of Environment, UTS, Broadway, NSW 2007, Australia, nicolas.roschli@unine.ch

[2] Document fourni durant le cours d'écologie aquatique « Laboratory manual, Limnochemistry, Algology, Macroinvertebratess and Microinvertebrates » qui décrit en détail les méthodes.

[3] Document créé par les gouvernements d'Australie et de Nouvelle-Zélande, nommé « ANZECC, 2000. National Water Quality Management Strategy Paper No. 4. Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality Volume 1 — The Guidelines ». Il décrit les critères à respecter pour la qualité des eaux et est disponible en ligne.

ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT DE L'A16 EN AJOIE : PLUVIOMÉTRIE DE 1990 À 2017

FLORENCE BOESCH

La surveillance des eaux souterraines et superficielles potentiellement touchées par la réalisation de l'autoroute A16 en Ajoie a été initiée il y a 30 ans déjà. Elle couvre la période « avant, pendant et après les travaux » de réalisation de l'A16 dans les sections 1, 2 et 3 (de Boncourt à Porrentruy Ouest), soit les années 1990 à 2018.

L'installation et l'exploitation du réseau de mesures hydrologiques A16 1-2-3 trouve son origine, sa justification et son évolution dans les études d'impact sur l'environnement (E.I.E.) de l'A16 1-2-3. Le but principal reste la protection de l'alimentation en eau, assurée par des sources, aquifères et puits localisés sur ou à proximité du tracé autoroutier. La grande vulnérabilité des sources karstiques et des aquifères alluviaux de la vallée de l'Allaine exige en effet une haute surveillance tant sur le plan quantitatif que qualitatif.

Les mesures de surveillance des eaux sont bien évidemment liées à la pluviométrie. C'est pourquoi le paramètre *Précipitations*, représentant l'entrée *(input)* dans le système hydrologique ajoulot, fait partie intégrante des mesures mises en place dans le cadre de l'E.I.E. A16 1-2-3.

1. Présentation du réseau de mesures pluviométriques A16 en Ajoie

En 1990, le réseau pluviométrique A16 en Ajoie se composait de 11 stations :

BRE	Bressaucourt	dans le village	1990 – 2018
MAI	Le Maira (Buix)	dans le hameau	1990 – 2018
PAP	Paplemont (Courgenay)	à proximité de la ferme	1990 – 2018
TEO	Théodoncourt (Chevenez)	à proximité de la ferme	1990 – 2018
VAM	Vacherie-Mouillard (Courgenay)	à proximité de la ferme	1990 – 2018
MOR	Mormont (Courchavon)	à côté de la station Météosuisse	1990 – 2000
BUI	Buisson-Galant (Alle)	à proximité de la ferme	1990 – 1998
COU	Courtemaîche	à proximité de la maison	1990 – 1998
MOC	Mont-de-Cœuve (Cœuve)	à proximité du restaurant	1990 – 1998
PER	La Perche (Porrentruy)	à proximité de la ferme	1990 – 1998
ROC	Rocourt	à proximité de la ferme	1990 – 1998

Après 2000, seules 5 stations ont perduré: BRE, MAI, PAP, TEO, VAM. Les 6 autres ont été abandonnées pour des raisons de redondance et de coût d'exploitation principalement.

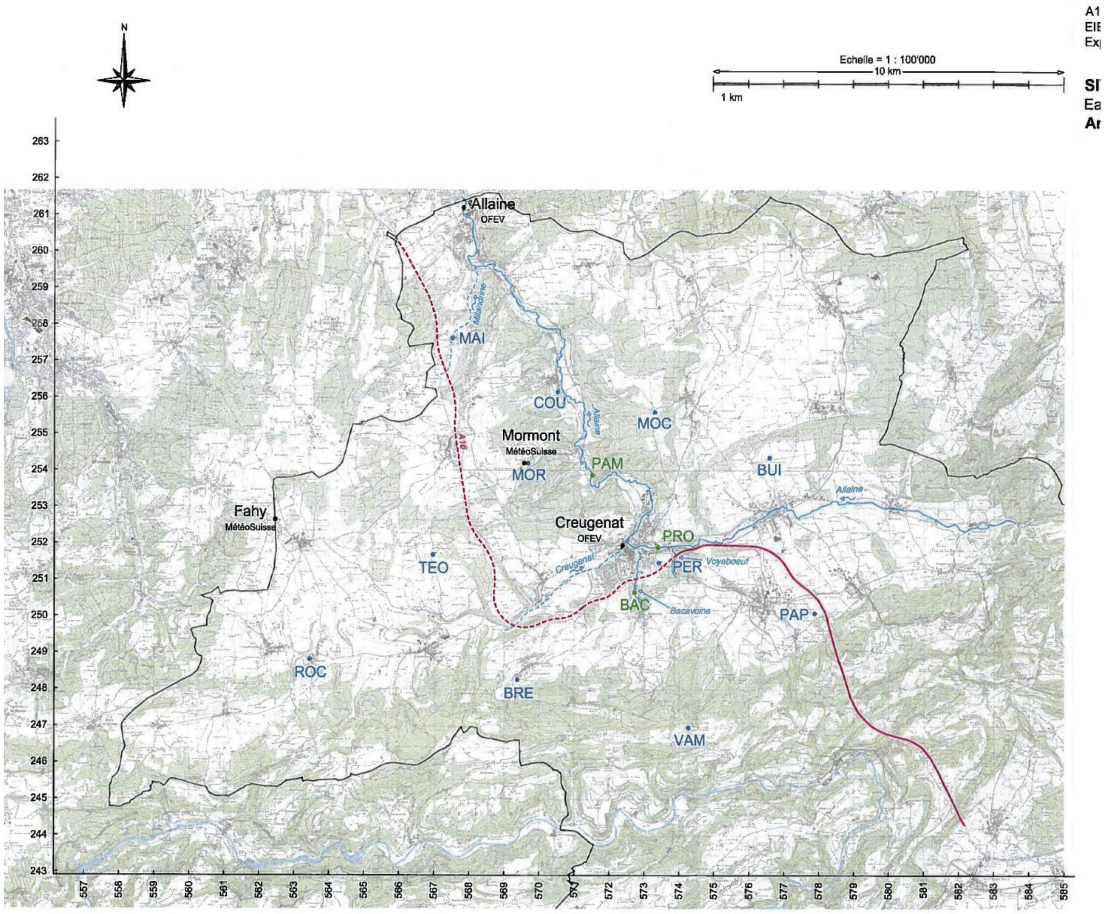


Fig. 1 : Situation des stations pluviométriques A16 en Ajoie en 1990 (en bleu).

2. Méthodologie d'acquisition et de traitement des mesures

Les stations pluviométriques sont équipées de pluviomètres de type Hellmann à augets basculants de 0,2 mm, avec un cylindre de réception de 400 cm² et un système de chauffage intégré. Un thermomètre avec indication des minima et maxima complète la station.

Dès 2001, des échelles à neige sont installées aux stations MAI, TEO et VAM.

L'acquisition des mesures en continu est assurée par un module autonome, muni d'une cassette mémoire interchangeable, et réglé en permanence sur l'heure d'hiver.

L'acquisition automatique se fait en mode « événement », c'est-à-dire que chaque basculement d'auget de 0,2 mm est enregistré avec sa date : an-jour-mois ; heure-minute-seconde.

Chaque jour, les stations pluviométriques sont contrôlées visuellement par un exploitant chargé d'effectuer également un relevé météorologique et d'avertir le bureau en cas de problème ou de panne. Les observations sont consignées sur des fiches mensuelles.

Chaque début de mois, ou en cas de besoin et demande de l'exploitant, les stations pluviométriques sont contrôlées et entretenues par les soins du bureau mandataire. Les différentes opérations effectuées in situ sont les suivantes :

— changement de la cassette mémoire contenant les données du mois précédent ;

— contrôle de fonctionnement du pluviomètre, du chauffage et de l'enregistreur ;

— contrôle de l'horizontalité du pluviomètre ;

— contrôle du tarage de l'auget ;

— démontage et nettoyage de la crépine ;

— observations diverses.

Chaque début d'année, les décalages d'horloge des enregistreurs sont contrôlés et corrigés si nécessaire. En principe, elles n'excèdent pas quelques minutes.

Toutes les opérations effectuées in situ par le bureau sont systématiquement consignées et intégrées dans le traitement ultérieur des données.

Les données pluviométriques brutes sont traitées et validées avec la méthodologie Codeau[1], qui permet d'attacher, à chaque valeur mesurée, des indications sur la correction, la précision de la donnée ou encore la forme des précipitations, neige ou grêle par exemple.

Le but de cette tâche est d'obtenir des mesures correctes, continues, consistantes, homogènes et représentatives :

— correction	=	valeur mesurée proche de la valeur réelle
— continuité	=	pas de rupture dans la série de mesure
— consistance	=	pas de modification dans les conditions internes de la mesure
— homogénéité	=	pas de modification dans les conditions extérieures à la mesure
— représentativité	=	valeur mesurée traduit correctement le paramètre observé

Ainsi, les analyses de détail, le traitement hydrologique et statistique, les comparaisons spatiales et temporelles, la modélisation des données hydrologiques seront d'autant plus fiables que la qualité des données validées est bonne.

Les stations Météosuisse de Fahy et Mormont servent de contrôle et de référence pour les stations pluviométriques A16.

À partir des données validées, il est procédé à une reconstitution des valeurs journalières manquantes, sur la base des stations avoisinantes ou des données différées de la propre station.

Seules les données validées et reconstituées sont éditées et mises à disposition du maître d'ouvrage et des différents utilisateurs.

3. Précision des données pluviométriques

La précision des données pluviométriques validées est fonction d'erreurs systématiques et internes que nous estimons ainsi :

Erreurs systématiques

Selon l'*Atlas hydrologique de la Suisse*[2], « les précipitations mesurées [en Suisse] doivent être corrigées d'un certain nombre d'erreurs systématiques, dont principalement des pertes dues à l'influence du vent ainsi qu'au mouillage des parois à l'intérieur de l'instrument. Les valeurs de ces corrections subissent d'importantes variations spatiales et temporelles. La prise en compte des corrections a pour effet généralement de relever les valeurs mesurées d'environ 5 à 40 % ».

Pour les stations fédérales de Fahy et Mormont, ces corrections sont de l'ordre de 10 % :

— Mormont, de 1951 à 1980 :	Hauteur annuelle moyenne mesurée	=	1081 mm
	Hauteur annuelle moyenne corrigée	=	1186 mm
— Fahy, de 1957 à 1980 :	Hauteur annuelle moyenne mesurée	=	1048 mm
	Hauteur annuelle moyenne corrigée	=	1148 mm

Un déficit de pluviométrie s'applique donc aux stations fédérales ainsi qu'aux stations A16 en Ajoie, estimé à environ 10 %.

