

EN DIRECT

LE JOURNAL DE LA RECHERCHE ET DU TRANSFERT DE L'ARC JURASSIEN - NUMÉRO 297 - NOVEMBRE-DÉCEMBRE 2021



GRAND FORMAT [TRAVERSÉES EN PAYS COMTOIS]

DESTINS DE RIVIÈRES

LES ENSEIGNEMENTS DE LA CRISE

Revoir la gestion des approvisionnements en entreprise

FILM ÉVÉNEMENT

L'esprit du Moyen Âge souffle sur Kaamelott

GUERRE [1939-1945]

Vers une histoire de la « zone réservée » en France

ETHNO [ARCHÉOLOGIE]

Fenêtre ouverte sur le Néolithique

EN DIRECT

NUMÉRO 297 - NOVEMBRE - DÉCEMBRE 2021

3 | ACTUALITÉS

- Rodolphe Boudot distingué pour ses travaux sur les horloges atomiques
- Nouvelle reconnaissance pour la recherche bisontine sur les leucémies
- Photosynthèse...
 - Une réaction moléculaire en cascade
 - Le fonctionnement des chloroplastes en images
- Revoir la gestion des approvisionnements en entreprise
- La MSHE s'expose aux regards des passants
- L'esprit du Moyen Âge souffle sur Kaamelott
- La persévérance scolaire en trois volumes

12 | GUERRE [1939-1945]

Vers une histoire de la « zone réservée » en France

14 | ETHNO [ARCHÉOLOGIE]

Fenêtre ouverte sur le Néolithique

16 | GRAND FORMAT [TRAVERSÉES EN PAYS COMTOIS]

Destins de rivières



RECONNAISSANCE INTERNATIONALE

RODOLPHE BOUDOT DISTINGUÉ POUR SES TRAVAUX SUR LES HORLOGES ATOMIQUES

Chercheur CNRS au département Temps-Fréquence de l'Institut FEMTO-ST, Rodolphe Boudot reçoit le prix EFTF (*European Frequency and Time Forum Young Scientist Award 2020*). Cette distinction internationale particulièrement reconnue dans la communauté du Temps-Fréquence récompense le chercheur pour ses travaux novateurs et sa contribution essentielle au développement d'horloges atomiques miniatures. Des années de recherche, le travail d'une équipe motivée et soudée, des avancées scientifiques significatives, c'est l'ensemble de ces dimensions que ce prix met en lumière.

UNE SECONDE = 9 192 631 770 BATTEMENTS DE L'ATOME DE CÉSIIUM

Depuis 1967, ce n'est plus le mouvement naturel des astres autour de la Terre qui définit la seconde, unité de mesure du temps, mais l'atome de césium. La seconde correspond au temps écoulé pour voir l'atome de césium battre 9 192 631 770 fois entre les deux niveaux d'énergie de son état fondamental. Une définition qui met la planète entière au diapason : les atomes, dont le comportement est régi par les lois fondamentales de la physique, sont à l'origine du développement d'horloges aux performances de stabilité et d'exactitude exceptionnelles. La seconde est ainsi, et de loin, la grandeur physique mesurée avec le plus de précision. Les horloges atomiques



Photo Ludovic Godard, UFC

répondent aux besoins récurrents en positionnement, géolocalisation ou synchronisation de domaines tels que les télécommunications, les transports, la défense ou le spatial. La spécificité des activités de recherche menées depuis une douzaine d'années par Rodolphe Boudot et son équipe à l'Institut FEMTO-ST consiste en la mise au point d'horloges atomiques compactes ou miniatures, susceptibles d'être un jour embarquées au fond des océans pour la détection de signaux sismiques ou exploitées à bord de récepteurs GNSS pour la navigation par satellite. Leur conception tout optique permet de supprimer la cavité micro-onde

habituellement placée au cœur des horloges atomiques, et donc de réduire les dimensions.

ATOMES PIÉGÉS DANS UN ÉTAT DE SUPERPOSITION QUANTIQUE

Le cœur de ces horloges est une cellule, possiblement microfabriquée dans un assemblage de verre et silicium, dans laquelle des atomes de césium, sous forme de vapeur, interagissent avec un signal micro-onde fourni par un oscillateur local. Sous l'influence d'un champ optique laser bifréquence, les atomes de césium sont piégés

dans un état de superposition quantique dit CPT, acronyme anglais pour *piégeage cohérent de population*.

Dans cet état particulier se produit une réduction subite d'absorption des photons lumineux par les atomes, et par conséquent une augmentation de la puissance lumineuse transmise à travers la cellule. Il devient alors possible de détecter un signal de résonance indiquant le décalage entre la fréquence du signal émis par l'oscillateur local et la fréquence propre des atomes, et mettre ainsi à profit cette valeur pour assujettir l'une à l'autre : la stabilité des atomes est ainsi transférée au signal utile délivré par l'oscillateur local.

UNE STABILITÉ DE FRÉQUENCE 100 FOIS SUPÉRIEURE

Malgré des performances déjà remarquables, la dégradation de la stabilité de fréquence des horloges CPT sur le long terme restait une limite à laquelle se heurtait la communauté

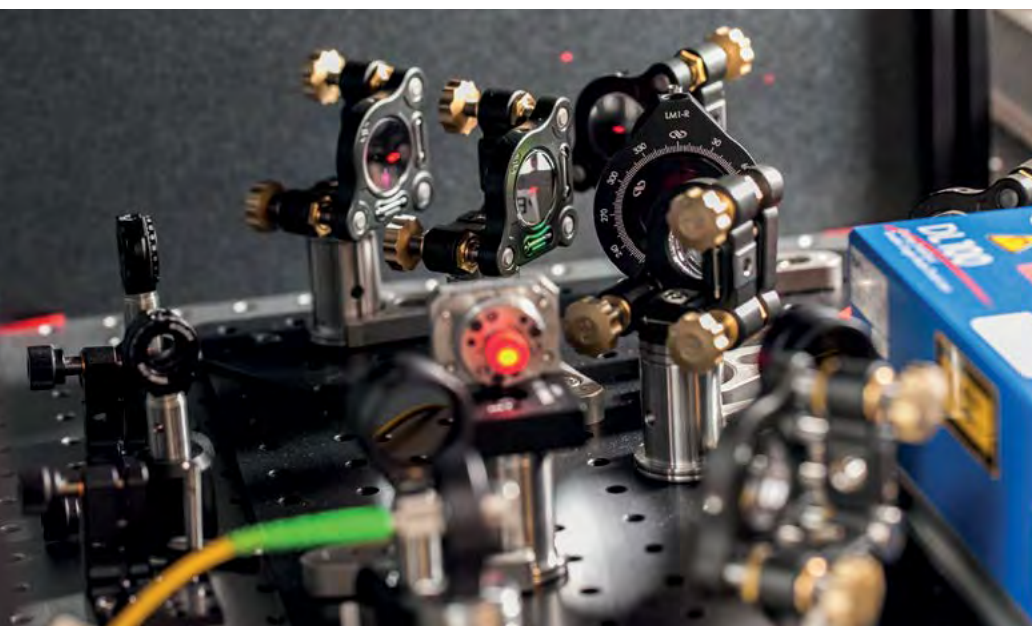
de ce domaine scientifique. Les travaux récemment impulsés par Rodolphe Boudot ont pour la première fois permis de lever ce verrou majeur.

« Les effets de déplacements lumineux, traduisant la sensibilité de la fréquence d'horloge aux variations de puissance ou de fréquence du champ laser, induisaient une dégradation de la stabilité de fréquence de l'horloge pour des temps de mesure supérieurs à quelques centaines de secondes. En appliquant une nouvelle méthode d'interrogation impulsionnelle des atomes, nous avons réussi à réduire par deux ordres de grandeur la contribution de ces effets, conduisant à une stabilité relative de fréquence atteignant $2 \cdot 10^{-15}$ à 10 000 s, cent fois supérieure à celle qui prévalait auparavant », explique le chercheur.

La preuve de concept a été établie sur une horloge CPT compacte, et cette avancée importante laisse augurer bien des développements. L'une des prochaines étapes, qui fait d'ores et déjà l'objet d'un projet

financé par l'Agence nationale de la recherche, sera de réussir à reproduire ce procédé dans une horloge CPT miniature. Avec une stabilité améliorée à long terme, ajoutée à ses autres atouts, encombrement de l'ordre de 15 cm³, consommation de 150-200 mW, potentiel de développement vers des applications grand public, la micro-horloge ne devrait pas manquer de continuer à susciter l'engouement des industriels.

Contact :
Département Temps-fréquence
Institut FEMTO-ST
UFC / ENSMM / UTBM / CNRS
Rodolphe Boudot
Tél. +33 (0)3 81 40 28 56
rodolphe.boudot@femto-st.fr



Banc laser - Photo Ludovic Godard, UFC

INSTITUT CARNOT

NOUVELLE RECONNAISSANCE POUR LA RECHERCHE BISONLINE SUR LES LEUCÉMIES

Dédié à la recherche sur les leucémies et les maladies apparentées à ces cancers, le consortium OPALE a reçu le label Institut Carnot en février 2020 pour 4 ans. Ce label d'exception est décerné dans le but de promouvoir les partenariats entre la recherche publique et le monde de l'entreprise (voir encart). Le laboratoire RIGHT est un membre actif de ce consortium, ses deux équipes de recherche étant largement concernées par le périmètre d'investigation d'OPALE.

Les travaux de l'équipe ATI, pour Auto-immunité, transplantation et inflammation, portent notamment sur la compréhension des mécanismes immunologiques responsables du rejet de greffe de moelle osseuse, une des voies de traitement des leucémies, et qui est un domaine de recherche historique du laboratoire. L'équipe TIM-C, pour Thérapeutique immuno-moléculaire des cancers, se concentre à l'inverse sur le rôle bénéfique du système immunitaire dans la lutte contre le cancer, une piste qu'elle a été parmi les premières à défendre au sein de la sphère médicale.

Les recherches menées sur les CAR T-Cells¹ par des chercheurs de cette équipe sont à l'origine d'une riche actualité.

La création de la *start-up* Cancell Therapeutics en avril 2020 prévoit la production de médicaments de thérapie innovante fondée sur cette technologie.

Elle a pour origine les travaux de Marina Deschamps et de Christophe Ferrand, des travaux salués par la communauté scientifique et distingués en 2019 par l'INSERM au titre de fait marquant de la

recherche médicale. Début 2021, un important financement accordé par l'Institut national du cancer (INCa) récompensait pour la troisième fois Francine Garnache-Ottou et son équipe, pour des recherches ayant permis voilà bientôt 16 ans d'identifier et de caractériser une forme particulièrement grave de leucémie aiguë, jusqu'à réussir aujourd'hui à produire le récepteur CAR servant la thérapie qui saura prochainement la contrer. Directeur de l'unité RIGHT, Philippe Saas souligne l'importance de voir figurer le laboratoire au nombre des acteurs du consortium : « Outre l'intérêt premier de mutualiser et d'optimiser les compétences de tous dans une structure fédérative au service de la lutte contre les leucémies, OPALE est une nouvelle opportunité de valoriser nos points forts, d'intensifier nos relations avec les industriels et de favoriser des projets de recherche fondamentale indispensables à toute avancée thérapeutique ».

¹ Les CAR T-Cells sont des lymphocytes T (globules blancs) génétiquement modifiés pour pouvoir repérer des cibles tumorales et les détruire sans que les cellules saines soient touchées.



