Hydrogéologie karstique à l'école

Fabrice MOURAU (1,3), Bruno ARFIB (2)

(1) Enseignant de Sciences de la Vie et de la Terre, Collège Pierre de Coubertin, Le Luc, France, fabrice.mourau@ac-nice.fr
(2) Aix Marseille Univ, CNRS, IRD, INRAE, Coll France, CEREGE, Aix-en-Provence, France, arfib@cerege.fr
(3) Cellule éducation, Observatoire EduMed, UMR Géoazur (OCA, CNRS, IRD, Université de Côte d'Azur), Valbonne, France

Abstract – Karstic hydrogeology at school

Secondary school curricula integrate societal issues related to water. Karstic hydrogeology proposes relevant methods and objects for their teaching. Within this framework, the Rectorat of Nice supports the partnership initiatives "EduMed Observatory" and "Groundwater" gathering caving committees, universities, associations and schools. They encourage collaboration between the partners, teacher training and the production and dissemination of classroom resources. We will illustrate their implementation with two examples based on two types of teaching aids: field observation and time series interpretation, which together enable the construction of explanatory hypotheses on the dynamics of the water in the environment. This paper presents in-situ water level and temperature data recorded from September 2019 to March 2020 in the Nartuby River and the Planesselve cave (SE France, Var), in a Mediterranean context. The succession of rain events, from the end of the summer low-water period to high-water and floods during winter, illustrates the storage and transfer functions of the karst aquifer. Plots and text explanations provides teachers a first guide on how to read hydrogeological data and use them in classroom.

Résumé

Les programmes scolaires du second degré intègrent les enjeux sociétaux en lien avec l'eau. L'hydrogéologie karstique propose des méthodes et des objets pertinents pour leur enseignement. Dans ce cadre, le rectorat de Nice soutient les initiatives partenariales « EduMed Observatory » et « Eaux souterraines » réunissant les CDS, les universités, le milieu associatif et les établissements scolaires. Elles favorisent à la fois la collaboration des partenaires, la formation des enseignants, la production puis la diffusion de ressources pour la classe. Nous illustrerons leur mise en œuvre à partir deux exemples qui utilisent deux types de supports pédagogiques : l'observation de terrain et l'étude de données. Ils permettent ensemble la construction d'hypothèses explicatives sur la dynamique de la masse d'eau. Les données in-situ de hauteur d'eau et de température acquises entre septembre 2019 et mars 2020 sont présentées pour la rivière Nartuby et la grotte de Planesselve, dans le Var (SE France), en contexte méditerranéen. La succession d'événements pluvieux, répartis de la fin de l'étiage estival au cœur de l'hiver, illustre les fonctions de stockage et de transfert du karst. Le texte qui accompagne les graphiques offre aux enseignants un guide de lecture et d'exploitation pédagogique.

1. Introduction : l'hydrologie dans les programmes scolaires français.

Même si elle n'est jamais nommée, l'hydrologie occupe une place importante dans les enseignements scolaires français. Dès le premier degré (3-11 ans), l'eau est un des objets les plus étudiés par les élèves, que ce soit pour ses propriétés physiques, son rôle pour la santé, sa place dans les phénomènes planétaires et au sein des enjeux sociétaux. À l'école primaire, elle est très vite associée à la vie et à la santé. Au cycle 3 (10-12 ans), le programme (Éduscol 2020) incite les enseignants à mettre en œuvre une station météorologique avec leurs élèves et à réaliser de nombreuses mesures s'appuyant sur les paramètres atmosphériques. Pendant le cycle 4 (13-15 ans), l'approche transversale est encore privilégiée. L'enseignement des Sciences Physiques s'appuie sur les acquis de sixième et l'étude du cycle de l'eau pour illustrer les changements d'états de la matière. En chimie, les élèves renforcent leurs connaissances sur la solubilité des matériaux, découvrent les ions et la capacité des liquides à conduire le courant électrique. En abordant les différences entre le climat et la météorologie, le programme de Sciences de la Vie et de la Terre replace ces phénomènes dans leur cadre spatiotemporel. À travers une approche scientifique du risque, il éclaire les élèves sur les liens de causalité reliant les phénomènes atmosphériques, modulés par les propriétés du sous-sol, à l'aléa inondation et à la ressource en eau. Il rejoint sur ces points le contenu des programmes de géographie qui s'intéresse aux contraintes imposées aux espaces humains en termes de mise en tension de l'accès aux ressources naturelles et de vulnérabilité. Au lycée (16-18 ans), ces thématiques sont reprises, approfondie et intégrées aux contenus disciplinaires. Dès le collège, elles sont désormais systématiquement mises en lien avec le