Erreurs internes

Chaque appareil de mesure est caractérisé par ses imprécisions propres. Dans le cas des pluviomètres A16, entretenus et contrôlés régulièrement, les erreurs internes sont estimées ainsi :

— Imprécision de l'appareil de mesure	estimation	0-1 %
— Erreur sur les fortes intensités	estimation	1 %
— Erreur de tarage des augets	estimation	0-3 %

L'imprécision interne d'une station pluviométrique A16 en Ajoie est de ± 1 % à ± 5 %.

Les imprécisions dues aux erreurs systématiques et internes peuvent s'additionner ou se soustraire et se situent donc entre – 5 % et – 15 % des précipitations réelles.

Une comparaison détaillée entre stations fédérales et A16 effectuée par notre bureau permet de conclure que les stations pluviométriques A16 en Ajoie peuvent être qualifiées de bonnes et représentatives de leur lieu d'implantation, au même titre que les stations fédérales.

4. Exemple de station pluviométrique A16 : Bressaucourt

À titre d'exemple, nous présentons ici la station pluviométrique A16 de Bressaucourt, en 2017.

La fiche signalétique avec photo décrit la station (annexe 1).

Les relevés journaliers des exploitants complètent l'acquisition automatique des mesures (annexe 2).

Les opérations de contrôle, validation et qualification des données sont marquées sur les données (annexe 3).

Les valeurs journalières, mensuelles et annuelles, avec reconstitution si nécessaire, sont éditées et traitées statistiquement (annexe 4).

Pour illustration, nous présentons les valeurs annuelles et mensuelles de la pluviométrie à Bressaucourt, de 1990 à 2017, sous forme graphique.

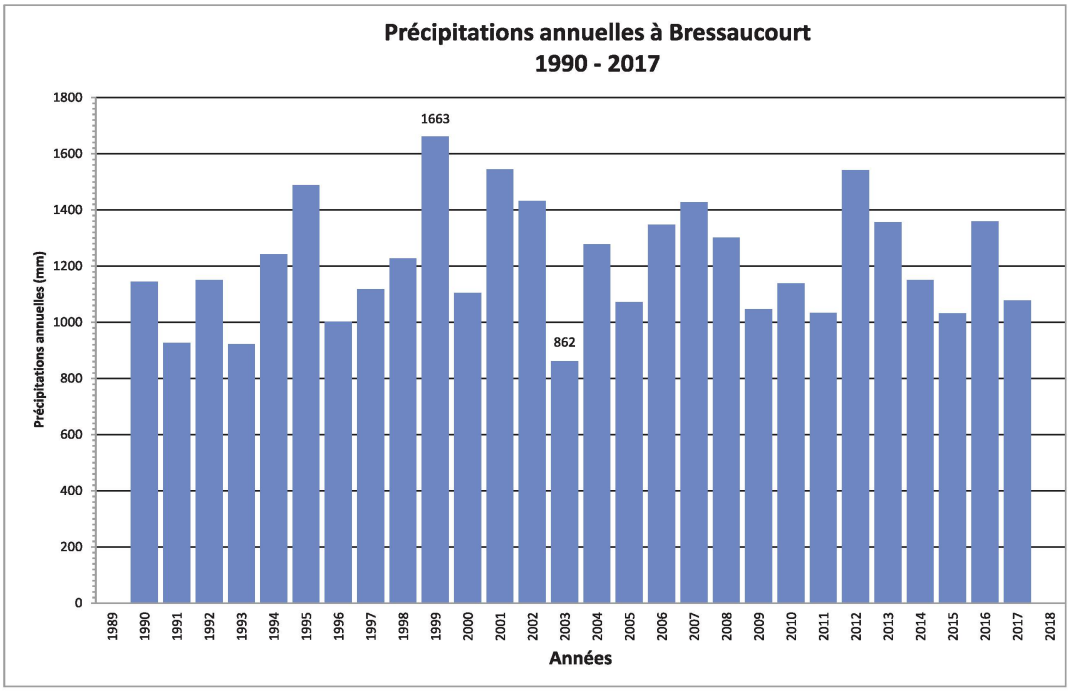


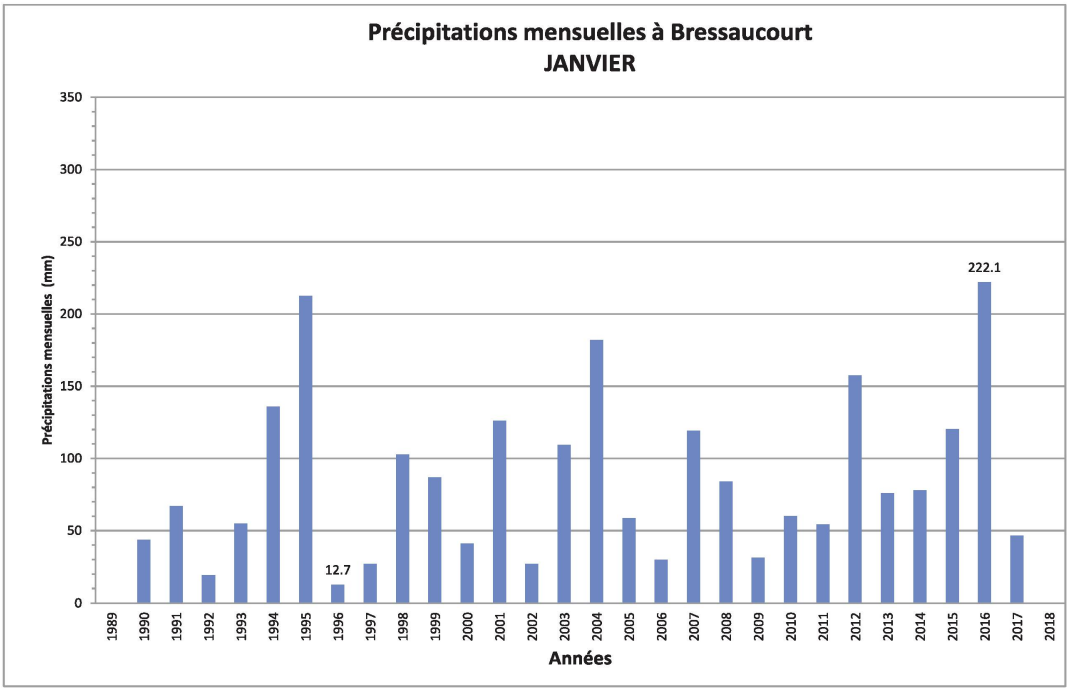
Fig. 2 : Précipitations annuelles à Bressaucourt (BRE), de 1990 à 2017.

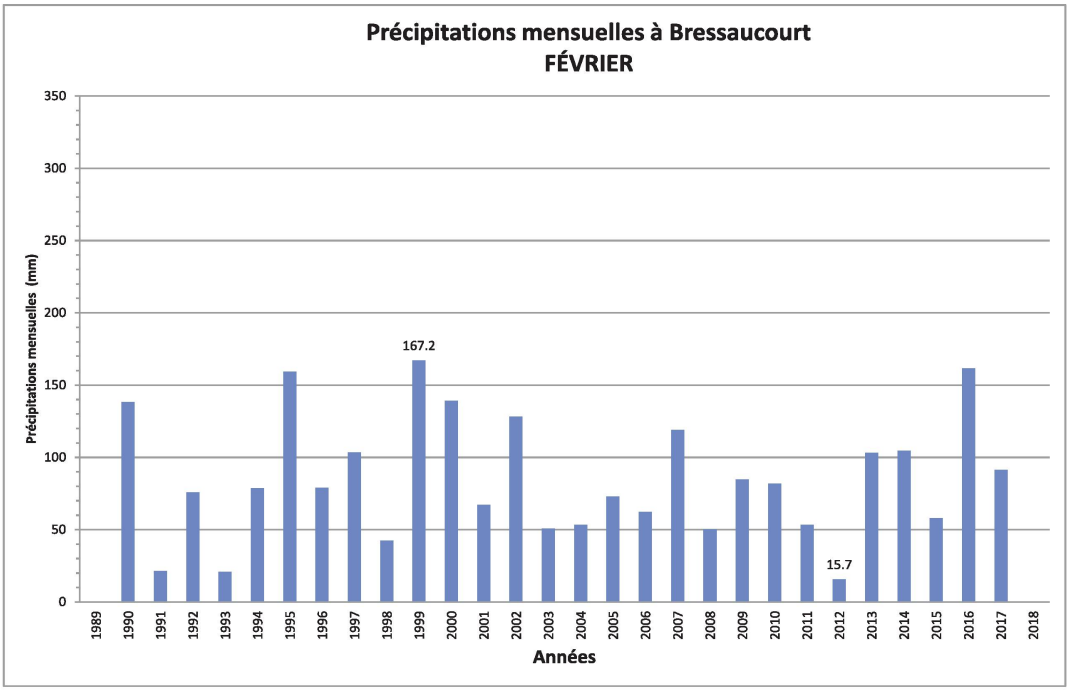
Les précipitations annuelles varient fortement d'une année à l'autre, du simple au double sur toute la période. L'évolution des précipitations annuelles ne montre par contre aucune tendance, ni positive ni négative. De même, il n'existe pas de discontinuité marquée sur la période.