Contact :
Laboratoire RIGHT
UFC / EFS / INSERM
Philippe Saas
Tél. +33 (0)3 80 39 33 52
philippe.saas@efs.sante.fr
<http://www.umr-right.com/>

OPALE EN CHIFFRES

Créé en 2006, le label d'excellence Institut Carnot est délivré par le ministère de l'Enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation. Il distingue des établissements de recherche publics dont les activités se développent en partenariat avec l'entreprise. OPALE fait partie des 37 Instituts Carnot labellisés en février 2020 pour une durée de 4 ans. Il est piloté par le Centre national de médecine de précision sur les leucémies de l'hôpital Saint-Louis à Paris (Pr Hervé Dombret), qui qualifie ce consortium « sans équivalent international dans le domaine des leucémies et maladies apparentées ». OPALE réunit 16 unités de recherche, 6 groupes coopérateurs de recherche clinique, qui sont des associations de spécialistes, et 4 plateformes technologiques. Il représente 523 équivalents temps plein de recherche et 8,6 millions d'euros de revenus de recherche partenariale. Le dispositif Carnot est soutenu financièrement par l'Agence nationale de la recherche (ANR), dont la dotation pour OPALE s'élève pour l'année 2021 à 720 000 euros.

MISE AU VERT

PHOTOSYNTHÈSE...

À l'usage exclusif des végétaux, la photosynthèse reste mystérieuse par bien des aspects. Deux études, l'une réalisée au département MN2S de l'Institut FEMTO-ST, l'autre au laboratoire de physiologie végétale de l'université de Neuchâtel, lèvent chacune un coin du voile sur les processus à l'œuvre.

La première porte sur la réplique artificielle d'un mécanisme moléculaire, la seconde se concentre sur le fonctionnement du système naturel, à l'échelle de la cellule. Menées indépendamment l'une de l'autre, ces deux études n'en sont pas moins complémentaires, et ont récemment livré leurs conclusions dans des publications scientifiques de haut vol.

UNE RÉACTION MOLÉCULAIRE EN CASCADE

Que le soleil soit radieux ou le ciel couvert, de jour en jour les plantes se développent et l'arbre poursuit sa croissance. Comment réussissent-ils au fil du temps à s'affranchir des variations de la lumière, pourtant au cœur du processus de la photosynthèse ? Les végétaux ont la faculté de transformer l'énergie solaire en énergie chimique, grâce à l'eau qu'ils puisent dans le sol par les racines et au gaz carbonique de l'air qu'ils absorbent ; cette réaction leur fournit les glucides dont ils ont besoin pour fabriquer leur propre matière organique, en même temps qu'elle libère de l'oxygène. Si le mécanisme général de la photosynthèse est connu, certains de ses rouages ne sont toujours pas décryptés, les aspects moléculaires notamment, qui représentent un terrain d'investigation en parfaite adéquation avec les travaux menés par Frédéric Chérioux, directeur de recherche CNRS à l'Institut FEMTO-ST. Le chimiste livre aujourd'hui les conclusions d'une étude innovante sur le sujet.

« Pour comprendre ce qui se joue à l'échelle de la molécule lors de la photosynthèse, nous avons mis au point une expérience reproduisant un transfert d'énergie, dont le schéma est inversé par rapport à celui qui prévaut naturellement. Ce processus en miroir met en évidence les mêmes propriétés,

dans des conditions de laboratoire. » Il s'agit ici d'envoyer des électrons dans des molécules, et de regarder comment celles-ci transforment cette énergie reçue en énergie lumineuse, ou photons. L'expérience requiert des compétences et des techniques d'instrumentation très pointues, et obéit aux règles de la physique quantique. Les molécules impliquées sont des chromophores, des pigments de couleur constitués de carbone,

température extrêmement faibles (10 - 11 millibars ; 4 K), pour éviter tout mouvement délétère. Elles sont ensuite déplacées et positionnées une à une grâce à un microscope à effet tunnel, par ailleurs capable de détecter des photons isolés, un équipement quasi unique au monde mis au point par Guillaume Schull et son équipe à l'Institut de physique et de chimie des matériaux de Strasbourg (IPCMS), partenaire de ce projet financé par l'Agence

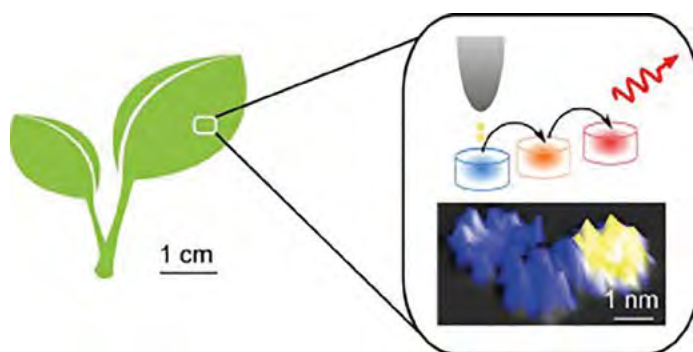


Schéma de l'expérience où la pointe d'un microscope à effet tunnel (en gris) est utilisée pour exciter un assemblage de trois pigments proches de ceux impliqués dans la photosynthèse des végétaux. L'excitation générée dans le pigment bleu est transférée, séquentiellement, jusqu'au pigment rouge où l'énergie est transformée en photon (en haut). Image de fluorescence hyper-résolue des trois pigments (en bas). Crédit : Guillaume Schull, IPCMS

d'azote et d'hydrogène, auxquels sont ajoutés du zinc ou du palladium pour être au plus près du système moléculaire constitutif des feuilles d'une plante. Trois molécules sont déposées par évaporation sur une surface placée sous ultraviolette, à une pression et une

nationale de la recherche (ANR). Les chercheurs ont observé que le transfert d'énergie entre les molécules s'opère en cascade : le premier chromophore absorbe l'excitation, qui transite par l'intermédiaire du second avant d'être transformée en photon par le troisième pigment. La longueur

d'onde générée dépend directement de l'arrangement moléculaire choisi.

Si on inverse le mécanisme pour se replacer dans le cadre de la photosynthèse, cela signifie qu'en fonction de la nature et de la position des pigments qui les constituent, les plantes sont capables d'utiliser différentes longueurs d'onde et de capter les photons disponibles, et ainsi d'assurer la transformation du CO₂ en sucres quelles que soient les conditions de luminosité du jour. Au-delà du décryptage de ce mécanisme propre à la photosynthèse, l'expérience permettra de mettre au point des systèmes moléculaires modèles, pour lesquels l'effet de l'émission d'électrons ou la production de photons pourront être observés et mesurés.

Ces résultats de recherche sont une première mondiale et ont fait l'objet d'une publication scientifique dans la revue de référence *Nature Chemistry* en août dernier.

Contact :

Département MN2S
Institut FEMTO-ST
UFC / ENSMM / UTBM / CNRS
Frédéric Chérioux
Tél. +33 (0)3 63 08 24 25
frederic.cherieux@femto-st.fr

LE FONCTIONNEMENT DES CHLOROPLASTES EN IMAGES

Si les feuilles des plantes contiennent différents pigments photosynthétiques, les pigments chlorophylliens sont, et de loin, les plus nombreux. Ce sont eux qui sont responsables de la couleur verte des végétaux. Les pigments chlorophylliens n'absorbent que très peu les longueurs d'onde entre 490 et 570 nanomètres, correspondant à la couleur verte dans le spectre visible. En réfléchissant ces ondes lumineuses, les feuilles donnent à nos yeux le vert comme couleur aux plantes.

Les pigments chlorophylliens se trouvent dans les chloroplastes, qui, nichés dans les cellules végétales, sont de véritables centrales énergétiques au cœur du processus de la photosynthèse. Les chloroplastes sont depuis de nombreuses années au centre de recherches menées au laboratoire de physiologie végétale de l'université de Neuchâtel. Dans l'un des derniers projets en date, Félix Kessler et son équipe ont pour la première fois mis en évidence la façon dont s'active la fonction fondamentale qu'ils assurent. « Le processus s'opère en deux étapes bien distinctes :

à leur apparition, les chloroplastes acquièrent la capacité de réaliser la photosynthèse pour nourrir les cellules végétales, et dans un second temps, ils se multiplient. » Les différentes techniques utilisées par l'équipe, combinant biochimie, microscopie électronique et imagerie 3D, ont de façon inédite permis

de visualiser ce phénomène, sous forme d'une vidéo. La naissance puis la multiplication des chloroplastes ont été observées au cœur des cellules d'*Arabidopsis thaliana*, une plante cobaye des laboratoires. « C'est surtout la rapidité du phénomène qui a surpris : il faut compter moins de 24 heures pour qu'un organite précurseur, l'étioplaste, se transforme en un chloroplaste parfaitement fonctionnel », explique Félix Kessler. Le chercheur souligne par ailleurs « le rôle essentiel d'un développement très rapide des chloroplastes pour la survie et la croissance des jeunes plantules dans leur écosystème ». La découverte de ce processus pourrait être mise à profit pour optimiser le développement de plantes d'intérêt agronomique, et à l'inverse pour ralentir la prolifération de plantes indésirables grâce à des herbicides à l'action ciblée, et par là même plus respectueux de la faune environnante. Cette analyse détaillée et en images de la biogenèse des chloroplastes a fait l'objet d'une publication dans la revue *eLife* en février dernier. Elle est le résultat du travail de thèse de Rosa Pipitone, mené au laboratoire de physiologie végétale de l'UniNE sous la direction conjointe du Pr Félix Kessler et d'Émilie Demarsy, aujourd'hui chargée de cours au laboratoire de botanique et biologie végétale de l'université de Genève.

Contact :

Laboratoire de physiologie végétale
Université de Neuchâtel
Félix Kessler
Tél. +41 (0)79 412 72 98
felix.kessler@unine.ch



Arabidopsis thaliana Photo naturascene.net

LES ENSEIGNEMENTS DE LA CRISE

REVOIR LA GESTION
DES APPROVISIONNEMENTS EN ENTREPRISE

Pénurie de papier, de bois, d'acier, de cuivre, de composants électroniques..., depuis des mois les difficultés d'approvisionnement touchent différents secteurs économiques. La faute à la crise sanitaire, qui a privé les fournisseurs d'une partie de leur force de production, puis à la reprise économique, qui a pompé les stocks et orienté la production en faveur de certains marchés ou zones géographiques. La faute aussi aux aléas climatiques, écologiques, économiques, qui n'ont pas manqué d'ajouter de la complexité au problème. Une situation globale déroutante, paralysante, qui voit les retards dans les approvisionnements de fournitures ou de matières premières atteindre des sommets et se répercuter sur les délais de fabrication, une

gestion de crise dans les entreprises.

Cette question a fait l'objet d'une enquête menée par la Haute Ecole de gestion Arc auprès de PME et de grandes entreprises, à la fois en Suisse et dans la région de Samara en Russie, avec laquelle l'école entretient des relations académiques. Provenant essentiellement d'entreprises de l'Arc jurassien et de Samara, les réponses ont donné lieu à une complémentarité intéressante, en raison des similitudes que présentent les tissus économiques de ces deux territoires.