Figure 1 : Encadrés par les guides spéléo diplômés de Spélé-H_2O, des élèves du collège Peiresc (Toulon) découvrent l'eau souterraine et font des observations scientifiques dans la Baume de Dardennes. (Sce : Extrait d'un article du journal Var Matin)

dérèglement climatique. Un ancrage local fort ainsi que le travail de terrain sont recommandés, ils permettent de pratiquer une démarche scientifique rigoureuse qui débute par l'observation directe des phénomènes. Le karst offre ici une plus-value pédagogique importante (Arfib et Mourau, 2017) car les vides souterrains de grandes dimensions procurent un accès facilité au sous-sol. La pratique de la spéléologie permet aux élèves de se déplacer à travers l'aquifère pour observer in-situ une nappe d'eau souterraine (Fig. 1). Le karst représente un objet d'étude privilégié pour étudier le lien entre les processus de surface et souterrains. En région académique Aix-Marseille-Nice, le dispositif "Eaux souterraines" (Arfib et al. 2017, Eaux Souterraines 2020) et l'observatoire EduMed (edumed.unice.fr) fédèrent des chercheurs (Aix-Marseille Université, Université Côte d'Azur), les comités départementaux de spéléologie (13, 83, 06) et des acteurs associatifs (spélé-H_2O) autour d'un réseau d'enseignants. Une aide est apportée dans la mise en œuvre des activités spéléologiques et de campagnes de mesures hydrologiques. L'objectif de l'article est d'illustrer comment exploiter des données en hydrologie karstique dans le cadre des programmes scolaires. Deux exemples basés sur le travail des enseignants du réseau sont présentés. Des séries chronologiques de température et de hauteur d'eau (rivière ou nappe souterraine) sont mises en relation avec la pluie. Elles ont été acquises par les élèves sur des sites à proximité des établissements. Leur interprétation s'appuie sur le contexte géologique local et les actions de l'homme.

2. Du terrain à la classe : travail sur un cours d'eau de surface

Les enseignants du collège Jean Rostand de Draguignan (Var) ont décidé d'instrumenter la Nartuby à proximité de l'établissement en 2019 (Fig. 2). Deux sondes de pression Sensus-Ultra de marque Reefnet ont été mises à leur disposition. L'instrumentation a été réalisée avec les élèves et l'appui d'un enseignant chargé de mission auprès de l'observatoire EduMed par le recteur de l'académie de Nice. Une sonde a été placée dans l'établissement. La seconde est fixée sous un pont (A), à proximité du collège, grâce à un étrier métallique mis à disposition par le CDS83. Les deux instruments ont mesuré la pression et la température avec un pas d'échantillonnage de 15 minutes. À la mi-mars 2020, les données ont été récupérées avec les élèves (C). Elles sont converties, mises en forme, puis mises à disposition de tous les établissements du réseau dans un format tableur (EduMed 2020). En complément, des données de pluie journalière des stations Météo-France du Var sont récupérées sur internet (Météo-France 2020). En classe, les élèves doivent calculer les hauteurs d'eau (notion de pressions absolue et relative), tracer le diagramme et l'interpréter. En première analyse, ils constatent que les variations de la hauteur d'eau sont bien corrélées aux précipitations mesurées à Draguignan (Fig. 2), notamment 5 épisodes de crue correspondant à des événements de pluies intenses (à mettre en lien avec la notion d'intensité des précipitations et des épisodes de type méditerranéen). Ils