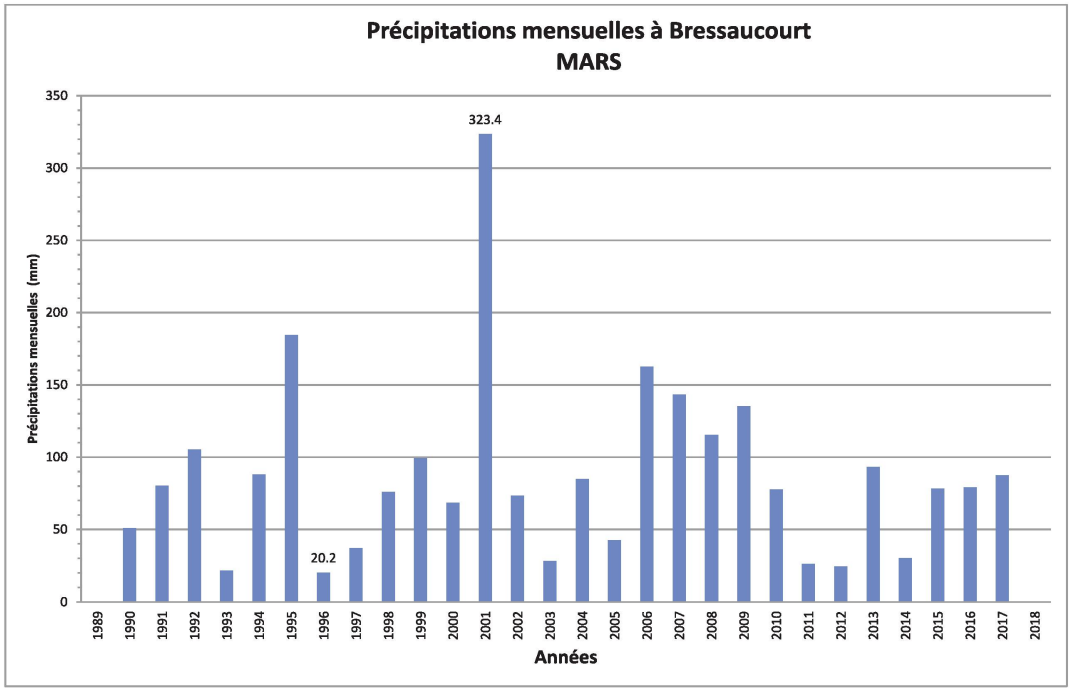
Les tableaux suivants montrent l'évolution des précipitations mensuelles à Bressaucourt, de 1990 à 2017.

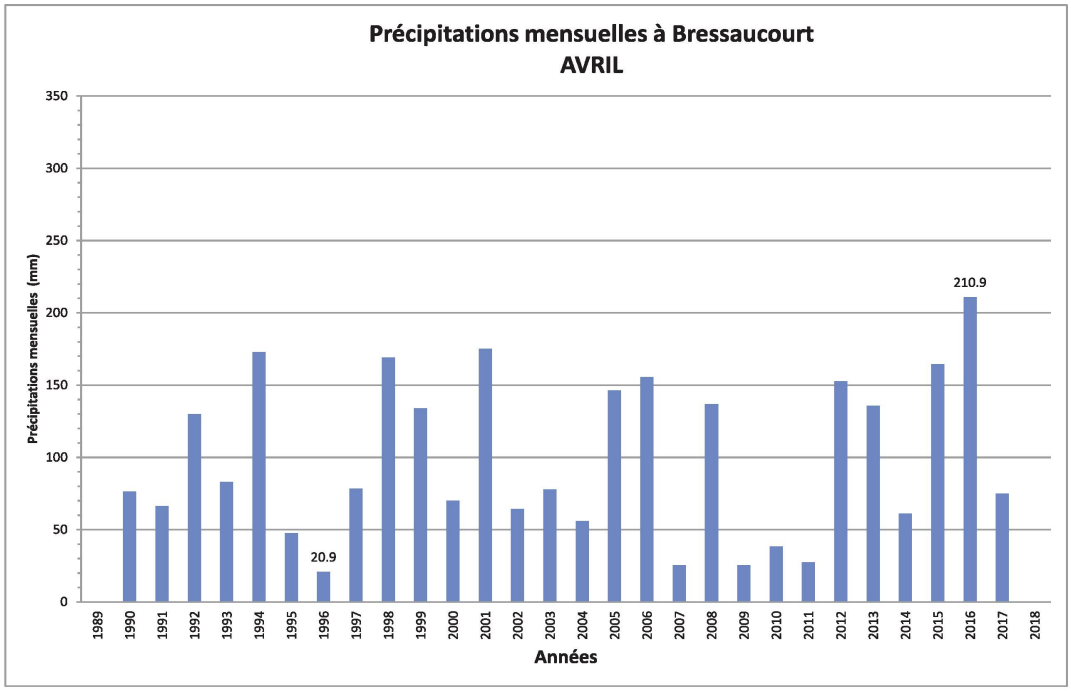
Les précipitations mensuelles varient très fortement d'une année sur l'autre. L'évolution des précipitations de chacun des mois ne montre aucune tendance marquée, ni positive, ni négative. De même, il n'existe pas de discontinuité marquée sur la période. On relève que les mois de janvier à avril sont en principe peu pluvieux et que les précipitations des mois de mars, août, novembre et décembre présentent de grandes variations d'une année à l'autre.

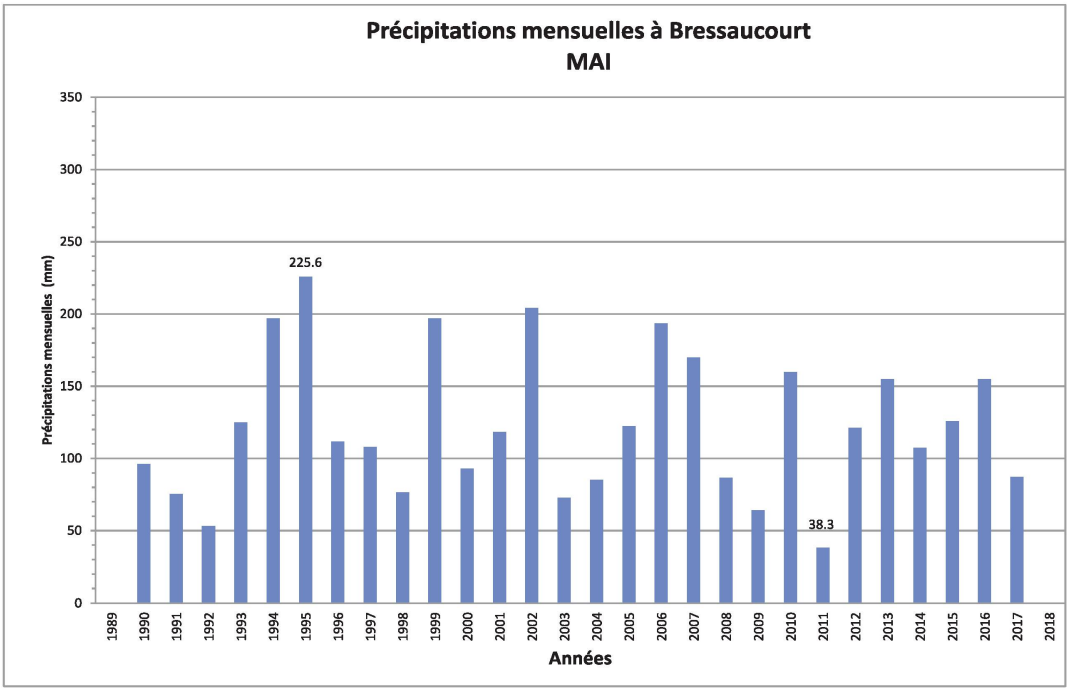
Fig. 3 à fig. 14 : Précipitations mensuelles à Bressaucourt (BRE), de 1990 à 2017.

