

Los Rocaires



N° 15 - Mai-Août 2014

CREDD
vailhan

Page de couverture

Roue hydraulique horizontale (rodet) du moulin
de La Fage, commune de Rosis (Photo Auxilium34)



Ci-contre

Écoliers de Murviel-lès-Béziers sur le chemin de l'énergie éolienne (photo Guilhem Beugnon)

Éditorial

En favorisant le rayonnement de la culture scientifique et technologique, *Los Rocaires*, bulletin de liaison du Centre de Ressources Développement durable de Vailhan, fait résolument partie du paysage éducatif local. Au fil des ans, il est devenu une revue pédagogique incontournable pour les acteurs du développement de l'enseignement des sciences.

Dans ce numéro, *Los Rocaires* consacre un dossier spécial à l'énergie, thème travaillé pendant les séances d'éducation au développement durable.

Dans le cadre général d'épuisement des ressources énergétiques fossiles, d'augmentation des gaz à effet de serre et de changement climatique, les élèves, citoyens en devenir, auront, plus tard, à faire des choix éclairés qui sauront s'appuyer sur des connaissances scientifiques solides. Ce très beau numéro y contribue.

De l'Antiquité à nos jours, il nous entraîne sur les chemins des énergies, des moulins de Neffiès à ceux du Caroux, à travers les ouvrages jeunesse et dans les pas d'une classe de cycle 3, pour se poser enfin sur les ailes des oiseaux, à la fois pour leur beauté et pour la gestion performante de l'énergie qu'ils ont développée... Tout un programme pour comprendre et enseigner, avec bonheur, l'énergie !

Dominique Delourme

Inspecteur de l'éducation nationale
Responsable du groupe départemental sciences et EDD

LOS ROCAIRES

Bulletin de liaison du Centre de Ressources Développement durable de Vailhan

N° 15 - Mai-Août 2014

Place de la Mairie - 34320 Vailhan - 04 67 24 80 11

cr.vailhan@free.fr - www.crpe-vailhan.org

Responsable de la publication : Guilhem Beugnon. **Equipe de rédaction :** Micheline Blavier, Véronique Delattre, Jean Fouët, Gérôme Hernandez, Pascale Théron, Patricia Tisserand-Campana. **Conseil scientifique :** Ghislain Bagan (archéologie), Jérôme Ivorra (SVT), Philippe Martin (écologie), Vivienne Miguet (archives), Valérie Munier (physique), Sylvain Olivier (histoire). **Conception maquette et PAO :** Steen, Guilhem Beugnon. **Crédit photo :** Guilhem Beugnon, Micheline Blavier, Sylvie Carsenac, Michel Feugère, Christian Giusti, Annie Meharg, F.-M. Nougaret



Ce numéro « spécial énergie » a été réalisé dans le cadre du projet fédérateur « Sur les chemins des énergies » mené conjointement par le centre de ressources de Vailhan et l'association Nature Passion avec le soutien de :



Sommaire

✓ PAGE 5

PALÉONTOLOGIE

Dans le Bois de Riquet
à l'origine du peuplement

L'aventure archéologique continue dans le Bois de Riquet, à Lézignan-la-Cèbe, qui nous ramène à l'origine du ou des peuplements européens.



✓ PAGE 10

ARCHITECTURE

La porte de ville
un monument à lire

Seul moyen de franchir les remparts entourant au Moyen Age les villes et les villages, la porte de ville était munie d'équipements défensifs.



✓ PAGE 13

PROJET DE CLASSE

Agir pour la biodiversité
sur la colline des Louvières

En bordure méridionale des Monts de Cabrières, la colline des Louvières fait l'objet d'opérations de protection de la biodiversité.



✓ PAGE 15

JARDIN SECRET

Le roseau
une canne à tout faire

Compagnon de jeu des plus petits, le roseau est aussi un incontournable partenaire pour tout jardinier qui se respecte.



✓ PAGE 21

NATURE

Le Rougequeue
à front blanc

Revenu de son lointain périple africain, le Rougequeue à front blanc ne saurait passer inaperçu aux yeux de l'observateur attentif.



✓ PAGE 24

PROJET FÉDÉRATEUR

Les chemins des énergies
dossier spécial

Occupant une place de choix en physique tout comme dans les débats qui agitent nos sociétés, l'énergie est un concept incontournable.

- ✓ PAGE 25 Archéologie de l'énergie dans l'Antiquité
- ✓ PAGE 30 Le moulin de Julien
- ✓ PAGE 37 Comprendre et enseigner l'énergie
- ✓ PAGE 46 Sur les chemins des énergies
- ✓ PAGE 59 Renaissance d'un moulin au Caroux
- ✓ PAGE 63 Projet RESTOR Hydro
- ✓ PAGE 65 L'énergie expliquée aux enfants
- ✓ PAGE 67 Les Espaces Info Energie
- ✓ PAGE 69 Les oiseaux : de l'énergie sur pattes



Le site préhistorique du Bois de Riquet, sur la commune de Lézignan-la-Cèbe, a fait l'objet d'une présentation dans le 11^{ème} numéro des *Rocaires*. L'aventure s'est poursuivie durant l'été et l'automne 2013 dont nous vous offrons ici les derniers rebondissements placés au coeur du sujet brûlant de l'origine du ou des peuplements européens.

L'aventure se poursuit Au Bois de Riquet



Septembre 2013 : le paléontologue Yves Coppens examine le biface découvert au Bois du Riquet durant l'été (photo Jérôme Ivorra)

Situé dans une ancienne carrière de basalte, le site préhistorique du Bois de Riquet comprend deux secteurs d'études. Le *locus* 1 concentre depuis 2009 toutes les attentions des chercheurs au vu des richesses patrimoniales qu'il présente.

Deux unités sédimentaires (US) distinctes le caractérisent, qui renferment les informations archéolo-

giques. L'US2 correspond au remplissage d'une cavité ouverte dans la coulée de lave datée de - 1.57 Ma. Le sédiment y a livré une industrie en basalte - éclats et galets - associée à une faune datée vers - 1.2 Ma. Elle s'avère ainsi contemporaine des plus anciennes industries connues en Europe et identifiées depuis le début des années 2000 à

Orce (Grenade, Espagne) et la Sima del Elefante d'Atapuerca (Burgos, Espagne). En 2013, l'équipe d'Orce publiait la découverte d'une dent de lait humaine associée à la faune et datée vers - 1.3 Ma sur le site de Barranco León. Il s'agit là de la seule association directe Faune-Industrie et reste humain connue pour un âge antérieur au million d'années.

Sous les crocs de la hyène

Le locus 1 a livré un charnier attribuable à une grande hyène. Les espèces et le nombre d'individus qu'il renferme ont pu être précisés, donnant de la prédation de ce carnivore une image plus juste : les chevaux représentent 15 individus, les *Praemegaceros* 15, les rhinocéros 4, les bisons 3, nous avons également 1 *Elephantidae* et 1 daim. Les carnivores sont représentés par 1 panthère, 1 loup, 1 blaireau, 2 canidés et 2 hyènes juvéniles.

Aux origines du peuplement acheuléen

L'US4 correspond à une arrivée en masse de sédiments et peut s'apparenter à une coulée de boue venue colmater les cavités présentes dans le basalte. Elle a arraché sur son passage une partie des sédiments préexistants (dont certainement les portions en plein air de l'US2) mais a eu aussi comme effet de sceller et de protéger les portions internes aux cavités et qui peuvent maintenant livrer tous leurs secrets au cours des fouilles. Lors des études entreprises courant 2012 sur cette unité, l'équipe a identifié une série de pièces archéologiques en basalte, quartz, aplite et quartzite. Depuis cette date, l'industrie n'a cessé d'être complétée et les

extrémité orientale
de la Montagne Noire

coteaux miocènes



 secteur étudié

0 2 4 8 km

Bloc-diagramme de localisation du site

travaux de géologie de 2013 ont permis de découvrir un biface sur galet de basalte. Les nombreuses discussions scientifiques et visites de préhistoriens français et étrangers qui se sont succédées durant l'été et l'automne 2013 convergent toutes vers une attribution de

l'industrie à un Acheuléen ancien. L'enjeu de la datation de cette unité sédimentaire est maintenant majeur car les corrélations géologiques actuellement disponibles permettent d'envisager une datation antérieure à 0.8 Ma pour cette unité. Cela conduirait à repousser le peuplement lié à l'Acheuléen en Europe vers des dates bien plus anciennes que prévu (une publication du 21 décembre 2013 confirme l'ancienneté de l'Acheuléen sur le site de Noira, dans le centre de la France, vers 0.7 Ma). Une campagne centrée sur la géologie globale couplée à des tentatives de datation et de mesure du paléomagnétisme va être amorcée afin d'affiner le plus possible la fourchette de datation de ce nouveau centre d'intérêt majeur pour l'histoire de l'Homme en Europe. Nous ne manquerons pas de vous en rendre compte.



Biface en basalte provenant de l'US 4

Laurence Bourguignon
Paléolithicienne, INRAP
laurence.bourguignon@inrap.fr

Jérôme Ivorra
SPN du Piscénois
jerome.ivorra@orange.fr

DE COLLOQUES EN SÉMINAIRES

L'ensemble des travaux entrepris sur le site du Bois de Riquet seront présentés en 2014 à la communauté scientifique internationale à l'occasion de plusieurs colloques et séminaires :

Burgos, 8-11 mai 2014, colloque d'archéologie expérimentale : présentation des travaux d'expérimentation sur la taille du basalte afin de caractériser les stigmates de taille repérables sur ce type de matériaux et de différencier ainsi une taille de séries de cassures naturelles. Les résultats d'utilisation d'outils expérimentaux et les traces de boucheries laissées sur des os brisés ou raclés feront aussi partie de la communication.

Burgos, 1-7 septembre 2014, XVII^{ème} congrès mondial de l'Union internationale des Sciences préhistoriques et protohistoriques /UISPP : présentation de l'industrie de l'US2

Paris, fin 2014 : présentation de l'industrie acheuléenne de l'US4

Pour les experts espagnols habitués aux gisements de ce très ancien paléolithique, le gisement de Lézignan-la-Cèbe s'intègre bien dans les travaux de recherches actuellement en cours sur l'origine du peuplement humain d'Europe de l'Ouest.

De nombreux scientifiques se sont succédés à Lézignan-la-Cèbe durant l'été 2013, notamment Robert Sala, directeur du site de Barranco León à Orce (Andalousie) qui a dernièrement livré, associé à une industrie datée de - 1,3 Ma, le plus ancien reste humain d'Europe : une dent de lait !

Une publication dans une revue scientifique fera la synthèse des données actuellement disponibles et posera les problématiques devant guider les investigations à venir pour exploiter au mieux les potentialités extraordinaires de ce site dont une partie seulement des extensions sédimentaires a été étudiée.



En haut : Expertise des collections archéologiques du Bois de Riquet en juin 2014

De gauche à droite : Deborah Barsky, préhistorienne de l'équipe, chercheuse à l'IPHES de Tarragone après avoir travaillé de nombreuses années à Tautavel ; Eudald Carbonell, préhistorien catalan, co-découvreur de l'*Homo antecessor* à Atapuerca ; Jordi Augusti, paléontologue spécialiste des datations à partir de la microfaune. Son équipe travaille sur la microfaune du site. Il a conclu en 2013 que l'association microfaunique de l'US2 était corrélée à celle du site de la Sima del Elefante d'Atapuerca à -1.2 Ma.

Au centre et en bas : Zone d'éclats d'os et détail d'un os long

(photos Jérôme Ivorra)



4^º CONGRESO INTERNACIONAL
ARGUEOLOGÍA experimental

4th INTERNATIONAL CONGRESS OF EXPERIMENTAL ARCHAEOLOGY

08-11/05/2014 MEH (Burgos, España)



Le peuplement animal dans la région vers -1.2 Ma

(locus 1, unité US2, actualisation janvier 2014)

Nom scientifique / Espèce actuelle la plus proche / Nombre d'individus actuellement déterminés (MNI)
Environnement associé et renseignements écologiques

Grands carnivores

Panthera onca
gombaszoegensis

Lion, jaguar

Milieu mixte / Chasseur solitaire ou en petit groupe à l'affût



Canis mosbachensis

Loup / 2

Mixte / Chasse en meute des grands mammifères adultes ou juvéniles



Pachycrocuta
brevirostris

Hyène / 2

Milieu ouvert / Chasse en meute ou charogne des grands mammifères



Vulpes sp

Renard / 1

Prairies / Chasseur de petits mammifères, reptiles et insectes



Meles sp

Blaireau / 1

Milieu mixte



Grands herbivores

Elephantidae nd

Éléphant / 1

Milieu mixte



Equus

cf suessenbornensis

Hémione / 2

Prairies sèches



Stephanorhinus

cf hundsheimensis

Rhinocéros bicolore / 4

Prairies et bois



Bison sp

Bison d'Europe / 3

Milieu forestier à boisé



Equus altidens

Zèbre / 13

Prairies et bois



Praemegaceros

Grand cervidé / 15

Milieu mixte



Dama
Daim / 1
Milieu plutôt forestier
ou boisé



Petite faune

Oryctolagus cf giberti
Lapin / 9
Prairies ouvertes,
buissons



Passeriformes nd
Petits passereaux / nd
Milieux ouverts à boisés,
besoin de mares



Lepus sp
Lièvre / 2
Prairies et buissons



*Allophaiomys
aff nutiensis*
Campagnol / nd
Prairies



Bufo calamita
Crapaud des joncs / 1
Mares
au moins temporaires



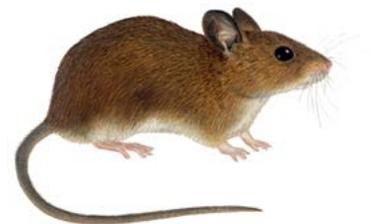
Allocricetus bursae
Hamster / nd
Prairies



Lacertidae
Lézard / 1
Milieu rocheux ouvert



Apodemus sp
Mulot / nd
Prairies



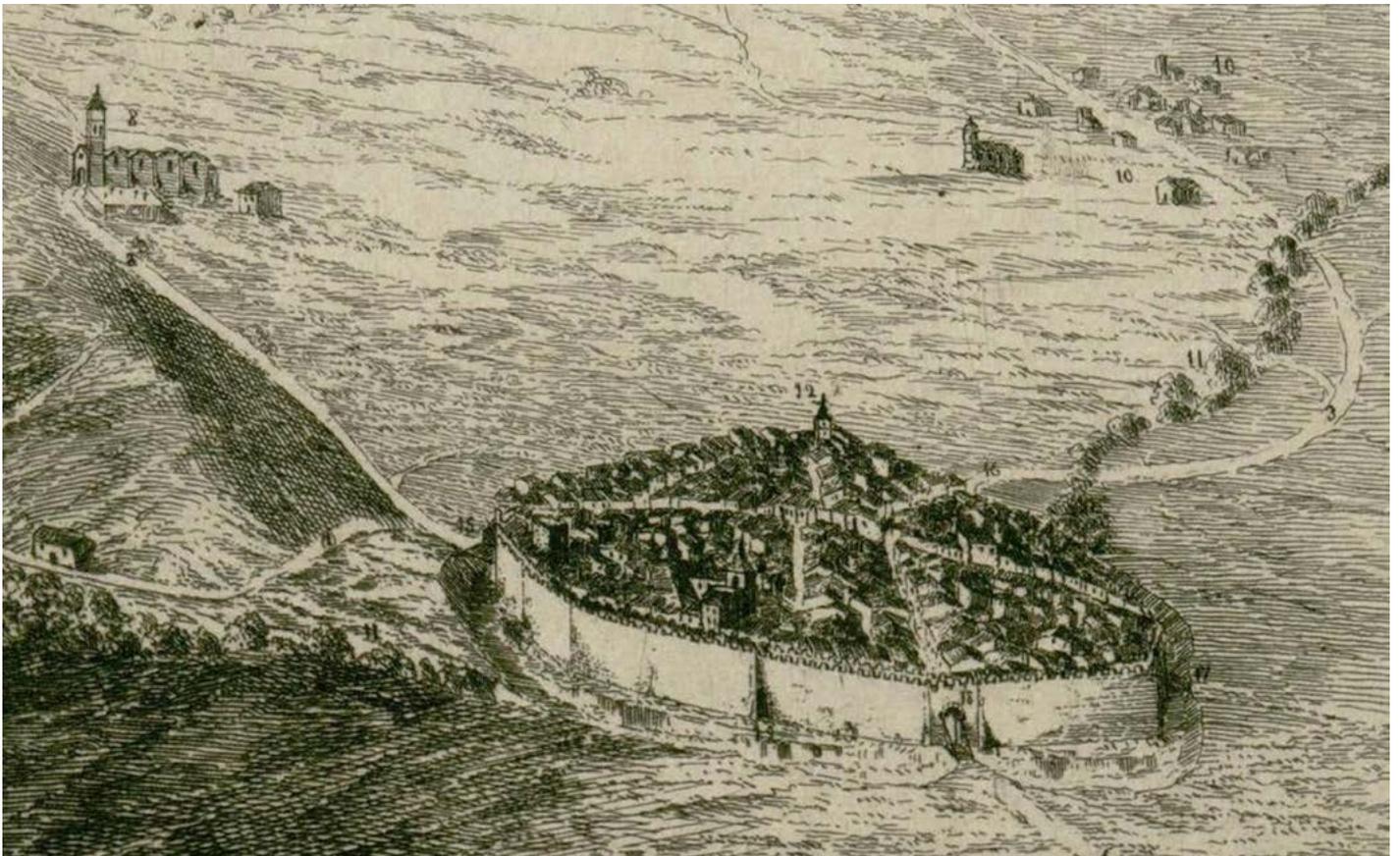
Vipera
Vipère / 1
Milieu ouvert, besoin
d'eau



Au Moyen Âge, dès la X^e siècle, la plaine languedocienne voit se mettre en place un maillage de villages fortifiés (*castra*) essentiellement destinés à défendre les populations paysannes contre les pillages et les razzias de bétail et d'instruments de labour. Les fossés ceinturant le village sont bientôt doublés par des murs percés d'une ou plusieurs portes.

lire un monument

La porte de ville



Restitution du village de Roujan au XV^e siècle (gravure d'Albert Fabre, XIX^e siècle, imp. Cadart, Paris, coll. G. Beugnon)

Ainsi que l'a montré Monique Bourrin-Derruau¹ en prenant appui sur les témoignages liés à la croisade des Albigeois, les *castra* de la plaine languedocienne avaient « un intérêt stratégique limité à des opérations de petite envergure » : contrairement aux châteaux des montagnes proches (Minerve, Termes et Cabaret), ils ne pouvaient résister aux guerres de siège telles que les pratiquaient les Croisés. Reflet des relations entre seigneurs

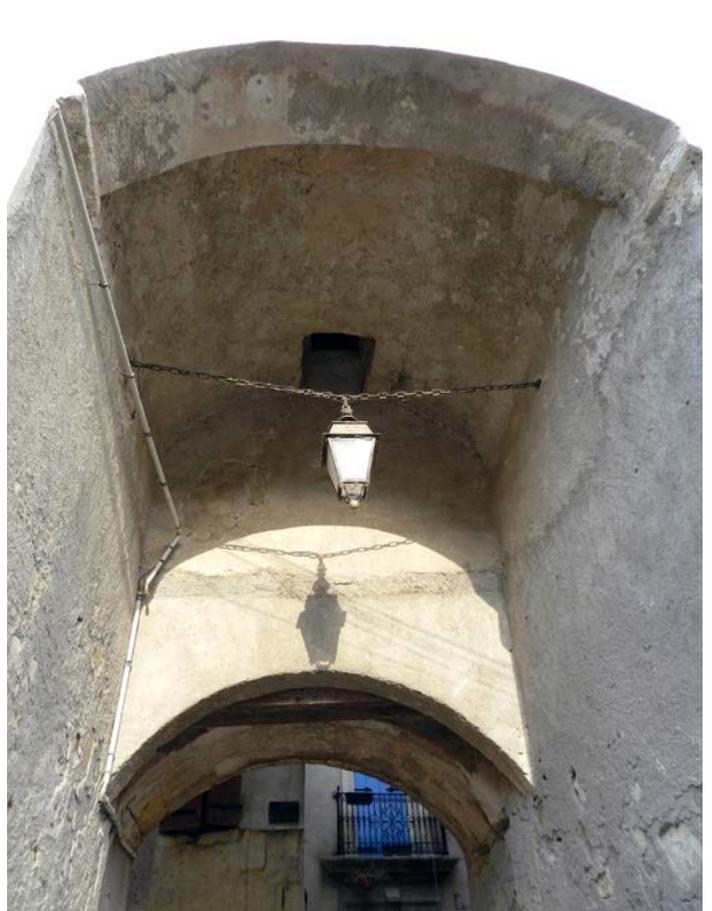
et paysans, ils témoignent aussi de relations conflictuelles entre villages proches et d'un désir d'imiter la ville : « *le mur castral et ses portails sont, comme les murailles de la ville, à la fois moyen de défense et symbole de la conscience villageoise* ».

Les portes se présentaient sous forme de tours en position avancée par rapport aux murailles. Elle servaient à filtrer les personnes voulant pénétrer dans le *castrum* et, en

cas de danger, de leur en interdire l'accès par le biais de défenses en place : fossé, pont-levis, assommoir, herse.

Frédéric Mazeran
Architecte du patrimoine
Conseil général de l'Hérault
fmazeran@cg34.fr

1. BOURRIN-DERRUAU, Monique, « Valeur stratégique et valeur symbolique des fortifications castrales en Bas-Languedoc, XI^e-XIII^e siècle », *Guerre, fortification et habitat dans le monde méditerranéen au Moyen Âge*, Casa de Velázquez / École française de Rome, Madrid/Rome 1988, pp. 99-106.