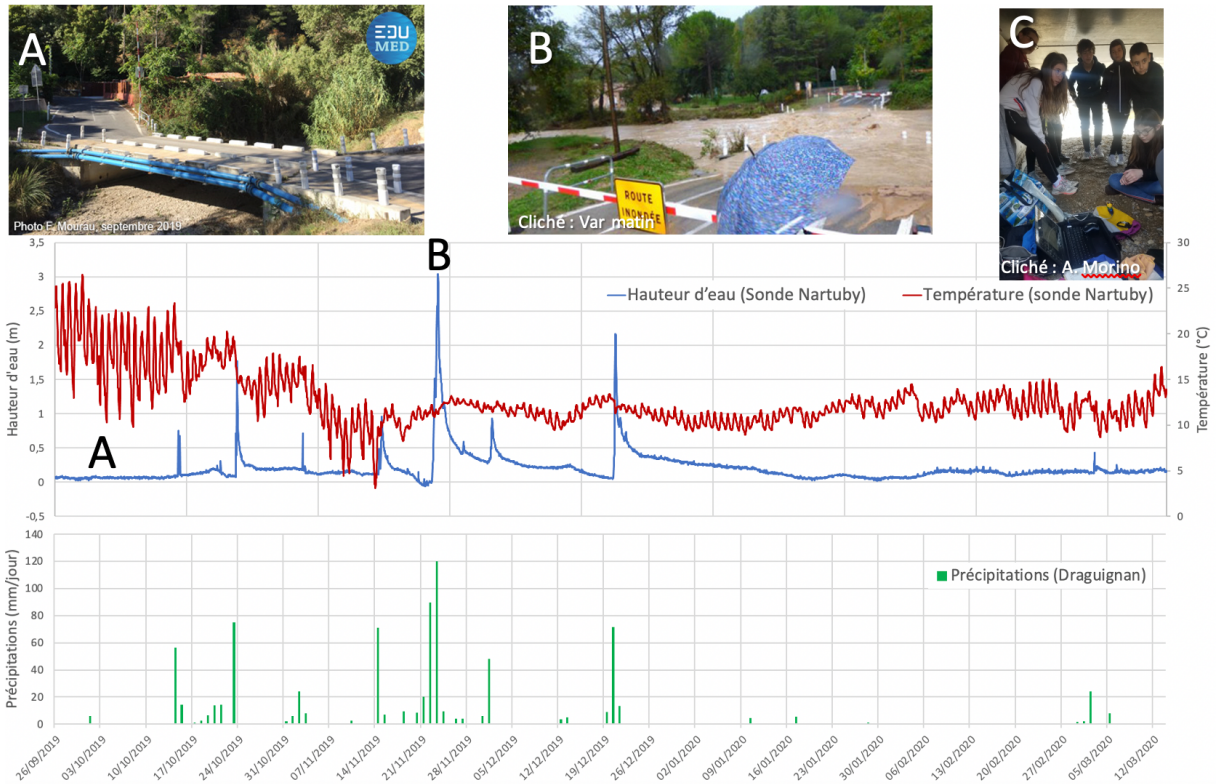

Figure 2 : Suivi temporel de la Nartuby (Var) réalisé par les élèves du collège Jean Rostand (C) pendant l'hiver 2019-2020 à l'aide d'une sonde in-situ de pression et température. La pluie est enregistrée sur la station Météo-France de Draguignan. Ce suivi permet aux élèves de découvrir les objets d'étude sur le terrain, d'être acteurs de leur étude, de manipuler des données, de les interpréter et les discuter. La série temporelle présente des périodes d'assec (A) et de crues (B) du cours d'eau.