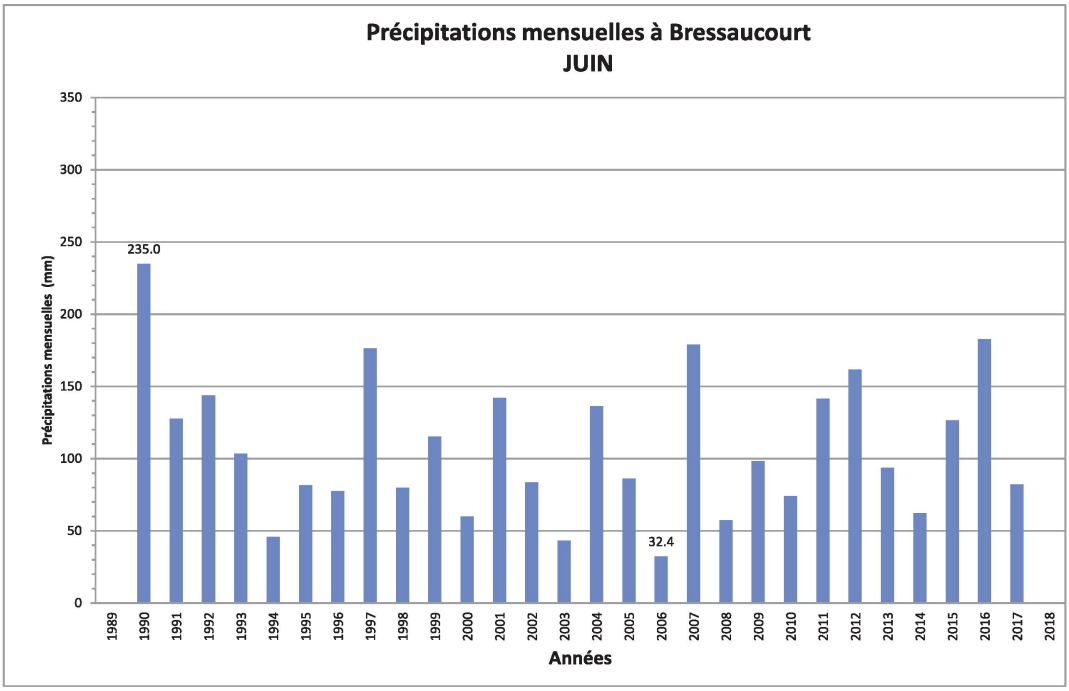


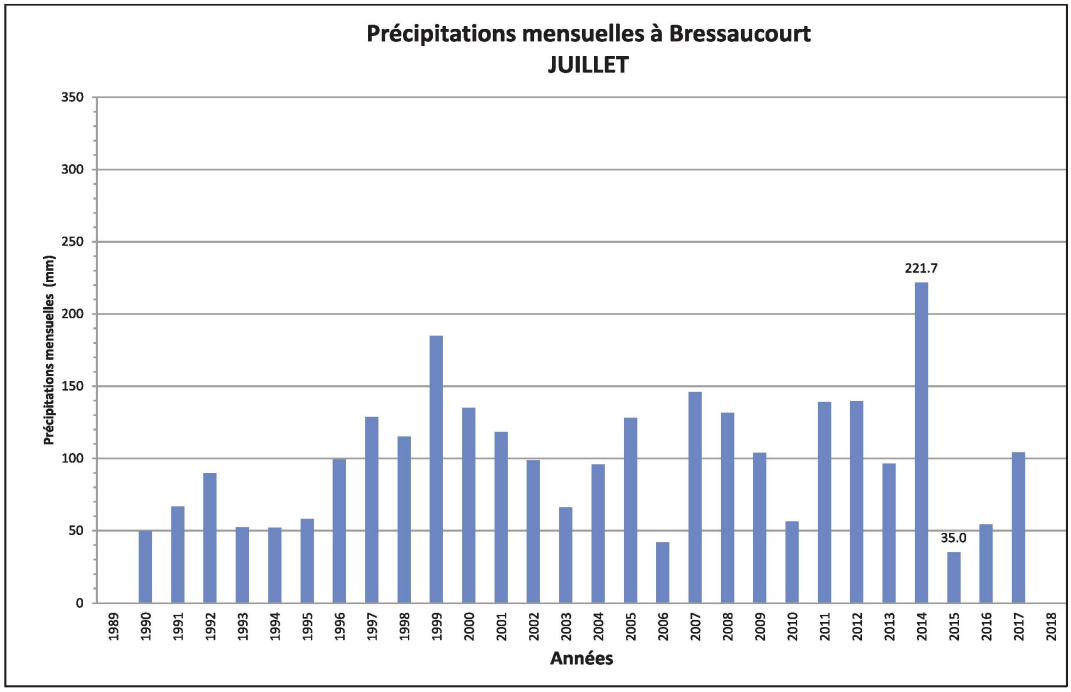


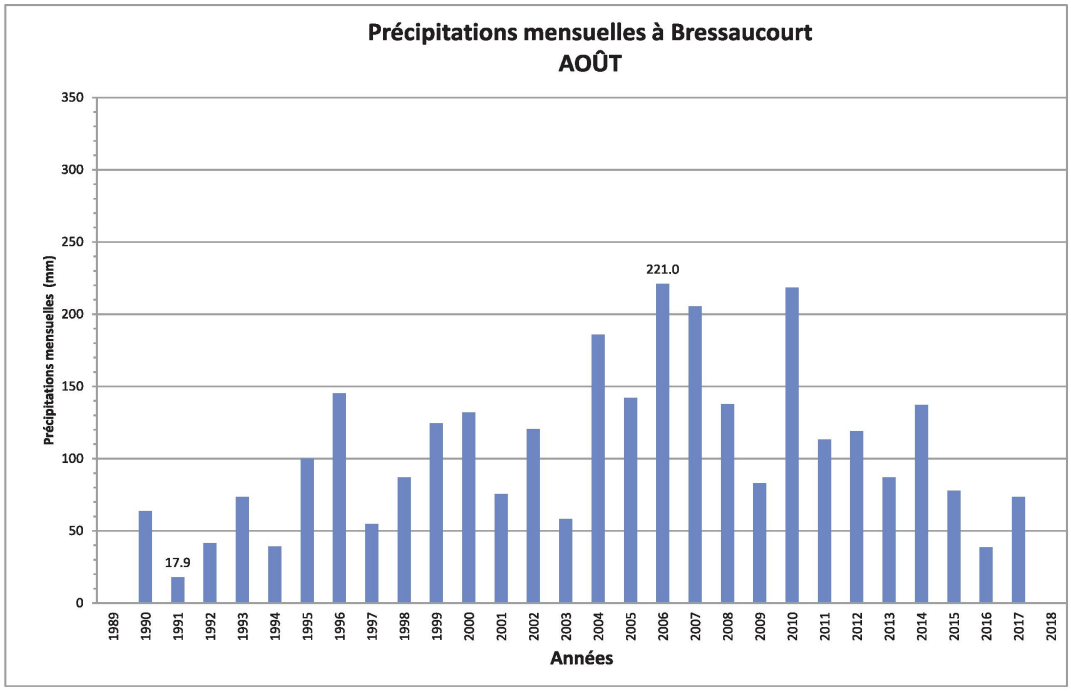

Précipitations mensuelles à Bressaucourt
MARS
Précipitations mensuelles (mm)
350
300
250
200
150
100
50
0
323.4
20.2
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
Années

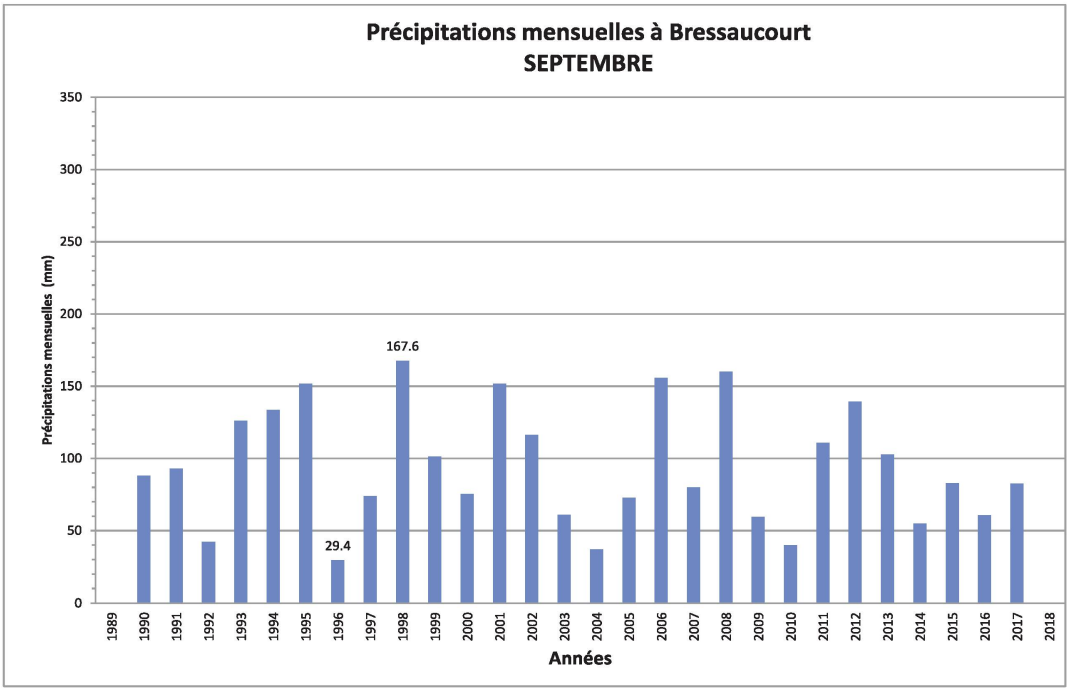

Précipitations mensuelles à Bressaucourt
AVRIL
Précipitations mensuelles (mm)
350
300
250
200
150
100
50
0
210.9
20.9
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
Années

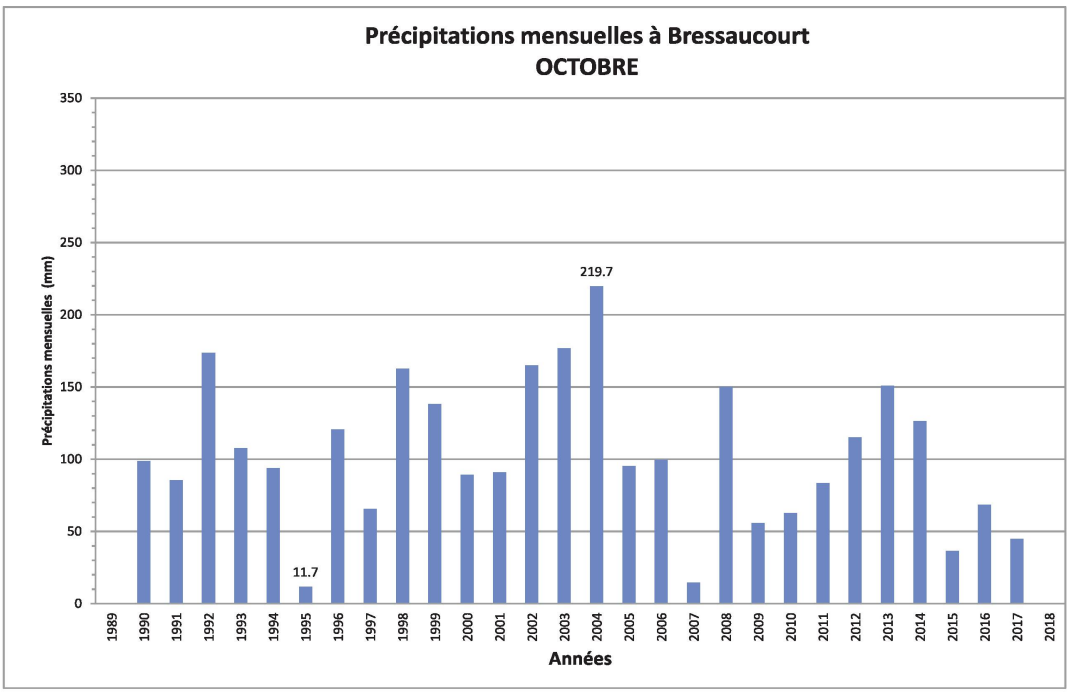

Précipitations mensuelles à Bressaucourt
MAI
Précipitations mensuelles (mm)
350
300
250
200
150
100
50
0
225.6
38.3
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
Années

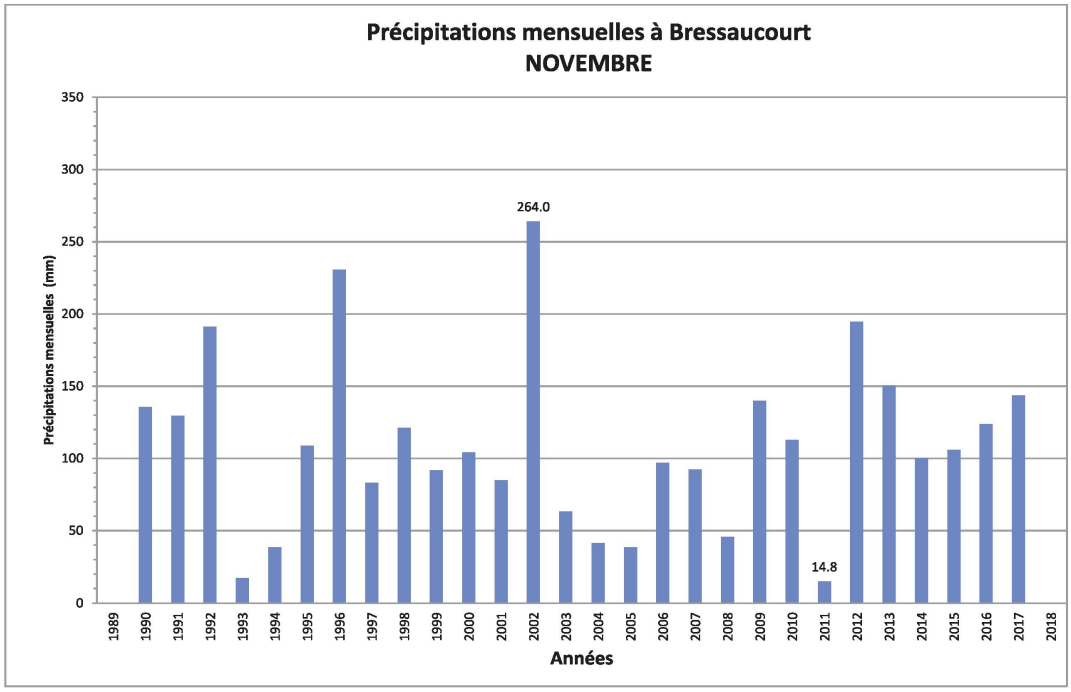

Précipitations mensuelles à Bressaucourt
JUIN
Précipitations mensuelles (mm)
350
300
250
200
150
100
50
0
235.0
32.4
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
Années