Porte de ville de La Caunette, d'époque gothique (XIV^e siècle). Etat actuel et proposition de restitution de la bretèche sommitale (photo et restitution Frédéric Mazeran)

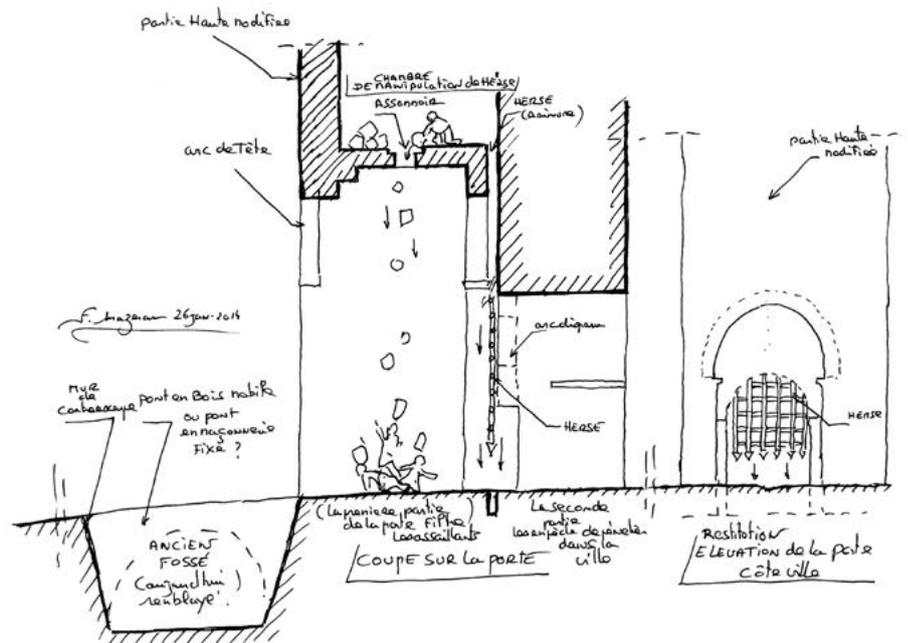
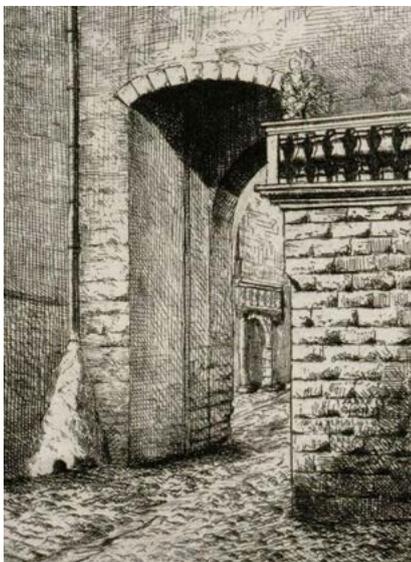
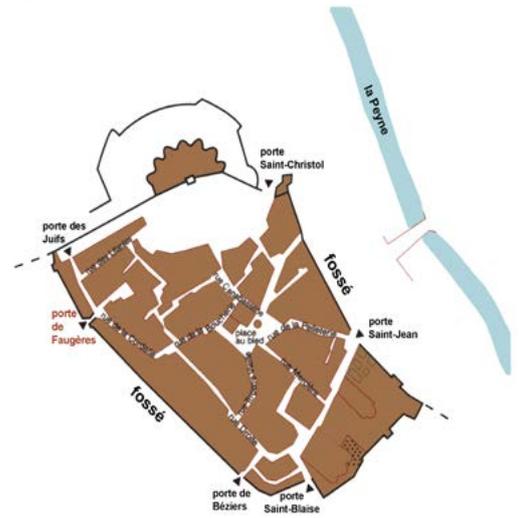
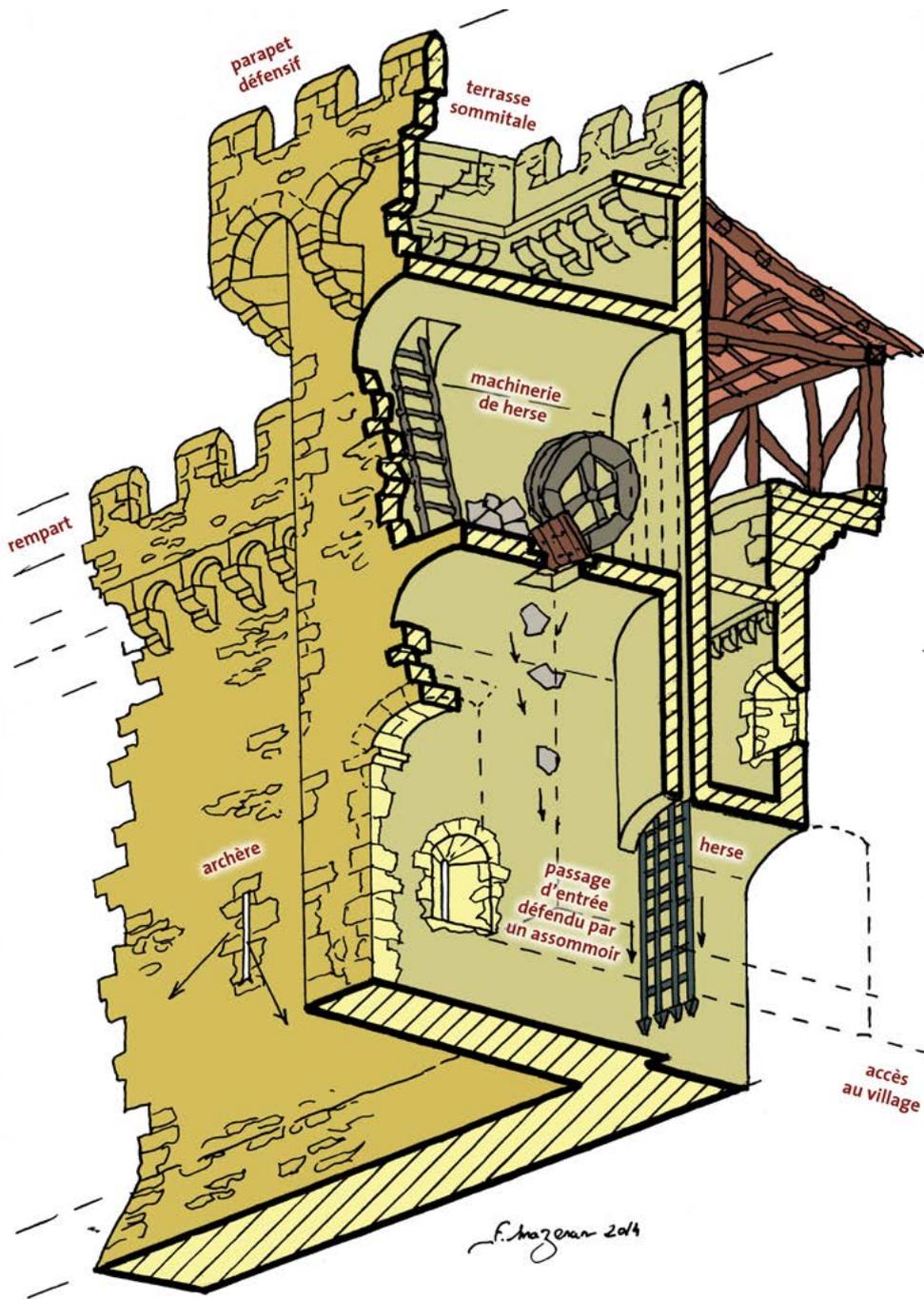
Porte de ville de Saint-Jean-de-Fos, d'époque gothique (XIV^e siècle), surmontée au XIX^e siècle d'un beffroi d'horloge (photo Frédéric Mazeran)

Porte de ville de Pouzolles où l'on distingue l'emplacement de la herse (voûte inférieure) et l'assommoir (voûte supérieure). D'époque gothique (XIV^e siècle), elle s'inspire d'un modèle conservé à Pézenas : la porte de Faugères (photo Frédéric Mazeran)

Restitution de la porte de Faugères, à Pézenas
(dessins de Frédéric Mazeran)

Plan de la ville de Pézenas au Moyen Age
En noir : tracé de l'enceinte fortifiée
(d'après une cartographie de Véronique Marzo-Marill, Inventaire général, ADAGP, 1998)

La porte de Faugères, à Pézenas
(gravure d'Albert Fabre, XIX^e siècle, imp. V^e Cadart, coll. G. Beugnon)



En bordure méridionale des Monts de Cabrières recouverts de forêts et de ma-torrail, la colline des Louvières fait depuis quatre ans l'objet d'interventions du lycée professionnel agricole La Condamine de Pézenas. Après des actions de débroussaillage et l'aménagement d'une mare naturelle, l'attention des lycéens s'est portée sur la mise en place d'un arboretum méditerranéen.

sur la colline des Louvières Agir pour la biodiversité



Les lycéens de Pézenas au service de la biodiversité (photo Guilhem Beugnon)

A cheval sur les communes de Neffiès et de Vailhan, la colline des Louvières appartient aux célèbres *écailles de Cabrières*, une unité géologique complexe qui marque la terminaison sud-orientale de la Montagne Noire. Les blocs sédimentaires et volcaniques d'âge primaire s'y échelonnent de l'Ordovicien au Carbonifère, entre 485 et 325 millions d'années.

Au lieu-dit Grange de Garenc, le bassin versant du ruisseau des Louvières - un oued alimenté épisodiquement par les eaux de ruissellement - s'ouvre vers le sud en direction de la plaine littorale. Au nord, il prend appui sur le plateau du Falgairas, un massif dolomitique recouvert depuis les années 1970 par une forêt de conifères (essentiellement Pins maritimes,

Pins pignon et Pins d'Alep). Per-méables en grand, les calcaires dolomitiques du Falgairas constituent la principale réserve d'eau du secteur où ils donnent naissance à de nombreuses sources au contact des schistes carbonifères imperméables. Les plus importantes fournissent Neffiès (source de la Resclause) et Fontès (source de Tibéret) d'une eau d'excellente

qualité chimique. La petite source des Louvières aujourd'hui captée alimente la mare naturelle aménagée en 2011 par les lycéens (cf. *Rocaires* n°10).

Prise en étau entre la forêt de conifères du Falgairas et le bois de chênes du Bousquet, la colline des Louvières est un espace ouvert où dominant les plantes ligneuses : cistes, genêts, pistachiers, Chêne kermès. Les écologues lui donnent aujourd'hui le nom espagnol de matorral qui englobe les appellations traditionnelles de garrigues et maquis. Rythmant les coteaux, de nombreux murets en pierre sèche en partie éboulés rappellent qu'autrefois cette colline vivait au rythme des agriculteurs et des bergers. Ils appellent aujourd'hui des actions de sauvegarde.

Un arboretum au coeur du matorral

Planter un arbre est un symbole fort en matière d'éducation à l'environnement. À l'initiative de l'Office Français de la Fondation pour l'Éducation à l'Environnement en

Europe, l'opération *Plus d'arbres, plus de vie!* sensibilise le grand public, autour d'une action de plantation, au rôle de l'arbre en matière de développement durable.

Dans le cadre de la 3^{ème} édition de cette opération, le centre de ressources de Vailhan, l'association Nature Passion et le lycée agricole La Condamine de Pézenas ont conjugué leurs efforts afin de créer un arboretum sur ce bout de colline, entre Vailhan et Neffies, où durant les deux dernières années ils ont creusé, aménagé et végétalisé une mare pérenne. En effet, cette synergie s'inscrit dans la mise en œuvre d'un projet global de protection et de mise en valeur des paysages ruraux. Planter des arbres, oui, mais pas n'importe lesquels et pas n'importe où ! Nul n'est besoin d'aider les Chênes verts et les Pins d'Alep à conquérir les milieux autrefois maintenus ouverts par les pratiques agricoles. Ces colonisateurs le font trop bien tout seuls, au détriment de la biodiversité – fille de la lumière – et du petit patrimoine de pierre sèche issus

du travail de générations de paysans. Et pas d'arbres aux abords de la mare, au risque de compromettre sa qualité biologique et de l'asphyxier par l'accumulation de feuilles mortes.

La mission assignée à la trentaine d'élèves de seconde « travaux des aménagements paysagers » était donc de conjuguer plantation d'espèces méditerranéennes variées (Chêne pubescent, Cyprès de Florence, Erable de Montpellier, Frêne oxyphyllé, Aulne de Corse, Cerisier de Sainte-Lucie, Robinier, Cornille glauque, Hibiscus syriacus...), réouverture de milieux en voie d'embroussaillage, restauration d'anciennes terrasses de culture et protection de la mare. Un défi relevé en deux journées particulièrement clémentes du mois de février et qui appelle de nouvelles actions afin de redonner à ce lieu un statut de « monument-paysage », pour reprendre l'expression de l'écologue Philippe Martin.

Patrice Bouchet

Lycée La Condamine de Pézenas
patrice.bouchet@educagri.fr



Arundo donax L.
(Nikolaus Thomas Host, *Icones et
descriptions Graminum austriacorum*,
vol. 4, Vindobonae 1809)

Qu'il soit canne de Provence, jonc ordinaire, grand roseau ou roseau à quenouilles, l'*Arundo donax* a plus d'un tour dans son sac. Compagnon de jeu des plus petits, il sait comme un grand frère être à la fois protecteur, facilitateur et ennemi. Tantôt arme, tantôt muraille, il devient canne à pêche, sifflet d'alerte ou flûte de pan au gré des envies. Pour le jardinier, il est l'incontournable tuteur à tomates et à petits pois, l'armature de tout épouvantail, la canisse qui filtre le vent ou protège des ardeurs du soleil.

Le roseau une canne à tout faire

Comme pour beaucoup d'enfants dans les années 50, il m'a accompagné et sans doute aidé à grandir, frère aîné tout à la fois protecteur, facilitateur et quelquefois redouté. Comment évoquer mes premières découvertes, mes premiers jeux, mes premières émotions créatives, mais aussi mes premières peurs, sans qu'il n'apparaisse aussitôt au cœur de ces images animées qui construisent les souvenirs, un peu comme de petites séquences filmées dont le montage hasardeux constituerait les plus précieux repères ?

Il faut dire que nos terrains de jeu privilégiés se situaient sur les rives de la Peyne où nous bâtissions des abris de fortune pompeusement baptisés châteaux-forts. Le roseau constituait un matériau de choix pour fabriquer les murailles de

ces refuges secrets où l'on accédait après avoir élucidé les arcanes compliquées d'un labyrinthe végétal qui abritait également quelques spécimens de couleuvres géantes que notre imaginaire proluxe transformait en boas étouffeurs ou en cobras hypnotiseurs échappés d'un cirque ambulante. Les cannes nous permettaient de constituer également un arsenal impressionnant d'armes de jet ou d'estoc. Certains de mes camarades de jeux guerriers, inspirés par les indiens jivaros, en fabriquaient de longues sarbacanes à la précision époustouflante. Ce faisant, nous bravions un interdit maintes fois réitéré par nos parents qui avaient tenté en vain d'éveiller notre crainte de la blessure qui s'infecte et qui ne guérit pas. L'énonciation des exemples terrifiants de jambes amputées

et d'yeux crevés ne suffisait pas à nous tenir éloignés des roselières envoûtantes. Et puis, comment mettre en doute la parole du maître d'école qui nous invitait à puiser un exemple formateur sur celui qui plie et ne rompt pas ; comment penser une seconde que ce pédagogue au savoir immense pourrait vanter les mérites d'un être pernicieux ? Par amour filial ou par crainte de sanction, nous n'osions exprimer le déni des allégations parentales mais nous les ignorions sans vergogne. En temps de paix, nos lances se transformaient en flexibles cannes à pêche qui nous permettaient de capturer des grenouilles en attachant au bout de la ligne un petit trident orné d'un chiffon rouge. Les compétitions entre équipes étaient alors plus animées que les plus prestigieux concours de pêche modernes et conduisaient souvent à déterrer la hache de guerre. Plusieurs d'entre nous, probablement inspirés par le dieu Pan, fabriquaient avec leurs canifs d'étranges instruments qui, la plupart du temps, restaient muets mais permettaient quelquefois d'émettre des sons aigus et discordants. Pour masquer la déception du travail inabouti, nous décidions d'en faire des sifflets d'alerte destinés à nous prévenir d'une attaque imminente...

Plaisirs retrouvés

Une fois par an, je retrouve ces émotions d'enfance lorsqu'au mois d'avril vient le temps de construire le *caravenat*, la cage destinée à soutenir le prochain chantier de tomates. Il s'agit d'abord pour moi de progresser à la manière d'antan au milieu de l'épaisse roselière qui borde la rivière afin d'y sélectionner les plus gros spécimens qui garantiront la solidité de l'édifice. Une fois effeuillés et transportés jusqu'au potager, ils doivent être plantés et liés selon des méthodes qui diffèrent souvent d'un potager à l'autre. Les constantes sont cependant la hauteur de la cage qui doit permettre d'étayer une croissance continue de la tomate depuis sa plantation jusqu'aux premières gelées ; la solidarité de ses diverses composantes qui en garantit la résistance aux violences tourbillonnantes de la Tramontane comme au poids de la fructifica-

tion toujours anticipée avec le plus grand optimisme ; mais également son esthétique que ne manquent pas de juger voisins et passants au cœur de ce lieu de sociabilité maintes fois évoqué dans *Los Rocaires*. On s'observe, on s'évalue, quelquefois on se copie en s'attachant à apporter une touche personnelle qui anéantit la suspicion de pur plagiat. On laisse également libre cours à l'innovation avec le secret espoir qu'elle donnera lieu à l'admiration. Afin d'illustrer ces conceptions architecturales potagères, nous ne retiendrons que les plus fréquemment pratiquées, qu'elles prennent l'allure d'armatures de tentes ou celles d'échafaudages asiatiques.

Dans les jardins, loin d'être éliminés, les reliquats des roseaux recoupés pour en unifier la longueur, ou bien ceux de l'année précédente, trouvent également des vocations utilitaires pour soutenir la croissance des pois et faciliter la récolte de leurs fruits, matérialiser l'emplacement des semis et éviter le piétinement des étourdis, construire des épouvantails destinés à dissuader les moineaux friands des jeunes pousses de salade. Ces « peurs » sont de conception très diversifiée, allant du simple CD tournoyant au bout d'une ficelle jusqu'au pseudo jardinier menaçant caricaturé par son créateur. Si les matériaux utilisés sont variés, permettant d'intéressants recyclages, le roseau est toujours présent, élément indis-

FICHE D'IDENTITÉ DU GRAND ROSEAU

Etymologie : du germanique occidental **rauz-* par l'ancien français *raus/ros*, « roseau », attesté dès le X^e siècle

Origine : Moyen-Orient

Famille : *Poacées (Graminées)*

Genre : *Arundo*

Espèce : *donax*

Autres noms : canne de Provence, jonc ordinaire, roseau à quenouilles, *canavèra, cantulh, caravena, rauc* (occitan)

pensable à l'expression de la créativité...

En artisanat, il entre dans la confection des paniers, *canestèu*, claies et autres accessoires de la vie traditionnelle provençale. En agriculture, les jeunes pousses constituent un assez bon fourrage pour le bétail. Sur le plan industriel, et sous notre climat méditerranéen où la plante déjà adaptée à l'environnement offre une protection contre l'érosion des sols, la canne de Provence s'annonce prometteuse pour la production de bioénergie. Elle peut aussi alimenter l'industrie de la pâte à papier. A Neffès comme à La Tour-sur-Orb, on l'utilise pour assainir les eaux usées domestiques de la commune. Mais arrêtons là cette déjà longue et incomplète liste !

Jean Fouët
Architecte roselier

Station d'épuration à filtres plantés de roseaux de Neffès



l'art du caravenat en 16 étapes







le son tendre des roseaux

Le roseau et la musique font depuis longtemps bon ménage. Divinité de la Nature, protecteur des bergers et des troupeaux dans la mythologie grecque, le dieu Pan avait pour attribut la célèbre flûte composée d'un ensemble de tuyaux sonores assemblés. Son nom latin, *syrinx*, signifie à la fois « roseau » et « flûte ». Dans les *Métamorphoses*, Ovide raconte ainsi l'invention de l'instrument : poussé par le désir, Pan pourchassa la nymphe Syrinx qui s'enfuit vers les bords sablonneux du paisible Ladon. Priant les naïades, ses soeurs, de changer sa figure, elle se vit transformer en roseaux. Comme Pan soupirait sur le bord du fleuve, les cannes agitées rendirent un son tendre. Cherchant à fixer cette voix par un art nouveau, il coupa des roseaux inégaux, les fixa avec de la cire et créa ainsi la syrinx.

Pièce maîtresse de nombreux instruments à vent, de la clarinette au basson, du biniou à la cornemuse, l'anche est une lamelle taillée dans la canne de Provence. Placée à l'embouchure ou sur le bec des instruments à anche, elle génère le son par sa vibration. C'est sur les rivages varois qu'elle acquiert une qualité exceptionnelle, unique au monde, et la commune de Cogolin s'en est fait depuis longtemps une spécialité.

Monsieur, ce sont des masques, Qui portent des crin crins et des tambours de basques. s'exclame L'Épine dans *Les Fâcheux* de Molière. Il ne s'agit pas ici d'un mauvais violon mais d'un de ces jouets sonores que les enfants se plaisaient alors à construire et dont Castil-Blaze¹ donne la description suivante : « Pour imiter la grenouille, les enfants adaptent un morceau de parchemin à l'ouverture d'un tuyau de canne de Provence très court, fermé par son nœud à l'autre bout, et font passer un crin dans ce

parchemin percé de deux trous faits avec une épingle. Au moyen d'un bâton passé dans



le vide que laisse le crin, dont on a lié les deux bouts par un nœud, on fait tourner vivement le tuyau de canne autour du bâton. »

A Vailhan, sous la baguette de Pascale Théron et les mains actives d'élèves passionnés, les cannes de Provence deviennent fifres, clarinettes, guiros, kazoos ou percussions et accompagnent des faran-

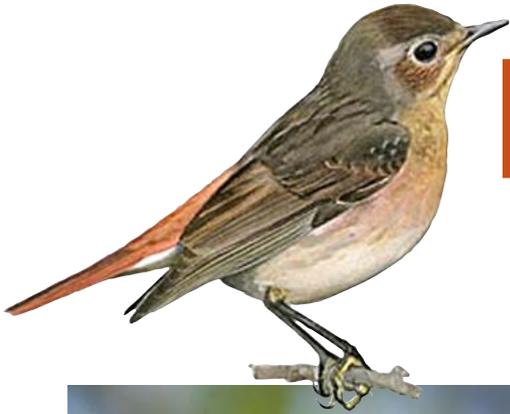
doles improvisées sur les berges de la Peyne... pour le plus grand plaisir du dieu Pan qui a depuis longtemps quitté son Péloponnèse natal.

1. CASTIL-BLAZE, François-Henri-Joseph, *Molière musicien, notes sur les oeuvres de cet illustre maître...*, vol. 1, Castil-Blaze, Paris 1852, p. 153.

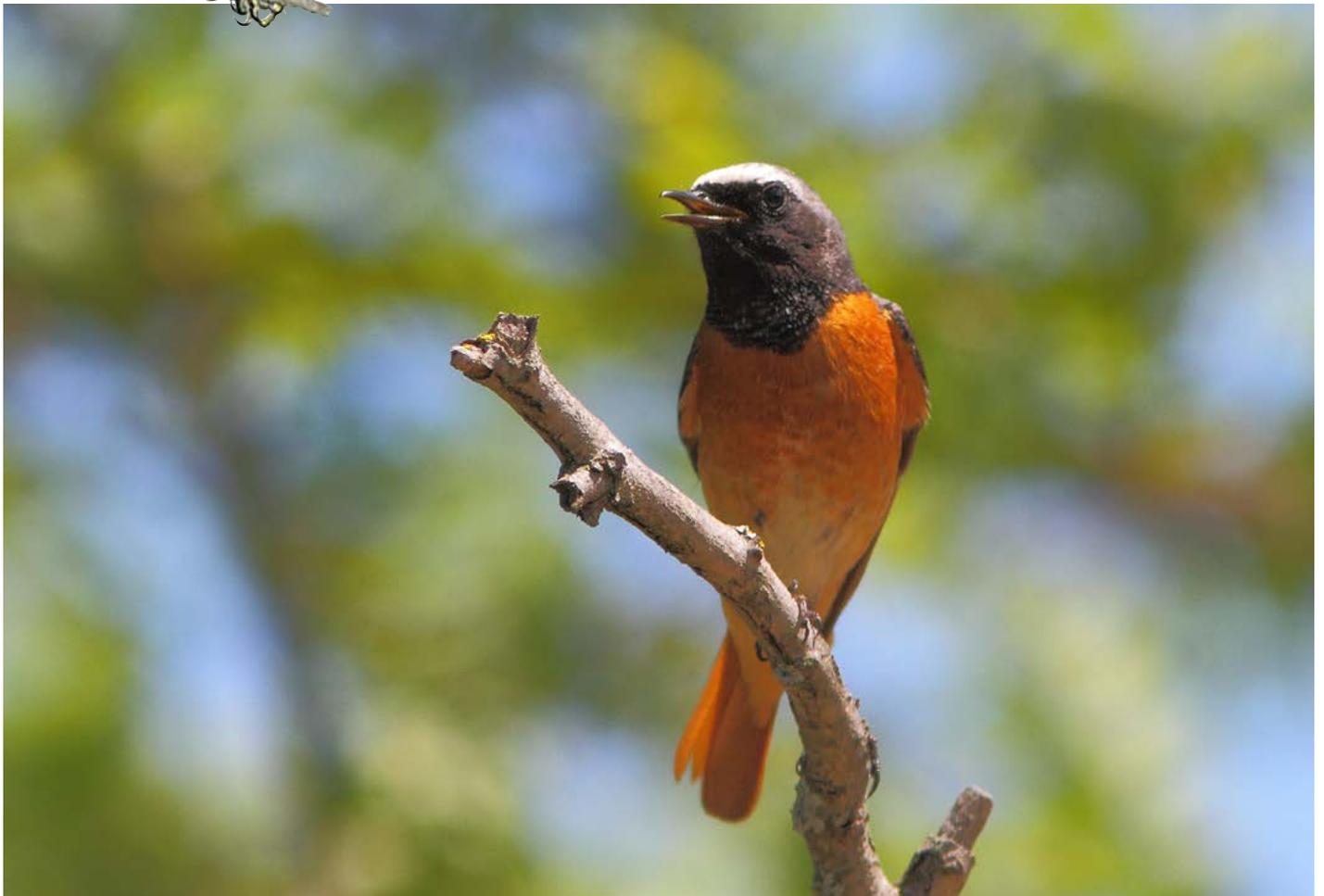


Aquarelles de Pascale Théron

Pas plus gros qu'un moineau, il ne saurait passer inaperçu aux yeux de l'observateur attentif. Dès le mois d'avril, revenu de son lointain périple africain, le mâle marque son territoire auquel il reste fidèle d'une année sur l'autre. Du haut de ses perchoirs, il émet son chant et gonfle joyeusement sa poitrine rousse. Portrait du « Rossignol des murailles » : le Rougequeue à front blanc.



Le Rougequeue à front blanc



Le Rougequeue à front blanc mâle (en haut, la femelle), *Phoenicurus phoenicurus* (photo François-Marie Nougaret, LPO34)

Impossible de le confondre avec son cousin, le plus commun Rougequeue noir, du moins les mâles. Si le second offre un dessous gris et un front noir, le premier arbore un plus flamboyant plumage : dos gris ardoise, poitrine rouge orangé, masque noir rehaussé d'un bandeau blanc, queue rousse. Et c'est bien là le caractère distinctif de

notre Rougequeue : mâles et femelles ont le croupion et la queue rouge orangé. Autre particularité commune typique, leur silhouette agitée de courbettes nerveuses et les rapides tremblements de leur queue donnent l'impression qu'ils sont montés sur des ressorts ! Vif, à l'aise aussi bien dans les feuillages qu'à terre, le Rouge-

queue sait voler sur place pour repérer les insectes, chenilles, araignées, vers... mais aussi fondre d'un affût sur ses proies à terre, ou voltiger, rapide, pour happer l'insecte en vol. Il ne dédaigne pas non plus les baies et fruits de saison des lierre, chèvrefeuille, pistachier térébinthe, cornouiller sanguin, sureau noir, merisier, ronce...

Fréquentant aussi bien la campagne que les jardins des villages et des villes, pourvu qu'ils soient plantés de feuillus, son chant y retentit avec ardeur bien avant l'aube et tard le soir, phrase mélodieuse à laquelle se mêlent de nombreuses imitations.