Spécialiste de la *Supply Chain Management* et coordinatrice du projet, Karine Doan relève que, ici comme là-bas, la vulnérabilité des entreprises augmente avec leur taille : « Les grandes structures ont des difficultés à contrôler leurs chaînes d'approvisionnement, qui se ramifient parfois sur plusieurs continents, et qui sont souvent dépendantes de la Chine. Leur système de production souffre également d'un manque de flexibilité, et cette difficulté d'adaptation s'ajoute aux problèmes d'approvisionnement. Résultat : les retards se cumulent pour honorer les commandes. »

Karine Doan relève par ailleurs une insuffisance de gestion prévisionnelle dommageable, même dans les grandes entreprises ; elle note que l'adoption des principes de rentabilité du *lean management* depuis une vingtaine d'années, impliquant notamment une

baisse drastique des stocks, n'a peut-être pas été réalisée de façon appropriée dans les entreprises. Cette expérience de management, telle qu'elle a été développée d'après le modèle japonais, montrerait-elle ses limites devant une situation de crise ?

Contraintes par l'urgence, les entreprises ont mis en place des mesures inédites, dont il est pour l'instant difficile de savoir si elles laissent augurer de nouvelles formes d'organisation. Ainsi, dans un véritable effort de mutualisation, certaines ont mis en commun des équipements utiles à leur activité, bien qu'elles n'aient jamais travaillé ensemble par le passé. D'autres se sont tournées vers des marchés de proximité, une notion qu'il faut ici entendre jusqu'au-delà des frontières du pays. Cette démarche a pour but, à terme, de s'affranchir du poids de chaînes construites à l'échelle de la planète et sur lesquelles les sociétés n'ont plus de visibilité ni de prise. Dans une même logique de rapprochement, une partie des activités se sont vues rapatriées, comme les entrepôts de cette entreprise russe réinstallés près de son siège social. Ces initiatives constitueraient-elles l'amorce d'une réindustrialisation des territoires ? S'il est prématuré à ce stade de l'enquête d'imaginer un tel scénario, Karine Doan souligne une réelle volonté des entreprises de « penser local » et de tisser des relations partenariales plus transparentes et plus efficaces.



dynamique infernale que ne peut compenser la constitution ordinaire de stocks. La conjoncture est certes inédite, mais elle ne manque pas d'attirer sur les données d'un problème de fond, amené à se reproduire sous une forme ou une autre, celui de la

Contact :
Haute Ecole de gestion Arc
Karine Doan
Tél. +41 (0)32 930 23 36
karine.doan@he-arc.ch

ANNIVERSAIRE GRAND FORMAT

LA MSHE S'EXPOSE AUX REGARDS DES PASSANTS

C'est en images que la MSHE a souhaité célébrer ses vingt ans ! Des visuels immenses, habillant les arches du bâtiment historique dans lequel elle est hébergée sur le site de l'Arsenal à Besançon. Une exposition originale et très esthétique au cœur de la ville, conçue pour être vue de l'extérieur par les habitants et les passants. Cette démarche est en parfaite adéquation avec la volonté de ses collaborateurs d'établir un pont entre la recherche et les citoyens, de placer la science au cœur du quotidien.

La MSHE, Maison des sciences de l'homme et de l'environnement, a été créée en 2001 sous l'impulsion de chercheurs en sciences humaines et sociales animés d'une double volonté : mutualiser des moyens technologiques et numériques pour les mettre au service de la recherche, et favoriser le croisement des disciplines. Labellisée par le CNRS, elle fait partie du réseau national des MSH couvrant l'ensemble du territoire grâce à des entités de même acabit, la maison comtoise offrant une spécificité environnementale révélée par le E de son acronyme. Vingt ans après sa création par l'historien François Favory, la MSHE regroupe une centaine de chercheurs de l'université de Franche-Comté et de l'UTBM ; elle collabore avec autant de scientifiques d'autres régions de France et de l'étranger dans le cadre de réseaux de recherche internationaux. De la géographie à la psychologie, de l'histoire à la sociologie, de l'archéologie à la littérature, pour n'en citer que quelques-unes, les disciplines concernées par la fédération montrent à travers cette exposition un visage des sciences



humaines et sociales peut-être encore méconnu du grand public.

AFFICHAGE GÉANT

Les vingt-et-un visuels affichés présentent l'étendue et la nature de recherches dont les sujets nourrissent la réflexion et ouvrent à la connaissance ; ils sont autant d'occasion pour les passants-visiteurs de découvrir des études portant sur des questions actuelles de société, comme la dimension psychologique à l'œuvre dans l'apprentissage scolaire ou la fin de vie en prison, sur des problématiques d'aujourd'hui considérées à l'aune du passé, comme l'évolution du commerce ou la reconversion du patrimoine industriel, sur des courants de pensée tels que la naissance du socialisme en France, ou encore sur des propos de portée régionale, comme l'histoire environnementale, la

revitalisation territoriale ou la mémoire ouvrière. L'exposition évoque également les outils numériques et techniques que la plateforme technologique de la MSHE met à la disposition des chercheurs pour mener à bien leurs investigations, tels que des drones équipés de LIDAR ou des scanners non destructifs. Dans le même souci de partager avec le plus grand nombre le fruit des recherches qu'elle soutient, la MSHE organise des cycles de conférences tout public : les jeudis de la MSHE et l'instant archéo sont à suivre en salle de conférences ou grâce à des retransmissions sur le net. Programmes à découvrir sur <https://mshe.univ-fcomte.fr>.

Contacts :

Maison des sciences de l'homme et de l'environnement Claude Nicolas Ledoux
MSHE
Philippe Barral / Boris Vannièr
Tél. +33 (0)3 81 66 51 51
philippe.barral@univ-fcomte.fr
boris.vanniere@univ-fcomte.fr

FILM ÉVÉNEMENT

L'ESPRIT DU MOYEN ÂGE SOUFFLE SUR KAAMELOTT



« La visite en Carmélide, c'est un peu comme les plans de fraises. Plus c'est espacé, mieux c'est ! » assène Fraganan, la sœur de Léodagan, dans une réplique devenue culte. Mais un retour à Kaamelott, sur les terres du royaume de Logres, les fans sont preneurs, qui se sont rués dans les salles à la sortie du *Premier volet* du film, piaffant d'impatience après douze années d'attente. Cumulant plus de 2,6 millions d'entrées à fin septembre, Kaamelott arrive à cette date en tête du box-office français 2021.

RETOUR FLAMBOYANT DU MOYEN ÂGE

Au-delà de l'humour décalé du film, comment expliquer un tel engouement pour le Moyen Âge, que Kaamelott signe d'un si flamboyant succès ?

« La fiction et la musique d'inspiration médiévale opèrent un retour en force depuis les années 1970. Convoquer l'imaginaire foisonnant du Moyen Âge se pose en réaction à l'emprise du progrès qui commence alors à marquer les sociétés », analyse Alain Corbellari, professeur en littérature française médiévale aux universités de Lausanne et de Neuchâtel. Même la littérature d'époque retrouve ses lettres de noblesse, comme le *Livre du Graal*, ou *Lancelot-Graal*, que les éditions de La Pléiade publient en 2001. Ce roman anonyme en prose est une œuvre majeure du XIII^e siècle, période charnière avant laquelle les textes sont en vers, tels ceux du poète Chrétien de Troyes, fondateur de la légende arthurienne en ancien français. « Le réalisateur Alexandre Astier connaît parfaitement ces textes, qu'il remanie au gré de ses envies

et de sa propre imagination. Son œuvre est en cela totalement en phase avec l'esprit du Moyen Âge, qui autorise toutes les adaptations. »

TRANSFORMER LES HISTOIRES, UNE HABITUDE MÉDIÉVALE

Qui oserait aujourd'hui toucher une seule ligne d'un roman de Victor Hugo ou de Marguerite Duras ? Les textes de l'Antiquité sont eux aussi restés fidèles à leurs origines. Au Moyen Âge, transformer l'écrit est monnaie courante. « Textes, histoires, personnages, rien n'est figé. Et c'est ce vent de liberté d'inspiration médiévale que l'on retrouve dans *Kaamelott* et qui emporte l'adhésion, voire l'enthousiasme, de la plupart des médiévistes. » C'est ainsi que Lancelot, le meil-

leur des chevaliers de la légende, devient un imposteur dans le film, que l'impératrice Guenièvre est transformée en oie blanche, que Karadoc est emprunté à d'autres contes pour la consonance bretonne de son nom, que Léodagan prend une importance inédite, qu'Arthur lui-même passe du second plan au statut de héros principal.

Alexandre Astier prend également ses aises avec l'histoire, et n'en est pas à une approximation près. « Parti pris ou méconnaissance de sa part ? Ce n'est pas très important, et de toute façon, la chronologie n'intéresse pas non plus beaucoup le Moyen Âge. Mais le spectateur doit se garder de vouloir apprendre l'histoire avec *Kaamelott* ! » Au V^e siècle, qui est bien celui de la légende arthurienne, les châteaux sont en bois et non en pierre, et les régions du nord de l'Afrique où se situe le début du film ne sont plus une colonie romaine depuis belle lurette. On était encore à des lustres de parler des ducs d'Aquitaine, et les Burgondes, qui, soit dit en passant, n'ont jamais envahi la Grande-Bretagne, étaient les plus romanisés des barbares et parlaient le latin... « Arthooooooooo ! Pas changer assiette pour fromage ! » relève donc d'une fantaisie linguistique, et historique, des plus pures.

Kaamelott plaît au public, *Kaamelott* plaît aussi aux universitaires, qui lui ont déjà consacré des colloques, des ouvrages et des cours, comme à l'université de Lausanne : là comme ailleurs, les étudiants ont grandi avec la série. L'approbation des médiévistes aurait même aidé à entretenir son succès... Selon l'avis d'Alain Corbellari : « C'est pas faux ! »

Contact :

Institut de littérature française
Université de Neuchâtel
Alain Corbellari
Tél. +41 (0)32 718 18 96
alain.corbellari@unine.ch

PUBLICATION

LA PERSÉVÉRANCE SCOLAIRE EN TROIS VOLUMES

« Une taille unique ne convient pas à tous ! » Ce principe énoncé par le psychiatre Jean-Michel Delile pourrait à lui seul justifier l'intérêt d'adapter les modèles d'enseignement aux différents publics concernés, une souplesse favorable à la persévérance scolaire, qui est l'une des clés de réussite dont les systèmes éducatifs ont la responsabilité. Inciter à la persévérance signifie apprendre aux élèves à mobiliser des ressources pour contrer les difficultés, à persister dans l'effort, à croire en leurs possibilités ; cela suppose aussi de s'appliquer à détecter les potentiels, à valoriser les aptitudes et à tenir compte des faiblesses des uns et des autres. Pour se donner les moyens de cette ambition, différents dispositifs pédagogiques innovants sont mis en place au sein des systèmes éducatifs et s'attachent à répondre à la diversité des personnes et des situations rencontrées. Au-delà de la mission de formation à proprement parler, il s'agit d'accompagner les jeunes pour qu'ils révèlent leur capacité à se réaliser et à devenir pleinement acteurs de la société dans laquelle ils vivent.