observent aussi que la température de l'eau de la rivière, comme l'atmosphère, suit un cycle circadien. Ils sont amenés à poser des hypothèses explicatives des variations des différents paramètres mesurés, qu'ils peuvent éprouver à l'aide des données météorologiques du Data Center EduMed, d'un débat au sein de la classe ou d'une petite enquête locale. Les fortes variations de température de la sonde Nartuby seront par exemple expliquées par des périodes où la rivière est à sec, la sonde mesure alors la température de l'air ; à l'inverse elles existent toujours mais sont beaucoup plus tamponnées dans l'eau. Les variations du niveau d'eau en crue présentent deux pentes très différentes : une montée de crue très rapide au moment de l'événement pluvieux, puis une décrue plus lente (que le spécialiste divisera en décrue puis tarissement). Pour expliquer cette lente décrue, les élèves écarteront les causes anthropiques et météorologiques liées à l'étendu du bassin versant ou l'hétérogénéité spatiale des précipitations, puis ils proposeront l'existence d'un troisième acteur capable de moduler les relations entre l'atmosphère et l'hydrosphère : le sous-sol.

3. De la classe au terrain : investigations souterraines

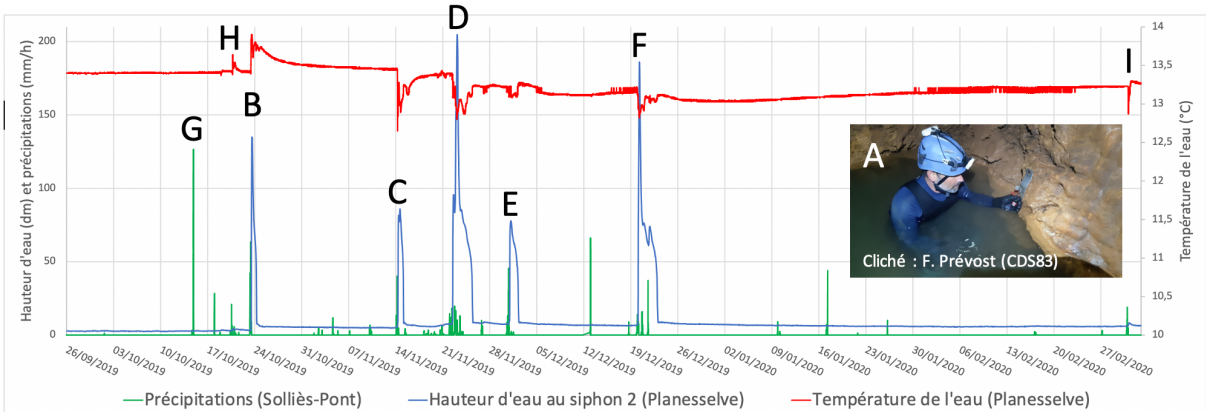

Figure 3 : Évolution temporelle de la hauteur d'eau et de la température de l'eau mesurées dans la grotte de Planesselve (Var) au niveau du siphon 2 alimenté par une rivière souterraine (sonde de mesure in-situ). La pluie est enregistrée sur la station météo du collège Lou Castellas de Solliès-Pont (MÀÉ 2020). Les variations de température amènent les élèves à découvrir les phénomènes d'infiltration et à poser de premières hypothèses sur l'effet du sol, de l'épikarst et de la zone non saturée dans la dynamique de la masse d'eau.