Devant la femelle arrivée quelques jours plus tard, le mâle fait des révérences, étire le cou, étale la queue en chantant doucement. Après l'accouplement, il lui présente une cavité - trou dans un arbre, un mur, un tas de pierres, un nichoir - ou un recoin tranquille d'une cabane. La femelle y aménage une coupe d'herbes sèches, mousse, racines, fibres d'écorce, laine et crin. Au creux de ce nid profond, garni de poils et de plumes, elle couve six à sept œufs d'un joli bleu vert durant une quinzaine de jours pendant que le mâle monte la garde et chasse les intrus... toujours en chantant.

A leur sortie du nid quinze, vingt jours après l'éclosion, hochant déjà leur queue comme les adultes, les petits sont nourris encore quelque temps par les parents avant de quitter leur territoire natal.

A moins qu'ils aient entrepris

une seconde nidification, en juillet-août on ne voit plus guère les adultes, discrets pendant la mue. Ils réapparaissent avant d'entamer leur long et dangereux voyage de retour vers leurs lieux d'hivernage. Ils s'activent alors à se nourrir et stocker dans leurs muscles le maximum de réserves, graisses mais aussi eau et protéines. Ils voyageront de nuit, par petits groupes, feront escale le jour pour se ravitailler, traverseront le Sahara, certains d'une seule traite en deux jours et une nuit, avant de retrouver en octobre les légions d'insectes peuplant les savanes du Sahel.

A l'origine, le Rougequeue à front blanc est une espèce originaire des landes boisées d'Asie centrale, mais son implantation en Europe occidentale et en France semble très ancienne. Nicheur absent de la zone méditerranéenne (mais abondamment capturé aux passages en Provence, sa chair étant particulièrement prisée), il commence à nicher à Montpellier et les villages environnants au milieu du XX^e siècle et, depuis, colonise d'autres secteurs. Cependant, le déclin global de la population noté un peu partout en

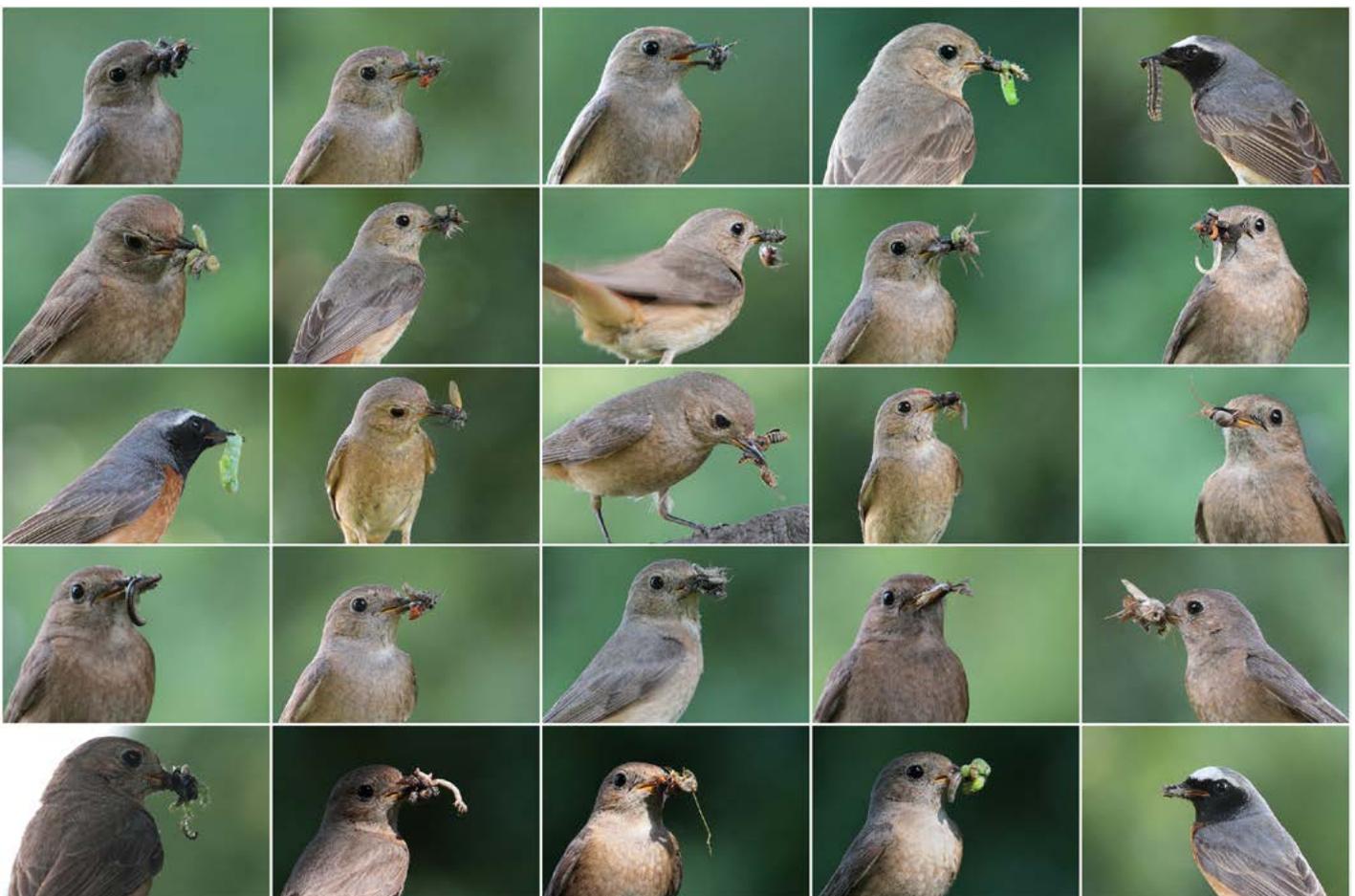
Europe occidentale depuis le début des années 1970, principalement lié aux conditions climatiques de sécheresse catastrophique au Sahel et à la diminution des insectes suite aux épandages d'insecticides tant sur les territoires de reproduction que sur ceux d'hivernage, fait que cette espèce est considérée comme vulnérable en Europe.

A défaut de pouvoir changer les conditions climatiques, sa protection passe par la restauration et la conservation de ses sites de nidification, la pose de nichoirs et la modification des pratiques des agriculteurs et des jardiniers.

Gîte et couvert assurés, un superbe mâle fraîchement arrivé de l'Afrique sahélienne après avoir bravé tous les dangers invitera peut-être une femelle à fonder famille dans votre jardin.

Micheline Blavier
Vice-présidente de la LPO Hérault
lombrette@gmail.com

Régime alimentaire du Rougequeue à front blanc
(photos Jerzy Strzelecki, juin 2011)



Courrier des lecteurs

Los Rocaires : un bulletin qui voyage

Bonjour,

J'ai découvert *Los Rocaires* grâce au dossier spécial « Volcanisme héraultais ». Je suis heureuse d'être aujourd'hui inscrite sur la liste des destinataires de ce bulletin. Dans un monde si perturbé, souvent à la recherche de la sérénité dont l'homme a besoin pour vivre et pour travailler, une revue comme la vôtre est une vraie source d'apaisement et d'appel à vivre. Une revue encore plus proche de chaque individu que les nôtres, archéologiques.

Madeleine Bernabo Brea Cavalier

Directeur de recherche au CNRS (er)

Directrice honoraire du Musée archéologique
« Luigi Bernabo Brea », Lipari (Italie)

Bom Dia,

C'est avec joie que, trois fois par an, par l'entremise de Guilhem Beugnon, ancien directeur de l'Alliance française du Maranhão, je reçois *Los Rocaires*. Pour qui a vécu une année en France et réside aujourd'hui à São Luís, unique capitale brésilienne fondée par les Français, cette revue offre plus qu'une simple lecture. A travers des articles d'une grande richesse et d'une clarté remarquable, elle procure à l'ancienne boursière de la faculté de droit de Montpellier

tombée amoureuse du *Petit Prince* une rencontre avec son passé. Je lis et relis chaque nouvelle édition avec le même enchantement. Merci à toute l'équipe de rédaction pour ce bulletin instructif, sérieux et indépendant : parabéns, *Los Rocaires* !

Iaci Viana Dourado

São Luís do Maranhão (Brésil)

Chers auteurs des Rocaires,

Grâce à un ami languedocien, je reçois régulièrement votre journal. Votre journal ? Quel pauvre mot pour ces pages d'une richesse et d'une vitalité surprenantes, loin d'une sagesse scolaire.

Oui, quittons les salles de classe, partons à la découverte de la préhistoire, de l'histoire, des animaux et des plantes dans leur environnement naturel.

Soyez encouragés à continuer ce travail nécessaire et - j'en suis sûr - bien fertile. Un travail qui, comme vous le voyez, franchit les frontières.

Que désire votre lecteur fidèle et attentif à l'approche de son 80^e anniversaire ? De continuer à découvrir, trois fois par an, des *Rocaires* sans cesse renouvelés.

Très amicalement,

Hans Steinhaus

Bonn (Allemagne)

Le Sri Lanka a toujours été concerné par la protection de son environnement naturel, une tradition renforcée par la longue influence du Bouddhisme. Les parc nationaux, réserves naturelles et sanctuaires y sont très nombreux, tout comme le nombre d'espèces endémiques. Grâce à la très grande variété de sa faune et de sa flore, l'île possède toutes les ressources nécessaires pour devenir une des destinations écotouristiques phares de l'Asie.

Le tsunami de 2004 lui a fait prendre conscience avec une intensité accrue de la nécessité de préserver cet environnement.

Sri Lankais amoureux de son pays

et de la France, je découvre dans chaque numéro des *Rocaires* des problématiques liées au développement durable communes à nos deux pays et c'est, à chaque parution, l'occasion d'une remise en question !

Kumar de Silva

Consultant en médias
Colombo (Sri Lanka)

Lectrice fidèle des *Rocaires* depuis plus d'un an, j'apprécie les informations et perspectives non-touristiques que ce bulletin offre sur l'histoire et le patrimoine d'une région où je viens souvent en visite. Vos articles sur les projets d'éducation à l'environnement m'intéressent tout particulièrement pour l'aperçu qu'ils offrent des problèmes rencontrés par les différentes communautés héraultaises. Dans ma ville d'Iowa City, l'esprit écologique est très développé. Il ne manque pas d'actions lancées dans les écoles ou même certaines entreprises pour la découverte et la protection des ressources naturelles : appui à l'agriculture « organique » locale, soins aux rapaces blessés, restauration de prairies, recyclage de pièces usées de toutes sortes... Ce qui manque pourtant chez nous, ce sont des organismes comme le CREDD qui, avec le soutien de l'éducation nationale, de collectivités territoriales, d'associations locales participe à une meilleure connaissance des problématiques liées au développement durable... et diffuse un bulletin comme *Los Rocaires* ! J'attends le plaisir, dans quelques années, de prendre ma retraite dans le département de l'Hérault et, grâce à vos articles, j'ai collecté un fonds précieux d'informations pour me guider dans l'exploration de votre région. Merci pour votre travail !

Rebecca Routh

The University of Iowa
Iowa City, Etats-Unis



Dossier spécial : les chemins des énergies



Si la question de l'énergie est fondamentale pour toute civilisation, elle est devenue cruciale dès les âges des métaux et plus encore durant l'Antiquité classique lorsque les échanges se sont multipliés et que les techniques se sont complexifiées. Combustible, énergie animale, énergie électrique, énergie éolienne, les hommes sont allés puiser à toutes les sources...

archéologie de l'énergie dans l'Antiquité



Les vendanges : mosaïque de l'église Santa Costanza de Rome, ca 335-351

Les énergies mises en œuvre avant l'électricité dérivent toutes de l'action du Soleil sur l'atmosphère, sur les plantes et les animaux. Cette action s'exerce :

- ◆ soit sur les végétaux donnant des combustibles (bois, charbon de bois, charbon de terre) qui furent les principales sources d'énergie utilisées jusqu'au XX^e siècle,

- ◆ soit sur les êtres vivants dont le travail peut être utilisé grâce à la domestication, pour les animaux, et à l'éducation, pour les hommes (qu'ils soient salariés, dépendants ou esclaves),

- ◆ soit sur la matière inanimée, par le rayonnement direct et par le mouvement des vents et de l'eau (cycle de l'eau).

Le combustible

Le bois et le charbon de bois

L'énergie biologique comprend d'abord le bois, indispensable pour la cuisine et le chauffage domestique, la verrerie et la briqueterie, la cuisson des poteries, la calcination de la chaux, la production de poix et la fonte de certains métaux, tels que le cuivre, et le charbon de

bois, très utilisé dans la métallurgie du fer, notamment dans la bordure nord de la Méditerranée bien pourvue de forêts. Le fer est un facteur essentiel du décollage économique dans la mesure où il permet de produire des outils solides dont l'emploi améliore les rendements agricoles et autorise le développement des artisanats.

W.V. Harris¹ estime que si la forêt a reculé partout depuis le Néolithique, la situation sous l'empire romain n'était globalement pas dramatique, grâce à une meilleure gestion des forêts et à un commerce intense du bois par voie d'eau qui évitait une trop grande exploitation locale.

La houille

Les Anciens ont-ils employé les énergies fossiles, c'est-à-dire le pétrole et le charbon de terre ? Le bitume n'était utilisé que pour imperméabiliser les bois, pour tenter de soigner et pour alimenter des torches. Quant à la houille, on trouve en Gaule des exploitations ponctuelles de veines de surface dès le II^e siècle de notre ère. Dans la province de Bretagne, par contre, la houille était utilisée fréquemment dans les habitations pour le chauffage, notamment celui des hypocaustes, et dans les forges.

L'énergie animale

Les hommes

On a longtemps pensé que la disposition généralisée d'une main d'oeuvre à bon marché, les esclaves, avait bloqué toute recherche de productivité et toute expansion du machinisme dans l'Antiquité. On sait aujourd'hui que chaque fois qu'il a été possible de substituer à l'homme une force supérieure pour un coût acceptable, les Anciens l'ont fait. Ainsi, un moulin hydraulique pouvait remplacer une cinquantaine d'hommes. Mais pour la plupart des tâches spécialisées et complexe, il n'existait pas d'alternative et l'on utilisait les hommes qu'ils soient esclaves ou pauvres. Cette plus ou moins grande abondance de main d'oeuvre à bon marché a pu être parfois un frein à la mise au point et à l'utilisation de certaines technologies sophistiquées comme cela a été constaté à



Pressurage des olives à l'aide d'un pressoir à levier : mosaïque de Saint-Romain-en-Gal (Rhône)

l'époque moderne.

Les animaux

Tracteurs de l'Antiquité, les bovins étaient utilisés pour tous les transports lourds et pour les labours. Les études archéozoologiques montrent qu'il y eut un effort intellectuel et une réussite mesurables pour accroître la stature et la robustesse des bovins, et ce, afin d'utiliser au mieux leur énergie.

Les équidés étaient utilisés pour le portage des hommes et des marchandises et pour le tractage des charrettes. Là encore, les hommes se sont évertués, par la sélection et l'alimentation, à accroître la taille des animaux, et à multiplier les mulets et les bardots, animaux plus résistants, susceptibles d'être utilisés pour tirer les charrettes.

L'énergie éolienne

L'emploi de l'énergie éolienne pour propulser les navires de commerce a été d'une importance capitale pour la Méditerranée dès le Néolithique. Cette utilisation d'une énergie gratuite et d'usage relativement aisé a fortement contribué

à créer un espace économique largement unifié qui fut l'un des succès majeurs de l'empire romain.

L'énergie hydraulique

Transports fluviaux et irrigation

L'énergie hydraulique a d'abord été utilisée pour le flottage des bois et le transport de matériaux lourds et de voyageurs portés sur des embarcations par le courant des rivières. Elle a aussi facilité l'irrigation par l'usage de roues élévatrices d'eau mues par le courant.

Moulins à eau

Première énergie non biologique que les hommes ont utilisé pour mettre en mouvement des machines, l'énergie hydraulique a permis d'actionner des meules à grain, des pilons à broyer le minerai, le grain et les écorces (fabrication de tan), des scies à marbre.

On estimait autrefois que le moulin hydraulique ne s'était pas diffusé dans l'Antiquité parce qu'il n'y avait pas de nécessité économique à libérer les esclaves des tâches de mouture. Aujourd'hui, grâce à la multiplication des découvertes archéologiques, nous sommes en



DU CÔTÉ DES MOULINS

Le pain est, avec la bouillie de céréales, l'aliment de base des Romains. On comprend dès lors l'importance des moulins dans l'Antiquité.

Petite chronologie

Les plus anciens moulins connus par l'archéologie ne sont pas situés en Narbonnaise, où on les attendrait, mais en Gaule interne, conquise depuis un demi-siècle à peine. Il s'agit des moulins d'Art-sur-Meurthe et de Saint-Doulchard, près de Bourges, à la charnière du changement d'ère. L'existence de pales en bois indique qu'il s'agit d'une roue verticale.

Il faut attendre le milieu du I^{er} siècle pour déceler les premiers moulins sûrement identifiés de Narbonnaise : ceux des *villae* gallo-romaine de Vareilles (Paulhan), La Garanne (La Fare-les-Oliviers) et, plus au nord, de Bourgoin-Jallieu. Dans le pourtour méditerranéen, le bois n'est que très rarement conservé en contexte archéologique ; des moulins ont sans doute existé plus précocement dont il ne reste plus de traces.

Le II^e siècle offre le plus grand nombre de cas : 18 moulins identifiés dans les trois Gaules et en Germanie dont ceux de L'Auribelle-Basse, à Pézenas, et de Vareilles, à Paulhan. Ce pic coïncide avec le plus haut niveau de la démographie. Au même titre que les pressoirs à vin et à huile, le moulin hydraulique fait alors partie de l'équipement de base des *villae*. Il demande un entretien permanent et Stéphane Mauné⁴ a décelé dans la *villa* de Vareilles trois remaniements majeurs au cours d'un siècle et demi.

A partir du V^e siècle, comme Samuel Longepierre vient de le montrer pour la Narbonnaise, on assiste à un retour de la mouture manuelle ce qui entraîne une diminution importante du nombre des moulins à eau et « à sang ». Ce fort ralentissement illustre le déclin de la population et de l'économie dans l'Empire d'Occident durant la crise des V^e-VIII^e siècles.

Qui de la meule horizontale et de la meule verticale...

Robert Spain³ a présenté en 2008 un modèle de développement des moulins hydrauliques en trois phases :

- apparition des moulins à roue verticale actionnée principalement par le poids de l'eau, donc alimentée par le haut,
- apparition des moulins mus par des roues verticales plus petites et plus rapides, actionnées par l'impulsion d'un courant d'eau,
- développement des roues verticales et horizontales actionnées par un courant d'eau.

Si les moulins à roue verticale sont nettement plus représentés à l'époque antique que les moulins à roue horizontale, la documentation archéologique est encore insuffisante pour affirmer qu'ils sont apparus les premiers. Plus simples et plus petits que les autres, les moulins à roue horizontale ont certainement été utilisés surtout dans des zones rurales et dans des endroits isolés où ils sont difficilement détectables. La plupart d'entre eux devaient être en bois, installés sur de petits cours d'eau dans les collines, et leurs vestiges se limitent probablement à une ou deux meules enfouies dans les sédiments d'un torrent.

Les recherches portant sur le Languedoc médiéval assurent que les moulins à roue horizontale sont principalement situés dans les zones de montagnes et de collines alors que les moulins à roue verticale sont établis dans les plaines à partir du XII^e siècle. Une telle situation a pu exister dans l'Antiquité.

mesure d'affirmer que presque toutes les *villae* du Haut-Empire de Narbonnaise étaient équipées de moulins hydrauliques.

Pour la Narbonnaise, Samuel Longepierre² a montré que durant l'Empire romain, les céréales étaient moulues principalement dans des moulins collectifs à sang et à eau. Dès le IV^e siècle, la proportion des grandes meules baisse nettement et les familles semblent avoir à nouveau recours aux meules à main pour leurs besoins domestiques sans que les moulins à eau ne disparaissent complètement.

Usages « industriels »

L'énergie hydraulique a été utilisée à l'époque impériale pour concentrer le minerai d'or et d'étain, déplacer d'énormes masses de terrains stériles, abattre des montagnes, mais aussi écraser le minerai, une des tâches les plus dures des travaux miniers. Dans certaines mines antiques de la péninsule Ibérique et de Bretagne, de gros blocs de pierre faisant office d'enclumes portent des traces répétées de pilons frappant au même endroit et mus par des roues hydrauliques.

Jean-Pierre Brun

Professeur au Collège de France
Chaire des Techniques et économies
de la Méditerranée antique

Notes

1. HARRIS, William V., « Bois et déboisement dans la Méditerranée antique », *Annales. Histoire, Sciences sociales*, janvier-mars 2011, pp. 105-140.

2. LONGEPIERRE, Samuel, *Meules, moulins et meulières en Gaule méridionale du II^e siècle avant J.-C. au VII^e siècle après J.-C.*, M. Mergoïl, Montagnac 2012.

3. SPAIN, Robert J., *The power and performance of Roman water-mills. Hydro-mechanical analysis of vertical-wheeled water-mills*, John and Erica Hedges Limited, Oxford 2008.

4. MAUNÉ, Stéphane, PAILLET, Jean-Louis, « Les moulins hydrauliques de Vareilles (Paulhan) et de L'Auribelle-Basse (Pézenas/Hérault). Stockage et transformation des céréales dans l'économie rurale de Gaule Narbonnaise (I^{er}-III^e s. ap. J.-C.) », dans ANDERSON, P.C. et al., *Le Traitement des récoltes : un regard sur la diversité du Néolithique au présent*, Antibes 2003, pp. 295-326.

Manuels, à sang et hydrauliques

Durant l'Antiquité, les moulins rotatifs destinés à la fabrication de la farine peuvent être classés en trois grandes catégories : les moulins manuels, à sang et hydrauliques.

De manière synthétique, les moulins rotatifs à actionnement manuel sont prédominants durant les II^e et I^{er} s. avant notre ère dans le sud-est de la France, époque durant laquelle les activités de mouture sont principalement confinées dans un cadre familial.

À partir de la première moitié du I^{er} s. de notre ère se développe l'usage des moulins de grand format, terme qui désigne de façon globale aussi bien un moulin à sang qu'un moulin hydraulique. Cet essor des moulins dits de grand format va de pair avec une mouture réalisée dans un cadre collectif. Un moulin hydraulique permet dès lors d'alimenter en farine la population d'un établissement rural, voire celle d'une ville comme Arles. En parallèle, le moulin à traction animale est autant utilisé à la campagne que dans les agglomérations.

Samuel Longepierre

Chercheur associé à l'UMR5140

Archéologie des Sociétés Méditerranéennes

Bibliographie

LONGEPIERRE, Samuel, « Moulins manuels, à sang et hydraulique durant l'Antiquité dans le sud-est de la France : essai de définition », dans *Évolution typologique et technique des meules du Néolithique à l'an mille*, Aquitania, supp. 23, Bordeaux 2011, pp. 81-94.

LONGEPIERRE, Samuel, *Meules, moulins et meulières en Gaule méridionale du II^e siècle avant J.-C. au VII^e siècle après J.-C.*, M. Mergoil, Montagnac 2012.