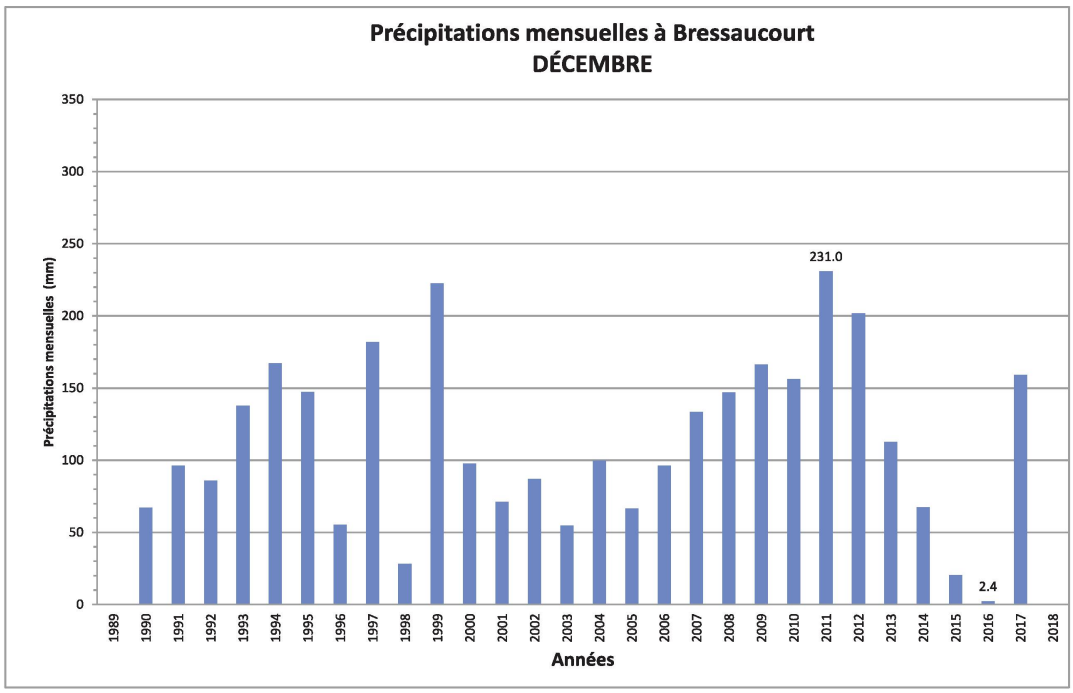

Précipitations mensuelles à Bressaucourt
JUILLET
Précipitations mensuelles (mm)
350
300
250
200
150
100
50
0
221.7
35.0
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
Années


Précipitations mensuelles à Bressaucourt
AOÛT
Précipitations mensuelles (mm)
350
300
250
200
150
100
50
0
17.9
221.0
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
Années


Précipitations mensuelles à Bressaucourt
SEPTEMBRE
Précipitations mensuelles (mm)
350
300
250
200
150
100
50
0
167.6
29.4
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
Années


Précipitations mensuelles à Bressaucourt
OCTOBRE
Précipitations mensuelles (mm)
350
300
250
200
150
100
50
0
219.7
11.7
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
Années


Précipitations mensuelles à Bressaucourt
NOVEMBRE
Précipitations mensuelles (mm)
350
300
250
200
150
100
50
0
264.0
14.8
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
Années


Précipitations mensuelles à Bressaucourt
DÉCEMBRE
Précipitations mensuelles (mm)
350
300
250
200
150
100
50
0
231.0
2.4
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
Années

5. Comparaison des précipitations annuelles en Ajoie

Nous montrons ici les valeurs annuelles mesurées aux cinq stations A16 (BRE, MAI, PAP, TEO, VAM) et aux deux stations Météosuisse (Mormont et Fahy). Nous qualifions chaque année pluviométrique en comparant la valeur annuelle à la norme 1990 – 2010 de la station concernée, selon la tabelle suivante :

Moyenne des écarts annuels	**Année**
< – 20 %	sèche
– 20 % à – 10 %	peu pluvieuse
– 10 % à + 10 %	normale
+ 10 % à + 20 %	pluvieuse
> + 20 %	très pluvieuse

Qualification des années pluviométriques de 1990 à 2017.

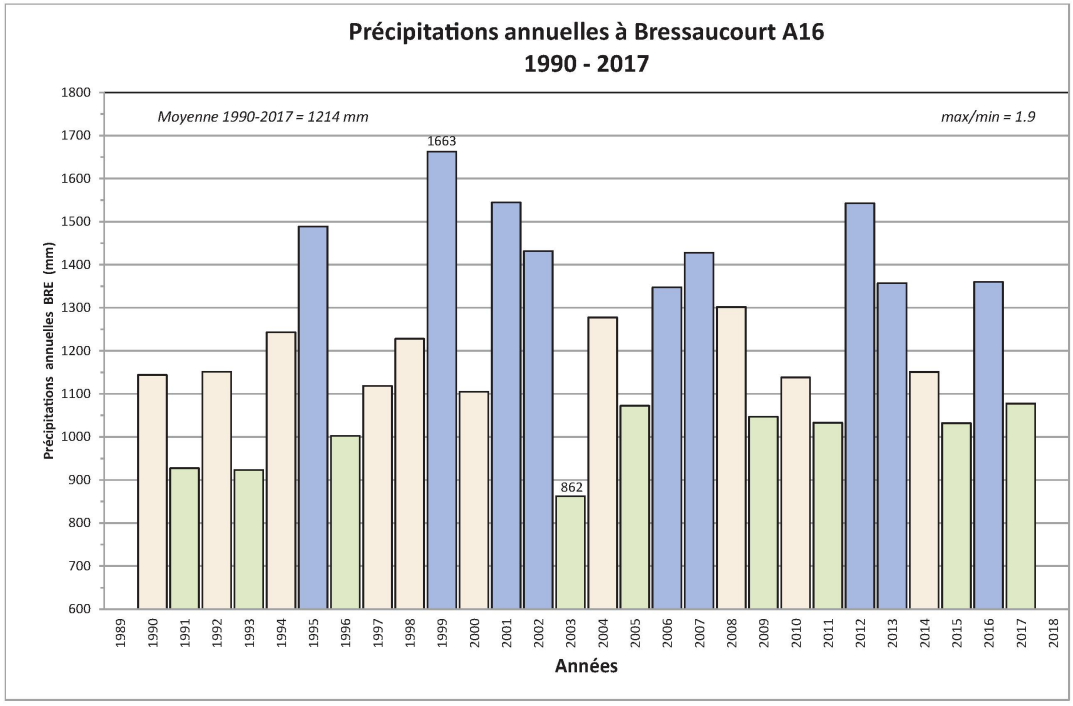


Fig. 15 : Précipitations annuelles à Bressaucourt, de 1990 à 2017.

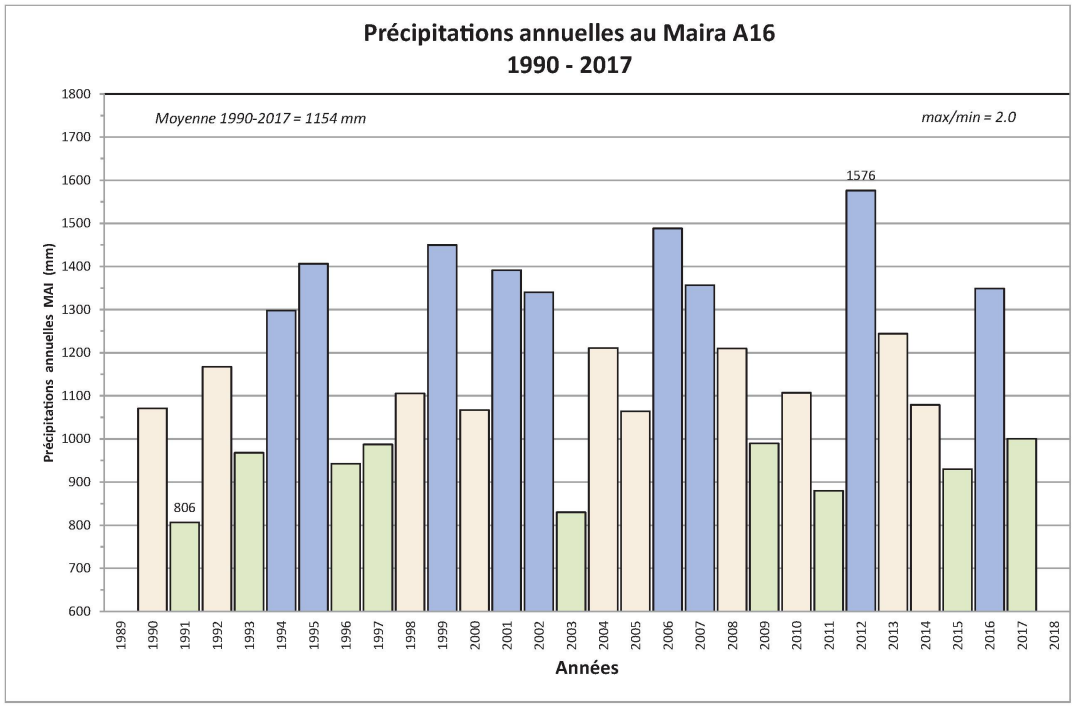


Fig. 16 : Précipitations annuelles au Maira, de 1990 à 2017.