Les investigations se poursuivent dans la région académique avec les élèves du collège Jean Giono du Beausset (Var) qui travaillent sur la rivière souterraine de Planesselve, une cavité aquatique du massif de Saint-Clément en Centre-Var (Fig. 3). Dans le cadre du dispositif de région académique «Eaux souterraines», piloté par la DAAC-Nice, ce sont les spéléologues du CDS83 qui posent et relèvent une partie des sondes pour les élèves (A). L'eau souterraine réagit aussi aux forts épisodes pluvieux. On reconnait aisément les crues provoquées par les 5 épisodes pluvieux intenses qui ont frappé la région PACA à l'automne 2019. Avec une plage de variation de seulement 1,25°C, la température de l'eau souterraine n'est pas soumise au cycle circadien. Les élèves remarquent qu'elle varie toutefois souvent en association avec la hauteur d'eau. Ils sont amenés une nouvelle fois à poser des hypothèses explicatives. La première crue de la saison (B) est associée à une augmentation de température alors que toutes les suivantes (C à F) entrainent au contraire sa diminution. Ces observations suggèrent que l'eau météorique infiltrée dans le massif est à l'origine du phénomène. Sa température, différente de l'eau souterraine, entraine une variation positive en début de saison avec des températures atmosphériques encore chaudes (B), puis négatives (C à F) quand il fait froid. Des mesures de température de l'air seraient ici des données complémentaires essentielles, qui pourront être acquises pour la suite du projet. Les élèves repèrent assez vite que les pluies de début octobre n'entrainent pas de variations de hauteur d'eau souterraine (G) et que certaines variations de température (H et I) ne semblent pas accompagnées de grands changements de niveau d'eau. La figure 3 permet d'illustrer les interactions entre le sol et le milieu souterrain. Lors de sorties de terrain, les élèves ont pu découvrir ses différents compartiments, de la surface vers la profondeur : le sol, l'épikarst, la zone non saturée, puis la zone saturée. L'effet tampon du complexe sol-épikarst-zone non saturée peut être vu sur l'événement G. Les premières précipitations de l'automne, qui font suite à un long étiage marqué par des niveaux bas, ne génèrent quasiment pas de réaction dans la rivière souterraine de Planesselve. L'eau de pluie s'est en partie infiltrée pour reconstituer le stock d'eau souterraine sans générer de crue, et a probablement en partie ruisselée sur les versants pour rejoindre rapidement les rivières de surface. A l'inverse, les pluies suivantes génèrent de fortes crues souterraines, qui pourront se transmettre jusqu'aux sources où l'eau souterraine rejoint les rivières de surface et amplifie les phénomènes de crue. Le raisonnement peut aussi être conduit en milieu urbanisé, où l'imperméabilisation des sols amplifie le phénomène de ruissellement vers l'aval.

4. Pour aller plus loin : combiner plusieurs paramètres et lieux d'observations

La compréhension globale du fonctionnement de l'hydrosystème nécessite d'intégrer l'ensemble des observations disponibles. Dans les deux exemples précédents, l'eau de surface et l'eau souterraine ont été étudiées séparément. Le croisement de ces deux approches ouvrira des discussions sur les deux rôles majeurs du compartiment souterrain karstique. (1) Il représente un stock d'eau aux fonctions diverses : il apporte de l'eau aux cours d'eau dans les périodes sans pluie, ou il constitue une réserve pour les pompages et l'alimentation en eau potable, ou il écrête les crues en stockant temporairement les pluies. (2) Il constitue une voie de transfert rapide de l'eau d'infiltration par des crues souterraines qui finissent par ressortir dans les rivières, et peuvent ainsi augmenter la taille des bassins versants contributeurs de crue de surface.

Par ailleurs, il est aussi possible d'étudier l'origine de l'eau et son transfert en mesurant d'autres paramètres physico-chimiques dans les cours d'eau de surface ou souterrains. La conductivité électrique de l'eau est un des paramètres qui s'adapte très bien aux besoins pédagogiques. Il s'agit d'une mesure réalisable in-situ à l'aide d'une sonde automatique multi-paramètres (souvent dénommée CTD : Conductivité, Température, Pression). Sa valeur, proche de zéro dans l'eau de pluie, évolue avec la charge ionique de l'eau qui dépend des roches traversées, du temps de contact de l'eau, voire de mélanges avec des pollutions anthropiques. La gamme de variation de la conductivité électrique peut dans certains cas être plus large que la gamme de température, et devenir un complément indispensable pour lever les doutes sur l'incertitude liée à la précision des capteurs de température.