4

1. Moulin manuel sans système de réglage de l'écartement des meules

Datation : - 400/- 200 – + 250/+370

(croquis Samuel Longepierre)

2. Moulin à sang avec système de réglage de l'écartement des meules

Datation : + 1 – + 200/+ 500

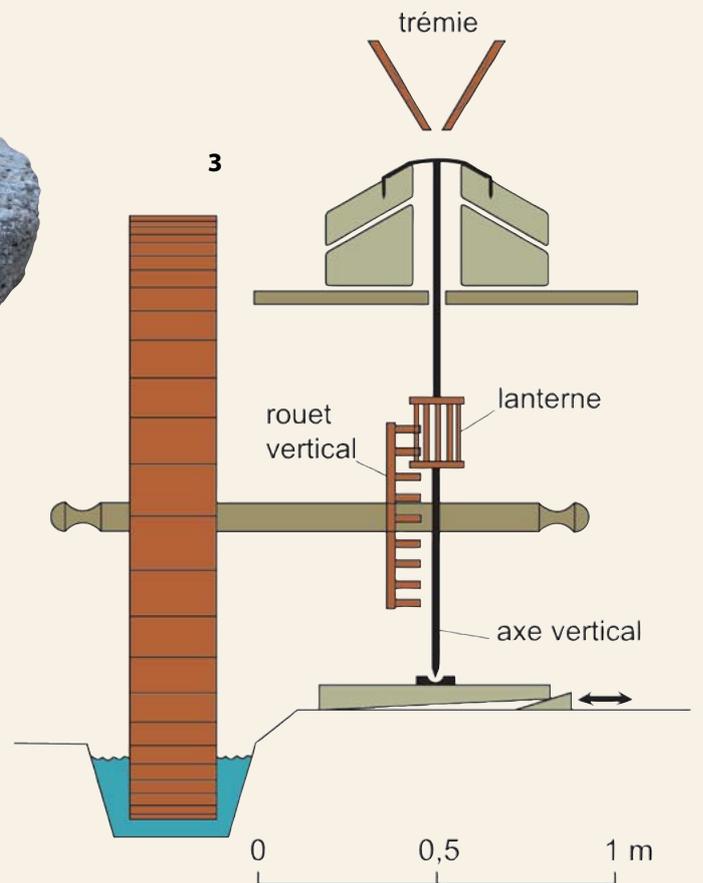
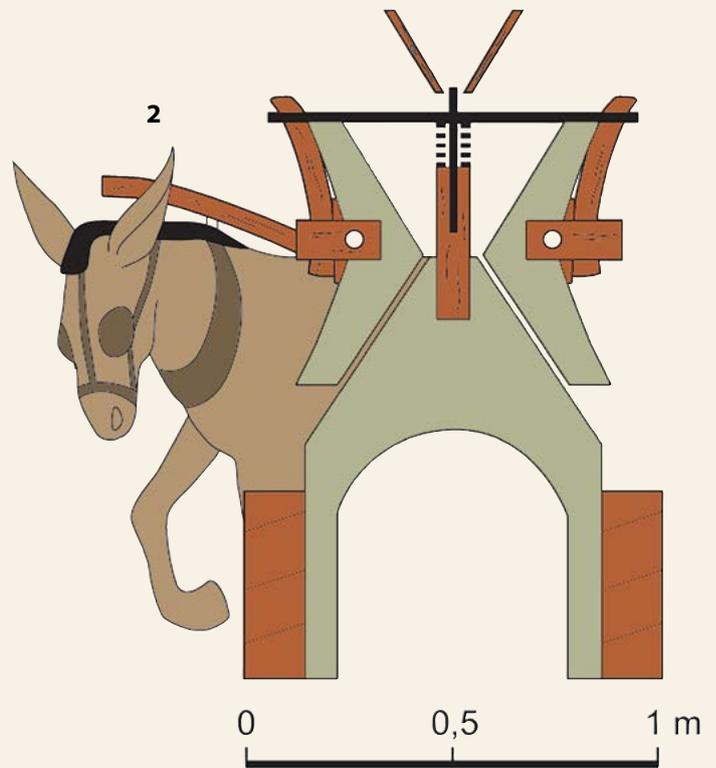
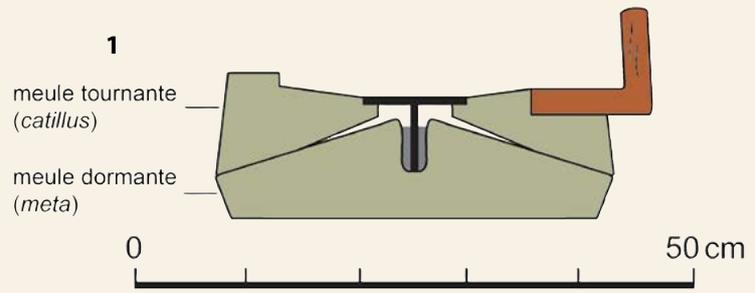
(croquis Samuel Longepierre)

3. Moulin hydraulique

Datation : + 50 – + 200/+ 500

(croquis Samuel Longepierre)

4. Meule dormante (*meta*) provenant d'un habitat gallo-romain aux Montades, commune de Pézènes-les-Mines, Ø 40 cm (coll. Daniel Bernado, photo Guilhem Beugnon)



Moulins antiques de la vallée de l'Hérault

En Gaule Narbonnaise, la découverte, dans les années 1990, dans le territoire de la colonie d'Arles, de plusieurs moulins hydrauliques à roue verticale installés au sein de *villae* du Haut-Empire a permis d'illustrer très concrètement l'importance de ces dispositifs au sein de l'économie domaniale. La reprise des fouilles du célèbre complexe de Barbegal, vraisemblablement lié à l'approvisionnement en farine de la ville d'Arles, a par ailleurs permis de remonter sa datation au premier tiers du II^e s. ap. J.-C. Plus récemment, la mise au jour dans la même région de plusieurs petits moulins à roue horizontale semble montrer qu'à côté d'installations conséquentes pouvait exister un certain nombre d'équipements plus modestes, souvent plus difficile à mettre en évidence. Quoi qu'il en soit, la grande innovation médiévale n'est plus « d'avoir mis les moulins à la campagne », comme on le pensait encore il y a une vingtaine d'années¹.

La fouille, en 1999, dans le territoire de la cité romaine de Béziers, de trois moulins hydrauliques installés au sein de la *villa* de Vareilles (Paulhan), puis en 2002, d'un quatrième dispositif dans l'établissement de L'Auribelle-Basse à Pézenas confirme l'importance locale de ce type d'équipement.

L'approvisionnement en farine des résidents du domaine viticole de Vareilles (sans doute plus d'une centaine de personnes pour lesquelles la farine et le pain constituaient l'une des bases de l'alimentation quotidienne) était une question suffisamment importante pour justifier la construction successive de trois moulins entre le milieu du I^{er} siècle et le début III^e s. ap. J.-C. Installés au point le plus bas de la *villa*, en aval d'installations thermales, ils étaient situés à l'extrémité d'un dispositif complexe au départ duquel se trouvaient deux aqueducs alimentant le domaine en eau, vraisemblablement par le captage d'une source proche.

Au cœur d'un secteur agricole particulièrement fertile, la *villa* de L'Auribelle-Basse a livré un moulin de plus grandes dimensions mais semble-t-il moins élaboré. Daté du II^e s., il était alimenté lui aussi par un aqueduc mais peut-être construit spécifiquement à cet effet. Ici, comme à Paulhan, le moulin était équipé d'une roue verticale, d'un coursier (conduit amenant l'eau au moulin), d'une fosse d'engrenage et d'un canal de fuite. Le domaine étant plus réduit que celui de Vareilles, peut-être fournissait-il en farine les gens de passage, les habitants des établissements environnants ou, plus vraisemblablement, ceux d'une petite agglomération voisine. L'hypothèse est proposée, elle devra être validée lors de la poursuite des recherches sur le site.

Stéphane Mauné

Directeur de recherche au CNRS

UMR5140 Archéologie des Sociétés Méditerranéennes

Notes

1. SIGAUT, François, « L'évolution technique des agricultures européennes avant l'époque industrielle », *Revue archéologique du Centre de la France*, vol. 27/1, 1988, p. 29.

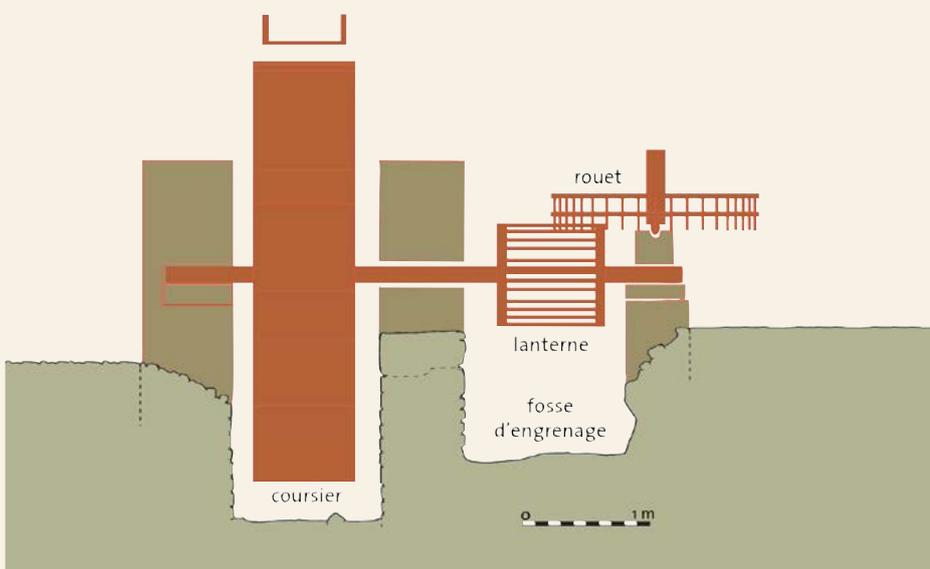
Bibliographie

MAUNÉ, Stéphane, PAILLET, Jean-Louis, « Stockage et transformation des céréales dans l'économie rurale de Gaule Narbonnaise (I^{er}-III^e s. ap. J.-C.). L'exemple des moulins hydrauliques de Vareilles et de L'Auribelle-Basse (Hérault), dans ANDERSON, P.C. et al. (ss. la dir. de), *Le Traitement des récoltes : un regard sur la diversité du Néolithique au présent...*, Antibes 2003, pp. 295-326.

MAUNÉ, Stéphane, BOURGAUT, Ronan, PAILLET, Jean-Louis, « Un moulin hydraulique du II^e siècle après J.-C. dans l'établissement de L'Auribelle-Basse (Pézenas, Hérault) », dans BRUN, Jean-Pierre, FICHES, Jean-Luc (éd.), *Energie hydraulique et machines élévatrices d'eau dans l'Antiquité...*, Centre Jean Bérard, Naples 2007, pp. 115-148.

1. Proposition de restitution en coupe du mécanisme du moulin hydraulique de L'Auribelle-Basse (dessin Jean-Louis Paillet, DAO R. Bourgaut et Stéphane Mauné)

2. Vue générale du moulin hydraulique de L'Auribelle-Basse : coursier, fosse d'engrenage et canal de fuite (photo Stéphane Mauné)



Le plus méridional des moulins hydrauliques de Neffiès est aussi le mieux conservé. Mettant en jeu de multiples disciplines, sa visite proposée par le centre de ressources de Vailhan révèle « l'étonnante richesse du croisement des espaces humains et des milieux naturels », pour reprendre l'expression du géographe Philippe Pinchemel.

trésor d'ingéniosité

Le moulin de Julien



Au bord de la Vaillette, le moulin de Julien (cliché Patrick Wheeler - www.restor-hydro.eu/en/roquemengarde)

A la sortie de Neffiès en direction de Fontès, une vieille bâtisse de pierre couverte de tuiles romanes attire le regard. Adossée contre le ruisseau de Vaillette¹, elle se dévoile par l'imposante meule appuyée contre sa façade principale. On la connaît dans le village sous le nom de moulin de Julien (ou de Julian), implanté au débouché d'un

entonnoir naturel, entre les collines de Pech Rome et du Causse, par où s'écoulent vers la plaine les eaux de tout un massif.

Le moulin est bâti en contrebas d'un surplomb rocheux qui forme une cascade naturelle sous l'antique pont de pierre enjambant le ruisseau. Il est le plus méridional des six édifices hydrauliques éta-

gés du nord-ouest au sud-est depuis la source aujourd'hui captée de la Resclause, entre la route de Cabrières (D15) et celle de Fontès (D174). Le plan cadastral napoléonien dressé en 1833 les fait figurer chacun avec son réservoir en eau et permet de les retrouver sur le terrain sans grand difficulté, enfouis pour la plupart sous la végétation.

★
A-B-C : moulins de Trignan
D : moulin du Théron
E : moulin de Vaillelle
F : moulin de Julien



Au Nord-Nord-Ouest, les monts du Falgairas fonctionnent comme un château d'eau qui collecte, accumule en profondeur de son réseau karstique, puis restitue les eaux de pluie par trois sources principales : la Font de Garot [1], la Font des Marguerites [2] et la source aujourd'hui captée de la Resclause [3]. Ce premier réseau alimente le ruisseau de la Font de Garot [A] qui devient ruisseau de la Beaume [B] puis du Théron [C].

Au Nord-Nord-Est, un réseau de combes draine dans le ruisseau de Caylus [D] les eaux de surface et celles de la source éponyme [4]. Il s'agit en fait d'un puits de mine de charbon creusé au XIX^e siècle et collectant involontairement les eaux de sources détournées par les travaux.

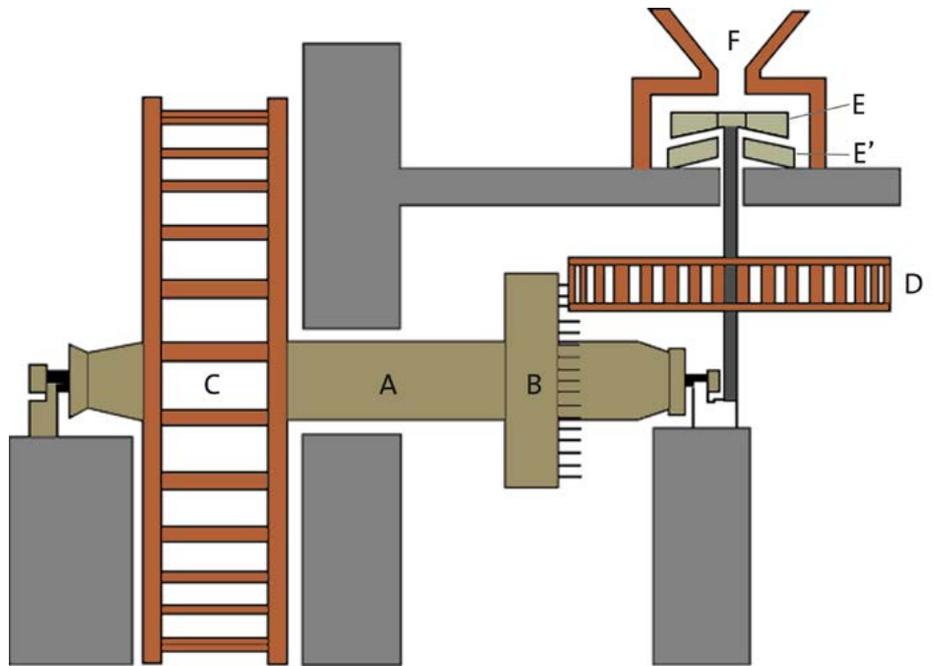
De la jonction des ruisseaux de Caylus et de la Font de Garot naît le ruisseau de Vaillelle [E] qui irrigue la plaine en aval du moulin de Julien et devient ruisseau de Bayèle [F] après son confluent avec la Marelle, en limite des territoires de Neffiès et de Caux.

Petite histoire de la meunerie languedocienne

Le moulin à eau est attesté en Europe depuis l'Antiquité. L'architecte romain Vitruve qui vécut au I^{er} siècle av. J.-C. consacre quelques lignes à l'*hydraletes* dans son traité *De Architectura*, à la suite des roues automotrices dont il est probablement dérivé :

« C'est encore suivant le même principe que l'on fait tourner les moulins à eau, où se retrouvent les mêmes éléments, avec pourtant cette différence qu'à une extrémité de l'essieu (A) est emboîté un tambour denté (B) ; ce tambour, placé verticalement, de chant, tourne de concert avec la roue (C). Contre lui est disposé, horizontalement, un tambour plus grand (D), également denté, sur lequel il engrène. Ainsi les dents du tambour, qui est emboîté sur l'axe, en entraînant les dents du tambour horizontal, déterminent le mouvement tournant des meules (E, E'). Suspendue au-dessus de cette machine, une trémie (F) alimente les meules en grains que cette même rotation réduit en farine.² »

Si, dans notre département, des moulins hydrauliques sont attestés dans les *villae* gallo-romaines de L'Auribelle-Basse, à Pézenas, et de Vareilles, à Paulhan, (cf. p. 28) leur véritable expansion en Languedoc remonte aux VIII^e-IX^e siècle, liée semble-t-il à la « céréalisation » de l'alimentation comme le montre l'étude archéologique des pollens. Pour le Languedoc méditerranéen, Aline Durand³ a recensé 44 moulins dans les textes entre 780 et 1020-1030. La plus ancienne mention de ces édifices carolingiens provient d'un fragment de polyptyque (inventaire des biens fonciers d'un établissement ecclésiastique) établi par Ansefred, protecteur juridique de l'évêque de Béziers, à la fin du VII^e-début VIII^e siècle⁴. Il y est fait mention, dans la *villa* de Valle, de l'église Saint-Hippolyte avec ses terres et son moulin (*cum uno molino*). La dédicace, assez peu répandue, de l'église pourrait indiquer une localisation à Béziers, Fontès ou Cazouls-lès-Béziers. Une charte de Charlemagne datée de 799 attribue quant à elle deux moulins sur le Lez à l'abbaye



Hydraletes d'après Vitruve (schéma Philippe Fleury)

d'Aniane⁵.

Les moulins ne sont plus des éléments rares des campagnes languedociennes et toutes les eaux courantes, parfois même stagnantes sont alors utilisées. Très tôt perçus comme éléments de puissance, ils appartiennent avant l'an Mil « au petit groupe d'alleutiers dynamiques situés dans la nébuleuse des familles dirigeantes de Carcassonne, Narbonne, Béziers, Lodève et Nîmes⁶ ». Ils sont aussi l'un des instruments privilégiés de la conquête des rivages : au XI^e siècle, les bois et palus des bords de rivière sont remplacés par des arbres fruitiers, des prairies et des parcelles cultivées⁷.

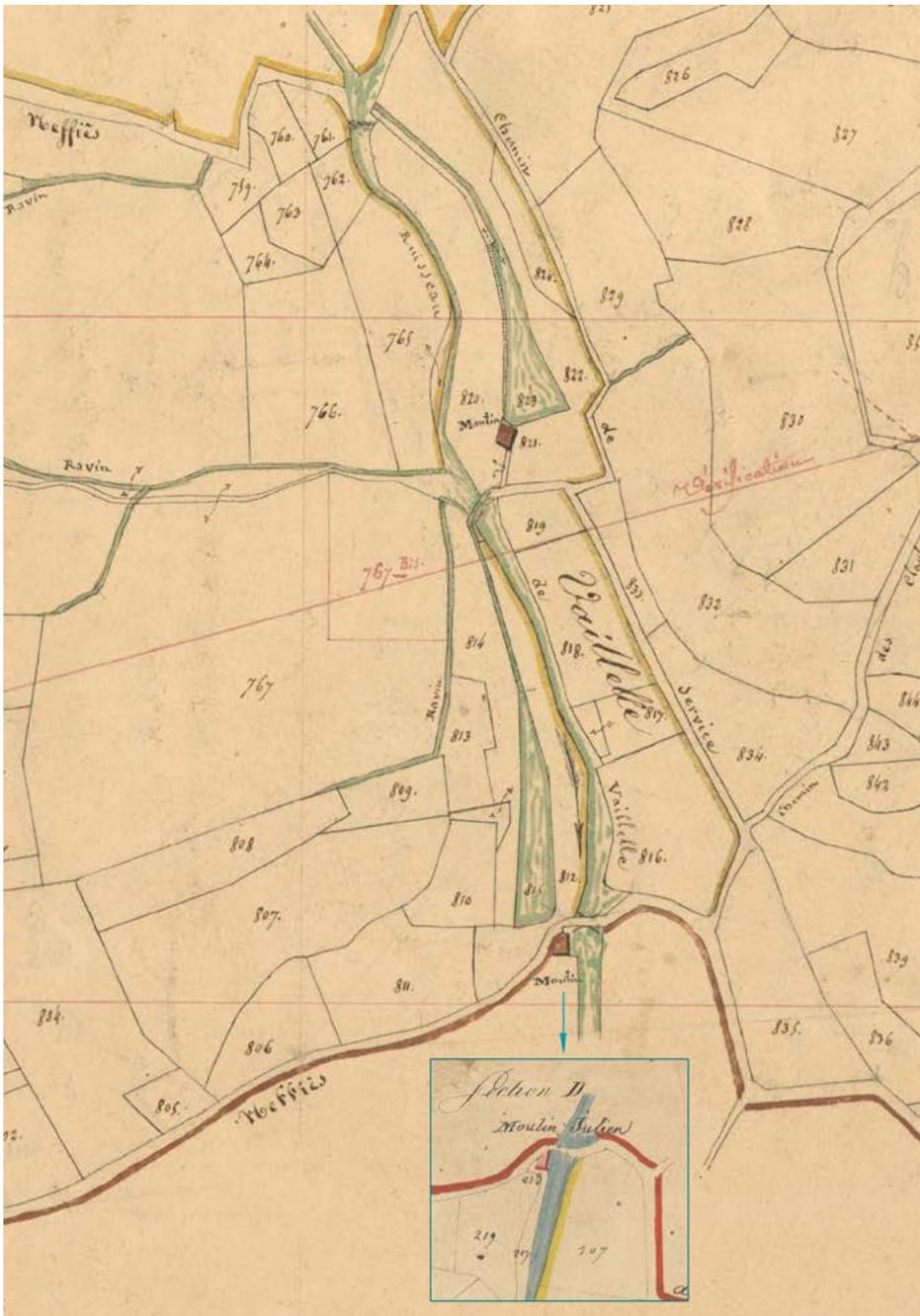
La fin du XI^e siècle marque le début de la construction de véritables usines hydrauliques de meunerie, concentrées, intensives, comme le complexe Tibéret, sur la commune de Cabrières, tandis que le moulin à vent commence à se généraliser en Europe.

La fin du XVIII^e et le début du XIX^e siècle correspondent à une période de grande activité meunière. L'enquête de 1838 pour le département de l'Hérault indique le chiffre record de 342 moulins à blés, allant de la grosse usine (7 paires de meules installées dans trois tours au Moulin de l'Evêque, à Agde) au petit moulin à une paire de meules. C'est le cas des cinq édifices alors dénombrés sur la com-

mune de Neffiès. La révolution industrielle et l'extension de la vigne au milieu du XIX^e siècle sonnent ensuite le glas de nos moulins : seuls 127 fonctionnent encore en 1893, 73 en 1902, 17 en 1929. Les champs de blé ayant laissé la place aux champs de ceps, la meunerie à vapeur ne se développera guère dans l'Hérault : 6 moulins de ce type seulement sont recensés entre 1893 et 1920.

Guillaume de père en fils

La date de 1696 gravée sur la clef de voûte de l'arche d'entrée du moulin de Julien n'indique en fait qu'une reconstruction, l'édifice figurant déjà sur le compoix de Neffiès dressé vers 1650⁸. « Guillaume Julhien » est un notable du village où il possède deux maison, dont une avec deux pigeonniers, une étable et une jasse (bergerie), un foumeras (fosse à fumier), une aire à battre le blé, trois jardins, deux chènevières, quatorze olive-raies, sept champs, une vigne et « un moulin a bled avec une moule moulant assis sur le ruisseau de bayolle, sa pansiere vezal pred et petite vigne tout joignant confronte [...] narbonnes le chemin de camp negre [...] marin et aguial le ruisseau de bayolle ». Chez les Julien, on est Guillaume de père en fils. Le 25 messidor an IV (13 juillet 1796), lorsque le juge de paix Joseph Puel contrôle les onze mou-



Moulins de Vaillelle et de Julien, plan cadastral napoléonien, 1833 (Archives départementales de l'Hérault, 3 P 3609)

lins à blé du canton de Roujan (ils ne contiennent « aucune cachette ni autre moyen permettant de détourner de la farine »), notre moulin appartient à Guillaume Jean Julien, 30 ans, fils d'un meunier du même nom⁹. Quatre ans plus tard, Louis Sirgues, meunier de Gabian, procède à l'estimation du bâtiment implanté sur un cours d'eau « si peu abondant qu'il tarit presque entièrement lorsque les chaleurs de l'été arrivent, ce qui met ledit moulin dans le cas de chômer en temps de sécheresse ». Il fait sans doute plus de travail que les moulins de la veuve Cazes, à Trignan, et rapporte annuellement cinquante setiers de grain, « soit bled, soit misture »,

pour une valeur de 550 livres, mais il faut déduire de cette somme 183 livres pour l'entretien et la réparation « des usines et batimens » et 220 livres pour les gages et nourriture du garçon meunier. De tout cela, Louis Sirgues estime le moulin à 2920 livres¹⁰.

Guillaume Jean Julien décèdera à Neffiès le 28 janvier 1818. En 1844, son fils et homonyme, meunier, figure en troisième position des trente plus forts contribuables de la commune¹¹. Si l'état des moulins de 1838¹² dénombre toujours cinq moulins à blé sur la commune de Neffiès, l'*Annuaire de l'Hérault* ne fait plus état en 1882 que de ceux d'Astruc et d'Antoine Gibert,

successeur de Julien en 1875. Le moulin de Gibert figure seul sur l'annuaire de 1889¹³ et cessera son activité entre 1895 et 1902.

A la merci du temps

Racheté par la commune en 2000 et progressivement restauré, le moulin de Julien permet de comprendre facilement le fonctionnement de ce type d'édifice hydraulique. Le climat influence fortement nos cours d'eau méditerranéens. Si les pluies diluviennes d'automne provoquent régulièrement des crues brutales (1907, 1958, 1996, 1999, 2002 pour les plus récentes), pendant la saison sèche, au contraire, les principales rivières n'ont que de très basses eaux et certains ruisseaux tarissent même dès qu'arrivent les fortes chaleurs. « Gens de rivières », les meuniers ont dû s'adapter aux aléas d'une ressource en énergie plutôt fantasque. Le bassin de rétention alimenté par la rivière au moyen d'un barrage (la *resclusa* puis *paxeria* des textes latins devenue paissière puis pansière ; par extension, le mot pansière désigne le bassin lui-même) et d'un bief (le béal) est la principale réponse à l'irrégularité du débit. En période de basses eaux, les moulins fonctionnaient par « écluses », deux ou trois heures par jour, le temps d'épuiser la réserve accumulée durant la nuit. Certains chômaient même de longues semaines, parfois tout l'été, en attendant que le ruisseau retrouve vie. C'était le cas du moulin de Julien, comme il ressort de l'estimation faite par Louis Sirgues en août 1800.

Au moulin de Julien, le bassin de rétention est creusé tout en longueur sur le dernier promontoire rocheux de l'entonnoir naturel qui lui assure une stabilité. Une écluse d'évacuation en trop plein placée en amont de la réserve permet de réguler le volume d'eau et d'éviter ainsi les débordements et l'effondrement du mur de soutien.