La problématique de la persévérance scolaire et de ses corollaires, le décrochage et l'abandon, fait depuis plusieurs années l'objet de séminaires ou colloques à Besançon entre chercheurs, enseignants et représentants du monde socio-économique, des rencontres orchestrées par l'axe 1 du laboratoire C3S (Culture, sport, santé, société) de l'université de Franche-Comté. Les approches complémentaires ayant nourri ces échanges donnent aujourd'hui lieu à la publication de trois ouvrages sous la houlette de Gilles Ferréol, professeur de sociologie et

directeur du laboratoire. Ces trois volumes formalisent les problèmes, relaient la position des pouvoirs publics, racontent les initiatives menées à l'échelle nationale ou locale, mesurent l'efficacité des dispositifs mis en place ou encore reviennent sur les résistances aux réformes qui jalonnent l'histoire de l'éducation depuis plus d'un siècle. Les bases théoriques et les méthodes appliquées sont explicitées et illustrées d'exemples d'innovations pédagogiques tirés



du contexte régional aussi bien que d'expériences menées en France ou à l'étranger : écoles de la deuxième chance, programmes TAPAJ ou PAS A PA, protocoles d'accueil personnalisés, ateliers sport, littérature ou de pratique artistique... Avec en filigrane des notions essentielles telles que l'estime de soi, le droit à l'erreur, l'épanouissement ou l'adhésion à un projet.

Ferréol G. (sous la direction de),
La persévérance scolaire. Expérimentations et dynamiques éducatives - La persévérance scolaire : regards croisés - Décrochage et persévérance scolaire, EME éditions, collection «Proximité sociologie», 2020



Zone libre, zone occupée... La fragmentation du territoire resté sous contrôle français en 1940 apparaît plus complexe que cette division du pays en deux. Au nord-est, une large bande est décrétée « zone réservée » par les nazis, qui projettent à terme d'y établir un peuplement allemand. Certaines dispositions prises dans ce sens laissent supposer des répercussions sur la vie quotidienne, des conséquences pour les populations que tente de cerner une recherche en histoire contemporaine.



GUERRE [1939-1945]

VERS UNE HISTOIRE DE LA « ZONE RÉSERVÉE » EN FRANCE

Des centaines de milliers de Français sont devenus des réfugiés dans leur propre pays dès lors qu'ils avaient passé la « ligne du Führer »

La signature de l'armistice entre le « Troisième Reich » et le gouvernement français marque le morcellement du territoire français dès juillet 1940. À l'est de la « ligne du Führer », tracée depuis la Somme jusqu'à la frontière suisse, les autorités nazies envisagent une germanisation des territoires suivant différentes orientations. C'est un autre sort que celui de la Moselle et de l'Alsace, annexées par le Reich, du Nord et du Pas-de-Calais, mis sous la tutelle du commandement militaire allemand de Bruxelles, qui attend les territoires situés le long de cette ligne dite du Nord-Est. En tout ou partie, ces départements, et parmi eux les francs-comtois, font l'objet d'une « zone réservée » des Allemands. Si le projet de germanisation ne s'est pas concrétisé par l'installation de colons, il n'en reste

pas moins que des dispositions servant cet objectif ont bel et bien été mises en place. Quelles mesures spécifiques ont régi ces territoires ? Quels ont été leurs impacts sur les populations et la vie quotidienne ? Une recherche collective se penche depuis un an sur ces questions à l'échelle de l'ensemble de la zone réservée, de 1940 à 1944. Professeure d'histoire contemporaine à l'université de Franche-Comté, spécialiste de l'Allemagne au XX^e siècle, Marie-Bénédicte Vincent coordonne ce projet mené en partenariat entre le Centre Lucien Febvre et le Musée de la résistance et de la déportation de Besançon, avec le concours de la MSHE. « L'une des conséquences les plus marquantes des mesures prises par les autorités nazies concerne l'impossibilité de franchir la ligne Nord-Est à partir de novembre 1940, qui fait de la zone réservée une zone interdite, à l'instar de la zone militaire

littorale. » Cette décision impose à des centaines de milliers de Français, devenus des réfugiés dans leur propre pays dès lors qu'ils avaient passé cette ligne, de rester cantonnés sur un autre territoire que leur région d'origine, que ce soit en zone libre ou en zone occupée. Un assouplissement de cette règle est accordé au cours de l'année 1941, notamment pour permettre le regroupement familial, et si de fait les réfugiés peuvent commencer à rentrer chez eux en raison de l'abandon des postes de contrôle, la loi interdisant le franchissement de la ligne est maintenue jusqu'en mars 1943.

DES BOULEVERSEMENTS INCONTESTABLES

La volonté de mettre en place une politique agricole spécifique à la « zone réservée » est un sujet crucial. Si l'installation à terme de colons agricoles allemands est l'une des idées restées à l'état de projet, certaines décisions sont effectives et bouleversent le paysage et la vie agricole dans certains secteurs, notamment au nord de la zone. La séquestration de milliers d'exploitations est ordonnée au prétexte d'éviter leur abandon alors que leurs propriétaires sont partis au front. Quelque 170 000 hectares sont concernés. Gérés sous administration militaire par la société Ostland, leur remembrement est imposé de façon autoritaire. La main d'œuvre employée est en grande partie composée de Polonais déportés, pour lesquels les conditions de vie et de travail sont particulièrement difficiles. Des choix de production aux techniques mises en œuvre en passant par les régimes d'imposition fiscale, la politique adoptée pour ces exploitations sous gestion allemande diffère de celle qui régit les autres fermes en France. L'impact du système Ostland sur l'organisation agricole

dans cette vaste région reste une question d'importance, que rejoignent d'autres problématiques figurant aux objectifs de l'étude : la répression des opposants, les persécutions visant les Juifs dans une zone située sur des trajets d'évasion tracés depuis la Belgique jusqu'à la Suisse, ou encore la cohabitation au quotidien de Français et d'Allemands contraints de vivre ensemble.

« S'intéresser à l'histoire de la zone réservée n'est pas une nouveauté en soi. Mais si des études remarquables ont déjà été réalisées à ce sujet, elles se sont concentrées à une échelle locale ou départementale ; c'est la première fois qu'un travail universitaire s'attache à réaliser une synthèse pour donner une vue globale de ce territoire spécifique sous l'Occupation », explique Marie-Bénédicte Vincent. Le projet a donné lieu à une journée d'études en avril dernier, l'occasion d'agrèger les résultats des recherches les plus récentes aux conclusions de travaux plus anciens.

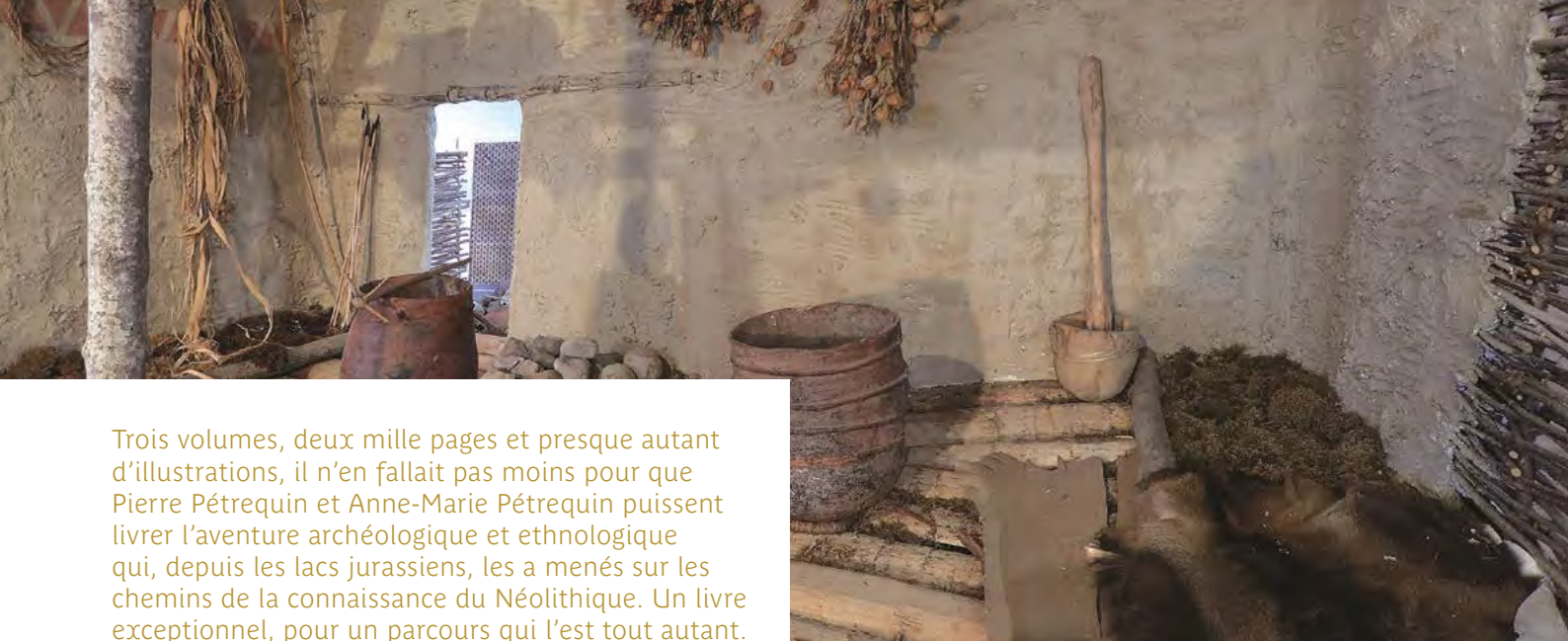
VALORISER LES OBJETS DE MÉMOIRE

« La Seconde Guerre mondiale sort de l'histoire du temps présent pour entrer dans une nouvelle ère, celle de l'histoire contemporaine classique, souligne la chercheuse. Les derniers témoins de cette époque auront bientôt tous disparu. Sources d'information précieuses, les documents et les objets prennent peu à peu le relais de la parole vivante ». Le Musée de la résistance et de la déportation de Besançon recèle des collections dont la portée et la valeur historiques dépassent largement les frontières de la région dans laquelle elles ont été constituées. Des collections complétées à la suite d'un appel lancé par le musée en janvier 2019 pour recueillir de nouveaux objets, provenant pour l'essentiel de familles attentives

à transmettre la mémoire de leurs aînés. Lettres, cartes postales, dessins, œuvres artistiques, photos ou objets du quotidien fabriqués avec les moyens du bord sont autant de témoignages du passé servant la recherche. Dans le souci de valoriser ces collections et de transmettre les pans entiers d'histoire qu'elles véhiculent à tous les publics, et notamment le public jeune, une exposition virtuelle est en cours de montage, avec une mise en ligne prévue à l'automne prochain. Cette exposition est élaborée avec Vincent Briand, chargé des collections au musée, et d'Aurélie Cousin, assistante de conservation. Elle reçoit la participation d'étudiants en histoire, de licence et de master, pour la rédaction de notices explicatives, dont la traduction en anglais par des étudiants anglicistes est envisagée l'an prochain. Un aperçu de l'exposition est d'ores et déjà disponible sur le site de la MSHE : <https://mshe.univ-fcomte.fr/exposition-objets-sous-contraintes>.



Contact :
Centre Lucien Febvre
Université de Franche-Comté
Marie-Bénédicte Vincent
Tél. +33 (0)3 81 66 54 33
marie_benedicte.vincent_daviet@univ-fcomte.fr



Trois volumes, deux mille pages et presque autant d'illustrations, il n'en fallait pas moins pour que Pierre Pétrequin et Anne-Marie Pétrequin puissent livrer l'aventure archéologique et ethnologique qui, depuis les lacs jurassiens, les a menés sur les chemins de la connaissance du Néolithique. Un livre exceptionnel, pour un parcours qui l'est tout autant.