5. Conclusion

Les objets et méthodes de l'hydrogéologie karstique permettent la mise en œuvre d'un enseignement scientifique rigoureux ancré sur l'observation du réel de terrain. Tout en mobilisant de nombreuses capacités transversales, elle apporte des clés de compréhension importantes du cycle de l'eau. Elle accompagne la construction d'un savoir citoyen qui donne aux élèves la capacité de comprendre les enjeux environnementaux et les choix sociétaux qui en découlent (Fig.4). Si l'expérimentation menée dans la région académique Aix-Marseille-Nice démontre la pertinence de cette démarche, elle souligne aussi la nécessité d'accompagner les enseignants dans l'initiation de sa mise en œuvre. Avec l'appui de nos partenaires fédéraux, associatifs et universitaires, nous profitons de l'expérience capitalisée au sein du réseau pour disséminer nos résultats, partager du contenu et fédérer les initiatives, de l'échelon régional à européen.

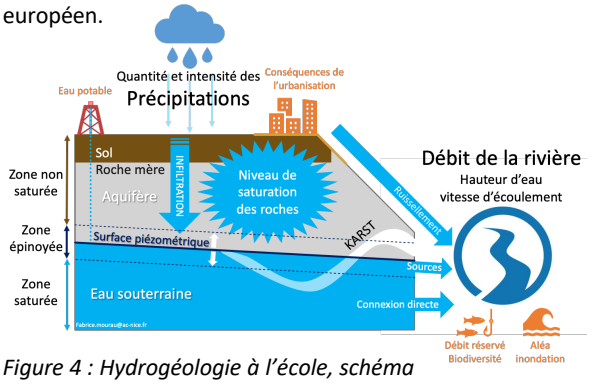

Figure 4 : Hydrogéologie à l'école, schéma conceptuel illustrant le rôle du sous-sol dans le cycle de l'eau en lien avec les enjeux sociétaux en termes de risque et de ressource.

Remerciements

Nous remercions chaleureusement tous les partenaires et enseignants des réseaux « Eaux souterraines/EduMed » pour leur engagement, et plus particulièrement Aude MORINO (collège J. Rostand, Draguignan), Monique BACCELLI et Philippe PETIT (Collège J. Giono, Le Beausset) ainsi que Laurence MARION (Collège Peiresc, Toulon) qui nous ont permis d'illustrer cet article avec les données et les photographies réalisées avec leurs élèves. Remerciements à Météo-France.

Références

Arfib B., Mourau F. (2017) Le fonctionnement hydrogéologique d'une cavité sous climat méditerranéen comme appui à un projet pédagogique (Régaïe de Néoules -Var). Karstologia n°66-2ème sem. 2015, 1-14. hal-01548267v1

Arfib B., Mourau F., Lamarque T., Laty D. (2017) « Eaux souterraines » un dispositif éducatif autour du karst – Exemple du Régaïe de Néoules. Spelunca. N°145, pp.23-28. hal-01512677v1

Eaux Souterraines (2020) Site internet du projet : https://www.eauxsouterraines.eu/

EduMed (2020) Accès aux données hydrologiques et météorologiques : http ://edumed.unice.fr/

Éduscol (2020) Accès aux programmes scolaires : https ://eduscol.education.fr/

Météo-France (2020) Pluies quotidiennes de 29 stations Météo-France du Var. http ://www.var.gouv.fr/tableau-des-precipitations-a1350.html

MÀÉ (2020) Accès aux données météorologiques : https ://www.infoclimat.fr/pedagogie/