Le mécanisme hydraulique est bâti en contrebas du surplomb qui forme la cascade naturelle du ruisseau de Vaillelle. Une buse-canal guide l'eau du bassin vers une roue à cuillères, le rodet, placée horizontalement sous la salle des meules.

La rotation de ce mécanisme inférieur est transférée directement à la meule courante (tournante, volante, anciennement moulante) par un axe vertical, l'arbre, qui traverse le plancher. Ainsi mise en rotation, cette meule écrase les grains tombés de la trémie en les comprimant contre la meule gisante (ou dormante) placée sous elle. Les meules actuellement visibles sont faites de blocs siliceux cerclés. Des carrières de meules ont été localisées sur le territoire de Neffiès dans un niveau de grès à galets de quartz sur les flancs du Falgairas. Sans engrenage ni renvoi d'angle, le moulin à rodet est relativement facile et économique à construire mais son rendement hydraulique est faible. Bâti à la confluence de cours pérennes qui drainent l'eau de tout un massif, et bénéficiant d'un dénivelé qui assure une chute d'eau suffisante, le moulin de Julien occupe une position idéale qui explique sa durée dans le temps. Il est aujourd'hui l'objet par la commune de Neffiès d'un projet de restauration et de valorisation que justifie amplement sa forte valeur patrimoniale et paysagère.

Guilhem Beugnon

Centre de ressources de Vailhan
 guilhem.beugnon@ac-montpellier.fr

Notes

1. Les hydronymes dans ce secteur changent d'appellation au fil du temps et de l'espace. La carte de Cassini dressée à la fin du XVIII^e siècle mentionne seulement le ruisseau de la « Rescloze » qui devient ruisseau de « Bayelle », un affluent de la « Peine », après avoir rencontré le ruisseau de la Marelle, en limite de la commune de Caux. Le plan cadastral napoléonien de 1833 indique, à l'est du tènement de Trignan, le ruisseau de « Catherinasse », né de la source de la « Resclause ». Il se jette dans le ruisseau de « Caylus » qui, à son tour, rejoint le ruisseau du « Théron », prolongement des ruisseaux de la « Font de Garot » et de la « Beaume » pour former celui de « Vaillette » qui deviendra la « Bayelle » après sa rencontre avec la « Marelle ». Le cadastre actuel reprend ces appellations mais le ruisseau de « Vaillette » se décompose à son tour en ruisseau des « Clapisses » jusqu'à l'ancien chemin de Neffiès à Fontès et ruisseau de « Vaillette » avant le confluent avec la « Marelle ». « Bayelle » est devenu « Bayèle ». Vaillette à Neffiès, comme Vareilles à Pézènes-les-Mines et Vareilles à Fontès, dérive du latin *vallitia* « petite vallée » et c'est bien là que débouche le ruisseau neffiessois en aval du moulin de Julien.
2. Traduction Philippe Fleury, *La mécanique de Vitruve*, Université de Caen, Centre d'études et de recherche sur l'antiquité, Caen 1993.
3. Aline Durand, « Les moulins carolingiens du Languedoc, fin VIII^e siècle - début XI^e siècle », dans

PETIT LEXIQUE OCCITAN

Le **béal**, de l'occitan *besal*, issu du gaulois *bedu*, « canal, fosse », désigne le canal d'arrivée d'eau sur la roue du moulin ou le canal déviant l'eau de la rivière vers le réservoir.

La **pansière/paissière**, de l'occitan *pansiera/paissiera*, dérivé de *pais*, « pieu », est à l'origine un « barrage pour élever l'eau alimentant un moulin ». Il désigne aujourd'hui le réservoir.

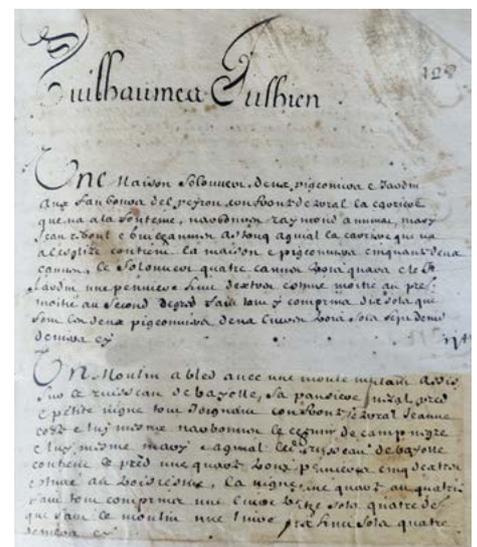
La **resclause/resclauze**, de l'occitan *resclusa* (sur *clausa*, « close, fermée ») désigne une « digue », une « écluse », une « chaussée servant à élever l'eau d'une rivière et à en diriger la pente vers un moulin ». Le mot est aussi un verbe signifiant « moudre par éclusées : amasser l'eau pour un moulin qui ne peut moudre que de cette façon » (Abbé de Sauvages, *Dictionnaire languedocien-français*, vol. 2, Alais 1821, p. 209). *Dins la resclauso d'un moulin, noun si pesco ges de baleno* (dans le bief d'un moulin, on ne pêche pas de baleine), dit un proverbe languedocien pour réagir devant les exagérations et les histoires invraisemblables (Frédéric Mistral, *Lou Tresor dóu Felibrige*, vol. 2, Raphèle-lès-Arles 1979, p. 768). A Gabian, l'abondante source de la Resclauze, point de départ de l'aqueduc antique qui fournissait en eau potable la colonie de Béziers, alimentera plusieurs moulins étagés.

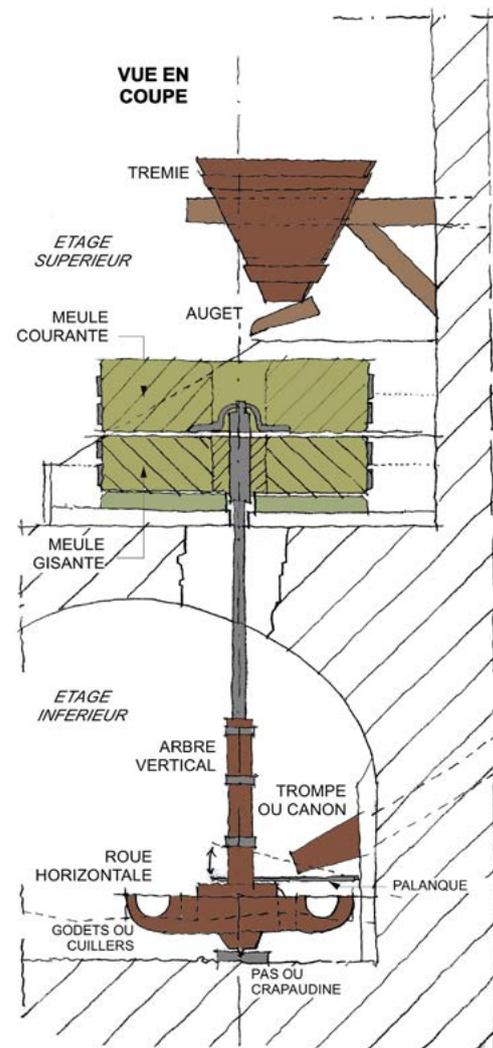
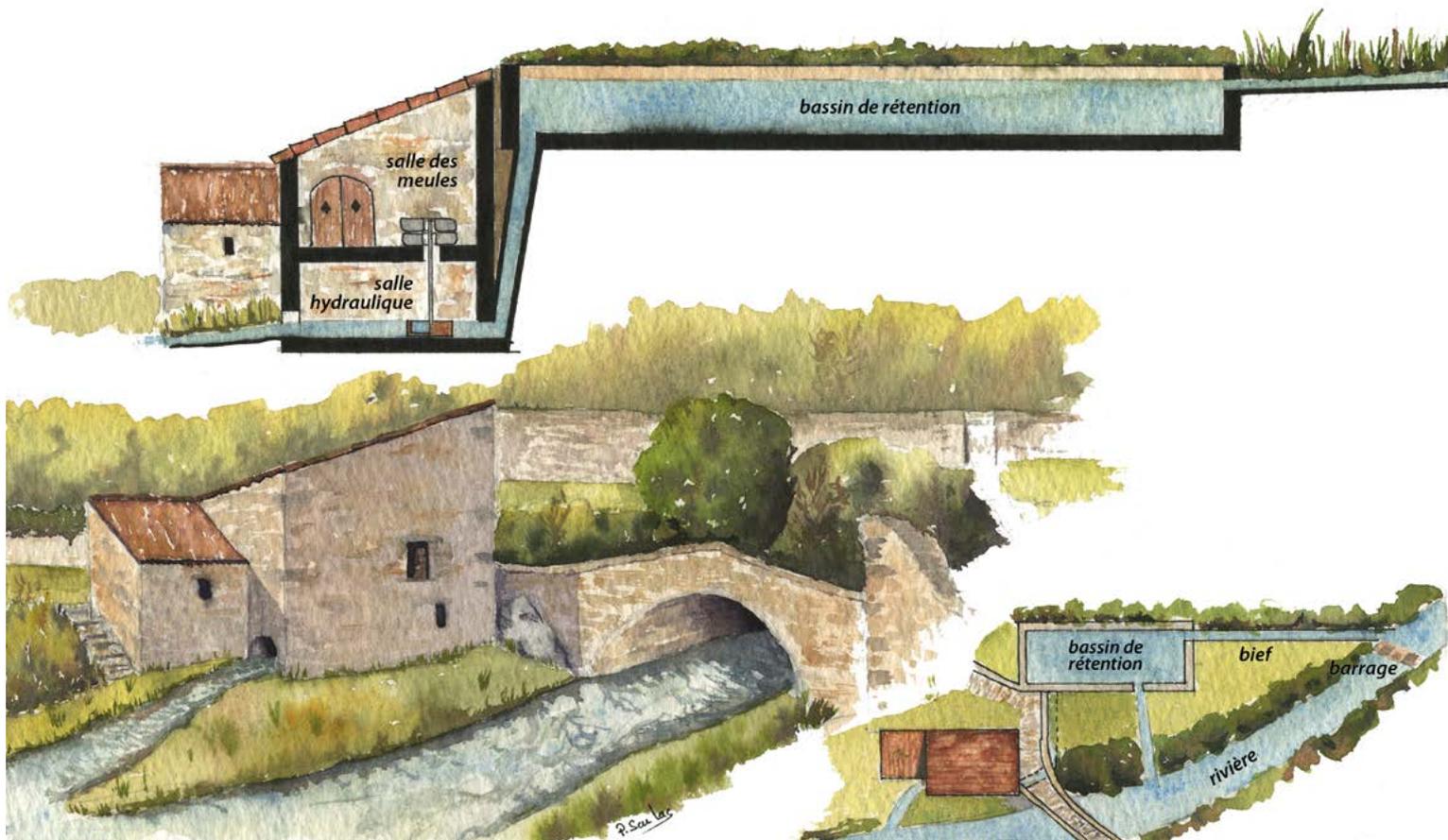
Le **rodet**, de l'occitan *ròda*, « roue », désigne la roue verticale, à aubes, ou horizontale, portant des alluchons creusés en cuiller (Sauvages, *op. cit.*, p. 241).

Orientation bibliographique

- Mireille Mousnier (éd. sc.), *Moulins et meuniers dans les campagnes européennes, IX^e-XVIII^e siècle : actes des XXI^{es} Journées internationales d'histoire de l'Abbaye de Flaran*, 3, 4, 5 sept. 1999, Presses universitaires du Mirail, Toulouse 2002, pp. 31-52.
4. Julien Rouquette (éd. sc.), *Cartulaire de Béziers (Livre Noir)*, rééd., Librairie P. Clerc, Montpellier 2009, n° 56, p. 64.
5. Abbé Léon Cassan, Edmond Meynial, *Cartulaires des abbayes d'Aniane et de Gellone publiés d'après les manuscrits originaux*, Impr. de J. Martel aîné, Montpellier 1898-1910, n° 8, p. 52.
6. Durand 2002, *op. cit.*, p. 46.
7. Aline Durand, *Les paysages médiévaux du Languedoc, X^e-XII^e siècles*, Presses universitaires du Mirail, Toulouse 1998, p. 253.
8. Archives privées, f° 128r. Il s'agit là de l'un des trois rescapés d'un nettoyage par le vide opéré dans les années 1960. En 1924, l'archiviste Joseph Berthelé soulignait l'intérêt de la série des onze compoix et brevets conservés à Neffiès depuis le XIV^e siècle. Les huit premiers sont partis en fumée ; sans doute nous auraient-ils permis de cerner la date de construction des moulins hydrauliques de la commune (Joseph Berthelé, *Répertoire numérique des archives communales de l'Hérault. Archives départementales, série E supplément*, Lauriol, Montpellier 1924).
9. Le 5 prairial an IV (24 mai 1796), Guilhaume Jean Julien, 30 ans, meunier, fils d'un meunier du même nom et de feu Marie Giscard, épouse Marie Françoise Reboul, 32 ans. Il décède à Neffiès le 28 janvier 1818.
10. Archives Jean-Pierre Mailhé, inv. a25, 12 fructidor an VIII (30 août 1800).
11. Archives départementales de l'Hérault, 3 O 181/1.
12. Archives départementales de l'Hérault, 3 S 3.
13. Albert Fabre, dans son *Histoire des communes du canton de Roujan* parue en 1894 (Protat frères, p. 264) signale curieusement que « le moulin de Cevras Astruc est le seul qui soit aujourd'hui en activité ».
14. Durand 2002, *op. cit.*, pp. 34-35.

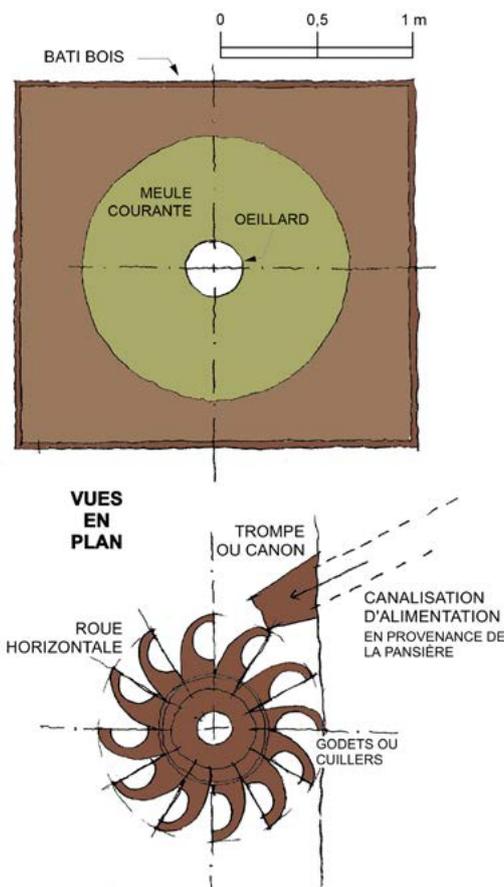
- DAVID, Pierre, « Du moyen-âge au XX^{ème} siècle : l'Hérault et ses moulins », *Les Moulins de l'Hérault, N° 10, Cabrières, 8 mai 1989*, Arts et traditions rurales, Montpellier 1989, pp. 105-122.
- DE COOMAN, Mentor, « Les moulins de Neffiès (Hérault) », *Les Moulins de l'Hérault, N° 10, Cabrières, 8 mai 1989*, Arts et traditions rurales, Montpellier 1989, pp. 49-61.
- IVORRA, Jérôme, « Notice sur le moulin de Julien de Neffiès », *Bulletin de liaison de la Société de Protection de la Nature du Piscénois*, 2009, pp. 13-21.
- MARTNEZ, Albert, GINOUBEZ, Olivier, *Les moulins à blé de Cabrières et Neffiès. Le monastère Saint-Etienne de Trignan à Neffiès*, Ed. Pro Baeteris, Servian 2014.
- PIACERE, Jean, « Quelques aperçus sur l'histoire de Neffiès, ancien village minier », *Bulletin du Groupe de Recherches et d'Études du Clermontois*, Fascicules 56-57-58, juillet 1990/janvier 1991, Clermont-l'Hérault 1991, pp. 47-52.





Ci-dessus : le moulin de Julien, dessin et plans de Pascale Soulas

Ci-dessous : mécanisme d'un moulin à rodet, plan de Frédéric Fiore, architecte du patrimoine



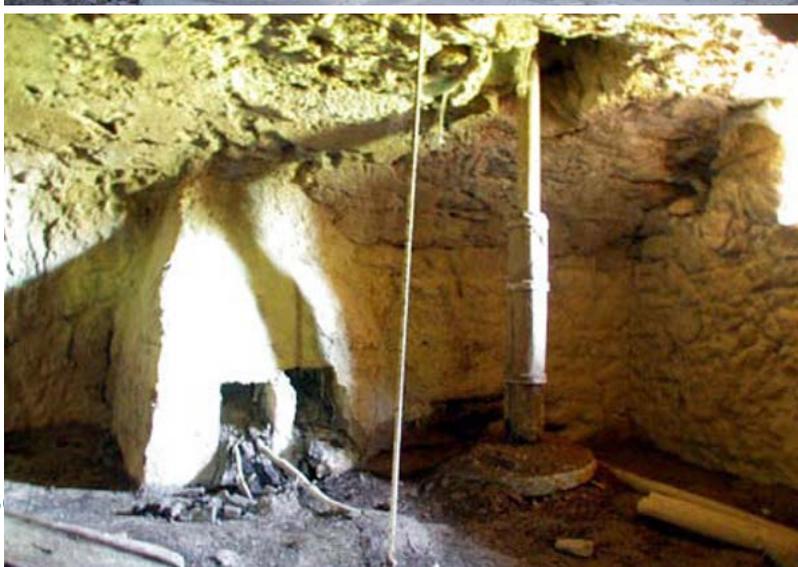
L'eau, déviée de la rivière au moyen d'un barrage et d'un bief (le *béal*), est stockée dans un bassin de rétention (la *pansière*).

Elle arrive par une trompe (le *canélou* ou *canon*) sur une roue hydraulique horizontale (le *rodet*) munie de cuillères (les *esclots* ou *coupos*).

Un essieu vertical (l'*aouré*, arbre ou *chandelle*) traverse le moyeu de la roue et se termine par un pivot métallique (la *gulho*) qui vient se loger dans une crapaudine (la *granouillé*) fixée au sol.

Passant librement à travers l'oeillard de la meule gisante et rattaché à la meule courante par une pièce de fer (l'*anille*), l'arbre assure la transmission du mouvement. Au moyen d'une palanque, le meunier peut régler l'écartement des meules et donc la finesse de la mouture.

Les meules sont recouvertes par un bâti de bois (l'*arisclé*) qui empêche la farine de s'éparpiller dans la salle de travail. Le blé est versé dans un récipient de bois tronconique (la *trémie* ou *trémère*) obturé par une vanne (l'*auget*, traquet ou *cassouollo*). La rotation de la meule courante assure l'ouverture et la fermeture répétée de l'*auget* qui libère ainsi progressivement le grain au-dessus de l'oeillard de la meule.



La notion d'énergie est enseignée dès l'école élémentaire depuis de nombreuses années et elle occupe une place croissante dans les programmes du secondaire. On peut penser que cela est dû à deux raisons complémentaires : d'une part cette notion a un rôle fondamental en physique, d'autre part les questions énergétiques sont au cœur de débats qui agitent nos sociétés.

comprendre et enseigner l'énergie



Tout a commencé avec le Soleil... (photo SOHO/EIT, NASA/ESA)

Quel que soit le niveau d'enseignement, les programmes mettent en avant deux objectifs complémentaires : construire progressivement le concept scientifique d'énergie (nous reviendrons plus loin sur les objectifs spécifiques de l'école élémentaire), et « éduquer à l'énergie » dans une perspective de développement durable.

En effet les programmes pointent le fait que les objectifs généraux de l'enseignement des sciences et de la technologie sont à la fois de doter les élèves de connaissances scientifiques nécessaires pour comprendre et décrire le monde qui les entoure mais aussi de leur apprendre à être responsables, face à l'environnement notam-

ment. Concernant l'énergie, les programmes de l'école élémentaire attestent de ce double regard avec une partie essentiellement scientifique : *Exemples simples de sources d'énergies (fossiles ou renouvelables)* au début du cycle 3, puis une partie davantage en lien avec les questions sciences-société : *Besoins en énergie, consomma-*



Puits de pétrole en feu pendant la Guerre du Golfe en 1991 au Koweït (photo Stéphane Compoint)

tion et économie d'énergie en CM2. Dans une première partie, nous allons présenter une étude rapide de la notion d'énergie en physique avant de préciser les objectifs que l'on peut viser à l'école élémentaire et les difficultés des élèves sur ce sujet. Dans la deuxième partie, nous présenterons les grandes lignes de séquences d'enseignement permettant d'aborder différents aspects de l'énergie à l'école élémentaire.

L'énergie en physique

Dans le langage courant, on regroupe sous le terme énergie tout un ensemble de moyens utilisés pour obtenir des effets, dans le but de satisfaire un certain nombre de besoins : que faut-il pour allumer une lampe, faire rouler une voiture, transformer la matière (écraser des graines, usiner des pièces métalliques...), utiliser un ordinateur, etc. ? Notons qu'un même moyen, par exemple le vent, permet de produire des effets différents : se déplacer sur un voilier, transformer la matière avec un moulin à vent, produire de l'électricité avec une éolienne... Réciproquement un même effet, par exemple se déplacer, peut être obtenu avec des moyens différents : le vent sur un voilier, de l'essence dans une voiture, de l'uranium dans un sous-marin nucléaire... Ce double constat justifie l'hypothèse qu'à travers des manifestations très diverses, il existe bien quelque chose de commun et cela permet de pen-

ser le concept unique d'énergie. L'énergie a fait son entrée dans le domaine de la physique au milieu du XIX^e siècle lors de l'établissement du principe de conservation de l'énergie qui a justement permis de mettre en relation des phénomènes très divers jusqu'à considérés comme « indépendants » (mécanique, thermique...). On peut trouver dans la littérature différentes définitions de l'énergie, nous retiendrons celle-ci, donnée par plusieurs physiciens : « capacité d'un système à produire du changement ».

Sources d'énergie

Pour satisfaire les besoins évoqués plus haut, il faut pouvoir utiliser l'énergie emmagasinée dans certains systèmes. Pour cela l'homme utilise toujours des ressources naturelles qui se présentent soit sous la forme de matériaux existants (bois, charbon, pétrole, minerai d'uranium...) soit comme des phénomènes naturels (vent, rayonnement solaire, cycle naturel de l'eau...). L'ensemble des sources d'énergie exploitables peut être organisé en deux catégories :

- ◆ les sources d'énergie dites « renouvelables » : le vent, le Soleil, l'eau (en altitude, en mouvement, chaude), la biomasse (bois, végétaux),
 - ◆ les sources d'énergie dites « non renouvelables » : charbon, gaz, pétrole, minerai d'uranium.
- Attention, on parle d'une source d'énergie renouvelable quand

elle est renouvelable à l'échelle humaine, ce qui est le cas de la biomasse, même si elle peut localement être épuisée par une exploitation intensive. Le charbon, le gaz naturel et le pétrole sont des gisements dits « fossiles ». Dans l'absolu ils sont renouvelables mais à une échelle de temps sans commune mesure avec celle de l'humanité.

Autre remarque : on confond souvent à tort source d'énergie renouvelable et non polluante, or l'exploitation de la biomasse par exemple produit des gaz à effet de serre et est donc polluante.

Formes, transformation et transfert d'énergie

Partir d'une source d'énergie pour obtenir l'effet désiré suppose la mise en œuvre d'un dispositif technique. Si on prend l'exemple de l'éclairage « traditionnel » de la bicyclette, pour que la lampe s'allume, il faut un cycliste, un alternateur (appelé classiquement dynamo) en contact avec la roue arrière de la bicyclette, des fils conducteurs et une lampe. On peut décrire le processus de la façon suivante : le cycliste fait tourner la roue qui entraîne l'alternateur qui alimente la lampe qui éclaire. A partir de la constitution de diverses chaînes de ce type, correspondant à des situations variées, il apparaît que la quantité physique « énergie » est transférée d'un « objet » à un autre, et change de forme.

Les différentes formes de l'énergie sont catégorisées de différentes façons dans la littérature, nous retiendrons ici la catégorisation suivante¹ :

- ◆ énergie potentielle ou énergie de niveau : contenue dans un corps situé à une certaine altitude, elle est liée aux forces de gravitation. Elle est libérée lors de la chute du corps. L'énergie emmagasinée dans un ressort comprimé est du même type.
- ◆ énergie chimique : contenue dans la matière même, elle dépend des forces de liaisons des atomes au sein des molécules (ou des réseaux cristallins). Des réactions chimiques permettent de libérer cette énergie. L'énergie « muscu-

laire » relève de cette catégorie.

◆ énergie nucléaire : contenue dans les noyaux atomiques, elle est liée aux interactions entre les particules constitutives du noyau des atomes. Elle peut être libérée lors de réactions de fission de certains noyaux lourds (uranium) ou de la fusion de noyaux légers.

◆ énergie cinétique (ou énergie de vitesse) : un corps lancé à une certaine vitesse possède de l'énergie qu'il peut libérer, lors d'un choc par exemple.