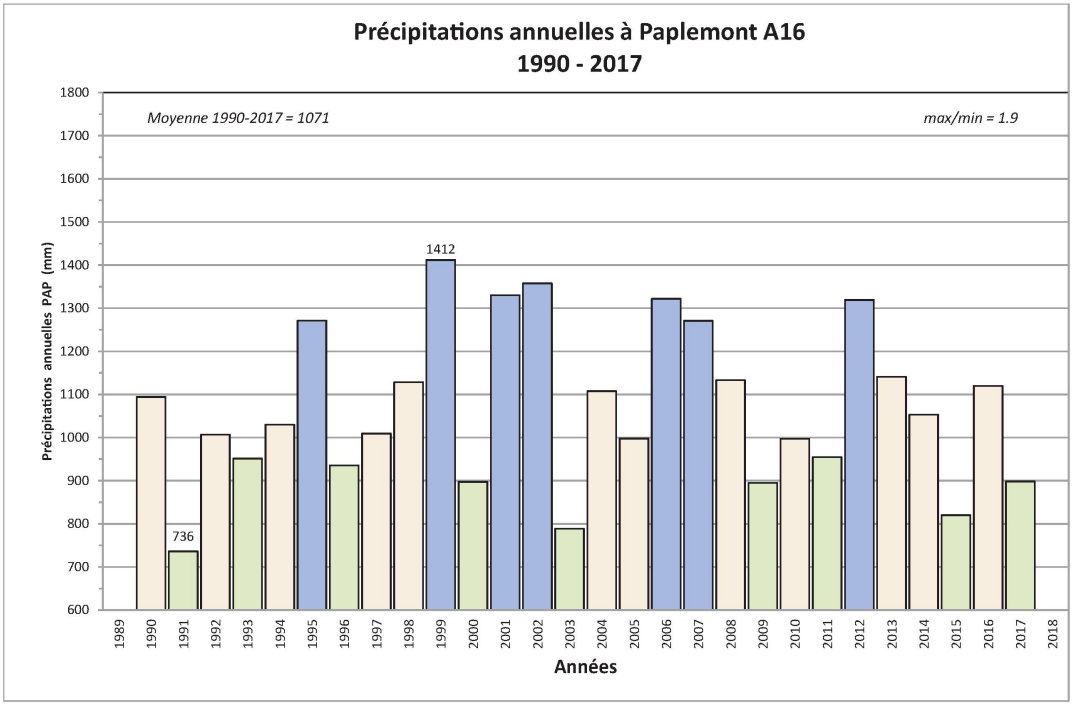


Fig. 17 : Précipitations annuelles à Paplemont, de 1990 à 2017.

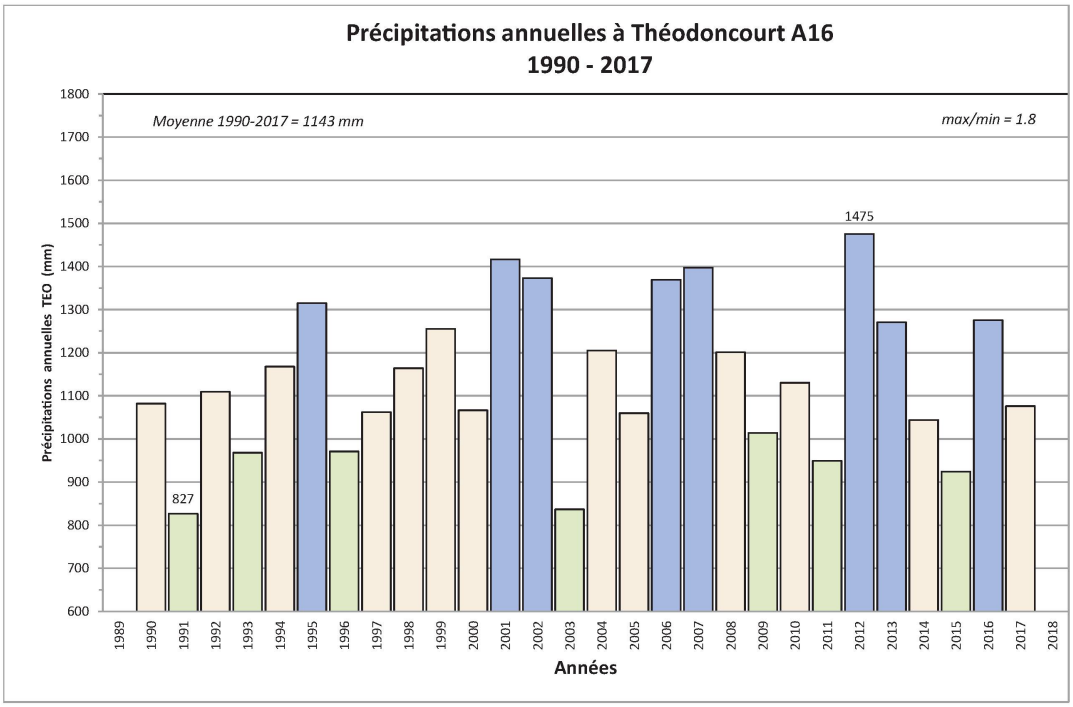


Fig. 18 : Précipitations annuelles à Théodoncourt,de 1990 à 2017

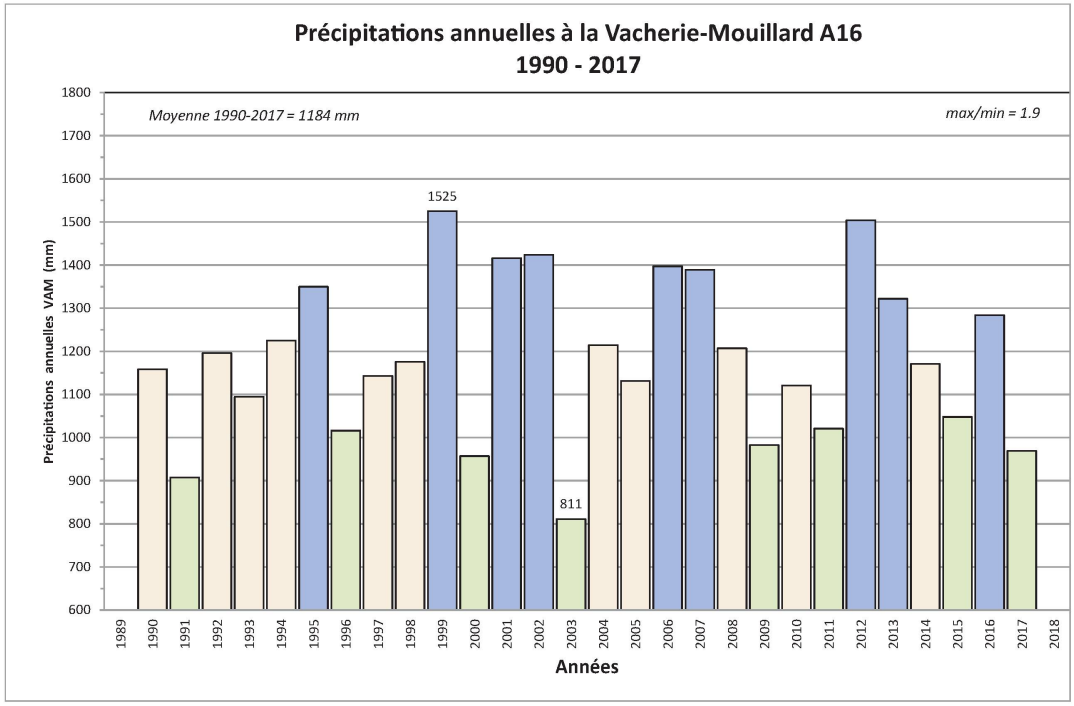


Fig. 19 : Précipitations annuelles à la Vacherie-Mouillard, de 1990 à 2017.