ETHNO [ARCHÉOLOGIE]

FENÊTRE OUVERTE SUR LE NÉOLITHIQUE

Le Néolithique, une période majeure que ces cinquante années de recherches considèrent avec profondeur, souvent loin des images habituellement véhiculées

Livrer la mémoire de plusieurs décennies de recherche en même temps qu'un nouveau regard sur le Néolithique, telle est la double ambition de l'ouvrage signé par

Pierre Pétrequin et Anne-Marie Pétrequin, *La Préhistoire du Jura et l'Europe néolithique en 100 mots-clés*.

Trois tomes totalisant près de deux mille pages pour relater une aventure scientifique fondatrice, qui a mené ses auteurs du Jura à la Nouvelle-Guinée en passant par le Bénin, ce raccourci étant bien trop rapide pour rendre compte du chemin parcouru, de l'extraordinaire moisson de connaissances engrangée, de la qualité de la démarche scientifique suivie, de la quête passionnée et inlassable de chercheurs encensés par leurs pairs.

L'ouvrage montre comment, depuis le Jura, les sites emblématiques de Chalain et de Clairvaux-les-Lacs ouvrent des portes sur la connaissance du Néolithique dans tout l'Est de la France, et plus largement en

Europe. La période étudiée court sur trois millénaires, de 5300 à 2100 avant J.-C., un retour dans un lointain passé qui n'empêche pas Anne-Marie et Pierre Pétrequin de faire de solides et essentielles incursions dans le présent. Ces explorations les emmènent sur des terrains éloignés des sites comtois par la distance également. Les chercheurs se rendent ainsi en Nouvelle-Guinée pendant vingt-quatre années consécutives, des séjours qui nourrissent leur réflexion : l'observation du modèle culturel de certains groupes iliens leur permet d'étayer et de peaufiner les hypothèses qu'ils échafaudent à propos du passé, d'après les vestiges des lacs jurassiens.

Chalain et Clairvaux présentent un intérêt et une importance scientifiques dont la réputation n'est plus à faire. La mise au jour des villages littoraux préhistoriques, respectivement dès 1904 et 1869, s'est révélée fructueuse, mais au terme de quelques décennies, les sites sont considérés comme épuisés d'un point de vue archéologique. En 1969, Pierre Pétrequin et son

< Reconstitution de l'intérieur d'une maison néolithique de Chalain - Source : Clairvaux-les-Lacs, exposition archéologique 2019. Réalisation du Centre de recherche archéologique de la vallée de l'Ain. Photo : P. Pétrequin.

équipe ont l'idée d'y effectuer des sondages sous la surface des eaux. Ce sont les premières d'une longue série d'investigations, qui seront à même de dévoiler toute l'étendue des richesses immergées là depuis des millénaires. Poteries, parures, armes, osiers..., des milliers d'objets et de matériaux ont survécu aux outrages du temps dans un parfait état de conservation, grâce au milieu aquatique dans lequel ils se sont trouvés enfouis. Ils livreront leurs secrets au fil de près de cinquante années de recherches aidées par de nouvelles techniques d'interprétation, notamment la datation dendrochronologique. L'intérêt inédit des vestiges lacustres et les possibilités offertes par la technologie permettent de renouveler de manière significative la démarche archéologique. La façon de percevoir le Néolithique change. Les chercheurs ont désormais les moyens de reconstituer un contexte social, de comprendre des pratiques, de saisir une culture. Leurs hypothèses concernant le passé sont formulées à partir de modèles théoriques bâtis sur l'étude de sociétés contemporaines vivant sous d'autres latitudes, mais dans des contextes comparables. Eux-mêmes n'hésitent pas à se former aux gestes d'artisans pour mieux connaître les méthodes employées et cerner les pratiques, l'expérimentation tenant une place essentielle dans leur démarche. Leurs conclusions font peu à peu s'éloigner le mythe d'hommes préhistoriques qui se seraient juste appliqués à survivre et auraient été contraints de se déplacer au gré des aléas climatiques. Les chercheurs évoquent une tout autre réalité, des outils de travail élaborés, la production de surplus agricoles, la création d'objets précieux,

LE 1500^E OUVRAGE DES PUFC

La Préhistoire du Jura et l'Europe néolithique en 100 mots-clés est le 1500^e ouvrage publié par les Presses universitaires de Franche-Comté, soixante-sept ans après le premier, lui aussi consacré à l'archéologie ! Ce clin d'œil ne fait pas oublier toute l'étendue de la palette scientifique abordée par les PUFC : les lettres et les sciences humaines bien sûr, qui sont traditionnellement au cœur de l'édition universitaire, mais aussi les sciences de la vie, les sciences exactes, le droit..., qui ont rejoint leur politique éditoriale voilà une vingtaine d'années. Les PUFC participent à la diffusion et à la valorisation de la recherche régionale ou émanant d'universités en France et à l'étranger. L'animation de sept collections et de dix revues est à mettre à leur actif, en plus de l'édition de monographies. Depuis la création des Annales littéraires en 1954, les PUFC n'ont cessé de participer à l'évolution de leur environnement scientifique et technologique. La quasi-totalité de leurs publications sont aujourd'hui déclinées en édition numérique, et sont présentes sur les grandes plateformes scientifiques. Pour en savoir plus : <https://pufc.univ-fcomte.fr>

l'existence de rituels funéraires et de sacrifices humains..., autant de témoignages d'une organisation sociale déjà porteuse d'inégalités et d'une ouverture sur le monde de communautés étonnamment mobiles. C'est pour mieux servir cette vision ethnologique que l'ouvrage s'articule autour de cent mots-clés, correspondant pour l'essentiel à des objets, des techniques ou des pratiques passés au crible de la recherche, et derrière lesquels se profile le contexte social dans lequel ils doivent être replacés. Tissus, pendeloques de chasse, enceintes fortifiées, bois d'œuvre, meules et mortiers, lin et pavot, traction animale, arc et violence, haches d'outre-Jura, sceptres en pierre, sépultures en grotte sont quelques exemples des cent chapitres, courts et abondamment illustrés, qui composent l'ouvrage, dont la consultation séduira autant l'amateur que le spécialiste.

Pétrequin P., Pétrequin A.-M., *La Préhistoire du Jura et l'Europe néolithique en 100 mots-clés*, Presses universitaires de Franche-Comté et Centre de recherche archéologique de la vallée de l'Ain, collection « Les cahiers de la MSHE Ledoux », 2021

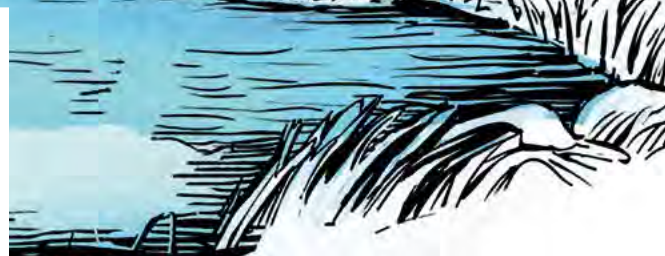
Cuisson dans un four à sole perforée, avec contrôle de l'arrivée d'air pour modifier la couleur des poteries. Photos A.-M. Pétrequin >

Pierre Pétrequin est directeur de recherche émérite au CNRS et ancien directeur du laboratoire de chrono-écologie de l'université de Franche-Comté. Il est rattaché, avec son épouse Anne-Marie, à la MSHE de Besançon. Leurs travaux ont reçu le Prix national de l'archéologie, la médaille d'argent du CNRS et l'Europa Prize de la Prehistoric Society.





De leur lit principal aux plus fins de leurs méandres, les rivières suivent toutes un cours marqué par une dynamique naturelle et des influences anthropiques. Alimentées l'une par l'autre, la Saône, le Doubs et la Loue sont intimement liées mais présentent des personnalités et des parcours bien différents.



GRAND FORMAT [TRAVERSÉES EN PAYS COMTOIS]

DESTINS DE RIVIÈRES

SA MAJESTÉ LA SAÔNE



Si la Saône suit un cours plutôt tranquille et enchante les amateurs de balades, de baignade ou de pêche, elle a été le vecteur d'une intense activité économique dès le Moyen Âge et jusqu'au milieu du XX^e siècle. En atteste la riche documentation concernant la Haute-Saône, qui permet d'en retracer l'histoire depuis le XIII^e siècle dans ce département. C'est de Gray que la rivière devient navigable, et à cette époque déjà, la petite ville haut-saônoise était un port d'une importance capitale. Considérée comme le « grenier du midi », Gray était le point de départ de la redistribution des blés dans toute la région

*La Saône, en fond le château de Ray-sur-Saône (70)
Photo Alain Jacquot-Boileau*



méridionale, un rôle qu'elle tient jusqu'au milieu du XIX^e siècle, et que complète l'acheminement de bois de construction, de vins ou encore de charbon de terre et de produits métallurgiques au fil des siècles. Ses activités sont aussi tournées vers le nord du pays et l'Allemagne, en faisant une véritable plaque tournante à l'échelle de l'Europe. Les années 1950 et la concurrence du chemin de fer marquent le déclin définitif de l'activité marchande de Gray, qui se reconvertit dès lors en port de plaisance.

UN AXE COMMERCIAL MAJEUR

Le dynamisme économique et commercial lié à la « petite Saône », se constate dès le XIII^e siècle

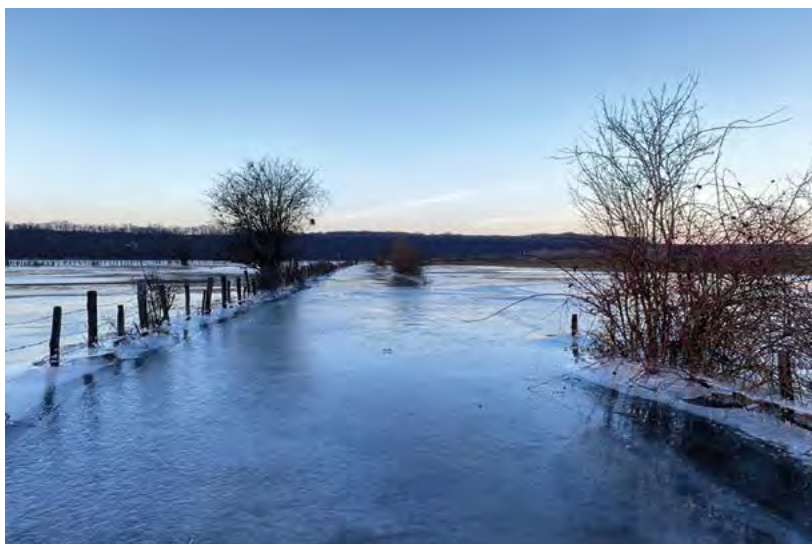
Le dynamisme économique lié à la « petite Saône », ainsi qu'est encore dénommée la portion de la rivière traversant le département de la Haute-Saône et qui représente près du tiers de sa longueur, se constate aussi dans le développement d'ouvrages hydrauliques comme les moulins à grains ou à fouler le coton dès le XIII^e siècle, puis l'installation à l'époque pré-industrielle de nombreux fourneaux et forges, enfin d'importantes usines dont on peut citer à titre d'exemple les papeteries de Savoyeux. La pêche a de tout temps revêtu un caractère fondamental et les eaux de la Saône étaient également primordiales pour l'agriculture, canalisées pour irriguer ou drainer les cultures en fonction des saisons. « Pour être complémentaires, toutes ces activités ne se développaient cependant pas sans heurts, les intérêts des uns se posant souvent de façon contradictoire à ceux des autres », constate l'historien Emmanuel Garnier à la lecture des documents d'époque. « Les archives autorisent la compréhension des multiples enjeux que porte la rivière

sur près de 700 ans. Cette longue rétrospective interroge par ailleurs sur l'évolution du statut de la Saône, qui après avoir constitué un axe économique stratégique majeur pendant plusieurs siècles, occupe depuis les années 1950 une place marginale dans le développement du département. » Emmanuel Garnier souligne l'intérêt que pourrait revêtir la valorisation de la richesse historique et patrimoniale de la Saône pour nourrir le capital aujourd'hui porté à son crédit : la plaisance et le loisir.