◆ énergie thermique (ou énergie cinétique microscopique) : liée à l'agitation moléculaire et atomique au sein de la matière. L'état d'un corps est défini par la mesure de sa température. Plus la température est élevée, plus l'agitation des particules est grande et plus la quantité d'énergie emmagasinée est importante.

Toutes ces formes d'énergie sont stockables, ce sont des grandeurs qui définissent l'état d'un système à un instant donné. Le concept intégrateur d'énergie a du sens car ces différentes formes sont transformables les unes dans les autres et transférables d'un système à un autre.

Il existe plusieurs modes de transfert de l'énergie. Notons que l'expression « transfert d'énergie » est à prendre dans sa globalité,

sans dissocier les deux termes. Ces modes de transfert sont différents des formes d'énergie, ils décrivent les modalités d'échange entre deux systèmes. Les quatre modes de transfert d'énergie entre deux systèmes sont les suivants :

◆ travail mécanique : pour modifier le mouvement d'un corps il faut exercer une force sur lui. Lorsqu'un système exerce sur un autre des forces qui modifient son mouvement, il y a un transfert d'énergie entre les deux systèmes sous forme de travail mécanique. Dès que la force disparaît le travail n'existe plus, il n'est pas conservé.

◆ travail électrique : dans un circuit électrique, le courant électrique correspond à un mouvement d'ensemble des électrons. Par analogie avec la mécanique on parle de travail électrique. Il n'y a pas de stockage possible. L'« électricité » est un mode de transfert d'énergie et non une forme d'énergie.

◆ transfert thermique (souvent appelé chaleur) : il convient de bien distinguer chaleur et température. La température caractérise l'état d'un système. Si deux systèmes à températures différentes sont mis en contact, celui à plus haute température fournit de la chaleur à l'autre. La température du premier baisse celle de l'autre augmente. La chaleur décrit l'échange entre les

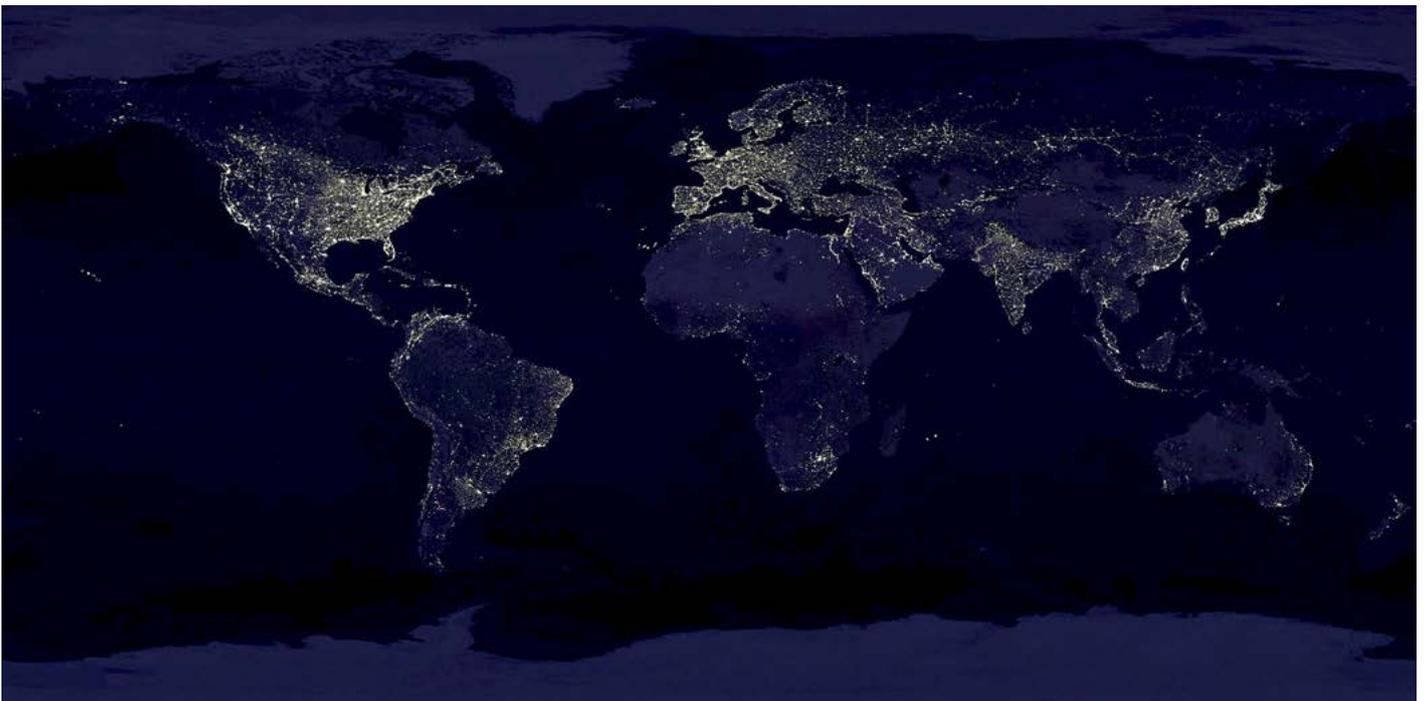
deux systèmes.

◆ rayonnement : le transfert se produit dans le cadre de l'interaction onde-matière. Tout corps matériel émet un rayonnement en fonction de sa température, depuis les infrarouges jusqu'au domaine visible et au-delà, quand la température augmente. Un corps qui reçoit des rayonnements en absorbe une partie et sa température augmente.

Rolando et Guillaud² précisent qu'il y a transfert d'énergie thermique chaque fois que l'on a envie d'utiliser le verbe « chauffer », transfert d'énergie mécanique chaque fois que l'on a envie d'utiliser le verbe « entraîner », transfert d'énergie électrique chaque fois que l'on a envie d'utiliser le verbe « alimenter » et enfin transfert d'énergie rayonnante chaque fois que l'on a envie d'utiliser le verbe « éclairer ». Dans un contexte technologique, on appelle convertisseur (ou transformateur) d'énergie un dispositif qui reçoit et utilise de l'énergie sous une certaine forme d'une source donnée et transfère de l'énergie à un autre système (exemples : moteur électrique, alternateur).

La production d'énergie utilisable à partir d'une source donnée et/ou l'utilisation de cette énergie produite correspond à la mise en œuvre d'une suite de transforma-

Vue de la planète Terre la nuit : Un habitant des pays développés consomme 7 fois plus d'électricité qu'un habitant des pays en développement (Image par Craig Mayhew et Robert Simmon, NASA GSFC)



tions appelée chaîne énergétique. Nous ne développerons pas ici les chaînes énergétiques. Pour plus d'information, on peut se référer à l'article de Rolando et Guillaud qui, après une mise au point scientifique sur le concept d'énergie plus détaillée que celle proposée ici, présente notamment les chaînes énergétiques de plusieurs centrales.

Au cours des situations de transfert et de transformation d'énergie, le principe de conservation de la quantité mesurable « énergie » est respecté : l'énergie ne disparaît pas. Elle peut se transformer au sein d'un même système (cas d'un objet en chute libre dont la vitesse, donc l'énergie cinétique, augmente en même temps que son altitude, donc son énergie potentielle, diminue). Elle peut se transférer d'un système à un autre sans changer de forme (cas d'une bille en mouvement qui lors d'un choc avec une autre bille immobile va la mettre en mouvement), et elle peut aussi se transférer d'un système à un autre en changeant de forme.

Cependant, quel que soit le dispositif considéré, si l'énergie d'entrée est égale à l'énergie de sortie, l'énergie d'entrée n'est jamais totalement récupérable sous forme d'énergie utile. Il y a toujours des pertes vers l'environnement, généralement sous forme de « chaleur », on parle alors de dissipation de l'énergie. Attention, cela ne remet pas en cause le principe de conservation de l'énergie puisque l'énergie totale est conservée (énergie d'entrée = énergie de sortie + énergie dissipée).

Difficultés des élèves

Les recherches en didactique de la physique ont pointé les grandes difficultés des élèves concernant la notion d'énergie qui est souvent confondue avec les notions de force, de puissance. Les élèves ont tendance à considérer l'énergie comme une substance qui peut se transférer, ce qui peut poser problème lorsqu'il s'agit de penser la transformation de l'énergie et qui est en contradiction avec la définition scientifique de l'énergie comme une grandeur caractéristique d'un système (et rendant

Programmes d'enseignement de l'école primaire - cycle 3 - juin 2008		
L'énergie		
Exemples simples de sources d'énergies (fossiles ou renouvelables). Besoins en énergie, consommation et économie d'énergie.		
Progressions pour l'école élémentaire - cycle 3 - janvier 2012		
L'énergie		
CE2	CM1	CM2
<p>Exemples simples de sources d'énergie</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Identifier diverses sources d'énergie utilisées dans le cadre de l'école ou à proximité. ◆ Savoir que l'utilisation d'une source d'énergie est nécessaire pour chauffer, éclairer, mettre en mouvement. ◆ Utiliser un dispositif permettant de mettre en évidence la transformation de l'énergie. <p>Vocabulaire : source d'énergie, électricité, chaleur, mouvement, consommation, transport, transformation.</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Les objets techniques 	<p>Exemples simples de sources d'énergie</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Connaître différentes énergies, leur source et savoir que certaines sont épuisables. ◆ Classer les énergies selon qu'elles soient ou non renouvelables. ◆ Identifier la conversion d'énergie dans une centrale électrique. ◆ Connaître les différents modes de production et de transformation d'énergie électrique en France. ◆ Connaître des exemples de transport de l'énergie sur les lieux de consommation. <p>Vocabulaire : énergie fossile, renouvelable, uranium, charbon, pétrole, gaz, hydraulique, éolienne, solaire, nucléaire, thermique, géothermique, conduite, ligne électrique, centrale.</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Environnement et développement durable - Comprendre l'impact de l'activité humaine sur l'environnement 	<p>Besoins en énergie, consommation et économies d'énergie</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Comprendre la notion d'isolation thermique. ◆ Comprendre et mettre en oeuvre des gestes citoyens pour faire des économies d'énergie dans les situations de la vie quotidienne (à la maison, dans les transports...). <p>Vocabulaire : économie d'énergie, isolation, matériau isolant.</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Environnement et développement durable - Comprendre l'impact de l'activité humaine sur l'environnement.

compte de sa capacité à produire du changement). Notons que certains chercheurs préconisent de s'appuyer sur cette conception substantialiste de l'énergie au début de son enseignement alors que d'autres font de son dépassement un objectif dès le début de la scolarité. Les élèves confondent souvent forme et source d'énergie, ou encore forme d'énergie et

mode de transfert de l'énergie. Si à l'école certains s'interrogent sur la nécessité de différencier forme et mode de transfert, en revanche il y a consensus sur l'importance de différencier forme et source d'énergie.

Une autre difficulté est que les élèves doivent être capables de mettre en lien des phénomènes très différents et de comprendre

qu'on peut les expliquer par la transformation de cette grandeur très abstraite, l'énergie. Le fait de donner une définition de l'énergie comme quelque chose de nécessaire pour satisfaire des besoins ou obtenir des effets très différents peut permettre de montrer le caractère unificateur de l'énergie.

Concernant le principe de conservation (qu'on n'aborde pas à l'école), une difficulté est liée au fait que la conception de l'énergie qui est mobilisée dans les débats de société est en apparente rupture avec celle de la physique. Lorsqu'il est question d'exploitation et de gestion d'énergie, cette dernière est souvent traitée comme s'il s'agissait d'une substance : on dit de l'énergie qu'elle peut être produite, stockée, transportée ou consommée, alors que nous avons vu que cela n'était pas compatible avec la définition scientifique de l'énergie. Le fait de parler de production ou de consommation de l'énergie peut paraître en contradiction avec le principe de conservation de l'énergie. Bien sûr cette contradiction n'est qu'apparente car, comme nous l'avons pointé plus haut, la production ou la consommation d'énergie correspondent en fait à des transformations d'une forme d'énergie en une autre.

Activités sur l'énergie

Les programmes de 2008 placent l'énergie dans les programmes de cycle 3. Les activités proposées ci-dessous s'inscrivent dans les progressions de 2012.

Les programmes de l'école évoquent les sources d'énergie mais ne mentionnent pas explicitement les formes d'énergie. Cependant les élèves doivent « connaître différentes énergies » et les transformations d'énergie figurent dans les programmes. Cela peut laisser penser que cette notion est implicitement au programme. Le terme d'énergie est employé dans certains cas pour parler des formes d'énergie (connaître différentes énergies) et dans d'autres cas il est synonyme de sources d'énergie (classer les énergies selon qu'elles sont ou non renouvelables), ce qui peut générer des ambiguïtés

entre sources et formes d'énergie. On peut aussi noter dans le vocabulaire que les élèves doivent connaître des sources (uranium, charbon...) et des formes d'énergie (énergie thermique, nucléaire...), sans que soit spécifiée la nature multiple des éléments de cette liste. Il est donc important que l'enseignant soit très rigoureux sur les termes employés pour permettre aux élèves de distinguer source et forme. Notamment on pourra veiller à parler de sources d'énergie renouvelables ou non plutôt que d'énergie renouvelable, ce qui n'a pas de sens puisque l'énergie se conserve.

Attention, certains manuels considèrent l'électricité comme une source secondaire d'énergie, ce qui n'est pas pertinent du point de vue didactique, d'une part parce que c'est erroné du point de vue de la physique, et d'autre part parce que cela peut laisser supposer que l'électricité peut se stocker ce qui n'est pas le cas. On peut stocker de l'énergie chimique dans une pile, celle-ci sera transférée lorsqu'on établira un circuit fermé entre ses bornes, on peut stocker de l'énergie potentielle dans un lac pour alimenter ensuite une centrale hydroélectrique, mais on ne stocke pas l'électricité.

Notons que l'enseignement de l'énergie doit aussi participer à l'éducation au dé-

veloppement durable (EDD), dont l'objectif est de développer la pensée critique des élèves et de leur faire acquérir une culture scientifique leur permettant de participer aux débats et aux choix de société. S'il importe de transmettre des connaissances (que ce soit sur des aspects économiques, environnementaux, scientifiques ou technologiques), la spécificité de l'EDD réside dans le développement de *compétences* pour mener des raisonnements sur les questions complexes liées au développement durable et de *comportements* citoyens et responsables, au niveau individuel et collectif. Les enseignants doivent « éduquer au choix et non [...] enseigner des choix »³.

Valérie Munier

Maitre de conférences à l'Université Montpellier 2

Faculté d'éducation

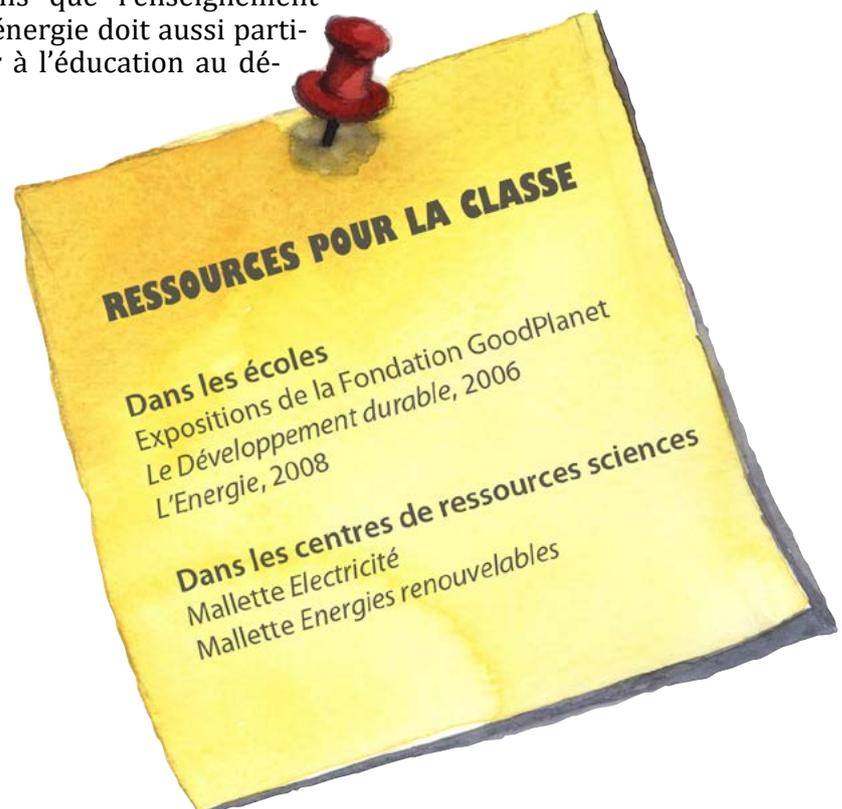
valerie.munier@fde.univ-montp2.fr

Notes

1. D'après COUÉ, Aline, VIGNES, Michel, *Découverte de la matière et de la technique*, Hachette éducation, Paris 2003.

2. ROLANDO, Jean-Michel, GUILLAUD, Jean-Claude, *Comprendre l'énergie pour préparer le concours de recrutement des professeurs des écoles (CRPE) et pour enseigner à l'école*, Grand N, n°91, 2013 (www-irem.ujf-grenoble.fr/revues/revue_n/fic/91/91n2.pdf).

3. Ministère de l'Éducation nationale, *Seconde phase de généralisation de l'éducation au développement durable (EDD)*, circulaire n° 2007-077 du 30 mars 2007.



L'ÉNERGIE : UN CONCEPT INTÉGRATEUR (CE2/CM1)

En début de séquence, pour introduire le thème, on visera une définition de l'énergie adaptée à l'âge des élèves. Pour cela plusieurs dispositifs sont proposés aux élèves, avec la consigne de noter ce qui permet au dispositif de fonctionner et ce qu'il produit, par exemple :

<i>Soleil</i>	panneau solaire (photovoltaïque)	<i>électricité</i>
<i>Soleil</i>	chauffe-eau solaire	<i>chaleur</i>
<i>charbon et air</i>	machine à vapeur	<i>mouvement</i>
<i>essence et air</i>	moteur à combustion	<i>mouvement</i>
<i>paraffine (huile) et air</i>	bougie ou lampe à huile	<i>lumière</i>
<i>gaz et air</i>	réchaud à gaz	<i>chaleur</i>
<i>chute ou cours d'eau</i>	moulin à eau	<i>mouvement</i>
<i>vent</i>	éolienne	<i>électricité</i>
<i>uranium</i>	centrale nucléaire	<i>électricité</i>
<i>bois et air</i>	cheminée	<i>chaleur</i>
...		

La mise en commun des réponses permet de dégager l'idée que pour produire « quelque chose » (de la lumière, de la chaleur, du mouvement ou de l'électricité...) il faut toujours, au départ, utiliser « autre chose » (des produits ou du bois que l'on fait brûler, de l'uranium, l'eau, le vent, la lumière du Soleil...) : « **on n'a rien sans rien** ».

Tous ces dispositifs qui **produisent de la chaleur, du mouvement, de la lumière ou de l'électricité** utilisent l'eau, le vent, le Soleil, des produits chimiques, de l'uranium : on dira que **ce sont des sources d'énergie**. Plus qu'une définition à apprendre par cœur, c'est l'idée qui est à retenir : tous ces dispositifs sont très différents mais ils ont un point commun, ils nécessitent tous l'utilisation d'une source d'énergie pour fonctionner, même si ces sources sont diverses.

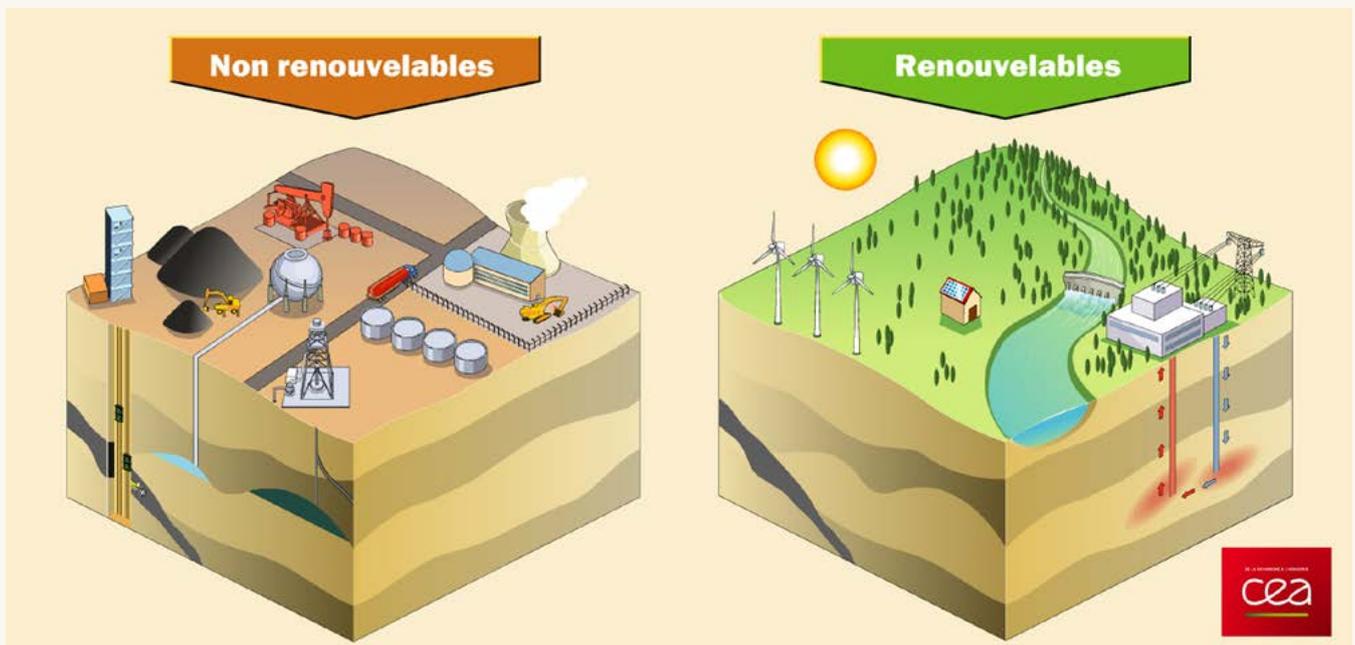
En exercice on peut demander aux élèves de trouver d'autres dispositifs qui utilisent de l'énergie et d'identifier les sources d'énergie pour chacun d'eux, ou de compléter un tableau comme ci-dessous :

.....	montgolfière
chute d'eau	électricité

Remarque : on privilégie ici la notion de source d'énergie et non de forme d'énergie. Rappelons que l'électricité n'est théoriquement ni une source d'énergie ni une forme d'énergie, mais un mode de transfert de l'énergie (le texte officiel parle de transport). Le terme d'« énergie électrique » étant très usité dans le langage courant, on peut éventuellement admettre cette expression à l'école élémentaire.

Cette séance peut être complétée par un classement entre les sources renouvelables (eau, vent, bois, Soleil) et non renouvelables (uranium et combustibles fossiles : charbon, pétrole, gaz).

Les diverses sources d'énergie (CEA, <http://www.cea.fr/jeunes/mediatheque/animations-flash/energies/les-diverses-sources-d-energie/%28offset%29/12>)



LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ : LES CENTRALES ÉLECTRIQUES (CM1)

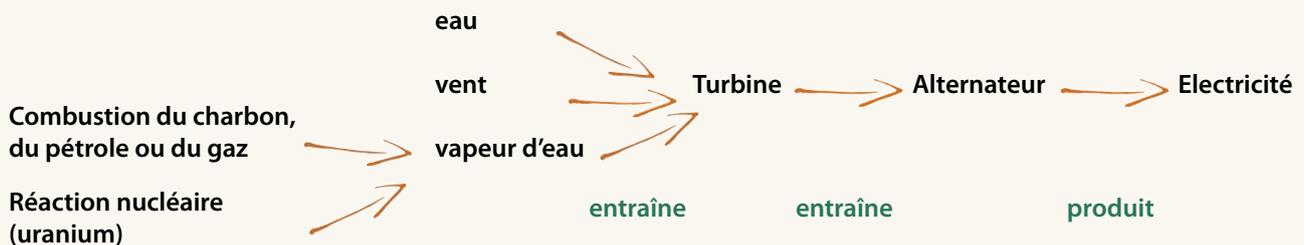
Cette séance est l'occasion d'une recherche documentaire. Pour chaque type de centrale (thermique, hydraulique et nucléaire, éolienne), un document est proposé aux élèves. La consigne est de tenter de schématiser, à partir du texte proposé, le fonctionnement de chaque centrale, en repérant les points communs et les différences entre chacune d'elles. L'idéal est de proposer des textes issus de sources différentes : manuels scolaires, sites internet (EDF, ADEME...)

Les points communs : dans chaque centrale on trouve une turbine qui entraîne un alternateur qui produit de l'électricité.