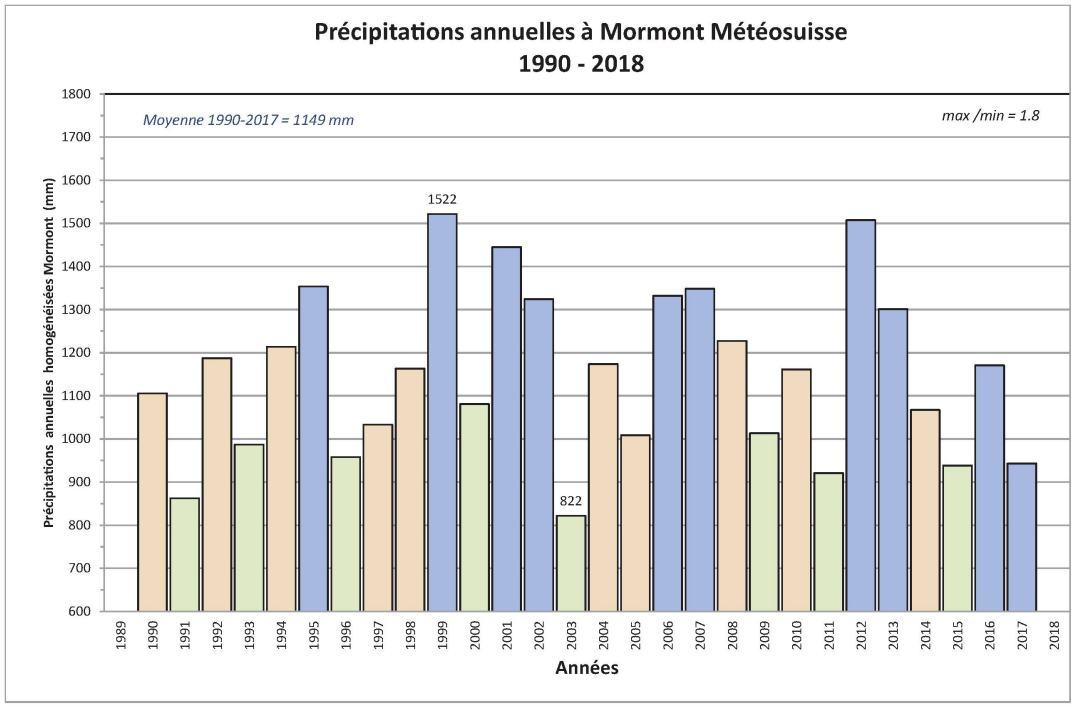


Fig. 20 : Précipitations annuelles à Mormont Météosuisse, de 1990 à 2017

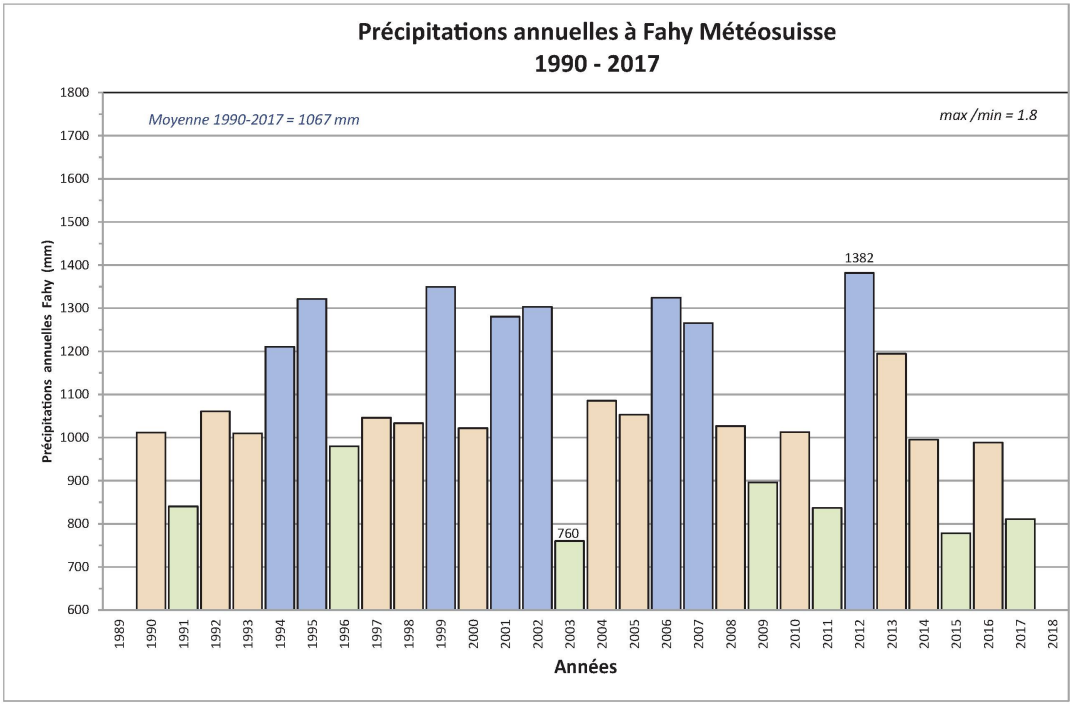


Fig. 21 : Précipitations annuelles à Fahy Météosuisse, de 1990 à 2017.

L'analyse et la comparaison des précipitations annuelles aux stations A16 et Météosuisse en Ajoie appellent les commentaires suivants :

— les moyennes interannuelles sont proches pour les cinq stations A16 : de 1071 à 1214 mm. Elles sont comparables à celles des deux stations Météosuisse, 1149 mm à Mormont et 1067 mm à Fahy ;

— la répartition des années sèches, normales et pluvieuses sur la période 1990 – 2017 est comparable d'une station à l'autre ;

— les moyennes annuelles maximales se présentent soit en 1999, soit en 2012 et les moyennes annuelles minimales soit en 1991, soit en 2003, suivant les stations ;

— les rapports entre valeur annuelle maximale et valeur annuelle minimale se situent tous entre 1,8 et 2 ;

— aucune tendance positive ou négative marquée n'est observée dans l'évolution des moyennes annuelles ;

— aucune discontinuité marquée n'est observée dans l'évolution des moyennes annuelles.

6. Principales conclusions sur l'évolution des précipitations en Ajoie de 1990 à 2017

Selon Météosuisse, en Suisse et jusqu'en 2013, les précipitations n'ont pas été influencées par les premiers effets du changement climatique. Les températures par contre sont en hausse depuis 1960 en Ajoie comme dans toute la Suisse, signe tangible du réchauffement climatique.

Durant la période de surveillance hydrologique A16 1-2-3, les précipitations annuelles ont montré des variations, du simple au double environ, à chacune des stations. La période 1990 – 2017 n'a pas produit d'année exceptionnellement sèche ou pluvieuse puisque les temps de retour des minima et maxima annuels sont tous inférieurs à 28 ans. Par contre, des précipitations mensuelles importantes ont été mesurées (temps de retour de 30 à 50 ans), ainsi que des pluies exceptionnelles d'une durée de 4 heures et moins (temps de retour égal ou supérieur à 100 ans).

La variabilité naturelle des précipitations en Ajoie n'est pas tellement spatiale, mais bien plutôt temporelle. En voici un exemple parlant : le mois d'août en Ajoie est capricieux puisqu'il est tombé 6,7 mm de pluie en 1991… et 257,6 mm en 2006 !

En conclusion, les précipitations annuelles et mensuelles en Ajoie n'ont pas montré d'évolution particulière durant la période de surveillance hydrologique A16 1-2-3 1990 – 2017, mais une variabilité naturelle, principalement temporelle.

Florence Boesch est ingénieur en génie rural et géomètre. Formée à l'École polytechnique fédérale de Lausanne, elle est actuellement directrice de projet au bureau RWB à Porrentruy dans le domaine Eau et Environnement. Elle mène la vaste étude d'impact sur les eaux souterraines et superficielles de l'A16 en Ajoie depuis 1990 à ce jour.

NOTES

[1] Le logiciel de traitement de données hydrologiques Codeau a été développé à l'I.A.T.E., Institut d'aménagement des terres et des eaux de l'É.P.F.L., en collaboration avec des bureaux d'ingénieurs romands, des services publics d'hydrologie et de gestion des eaux, et en partie financé par la Commission suisse pour l'encouragement à la recherche scientifique (CERS).

[2] L'*Atlas hydrologique de la Suisse* est édité par l'Office fédéral de l'environnement et réalisé par l'Institut de géographie de l'université de Berne.

Annexes

1. Descriptif de la station de Bressaucourt

Réseau pluviométrique

Station	**Bressaucourt**
Code	**BRE**
Commune	Fontenais
Situation	Partie sud-ouest du village
Mise en service	9 août 1989
Coordonnées	569'380 / 248'260
Altitude (m.s.m.)	551

Type de pluviomètre	Hellmann à augets basculants de 0.2 mm Système de chauffage Diamètre du cylindre de réception : 400 cm^2
Systèmes de mesure	Acquisiteur MADD programmé en mode événement Thermomètre max-min
Visites de contrôle	Mensuelles, lors du changement de cassettes
Relevés	Journaliers par l'exploitant, paramètres météo et contrôle des installations

Fonctionnement	**MADD**	**N°**
- Mise en service	9 août 1989	233
- Changement de l'entonnoir	15 avril 2009	
- Changement du MADD	21 juin 2010	238

2. Relevés journaliers des exploitants des stations pluviographiques

Site : **BRE** Lieu : **BRESSAUCOURT** Feuille N° : 378

Année : 2016 Mois : JANVIER Madd N° : 238

DATE		METEO depuis relevé précédent					TEMPERATURE			MADD ET PLUVIO					CHAUFFAGE						TOT
		pluie	neige	grêle	orage(s)	fort vent				Dernière mesure		Place mémoire (max = 10918)	Pluvio obstrué		Voyant allumé rouge		Voyant allumé vert		Neige ou givre dans pluvio		Total pluie
Date	Heure	x	x	x	x	x	min	inst	max	date	heure	nombre	oui	non	oui	non	oui	non	oui	non	mm
1	10h	X					(-2	0	13)	31.12	21.51	10825		X	X			X		X	
2	10h	X					0	6	7	2.1	9.52	10803		X	X			X		X	
3	10h	X					2	3	6	3.1	5.09	10781		X	X			X		X	
4																					
5	9h30	X				X	(1	3	6)	5.1	9.22	10642		X	X			X		X	
6	10h	X					1	3	7	6.1	9.27	10604		X	X			X		X	
7	10h	X				X	1	4	6	"	22.27	10592		X	X			X		X	
8	10h	X				X	2	4	7	7.1	19.57	10530		X	X			X		X	
9																					
10	16h	X				X	(2	5	7)	10.1	7.35	10367		X	X			X		X	
11	8h30	X				X	1	2	6	11.1	8.24	10239		X	X			X		X	
12																					
13	7h30	X	X			X	(0	1	6)	13.1	6.14	10098		X	X			X		X	
14	8h	X				X	-3	-2	2	"	13.44	10903		X	X			X		X	
15	8h30		X			X	-2	-1	2	15.1	2.47	10884		X	X			X		X	
16	10h		X			X	-2	-1	0	16.1	1.50	10877		X	X			X		X	
17	10h		X			X	-3	-2	1	"	22.32	10870		X	X			X		X	
18	9h						-9	-8	0	17.1	11.07	10868		X	X			X		X	
19	8h30						-8	-5	-4	"	"	10866		X	X			X		X	
20	8h30		X				-4	-3	-1	20.1	7.47	10847		X	X			X		X	
21	9h						-7	-7	-2	"	"	10846		X	X			X		X	
22	8h						-10	-9	0	"	"	10845		X	X			X		X	
23	10h						-9	3	4	23.1	6.45	10837		X	X			X		X	
24	10h30						-2	1	7	"	"	10836		X	X			X		X	
25	8h30						2	3	5	"	"	10835		X	X			X		X	
26	8h30						2	5	11	"	"	10833		X	X			X		X	
27	10h						4	10	13	"	"	10832		X	X			X		X	
28	9h					X	8	9	13	"	"	10831		X	X			X		X	
29	8h30	X					4	4	10	29.1	2.57	10813		X	X			X		X	
30	10h30						2	5	6	"	"	10812		X	X			X		X	
31	9h15	X				X	2	3	8	31.1	9.02	10618		X	X			X		X	

Avertir immédiatement le bureau RWB (Tél. 032 465 81 81) :
- si le pluviomètre est obstrué (eau - dépôts - feuilles - etc...)
- si le voyant lumineux vert est éteint **et que le pluviomètre est enneigé ou givré**
- si le voyant lumineux rouge est éteint
- en cas de problème quelconque
- en cas d'absence prolongée (plus d'une semaine)