EXPLICATION DE TEXTES

Digues, canaux, moulins à eau et autres constructions de génie civil, gestion du flottage des bois, administration des domaines, aménagement des chemins de halage, intervention du pouvoir royal sur l'entretien de la rivière..., les archives religieuses et départementales offrent une foule d'informations couvrant près de 700 ans de vie en lien avec la Saône. Pour les besoins du projet Mission Saône, leur dépouillement a fait l'objet d'une sélection géographique éclairée, et concerne principalement les secteurs de Gray, Savoyeux, Port-sur-Saône et Corre.

Images et modélisation 3D montrent les éventuels changements du fonctionnement de la rivière à partir de documents d'archive



Inondation et gel de la Saône à Beaujeu (70) en 2021 - Photo Maxime Tondou

SOURCES ENTREMÊLÉES

Ces investigations historiques menées sur le long terme nourrissent la réflexion initiée dans le cadre de Mission Saône ; un regard porté sur les dernières décennies met quant à lui en lumière les récentes évolutions morphologiques, hydrologiques et paysagères du cours d'eau. Là encore, l'analyse documentaire est essentielle. « L'IGN met aujourd'hui ses données historiques à la disposition du public, c'est une source d'informations qui n'a pas encore été valorisée et la première à laquelle notre étude s'intéresse », raconte le géophysicien Éric Bernard. Cartes de Cassini du XVIII^e siècle, cartes d'état-major du début du XIX^e siècle et photographies aériennes prises depuis les années 1930 constituent l'essentiel d'un corpus très instructif, qui permet de « comprendre les dynamiques actuelles en reconstruisant les processus passés ». Ces interprétations sont rendues possibles par le recours à des technologies de pointe convoquant traitement des

Si le cours de la Saône ne s'est pas beaucoup modifié depuis 80 ans, ses abords directs ont fait l'objet de transformations hydrologiques significatives

images et modélisation 3D, qui montrent les éventuels changements du fonctionnement de la rivière et de son environnement. L'étude n'a pour l'instant livré que ses premiers résultats, elle indique cependant que si le cours lui-même de la Saône ne s'est pas beaucoup modifié depuis 80 ans, ses abords directs ont fait l'objet de transformations hydrologiques significatives : la modification, voire l'apparition d'affluents qui semblent le fait d'aménagements, et surtout la création de nombreux plans d'eau et de zones portuaires pour les loisirs et le tourisme. Des observations menées sur le secteur de Scey-sur-Saône témoignent de la persistance de certains petits affluents, morphologiquement peu artificialisés et qui constituent des zones de refuge aux eaux plus froides, idéales pour le développement de frayères et de manière plus globale pour la protection de la faune et de la flore.

« On constate également, en comparant les clichés anciens et récents, que certains des bras-morts de la rivière ont été réhabilités ou défrichés, c'est forcément un plus pour les écosystèmes. »

La méthode consistant à combiner sources historiques et approche géographique montre ici sa pertinence, et pourrait donner des résultats plus intéressants encore. « Mettre en regard les écrits et les images, ou obtenir de nouvelles informations à partir de photographies anciennes grâce à certaines techniques de traitement de l'image, sont des options que la richesse exceptionnelle des archives rend possibles », assure Éric Bernard.



Plusieurs exemples pris sur le cours moyen et supérieur de la Saône montrent très peu ou aucun changement morphologique de la rivière elle-même. En revanche, la périphérie directe incluant les ripisylves présentent des évolutions significatives en moins d'un siècle.

LE PROJET MISSION SAÔNE

Le projet Mission Saône a été lancé en 2020 à l'instigation du département de la Haute-Saône et en collaboration avec des scientifiques de différentes disciplines, pour établir le bilan des forces et faiblesses que représente la Saône

dans le cadre du développement touristique du territoire. Regroupant des contributions sur des aspects historiques, géophysiques, écologiques, hydrochimiques et économiques, il est piloté à l'université de Franche-Comté

par le laboratoire ThéMA, en partenariat avec le laboratoire Chrono-environnement. Le projet est coordonné par la géographe Émeline Comby, aujourd'hui enseignante-chercheuse à l'université Lumière Lyon 2.

IMPRÉVISIBLE DOUBS

Si le cours naturel de la Saône observe une certaine constance au fil des années, il n'en a pas toujours été de même pour le Doubs, qui changeait de lit si souvent que cela lui valut le surnom de « Doubs volage ». Une étude historique courant sur 500 ans rend compte de ces fluctuations et des

modifications qu'elles ont engendrées sur le paysage ; elle est aussi une source d'enseignements opportune pour préparer le futur.

UNE HISTOIRE AU LONG COURS

Dans cette recherche consacrée au secteur de la commune de Petit-Noir dans le Jura et financée par la ZAAJ, la Zone atelier de l'Arc jurassien, Emmanuel Garnier a recensé dans les archives la mention de 43 inondations depuis 1550, des crues dont l'importance a eu une répercussion suffisamment importante sur la vie sociale pour qu'elles soient consignées dans les registres municipaux.

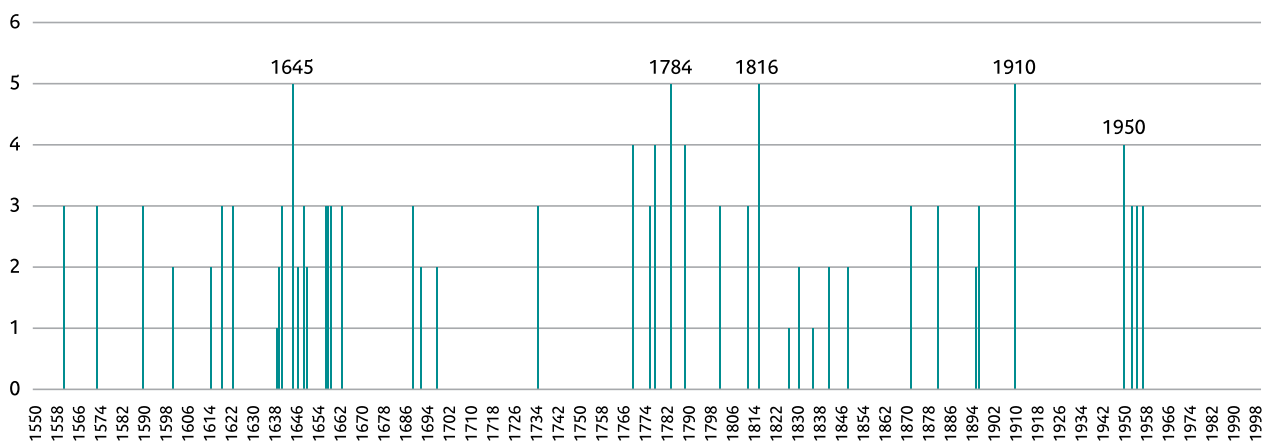


Saut du Doubs - Photo lepetitexplorateur.com

La construction et l'entretien de digues occupent la plus grande part des discussions d'ordre public sur le demi-millénaire étudié

L'historien souligne l'influence indiscutable du climat froid et humide prévalant au Petit Âge glaciaire pour expliquer la fréquence et l'importance de certains de ces épisodes dévastateurs ; un impact que renforcent en 1784 et 1816 des événements naturels lointains et d'une tout autre nature, puisqu'ils sont d'origine volcanique.

« En juin 1783, l'éruption du volcan islandais Laki provoque un refroidissement généralisé de l'hémisphère nord et des inondations à l'échelle européenne, un phénomène qui se reproduit en 1816 avec l'explosion du Tambora en Indonésie, raconte Emmanuel Garnier. En décembre 1816 dans le secteur de Petit-Noir, plusieurs personnes périssent, vingt maisons sont emportées par les eaux du Doubs en furie, ainsi que du bétail et des meubles. »



Les inondations dans le secteur de Petit Noir en fonction de leur sévérité, 1560-2000

Sous l'influence combinée des progrès de l'agronomie et du courant hygiéniste, les zones humides sont drainées pour en assurer l'assainissement et créer des espaces pour les cultures et l'élevage

Assec : lit asséché. Assèchement temporaire d'un cours d'eau ou d'un tronçon de cours d'eau.

Étiage : niveau moyen le plus bas d'un cours d'eau, à partir duquel on mesure les crues.

Ripisylve : ensemble de la végétation, arbres, buissons et herbacées, bordant un cours d'eau.

Les inondations de 1910 sont, elles, à l'image d'un phénomène concernant tout le nord de la France, noyé par le débordement de nombreux cours d'eau. « À Petit-Noir, les dégâts sont généralisés. La rivière a créé une brèche de 50 mètres de long dans la grande digue protégeant le village et le chemin, et trois dans celle des Essards. » Les inondations sont des risques que les gestionnaires du territoire tentent de limiter en leur opposant des digues, dont la construction et l'entretien occupent la plus grande part des discussions d'ordre public, et cela sur l'ensemble du demi-millénaire considéré par la recherche. Changeant, imprévisible, difficile à dompter, le Doubs n'a cessé de modifier son cours et avec lui les paysages, comme en attestent de façon étonnante les cartes du XVIII^e siècle. Les « mortes » sont les tracés des anciens lits de la rivière, avec laquelle elles ne sont plus en contact que lors des inondations ; ces zones humides présentent une importance indéniable pour l'équilibre de l'hydrosystème. Les rives du Doubs, par endroits fortement sujettes à l'érosion, font l'objet d'une surveillance actée dès le début du XIX^e siècle.

La « forêt argentée », qui devait son nom aux saules et aux bouleaux qui la composaient, ne subsiste aujourd'hui que par endroits dans la ripisylve. Elle stabilisait les berges et dressait un premier rempart contre les assauts du Doubs en période de crue, en même temps qu'elle représentait une ressource pour les vanniers. Derrière elle, une zone herbacée et arborée constituait une deuxième ligne défensive ; ces espaces servaient aussi de pâturages collectifs et procuraient bois et fourrage aux habitants. « Les multiples rigoles qui les traversaient étaient riches en limons et propices à la reproduction des poissons. Les œufs s'accrochaient aux végétaux, et les alevins se développaient à l'abri des prédateurs. Les poissons étaient nombreux, aussi bien en quantité qu'en variété. »

L'équilibre de ce système tant écologique que sociétal est rompu au tournant des années 1840. Sous l'influence combinée des progrès de l'agronomie et du courant hygiéniste alors en pleine expansion, les zones humides sont drainées pour en assurer l'assainissement et créer des espaces pour les cultures et l'élevage.