Les différences :

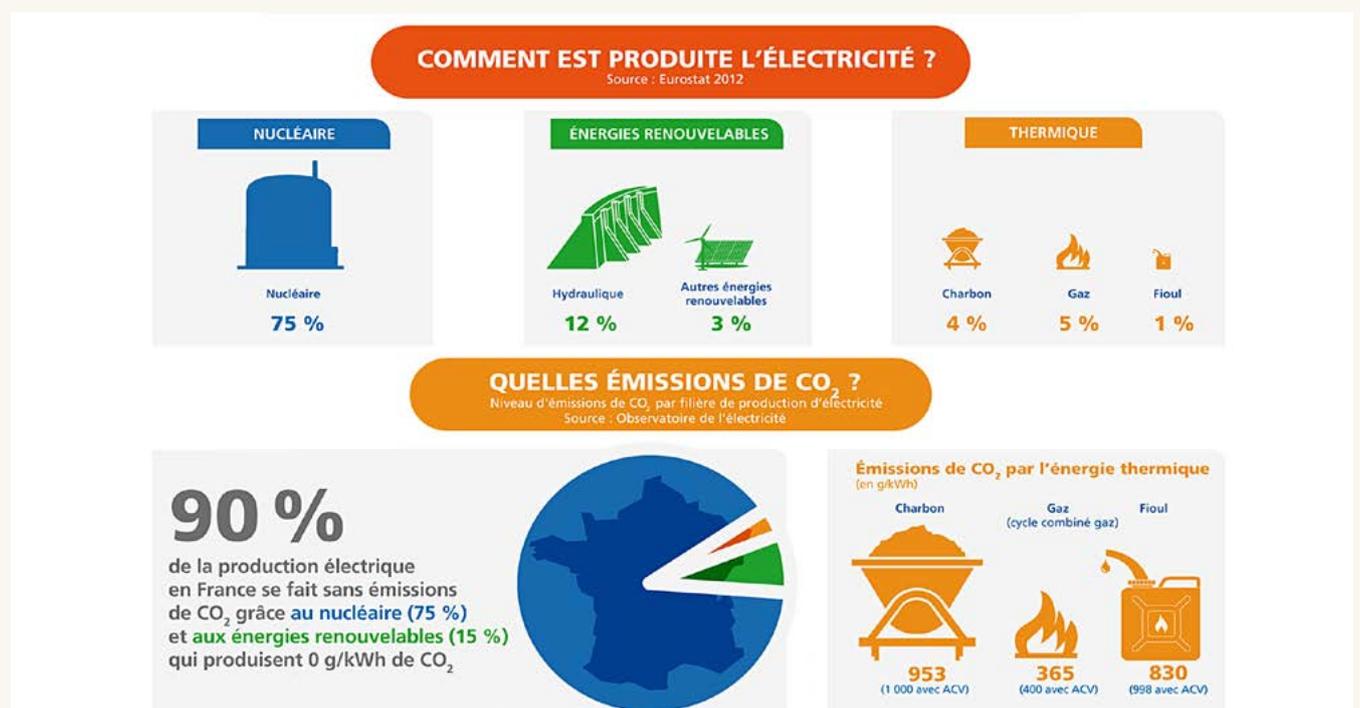
- ◆ dans une centrale hydraulique c'est l'eau qui fait tourner la turbine,
- ◆ dans une éolienne c'est le vent,
- ◆ dans les centrales thermiques et nucléaires c'est la vapeur d'eau produite
 - ◆ par la combustion du charbon du pétrole ou du gaz (centrales thermiques),
 - ◆ par une réaction nucléaire (centrales nucléaires)

Ces « chaînes énergétiques » peuvent être schématisées les unes sous les autres de façon à faire nettement apparaître les points communs.



Une autre séance peut être consacrée à la réalisation d'une maquette de centrale hydraulique (on peut trouver des fiches de fabrication dans des manuels scolaires ou sur internet). Dans les différents éléments constitutifs de toutes les centrales, l'alternateur est l'élément qui transforme du mouvement (communiqué par la turbine) en électricité. On pourra utiliser un alternateur de bicyclette (improprement appelé une dynamo) et demander aux élèves d'éclairer une ampoule ou une DEL avec cet alternateur. Pour cela ils doivent réaliser un circuit simple en reliant chaque borne de l'alternateur à chaque borne de l'ampoule : sans mouvement l'ampoule ne s'éclaire pas. Pour qu'elle s'éclaire, il faut faire tourner la molette rapidement. Cette expérience illustre bien le fonctionnement d'une centrale. Pour modéliser une centrale hydraulique, on peut fixer une turbine sur la molette et la faire tourner sous un robinet.

Une recherche documentaire sur les différents modes de production et de transformation d'énergie électrique en France complètera cette étude. Ce sera l'occasion de discuter avec les élèves de l'impact sur l'environnement des divers types de centrales électriques et des avantages et des inconvénients de chacune d'elles. Là encore on peut trouver des exemples de textes dans des manuels scolaires ou sur internet.



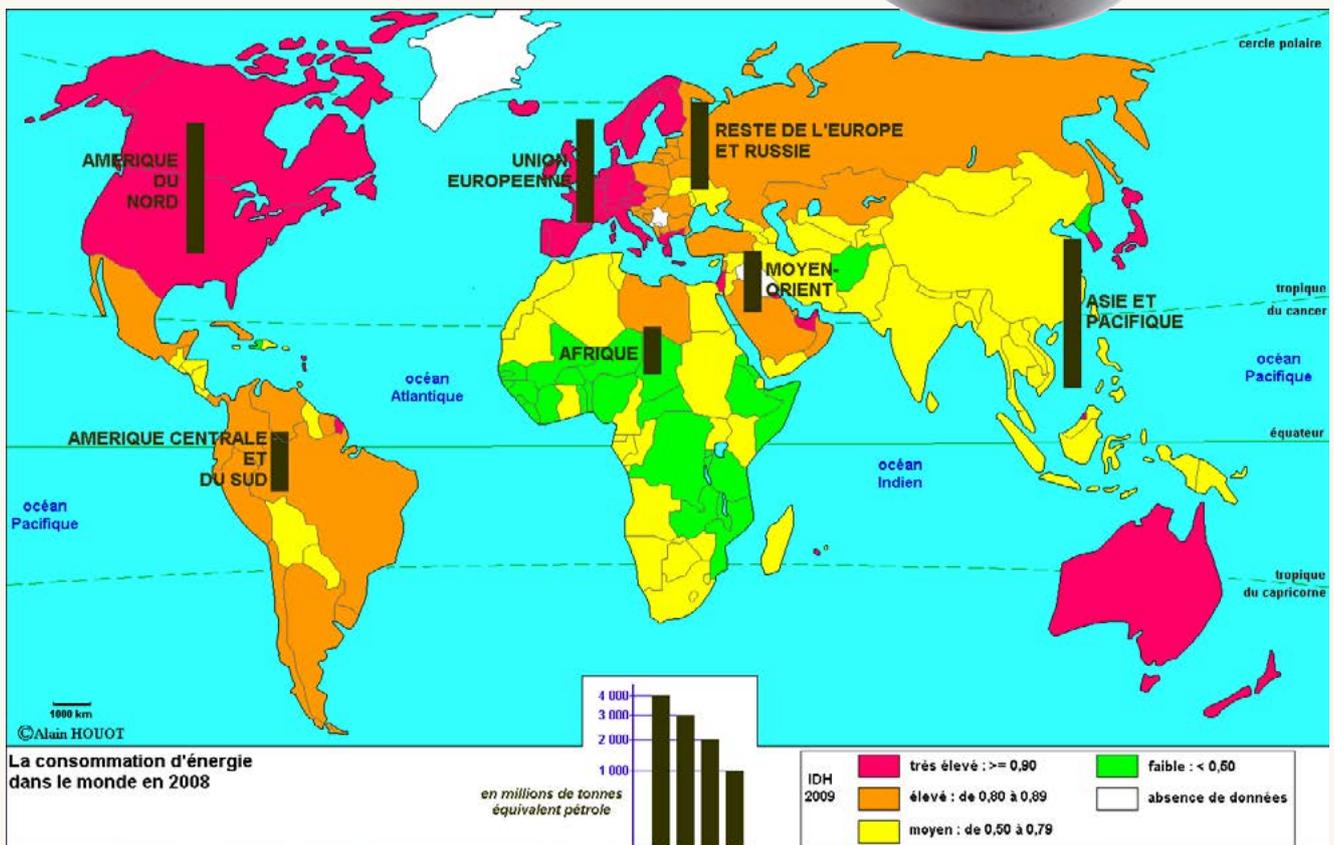
LES PROBLÈMES DE CONSOMMATION ET D'ÉCONOMIE D'ÉNERGIE DANS LA VIE QUOTIDIENNE (CM2)

Le point de départ pourrait être la comparaison des consommations d'énergie de différents pays, la lecture d'un texte sur l'épuisement des ressources énergétiques et/ou un document du type « quelques gestes simples pour économiser l'énergie dans la vie quotidienne ». Parmi les gestes simples souvent évoqués dans les documents, on trouve quelques conseils comme celui de couvrir une casserole avec un couvercle quand on fait chauffer de l'eau.

On pourra alors soumettre aux élèves le problème suivant : « Pourquoi mettre un couvercle sur une casserole quand on veut faire bouillir de l'eau ? »

Après avoir noté les hypothèses des élèves (« ça bout plus vite, il faut moins de gaz... »), on leur demande d'imaginer un protocole expérimental pour tester ces hypothèses et les protocoles des différents groupes sont confrontés et critiqués. La discussion doit déboucher sur la nécessité d'une comparaison entre deux récipients (avec ou sans couvercle), identiques, avec même quantité d'eau à la même température de départ, avec un chauffage identique : on peut relever régulièrement la température de l'eau ou simplement mesurer le temps nécessaire pour arriver à ébullition. On constatera que la température de l'eau augmente plus lentement quand il n'y a pas de couvercle et que l'eau mettra plus longtemps pour atteindre la température d'ébullition.

Outre l'objectif en terme de comportement citoyen, on vise ici un objectif méthodologique important : dans une démarche expérimentale on doit, pour pouvoir conclure, isoler les variables, c'est-à-dire ne faire varier qu'un facteur (la présence ou non de couvercle) et maintenir les autres constants. En terme de savoir-faire, on travaille également la lecture de thermomètres (expérience unique ici, étant donné le risque de brûlure, mais les élèves viendront à tour de rôle lire la température) et, éventuellement la réalisation d'un graphique (température en fonction du temps dans chaque récipient).



L'ISOLATION THERMIQUE DES HABITATIONS (CM2)

La séance est introduite par l'observation d'un document décrivant les techniques employées dans la construction. Problème : « Pourquoi isole-t-on les habitations avec de la laine de verre ou du polystyrène ? Quel est le rôle de ces matériaux ? »

Cette séance est très intéressante car elle permet d'une part de faire vivre à nouveau une démarche expérimentale avec isolement des variables aux élèves. Elle permet aussi, d'autre part, de lutter contre une conception erronée assez fréquente. Alors que la laine de verre ou le polystyrène ne servent qu'à ralentir les échanges de chaleur avec l'extérieur, certains élèves peuvent penser qu'ils servent à « chauffer la maison ». Même si cette conception n'est pas exprimée aussi clairement, elle transparaît parfois dans les protocoles expérimentaux imaginés par les élèves.

Les hypothèses individuelles des élèves sont mises en commun et discutées par la classe : « ça sert à isoler », « c'est pour pas avoir froid l'hiver », « avec de la laine de verre il fait plus chaud dans la maison »... Si l'hypothèse 1 : « la laine de verre sert à chauffer » apparaît clairement, il faut la conserver telle quelle. Une autre hypothèse (2) sera sans doute « la laine de verre sert à garder la chaleur ».

Par groupe les enfants doivent imaginer un protocole expérimental pour tester les hypothèses retenues par la classe. Attention : si les élèves manipulent de la laine de verre, ils doivent le faire avec des gants. Il est préférable de remplacer la laine de verre par de la laine.

Hypothèse 1

Les élèves disposent de thermomètres et ils vont placer le thermomètre dans la laine de verre pour voir si la température augmente (attention, la laine de verre et les thermomètres doivent être dans la salle de classe depuis un moment pour être à température ambiante). L'hypothèse est réfutée car la température n'augmente pas : la laine de verre ne chauffe pas.

Hypothèse 2

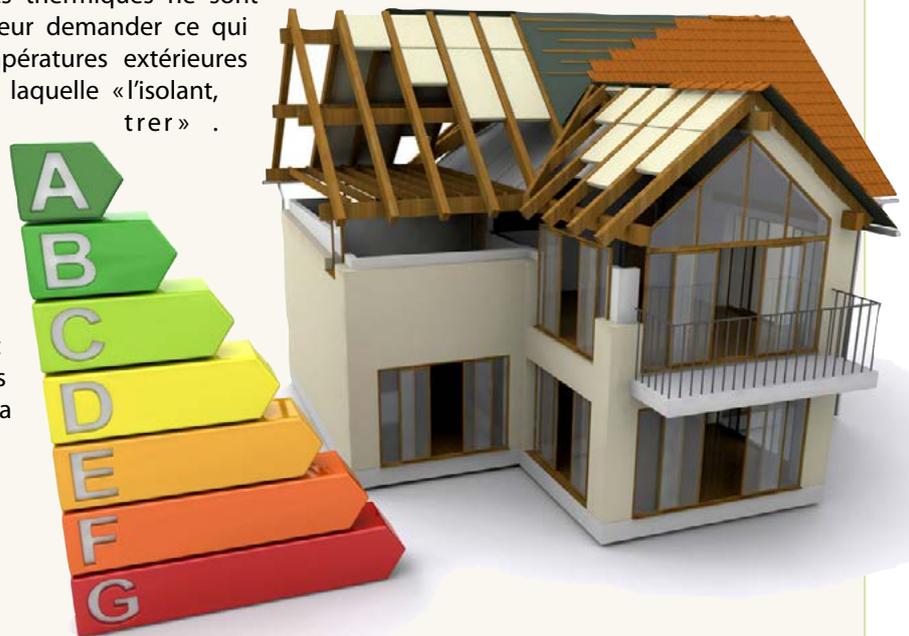
Pour aider les élèves à élaborer le protocole expérimental, le maître pourra proposer de remplacer la maison par un récipient rempli d'eau chaude. Les élèves imaginent facilement d'entourer ce récipient avec de la laine de verre et de repérer la température. Il manque dans ce protocole le « témoin », c'est-à-dire un récipient identique contenant la même quantité d'eau à la même température. Sans ce récipient « témoin » il est impossible de conclure car la température diminue, la laine de verre n'étant pas un isolant parfait. L'enseignant peut laisser les élèves réaliser cette expérience, même incorrecte, et constater a posteriori que le protocole est incomplet : « je pense que l'hypothèse est validée car la température baisse très peu », « oui, mais elle baisse quand même », « si il n'y avait pas la laine ça baisserait plus », « oui mais on n'est pas sûr »... Après ce débat le maître demande aux élèves comment être sûrs et la nécessité du témoin apparaît si les élèves ne l'ont pas imaginé dès le départ.

On peut alors réaliser l'expérience avec les deux récipients (isolé ou non) et relever la température à intervalles de temps réguliers, puis construire le graphique d'évolution de la température en fonction du temps : on constate que la température chute plus rapidement quand le récipient n'est pas isolé. Le rôle de la laine de verre est donc précisé par rapport à l'hypothèse : « la laine de verre ralentit les échanges de chaleur, on dit que c'est un isolant thermique ».

Remarque : les différents groupes peuvent utiliser des isolants différents et comparer leurs capacités d'isolation.

Les élèves pensent souvent que les isolants thermiques ne sont utiles que pendant l'hiver. Le maître peut leur demander ce qui se passe l'été. Une discussion sur les températures extérieures en été permet d'émettre l'hypothèse selon laquelle « l'isolant, l'été, empêche la chaleur de rentrer ».

Une nouvelle expérimentation (protocole identique avec récipient « témoin » non isolé) pourra être mise en œuvre avec deux récipients remplis d'eau fraîche placés près d'un radiateur ou dehors s'il fait chaud. On constatera que l'eau se réchauffe moins vite si le récipient est isolé, l'hypothèse est donc validée : la laine de verre ralentit les échanges de chaleur dans les deux sens, elle conserve la maison chaude l'hiver et fraîche l'été.



Pour de nombreux élèves, l'énergie est une matière ou une force. En partant sur « les chemins des énergies » avec le centre de ressources de Vailhan, les écoliers de CM2 de Murviel-lès-Béziers ont pu, à travers l'exploration du patrimoine et l'expérimentation, rectifier et enrichir leurs connaissances sur une notion bien complexe.

Sur les chemins des énergies avec les écoliers de Murviel



Le plein d'énergie aux moulins de Faugères (photo Guilhem Beugnon)

Vendredi 11 avril 2014

Dans le bois du Bousquet, au nord-ouest de la commune de Neffiès, la découverte d'empreintes de fougères dans des blocs de schiste noir lance les écoliers sur la piste du charbon. Sa formation remonte à près de trois cents millions d'années, au cœur d'une jeune chaîne de montagnes née de la collision de plaques tectoniques. Cette

immense « chaîne hercynienne » qui s'étire sur toute l'actuelle Europe et au-delà culmine à quelque 6 000 m d'altitude. Elle est à l'origine du Massif central comme de la Bretagne, des Vosges, de l'Oural... Dans un continent unique, la Pangée, l'Hérault est alors à la position de l'Equateur sous un climat qui facilite une érosion intense. Des torrents dévalent les pentes abruptes

des montagnes, entraînant sables et graviers dans les zones basses en voie d'effondrement. Au fond et au bord de ces bassins marécageux fermés (limniques), une forêt luxuriante s'installe qui bénéficie de la chaleur et de l'humidité ambiantes : sigillaires et calamites, fougères arborescentes et cordaïtes. Recouverts peu à peu par des sédiments plus fins, troncs, écorces et



Fossiles de fougère arborescente (Alethopteris) dans le bois du Bousquet (photo Guilhem Beugnon)

feuillages se fossilisent dont les schistes conservent le souvenir décoloré. A l'abri de l'air, sous l'effet de bactéries anaérobies puis de l'augmentation de la pression et de la température, les débris végétaux les plus fins (cuticule et spores) se transforment très lentement en charbon : c'est la carbonification. L'enfoncement lent et progressif (subsidence) du bassin entraîne le recouvrement de la couche de charbon par de nouveaux sédiments argilo-gréseux arrachés au massif. Une nouvelle forêt va pouvoir s'installer et le phénomène se répète, expliquant l'alternance de couches de « stériles » et de houille. Chaque couche de charbon résulte donc de la disparition d'une forêt. Ainsi sont nés les bassins houillers du Languedoc : ceux de Carmaux, Alès et Graissessac, comme celui, plus modeste, de Neffiès. De cette histoire très ancienne liée à la conjonction de circonstances géologiques bien particulières, les élèves retiendront la notion de sources d'énergie fossiles, non renouvelables (à l'échelle humaine), limitées dans le temps et dans l'espace. Il en va de même du gaz et du pétrole, comme celui que l'on a exploité dans la commune de Gabian entre 1924 et 1950.

Après un pique-nique sur la ligne

de crête, l'après-midi est consacrée à la recherche des vestiges de l'exploitation minière du XIX^e siècle. Si le charbon est extrait à Neffiès depuis 1755, c'est à la Révolution industrielle qu'il doit ses heures de gloire... puis de désillusion. Il revient à un groupe de riches négociants parisiens, lyonnais et marseillais rassemblés autour du banquier Léopold Javal, figure marquante de la vie politique et financière de la capitale, de mener les premiers travaux

Flore carbonifère (aquarelle de Pierre Mazan, 2013)



d'envergure dans les mines de Caylus et du Bousquet. Mais cette dernière ne donne toujours qu'un charbon médiocre et peu abondant descendu de la colline à dos de mulet. La concession passe alors aux mains des ambitieux frères Pereire, grands capitalistes parisiens implantés dans les milieux financiers, industriels et politiques du second Empire, fondateurs en 1835 de la *Compagnie du Chemin de fer de Paris à Saint-Germain*. Sur le versant est de la petite vallée des Combes, ils font creuser un puits de 4 mètres de diamètre qui atteindra en 1875 la profondeur de 338 mètres sans avoir rencontré le filon espéré. Quand le premier train fait son apparition en gare de Roujan en 1874, les mines de Neffiès ne produisent déjà plus que d'insignifiantes quantités de charbon. Les travaux seront arrêtés quatre ans plus tard et les équipements transportés à Graissessac.

Munis d'une photographie du site prise en 1869, les élèves se lancent sur la piste de ce qui reste d'une centaine d'années de patience, de luttes et de dépenses, d'espoirs et de regrets. Ils s'interrogent notamment sur la grande tour de bois et la cheminée de brique qui dominaient alors le paysage et dont il ne reste plus rien. Le puits, aussi profond que la Tour Eiffel est haute, les impressionne. L'heure est venue de sortir la maquette de machine à vapeur et de parler de révolution industrielle, ce processus historique qui, au XIX^e siècle, fait bascu-

ler une société à dominante agricole et artisanale vers une société commerciale et industrielle. Que se passe-t-il au cœur de ce monde de ferraille que le charbon (ici de l'alcool solide) va mettre en action ? Le charbon possède de l'énergie interne de nature chimique. Sa combustion dégage de l'énergie thermique et provoque la vaporisation de l'eau dans la chaudière et l'augmentation de sa pression. La vapeur sous pression est acheminée vers le piston qui transforme l'énergie thermique en énergie mécanique, met la bielle puis le volant en mouvement. Quant à l'alternateur couplé à la roue, il génère de l'énergie électrique qui permet d'éclairer le lampadaire. Les notions de source,

de forme, de transformation et de transfert d'énergie commencent à prendre du sens comme se dessine la chaîne énergétique de notre machine à vapeur. La chaleur qui se dégage de la chaudière (le bouilleur), de la cheminée, des tuyaux, du cylindre à piston et de l'alternateur montre qu'à chaque étape de l'énergie thermique est cédée à l'environnement : si l'énergie d'entrée n'est jamais totalement récupérable sous forme d'énergie utile, elle ne disparaît pas pour autant ! Le charbon est essentiellement composé de carbone, ce qui rend sa combustion très polluante en raison de l'émission de CO₂, un gaz à effet de serre bien connu. S'il a été le combustible quasi unique de la révolution industrielle, il ne représente plus que 27 % de l'approvisionnement en énergie primaire de la planète, supplanté depuis par le pétrole (30 %)¹.