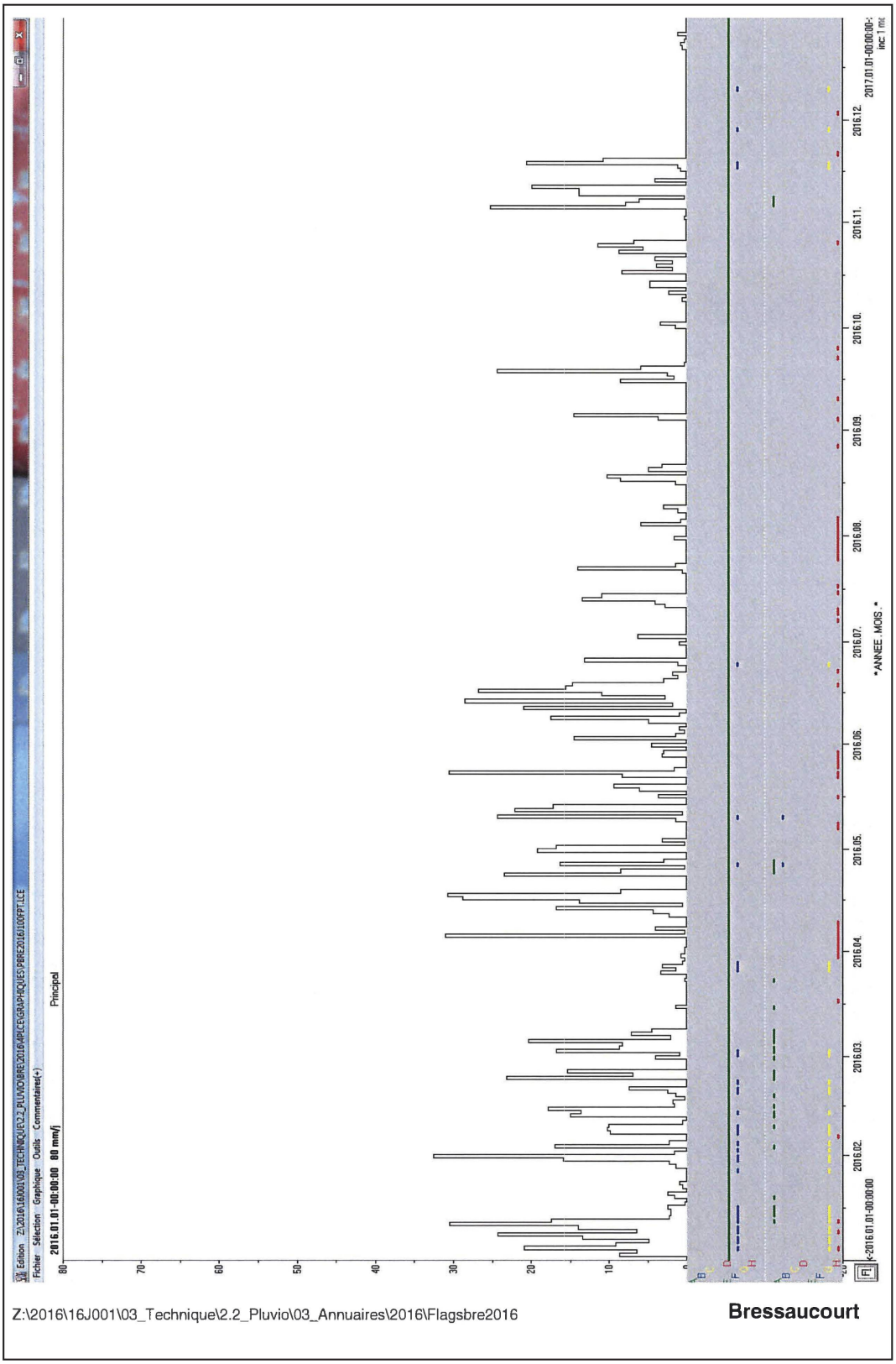
Date : 4/2/16

Nom et prénom de l'exploitant : Steiner Aude

Signature :

00E32/3Technique/Réseau A16/Relevés/00E32 Relevés exploitant pluvio

3. Graphique des flags codeau : Bressaucourt 2016



4. Pluviométrie : Bressaucourt 2016

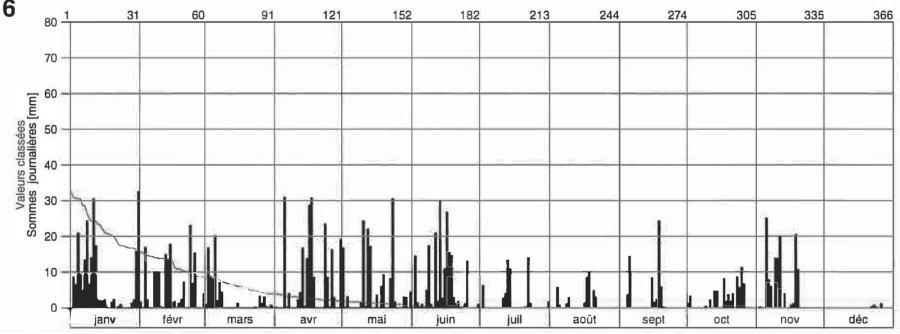
Pluviométrie *Station :* **Bressaucourt** *Code :* **BRE A16**

Coordonnées : 569'380 / 248'260
Altitude : 551 [m.s.m]

2016 — Sommes journalières mm — + Maximum

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	
1	0	1.6	0.9	0.2	16.7	0	0	0	0	1.3	0	0	1
2	8.7	0	16.7 *	0	0.2	14.5	6.2	0	0	3.3	0.2	0	2
3	6.5	16.9 *	8.7 *	0	3.1	1.3	0	0	0	0	0	0	3
4	20.9	2.2	8.2	0	0	0.2	0	5.8	3.6	0	0	0	4
5	9.1	0	20.2 *	30.9 +	0	0.9	0	0.7	14.5	0	25.1 +	0	5
6	4.9	0	2.0 *	0.2	0	0	0	0	0	0	7.8 *	0	6
7	13.4	9.8	7.1 *	4.0	0	4.9	0	0	0	0	6.0 *	0	7
8	24.3	10.2	4.4 *	0	0	17.4	0	1.1	0	0	0.2 *	0	8
9	6.5	10.0 *	0	0	1.3	0.9	0	2.9	0	0.4	13.8	0	9
10	14.0	0.4	0	0	24.3 °	0	0	0	0	0	13.8	0	10
11	30.5	0	0	2.2	0.4	20.9	2.7	0	0	2.2	19.8	0	11
12	17.4 *	14.9 *	0	4.2	22.0	1.8	4.0	0	0	0	0	0	12
13	2.2	13.6 *	0	16.7	17.1	28.5 +	13.4	0	0	4.7	4.0	0	13
14	2.0 *	17.8	0	0.4	0	2.7	10.9	0	0	4.7	0	0	14
15	2.0 *	1.6 *	1.3 *	13.8	0	10.9	0	0	8.5	0	0	0	15
16	2.4 *	1.8	0	28.7	3.6	26.7	0	1.3	1.6	0	0.7	0	16
17	0.2	0.2	0	30.7	0	15.6	0	8.5	2.4	8.2	1.1	0	17
18	0	1.3 *	0	8.5	6.0	14.7	0	10.2 +	24.3 +	1.8	20.5	0	18
19	1.6 *	2.4	0	0	9.3	2.9	0	0	5.8	3.8	10.7	0	19
20	2.4	7.3	0	0	0	1.1	0	4.9	0.2	1.8	0	0	20
21	0	0	0	0	0	1.8	0.4	3.1	0	4.0	0	0	21
22	0.4	0	0	0	8.2	0	14.0 +	0	0	0	0	0.4	22
23	0.9	23.1 *	0.2 *	23.4	30.5 +	0	1.3	0	0	8.7	0	0.7	23
24	0	6.9 *	0	8.5 *	1.6	1.1	0	0	0	5.6	0	0.2	24
25	0	15.4 *	3.3	0.2 *	0	13.1	0	0	0	11.3 +	0	0	25
26	0	0	1.3	16.2 *	0	0	0	0	0	6.7	0	1.1 +	26
27	0	0	3.1	2.9 *	0	0	0	0	0	0	0	0	27
28	1.3	0	0.4	0	3.1	0	0	0	0	0	0	0	28
29	2.2	4.0 *	0.2	0	2.9	0	0	0	0	0	0	0	29
30	15.8		0.7	19.1	0	0.9	0	0	0	0	0	0	30
31	32.5 +		0.2		4.4		1.6	0		0		0	31
Somme mensuelle	222.1 +	161.4	78.9	210.8	154.7	182.8	54.5	38.5	60.9	68.5	123.7	2.4	mm
Somme annuelle							1359.2 mm						

2016

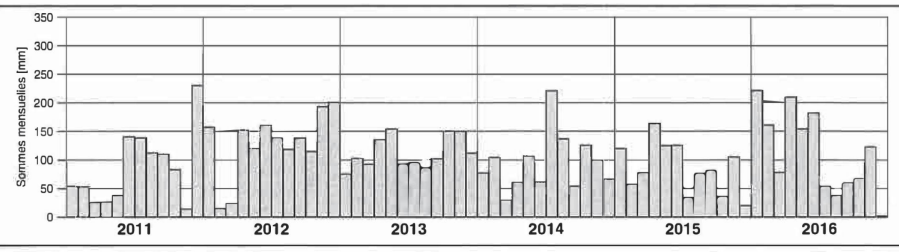


Période					1990 - 2016							(27 années)	
Moy. somme mens.	86.6	84.9 -	87.0	100.1	123.6 +	109.2	100.2	107.4	95.1	105.9	108.2	111.2	mm
Somme journ. max Année	40.4 2004	39.3 - 2003	44.3 1995	72.0 + 2015	69.4 1999	63.6 1990	57.0 1999	56.3 2007	63.2 2008	66.7 2004	61.3 2015	49.2 2010	mm
Min somme mens Année	12.8 1996	15.5 2012	20.3 1996	21.0 1996	38.3 + 2011	32.3 2006	35.0 2015	17.9 1991	29.6 1996	11.8 1995	14.8 2011	2.4 - 2016	mm
Max somme mens Année	222.1 2016	167.2 - 1999	323.5 + 2001	210.8 2016	225.7 1995	235.1 1990	221.6 2014	221.1 2006	167.6 1998	219.5 2004	264.0 2002	230.9 2011	mm

Somme annuelle maximum : 1662.6 mm (1999) Module interannuel : 1219.5 mm Somme annuelle minimum : 862.8 mm (2003)

Valeurs classées (nombre de jours moyen par année où la somme jounalière a atteint ou dépassé x mm)

Jours >=	0.2	1	2	5	10	15	20	30	40	50	75	100	mm
2016	174.5	143.6	118.7	78.8	52.9	32.9	18.9	5.0	0	0	0	0	jours
1990 - 2016	180.8	140.2	119.3	77.4	41.6	23.5	13.0	4.1	1.4	0.4	0	0	jours



Remarques C = reconstitution avec stations A16

* = neige ° = grêle

RWB JURA SA *AIC - AnHydre V.2011.8.24*