Les biens communaux, qui assuraient des moyens de survivance jusqu'aux plus démunis des habitants, sont délaissés par décision politique au profit de la propriété individuelle ; c'est là l'une des principales raisons de l'exode rural à cette époque. La révolution agricole d'après la Seconde Guerre mondiale achève de dessiner un paysage dominé par l'intensification des pratiques, orchestrée par une poignée de paysans propriétaires. De telles évolutions se lisent non seulement dans les textes, mais aussi dans les sédiments, dont deux mètres d'épaisseur suffisent à offrir aussi un témoignage long de 500 ans. Une autre approche disciplinaire, qui se combine avec profit à l'analyse historique pour étayer l'étude du passé.



Le Doubs à Goumois - Photo lepetitexplorateur.com

RETOUR SUR UN ASSEC MÉMORABLE

Plus proche de nous, l'épisode d'assec du Doubs en 2018 restera lui aussi dans les annales. Sur 20 kilomètres en aval du village d'Arçon dans le Haut-Doubs et pendant près de six mois, de juin à décembre,



Le Doubs à Ville du Pont (25), en 2018 - Photos Vincent Bichet

l'eau a peu à peu quitté le lit de la rivière pour le laisser complètement asséché, un événement suffisamment exceptionnel pour marquer les esprits et mobiliser durablement les médias. Exceptionnel, mais pas inédit, comme le rappelle le géologue Vincent Bichet : « Le dernier étiage d'importance comparable date de 1906. Il est depuis longtemps observé qu'épisodiquement, le niveau de la rivière subit des baisses impressionnantes, même si on ne peut nier que des épisodes comme ceux de 1906 et de 2018 restent hors norme. » La fin des années 1980 et le début de la décennie suivante sont marqués par de forts étiages, à chaque reprise responsables d'un assèchement de cette partie de la rivière pendant plusieurs semaines. « En réalité, le plus préoccupant est l'augmentation de la fréquence de ces épisodes secs depuis une dizaine d'années, auquel le bouleversement climatique n'est sans doute pas étranger. »

Un fonctionnement hydrogéologique particulier domine cette portion de la rivière. C'est là que, à travers la roche, les eaux du Doubs alimentent la source de la Loue, qui est donc une résurgence partielle du Doubs avant d'en devenir un affluent une centaine de kilomètres en aval.

En 1901, la célèbre histoire de l'incendie de l'usine Pernod à Pontarlier met en évidence de façon fortuite cette relation. Le déversement de dizaines de mètres cubes d'absinthe dans le Doubs est responsable de la coloration des eaux, une teinte jaunâtre qui gagne la Loue 48 heures plus tard. On sait depuis cette date que, selon un trajet souterrain par définition obscur,

la Loue naît du Doubs, grâce, à cet endroit, à la perméabilité du karst qui supporte le lit de la rivière mère.

« La capture du Doubs par la Loue est un phénomène géologique dont on ne sait le temps qu'il prendra, peut-être des millénaires ; en tout cas la disparition du Doubs dans sa partie amont au profit de la Loue est inéluctable », explique Vincent Bichet. Au fil du temps, l'eau dissout de plus en plus le calcaire de la roche, comme l'atteste l'augmentation de la conductivité électrique régulièrement mesurée à la source de la Loue. Sous l'effet de l'infiltration de l'eau, les failles s'agrandissent peu à peu et de nouvelles brèches apparaissent, une action mécanique susceptible de s'amplifier lorsque le débit de la rivière augmente.

Lors des crues du Doubs l'hiver précédant la fameuse sécheresse de 2018, il est possible que la pression de l'eau ait déplacé les alluvions qui bouchaient certaines failles, un processus déjà observé par le passé. La capacité d'absorption du karst se renforcerait donc sous l'influence de ces facteurs hydrogéologiques, un effet potentiellement amplifié par une augmentation de la capacité solvante des eaux rendues plus agressives pour le karst, en raison de l'accroissement du CO₂ produit par des sols fertilisés par les pratiques agricoles. L'épisode de 2018 relance un débat

La capture du Doubs par la Loue est un phénomène géologique qui prendra peut-être des millénaires, mais qui est inéluctable

ouvert dans les années 1990 sur l'opportunité de boucher les failles, à la fois pour limiter la dégradation de la roche et pour redonner au Doubs un débit plus régulier.

Cette pratique a déjà été adoptée au XX^e siècle pour garantir l'approvisionnement en eau des moulins et des scieries installés le long de la rivière ; elle pourrait aujourd'hui servir les intérêts du tourisme et d'activités de loisir comme la pêche. Prendre une telle option ne serait cependant pas anodine et appelle à la réflexion, en raison des perturbations que l'obstruction des failles est susceptible de provoquer sur le fonctionnement hydrologique complexe liant le Doubs et la Loue, et sur les écosystèmes qui en dépendent.

Cet équilibre est déjà mis à mal par la nouvelle donne climatique, qui associe des précipitations plus faibles et surtout différemment réparties sur l'année, et des températures en hausse. Petit retour chronologique sur la météo de l'année 2018, replacée dans son contexte : les précipitations globales sur le secteur étaient comprises entre 350 et 410 mm ; entre juin et novembre, les enregistrements

L'obstruction des failles serait susceptible de provoquer des perturbations sur le fonctionnement hydrologique complexe liant le Doubs et la Loue



montrent un déficit de précipitations de l'ordre de 400 mm par rapport à une moyenne établie pour la même période sur près de quarante ans (1980-2018). Après un mois de janvier très arrosé, des précipitations inégales au printemps mais somme toute correctes, la pleine période d'été est légèrement déficitaire en eau. Elle est surtout marquée par des températures bien supérieures à la normale, de l'ordre de + 2 à 3°C par rapport à la moyenne sur les mois de juin, juillet et août. Des températures excessives qui accélèrent l'évapotranspiration et privent le débit de la rivière d'un apport minimal d'eau.

Septembre et octobre marquent le coup de grâce avec des précipitations 5 fois inférieures à la normale. Il faut attendre la fin de l'année et des pluies abondantes sous des températures plus clémentes pour voir grossir le débit du Doubs et la rivière reprendre son cours ordinaire.

« Cette remise en eau n'a demandé que quelques jours. Dans les rivières karstiques, l'étiage demande plusieurs semaines pour s'installer, mais la crue est d'une rapidité spectaculaire. Ce n'est pas spécifique à l'épisode de 2018 », précise Vincent Bichet.

SPLendeur ET MISÈRES DE LA LOUE

Comme le Doubs, la Loue elle-aussi était capable d'importantes fluctuations et d'inonder largement les espaces qui la bordaient. Une nature impétueuse qui a prévalu pendant des siècles avant d'être disciplinée par l'homme au cours du XX^e siècle pour les besoins de l'agriculture et de l'urbanisation, au point que les nombreux méandres caractéristiques de la rivière d'origine ont aujourd'hui disparu sur la partie inférieure de son cours, de l'aval d'Arc-et-Senans jusqu'à sa confluence. En 1966, les derniers travaux de canalisation de la Loue achèvent sa transformation, lui donnant un tracé quasi-rectiligne. Les conséquences de ces interventions se mesurent aujourd'hui de



Près de la source de la Loue à Ouhans (25) - Photo Laura Riefolo-Weiler

façon dramatique. Les anciens bras, asséchés, et les nappes phréatiques, plus basses, n'assurent plus de connexion avec la Loue, privant ses eaux d'un rafraîchissement et d'une oxygénation salutaires. Confinées dans un lit étroit, les crues sont plus violentes et accentuent l'enfoncement de la rivière parfois jusqu'à deux mètres, mettant en danger l'équilibre de l'hydrosystème.

« Cette dégradation physique est l'une des causes de l'affaiblissement de la Loue et de sa capacité à s'adapter aux changements », expliquent l'écotoxicologue Pierre-Marie Badot et l'hydrobiologiste François Degiorgi.

Le karst du massif
jurassien et les
sols minces qui
l'habillent ne
filtrent que très
peu les apports
des bassins
versants

Avec le concours de plusieurs collègues et le soutien financier de l'Agence de l'eau, de la région Bourgogne - Franche-Comté et du département du Doubs, ils ont mené un programme de recherche ambitieux couvrant la période 2012 à 2020, en vue d'identifier et de comprendre les phénomènes à l'origine de la dégradation de la rivière sur sa partie amont. « Car si la partie aval du cours souffre avant tout de la simplification de sa morphologie, la haute et moyenne Loue sont surtout perturbées par une dégradation chimique de l'eau et des sédiments. »

Le bilan de ce programme formalise la confirmation d'hypothèses émises depuis plus de dix ans, dont la première peine encore à s'imposer : le mauvais état de santé de la Loue n'est pas le fait d'un seul coupable. Les recherches des scientifiques montrent que la dégradation de ses eaux résulte d'une combinaison de facteurs.

Sur sa partie aval, la modification du cours de la Loue et la remise en cause de son fonctionnement naturel sont à l'origine d'un déséquilibre de tout l'hydrosystème de la rivière, que le bouleversement climatique accentue encore. Par ailleurs, le karst du massif jurassien et les sols minces qui l'habillent ne filtrent que très peu les apports de son bassin versant, qui plus est souvent arrosé de pluies abondantes. Ces caractéristiques rendent la Loue, comme les autres rivières karstiques, particulièrement

Le mauvais état de santé de la Loue n'est pas le fait d'un seul coupable, mais résulte d'une combinaison de facteurs

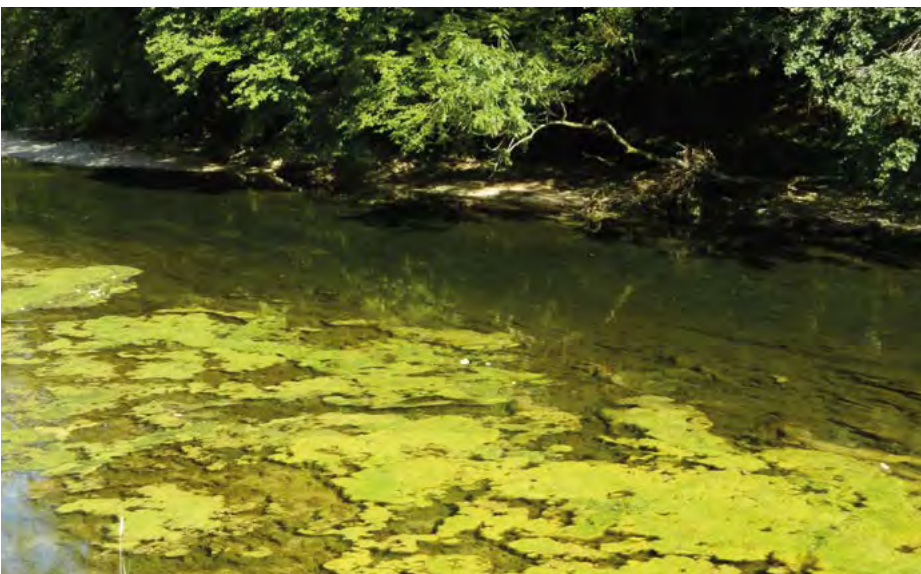
vulnérable. L'intensification des pratiques agricoles depuis plusieurs décennies a indéniablement favorisé le transfert de fertilisants et de produits phytosanitaires dans ses eaux. Les produits de traitement employés pour la protection des bois, avec des grumes souvent exposées à la pluie, peuvent suivre un chemin identique, de même que les médicaments vétérinaires utilisés pour les soins prodigués aux troupeaux, eux aussi exposés à la pluie ou se baignant alors que certains produits leur sont appliqués en externe. Les médicaments à usage humain sont également impliqués : on trouve la trace d'œstrogènes, de psychotiques ou encore d'antalgiques jusqu'à Ornans, à des niveaux de concentration actifs sur certaines espèces. « Les stations d'épuration sont faites pour éliminer les matières organiques, pas le reste ! », rappellent les chercheurs.

Les goudrons et les bitumes des parkings et des routes, les produits phytosanitaires utilisés dans les jardins, les insecticides et autres pesticides de la vie quotidienne constituent également des polluants potentiels, certes à des degrés divers, mais là encore sans que le sol et la roche puissent toujours assurer une filtration suffisante. Leur présence a été mise en évidence grâce à une méthode spécifiquement élaborée par les chercheurs. « Les mesures chimiques classiques sont effectuées sur des prélèvements d'eau filtrée. Or certains éléments toxiques sont insolubles et emprisonnés dans des matières en suspension, ces matières qui sont responsables du trouble de l'eau et qui représentent une voie de transfert des contaminants à l'eau échappant aux analyses usuelles. » Contrairement à certaines allégations simplificatrices, ce sont donc bien l'ensemble des activités humaines et la modification de nos modes de vie qui participent à la dégradation de la rivière.

ERREURS D'APPRÉCIATION

La Loue abritait d'importantes populations de salmonidés, une famille de poissons très sensibles qui trouvaient dans ses eaux des conditions particulièrement favorables à leur développement. Les maladies qui les ont atteints et leur mortalité spectaculaire à la fin des années 2000 ont été des symptômes forts pour questionner un bilan écologique de la rivière jugée jusqu'alors « en bon état » par les autorités compétentes.

Ce phénomène, par la suite répété, a mis en lumière de manière dramatique les alertes formulées depuis des années par les scientifiques. « En réalité, l'évaluation de la qualité de l'eau est fondée sur des dispositions européennes qui ont vocation à s'appliquer partout, mais qui ne sont pas adaptées aux systèmes les plus fragiles. » Car la Loue, pas plus que les autres rivières karstiques, n'est capable de supporter des apports admissibles ailleurs.



*Colmatage total des fonds de la Loue par des algues filamenteuses nitrophiles
© SOS Loue et rivières comtoises*

C'est le recours trop systématique à certaines pratiques plutôt que leur bien-fondé qui est mis en défaut : l'excès avant tout est responsable des ruptures d'équilibre

MONITORING AU LONG COURS

« L'une des caractéristiques naturelles des rivières karstiques est qu'elles comportent très peu de plantes, car les milieux rocheux dont elles sont issues, surtout en tête de bassin versant, ne leur apportent que peu de nutriments. Dans les sections pas ou peu impactées par l'activité humaine, leur teneur en azote est inférieure à 5 mg par litre d'eau, une valeur qui atteint 40 mg en hiver dans les zones à forte pression anthropique », explique le géochimiste Marc Steinmann. D'où la vision, réelle mais complètement incongrue, d'une végétation poussant dans la Loue jusqu'à en traverser la surface.

Marc Steinmann est coordinateur de l'observatoire hydrogéologique Jurassic Karst au laboratoire Chrono-environnement. Depuis 2009, ce dispositif « vise à étudier les liens entre le fonctionnement biogéochimique de la zone d'infiltration et la réponse hydrochimique des systèmes karstiques, en portant une attention particulière aux conséquences du réchauffement climatique et de l'évolution de l'utilisation des sols ».

La source du Doubs à Mouthe (25), les sources de Fourbanne et d'Arcier dans la vallée du Doubs, et celle du Grand Bief à Lods dans la haute vallée de la Loue sont les quatre pôles d'observation actuellement en exploitation. Ils se prêtent à la mesure en continu de paramètres physico-chimiques caractérisant l'eau, tels que sa teneur en composés azotés, sa température, sa turbidité, qui est un indicateur de l'apport des sédiments vers la rivière et témoigne de l'érosion des sols. Autant de critères servant à caractériser la qualité de l'eau des sources et le fonctionnement des aquifères karstiques.

La mesure de la conductivité électrique donne une idée du temps que l'eau a passé avec la roche. « Une eau chargée en ions indique sa forte minéralisation, due à un long temps de séjour notamment pendant les périodes d'étiage de l'été. Les premières pluies abondantes de l'automne s'infiltrent dans le karst et font sortir, par effet piston, cette eau très minéralisée, accumulée dans les microfractures de la roche aux beaux jours. » Ces eaux sont aussi riches en nitrates qui ont probablement été

extraits des sols et transférés vers le karst lors de faibles précipitations au cours de l'été.

Lors des premières crues d'automne on observe ainsi en parallèle un pic de conductivité et de nitrates. Les mesures montrent ensuite une baisse de la conductivité électrique, mais pas de la teneur en nitrates. Car lorsque le travail de « déstockage » de l'eau résiduelle est terminé, les « nouvelles » eaux de pluie ruisselant dans le karst n'ont pas eu le temps de se charger en minéraux. Elles transportent en revanche les nitrates présents dans les sols qu'elles ont lessivés.



La source d'Arcier (25) alimente la ville de Besançon en eau potable - Photo Arnaud 25

« Il reste
aujourd'hui
possible de
renverser le
processus en
adaptant nos
pratiques à cet
environnement
fragile »

L'azote notamment, sous forme de nitrates, est présent en excès, favorisant la prolifération des algues. « Les nitrates sont des petites molécules extrêmement solubles dans l'eau. En trop grande quantité, ces nutriments engendrent une surproduction végétale, créant un déséquilibre à l'origine d'une perte de biodiversité. » L'intensification des pratiques agricoles apporte son lot d'explications. L'agrandissement des cheptels a pour corollaire une production plus importante de fumier et de lisier, utilisés souvent de façon trop massive pour la fertilisation des champs. Et malgré les efforts de stockage dont font preuve certains exploitants, les surplus sont parfois épandus en plein hiver, sur des sols vierges de végétaux capables d'absorber leurs nutriments.

Autre conséquence de l'intensification de l'élevage, les prairies sont de plus en plus fréquemment labourées et ensemencées pour assurer l'alimentation du bétail. Les labours répétés favorisent l'aération des sols, activant ainsi la décomposition de la matière organique grâce à un apport d'oxygène. « Les sols transfèrent alors plus de nutriments, des nitrates notamment, vers



Le village de Lods (25) - Photo Pixabay

les eaux souterraines et superficielles ; leurs capacités de rétention diminuent, et le transport des nutriments par le karst vers les rivières est augmenté. »

Là encore, c'est le recours trop systématique à ces pratiques plutôt que leur bien-fondé qui est mis en défaut : l'excès avant tout est responsable des ruptures d'équilibre.

Dans ce contexte, la formidable progression de la production de comté, affichant + 70 % ces trente dernières années, est considérée d'un regard suspect, voire accusateur par certains. Malgré son importance, la filière comté n'est cependant qu'une composante du paysage agricole. Si l'on ne peut nier qu'elle participe au phénomène d'intensification des pratiques, on peut aussi reconnaître à ses acteurs des efforts de coopération et de considération pour l'environnement. En témoigne le cahier des charges exigeant de la filière, dont la dernière version, publiée en 2019, prévoit par exemple un meilleur encadrement de l'épandage des fumiers ou de l'utilisation des fertilisants, et même, en cette période d'avant la pandémie, une limitation de la production dans le souci de préserver l'espace naturel, quitte à renoncer à de nouveaux marchés.

La Loue et les rivières karstiques ne pourront que se porter mieux de telles décisions et d'une prise de conscience généralisée. Les scientifiques dressent cependant un bilan alarmant de l'état de santé actuel de la Loue. Les enseignements tirés des recherches qu'ils mènent depuis des années se traduisent aujourd'hui en recommandations auprès des organismes décisionnels, en faveur de la prévention et du sauvetage des rivières karstiques et de leurs hydrosystèmes. « Les rivières font encore preuve d'un minimum de résilience : il reste aujourd'hui possible de renverser le processus en adaptant nos pratiques, agricoles et autres, à cet environnement fragile. »

Contacts :

Laboratoire Chrono-environnement
Université de Franche-Comté / CNRS

Emmanuel Garnier
Tél. +33 (0)3 81 66 65 68
emmanuel.garnier@univ-fcomte.fr

Vincent Bichet
Tél. +33 (0)3 81 66 65 95
vincent.bichet@univ-fcomte.fr

François Degiorgi
Tél. +33 (0)3 81 66 57 01
francois.degiorgi@univ-fcomte.fr

Pierre-Marie Badot
Tél. +33 (0)3 81 66 57 08
pierre-marie.badot@univ-fcomte.fr

Marc Steinmann
Tél. +33 (0)3 81 66 65 46
marc.steinmann@univ-fcomte.fr

Laboratoire ThéMA
Université de Franche-Comté / Université
de Bourgogne / CNRS

Éric Bernard
Tél. +33 (0)3 81 66 53 48
eric.bernard@univ-fcomte.fr



EN DIRECT

LE JOURNAL DE LA RECHERCHE ET DU TRANSFERT DE L'ARC JURASSIEN

Direction recherche et valorisation | Université de Franche-Comté
Tél. +33 (0)3 81 66 20 06 / 20 88 | Journal-EnDirect@univ-fcomte.fr
endirect.univ-fcomte.fr

Directrice de la publication : Macha Woronoff | Rédaction, composition :
Catherine Tondou | Diffusion, site web : Laura Riefolo | Conception graphique :
Gwladys Darlot | Impression : L'imprimeur Simon, Ornans / Imprim'vert.

en direct est édité par : Université de Franche-Comté^{1/2}

1, rue Claude Goudimel | 25030 Besançon cedex

Présidente : Macha Woronoff | Tél. +33 (0)3 81 66 50 03

en association avec : Université de technologie de Belfort-Montbéliard^{1/2}

90010 Belfort cedex | Directeur : Ghislain Montavon | Tél. +33 (0)3 84 58 30 00

École nationale supérieure de mécanique et des microtechniques^{1/2}

Chemin de l'Épitaphe | 25030 Besançon cedex

Directeur : Pascal Vairac | Tél. +33 (0)3 81 40 27 00

Université de Neuchâtel¹ | Avenue du 1^{er} mars 26 | CH - 2000 Neuchâtel

Recteur : Kilian Stoffel | Tél. +41 (0)32 718 10 20

Haute Ecole Arc¹ | Espace de l'Europe 11 | CH - 2000 Neuchâtel

Directrice : Brigitte Bachelard | Tél. +41 (0)32 930 11 11

Établissement français du sang Bourgogne - Franche-Comté

1, boulevard A. Fleming | 25020 Besançon cedex

Directeur : Christophe Bésiers | Tél. +33 (0)3 81 61 56 15

¹ Établissement membre de la Communauté du savoir, réseau de collaboration de l'Arc jurassien franco-suisse. ² Membre fondateur de la communauté d'établissements UBFC

Avec le soutien de la région Bourgogne - Franche-Comté. ISSN : 0987-254 X.
Dépôt légal : à parution. Commission paritaire de presse : 2262 ADEP.
6 numéros par an. Pour s'abonner gratuitement, formulaire en ligne sur
endirect.univ-fcomte.fr