Vendredi 18 avril 2014

Le département de l'Hérault, au même titre que l'Auvergne, est une terre de volcans : volcans anciens, dans le massif du Mendic, datés de quelque 500 Ma, volcans de la région Montferrier-Grabels, âgés de 21 à 30 Ma, et chapelet de volcans qui s'alignent du nord au sud, de l'Escandorgue au Cap d'Agde, entre 2,5 Ma et 560 000 ans. Le volcan des Baumes, en limite des communes de Nefflès et de Fontès, fait partie de cet ensemble d'appareils éruptifs. On a jusqu'à très récemment considéré que la coulée basaltique des Baumes, longue de près de 10 km, était l'expression d'une seule manifestation volcanique datée de 1,57 Ma. Des datations très récentes montrent qu'elle est en fait le fruit de plusieurs épisodes éruptifs échelonnés entre -1,8 et -0,8 Ma (à titre de comparaison, les plus jeunes volcans de la chaîne des Puys ne



Ci-dessus : machine à vapeur Wileco (coll. centre de ressources de Vailhan)

Ci-dessous : mine du Bousquet, septembre 1869 (coll. mairie de Nefflès)

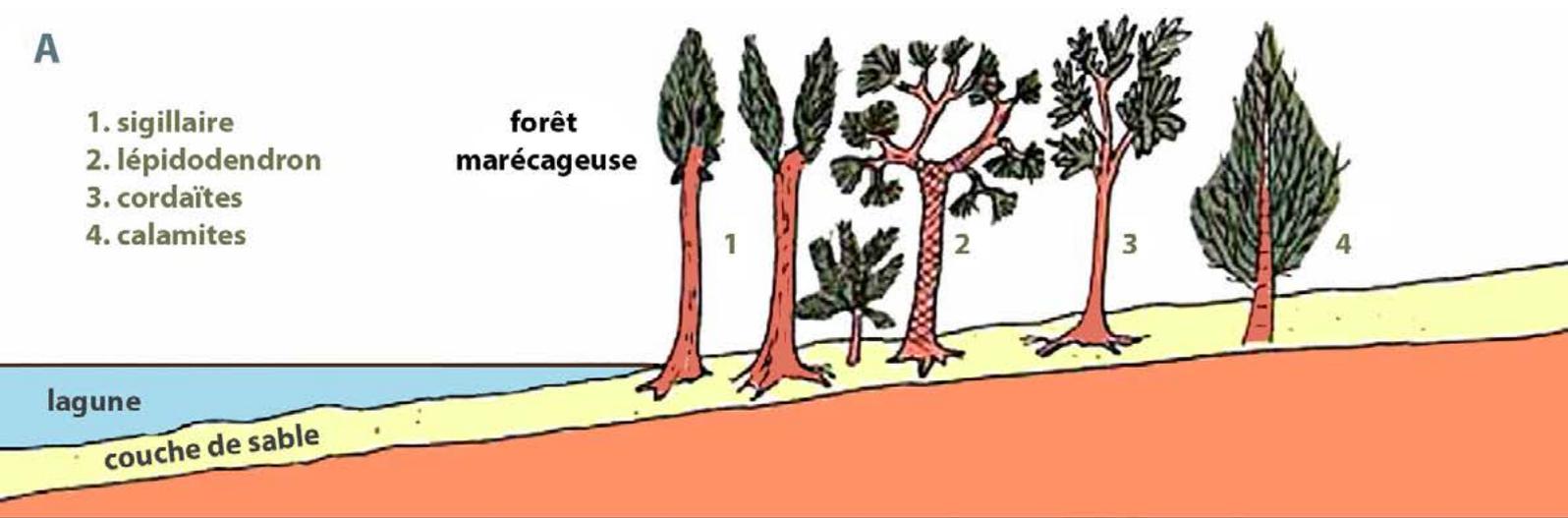
Page suivante : formation du charbon (Club Noyelles Unesco)



A

- 1. sigillaire
- 2. lépidodendron
- 3. cordaïtes
- 4. calamites

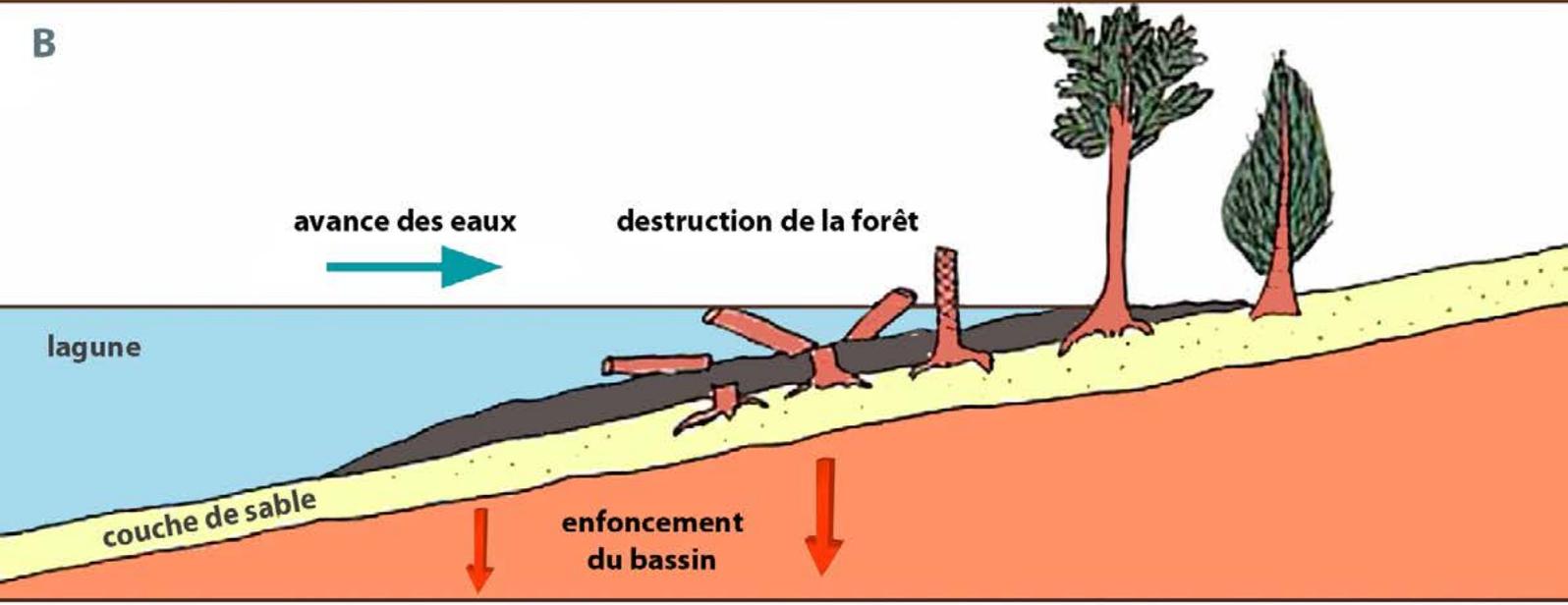
forêt marécageuse



B

avance des eaux

destruction de la forêt

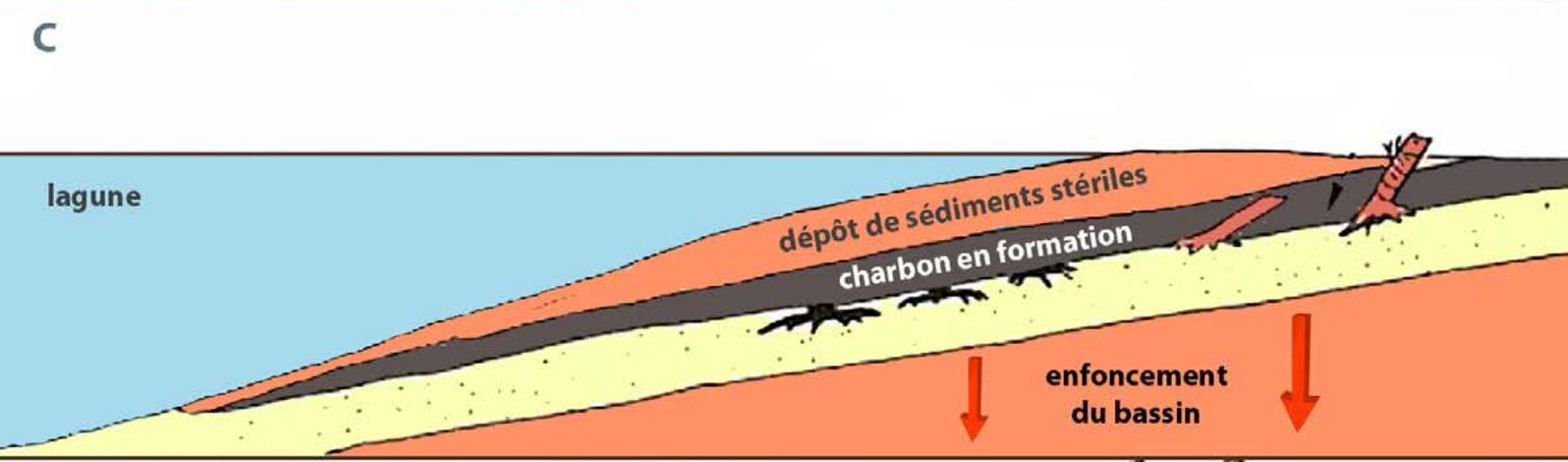


C

lagune

dépôt de sédiments stériles
charbon en formation

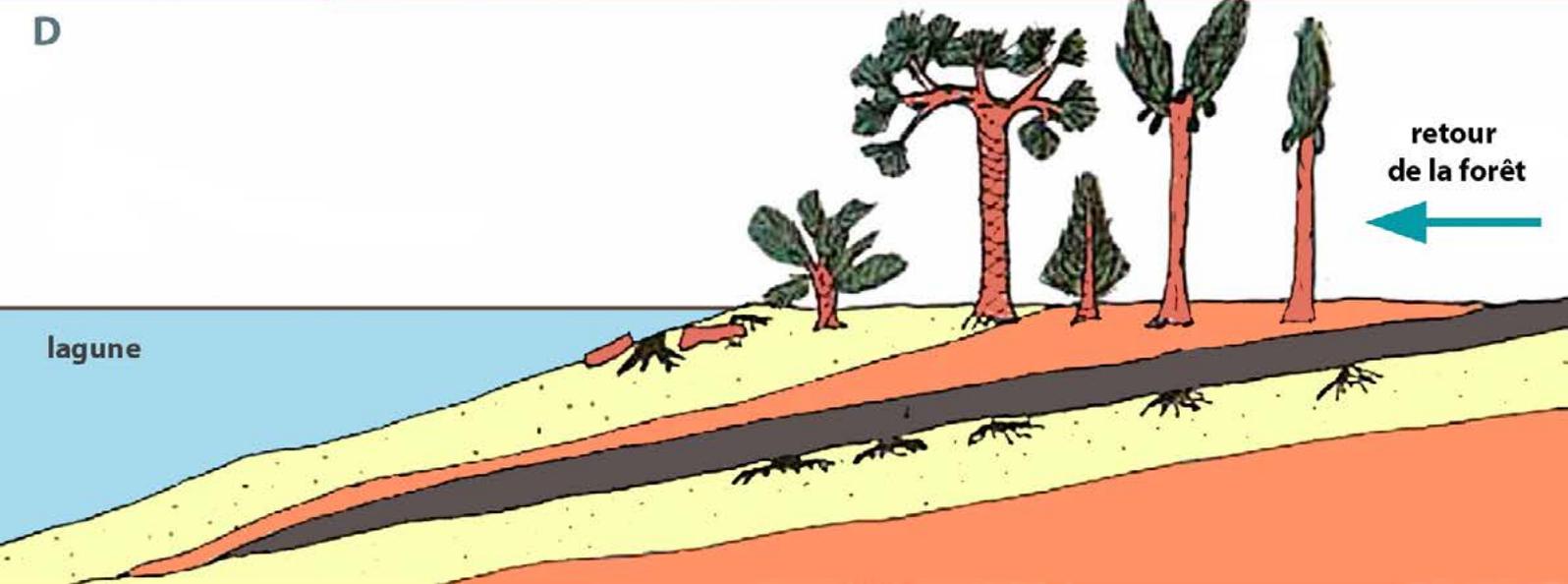
enfoncement du bassin



D

lagune

retour de la forêt



datent que de quelque 7000 ans)². L'érosion a depuis arrondi les reliefs et il faudra aux jeunes élèves un certain effort d'imagination pour reconnaître dans le volcan des Baumes un vieux frère du Stromboli. L'alternance des empilements de cendres, lapilli et bombes volcaniques (phases explosives) et de coulées de lave refroidie (phases effusives), bien visibles à mi-pente du volcan, signent cependant la présence d'un cône strombolien. Et l'on parlera de stratovolcan en raison de la structure composite du cône et de volcan rouge en raison de l'émission de lave. Le clou de la visite sera sans doute pour les élèves la modélisation d'une éruption effusive, liquide vaisselle, bicarbonate de soude et vinaigre blanc à l'appui.

Les volcans sont source de matières premières utiles : les enfants le découvrent en marchant sur une ancienne coulée de lave où se dressent murets, capitelles et dolmen en basalte. A quelques kilomètres au sud-est, et jusqu'à très récemment, la roche a été exploitée pour servir aux grands aménagements routiers et autoroutiers de la région (carrière de Lézignan-la-Cèbe).

Les volcans sont aussi source d'énergie inépuisable. En raison de la chaleur produite dans le noyau et dans les roches du manteau, la température du sous-sol augmente à mesure que l'on s'éloigne de la surface de la Terre. Ce gradient géothermique est d'environ 3°C par 100 mètres. Dans les zones de volcanisme actif, il augmente considérablement, allant jusqu'à 5 voire 10°C par 10 mètres, et autorise alors une exploitation de l'eau à l'état de vapeur pour actionner une turbine et convertir l'énergie géothermique en électricité. La source de chaleur est en général une ancienne chambre magmatique d'un âge cependant inférieur à 500 000 ans, ce qui n'est pas le cas au volcan des Baumes, et le vecteur un réservoir aquifère. Le délai pour réchauffer un tel réservoir étant long, la géothermie est une énergie inépuisable mais non immédiatement renouvelable, à l'inverse des énergies solaire, hydraulique et éolienne. Si l'Islande est le seul pays d'Europe à produire des bananes sous serre, c'est



Explosif ou effusif ? (photo Guilhem Beugnon)

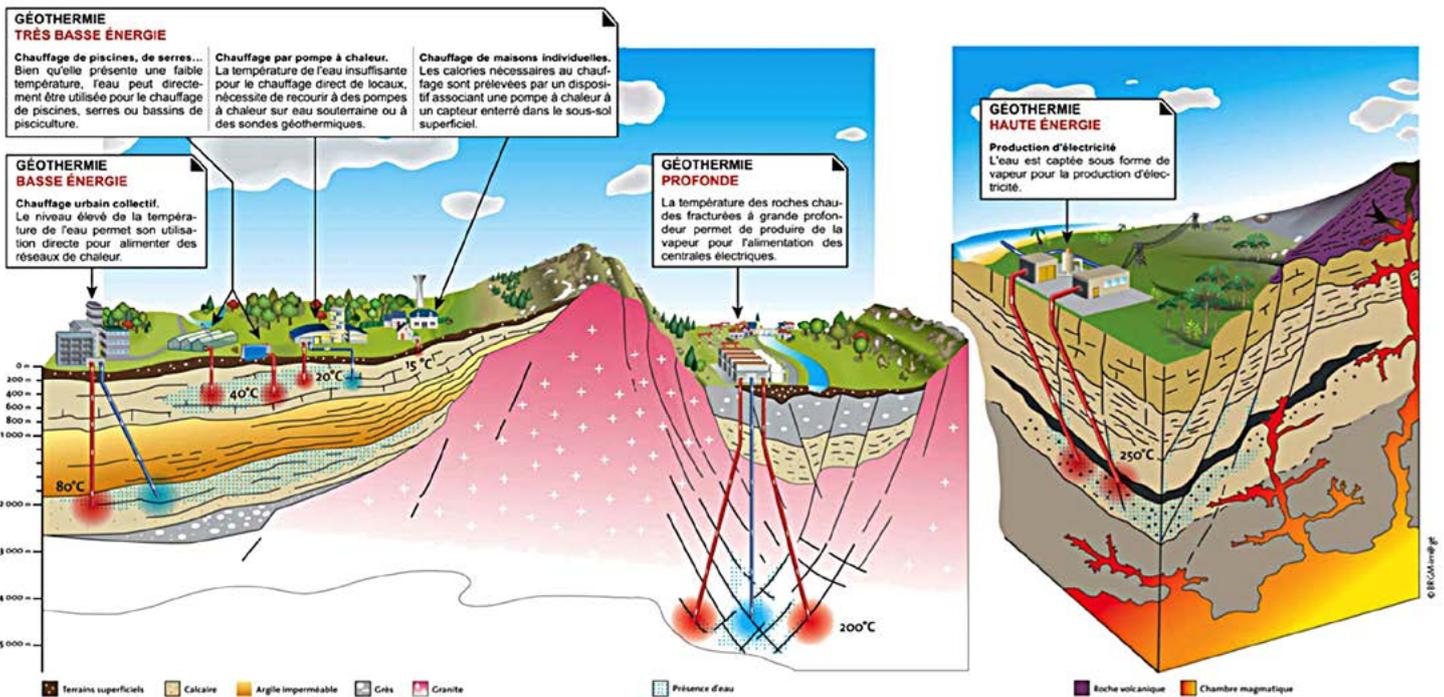
grâce à l'énergie géothermique liée au volcanisme !

Une vingtaine de pays dans le monde, principalement situés en Amérique du Nord et en Asie, produisent de l'électricité géothermique. Elle représente 0,5 % de la production mondiale d'électricité et 1,6 % de la production d'origine renouvelable (4^e place après l'hydraulique, l'éolien et la biomasse). Elle joue un rôle essentiel aux Philippines, en Indonésie et au Mexique où elle représente entre 10 et 14 % de l'électricité produite³.

En France, la centrale de Bouillante, en Guadeloupe, produit 15 MW tandis que des investigations sont menées par le BRGM dans le Cantal afin de trouver un gisement de

haute-température (supérieur à 150°C ; les eaux de la source du Par, à Chaudes-Aigues, sont à 82°C) qui permettrait, par forage, d'alimenter une centrale géothermique.

La géothermie des roches profondes naturellement fracturées pourrait être l'une des réponses au défi planétaire du développement des énergies non polluantes et renouvelables. En phase de production électrique depuis l'automne 2010, le site pilote de Soultz-sous-Forêts, en Alsace, est à ce titre unique au monde. Un forage puise de la chaleur (jusqu'à 200°C) entre 4 500 et 5 000 mètres de profondeur (il ne s'agit pas ici d'une zone de volcanisme) et assure le fonctionnement d'une turbine et la production d'électricité en continu.



Différentes techniques d'exploitation de la géothermie (Crédits : BRGM, ADEME)

Vendredi 25 avril 2014

Le troisième chemin des énergies conduit les élèves au bord du ruisseau de Vaillette, près du moulin à eau de Julien qui fait l'objet d'un article dans ce numéro des *Rocaires*. Assis dans l'herbe, les voici tout d'abord occupés à dessiner le plan d'une installation de meunerie capable de produire de grandes quantités de farine. La majorité d'entre eux vouent leur machine à l'énergie musculaire, animale ou humaine, mais l'on voit aussi apparaître des ailes, des roues à aube, un panneau solaire et le mystérieux interrupteur électrique.

Par une série d'ateliers, les écoliers vont découvrir et comprendre le fonctionnement d'un moulin à rodet, du nom de la roue hydraulique munie de palettes inclinées ou de cuillers. Placée horizontalement sous la chambre des meules, elle est reliée directement par l'arbre à la meule tournante, horizontale elle aussi, ce qui évite engrenages et renvoi d'angle. Les dessins réalisés après la visite sont éloquentes. Le moulin à rodet est relativement facile et économique à construire mais le faible débit des rivières de notre région nécessite la création d'un étang de réserve par le biais d'un barrage (la pansière) et d'un canal de dérivation (le béal). Une bonne chute, de l'ordre de quatre mètres, est enfin nécessaire pour que l'eau acquière une vitesse suf-

fisante pour entraîner la meule.

La révolution industrielle a sonné le glas des moulins hydrauliques dont certains pourraient revivre sous la forme de mini-centrales hydroélectriques.

Vendredi 16 mai 2014

Ce quatrième et dernier jour d'animation sur le terrain nous mène au lieu-dit Les Trois Tours, point culminant de la commune de Faugères. Un premier moulin à vent semble y avoir été construit dès le XII^e siècle sur les ruines d'une tour de guet, suivi au XVI^e siècle par deux autres moulins. Derniers meuniers en date, les frères Rivières vendent terres et bâtiments à la mairie de Faugères en 1849 et les Trois Tours sombrent bientôt dans l'oubli, les ronces et la ruine. Après neuf années passées à réunir les fonds nécessaires, une passionnée de patrimoine, Jeanne Sabatier-Collignon, peut enfin voir le site restauré de 1995 à 1998. Grâce à Bernard Garibal et son équipe de Compagnons du Devoir, les ailes du moulin nord se remettent à virer au vent, entraînant avec elles la meule tournante par un jeu d'engrenages. La tour sud devient table d'orientation et la tour du milieu maison d'habitation.

C'est à son pied, la mer en fond d'écran, que les élèves s'interrogent sur certaines propriétés de l'air. Que va faire le canard qui

flotte sur l'eau de l'aquarium si l'on enfonce au-dessus de lui une bouteille fermée mais sans fond ? Et si l'on retire le bouchon ? Et si l'on remplace le bouchon par un tube ? Comment faire en sorte que des deux feuilles identiques lâchées au même moment et du même niveau, celle marquée « rapide » arrive toujours la première au sol ? Que se passe-t-il lorsqu'on renverse un verre rempli d'eau bouché par une plaque en carton ?

L'air est un gaz : il est compressible et expansible. Il possède une masse et exerce une pression sur tout ce qui l'entoure. Par un phénomène de convection dont le grand responsable est le Soleil, l'air chaud monte et l'air froid descend. De ces différences de températures et de pression naît le vent. Armés de





avant la visite...

Milvi

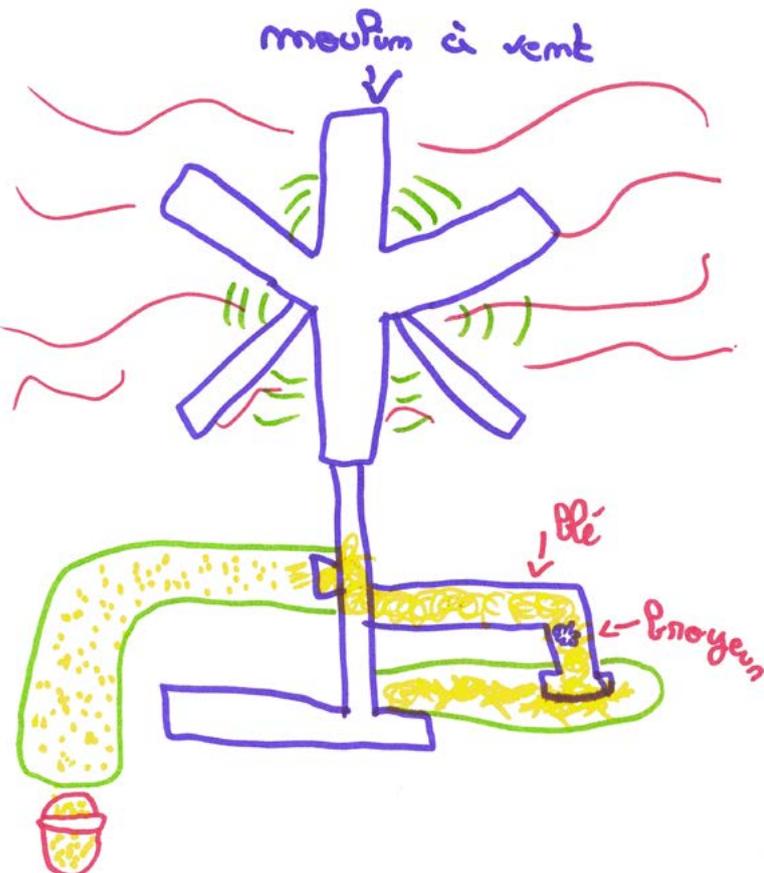
Léoni

energie: eau



Alicia

Lucie

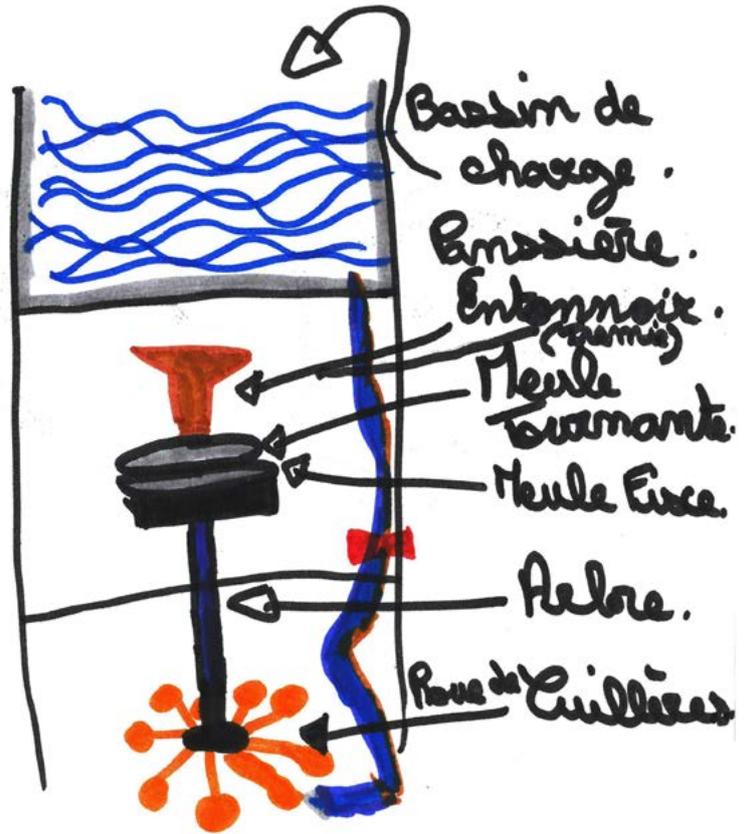
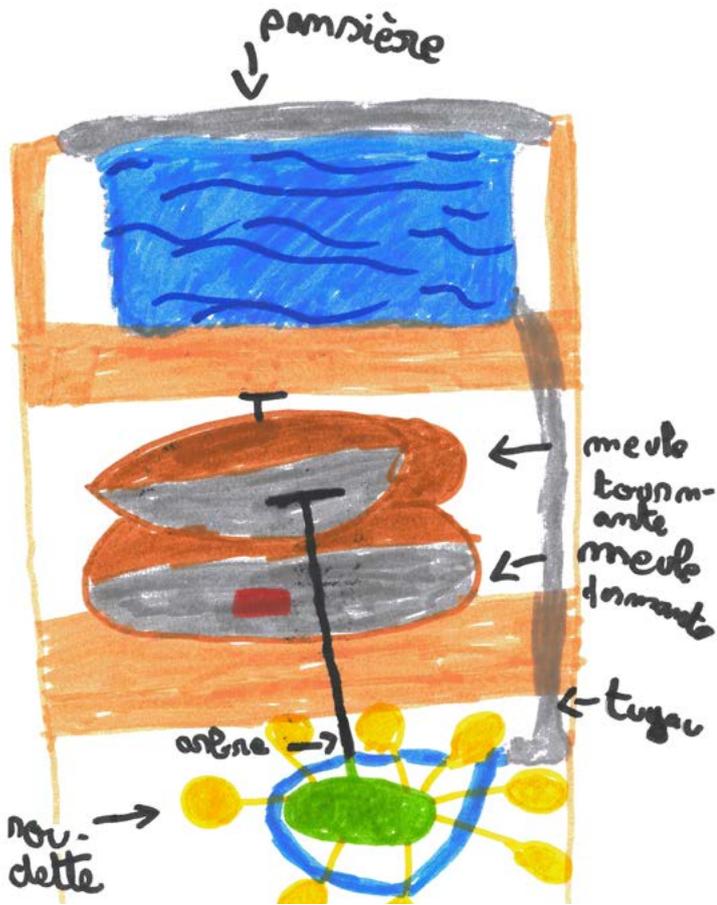


energie électrique.

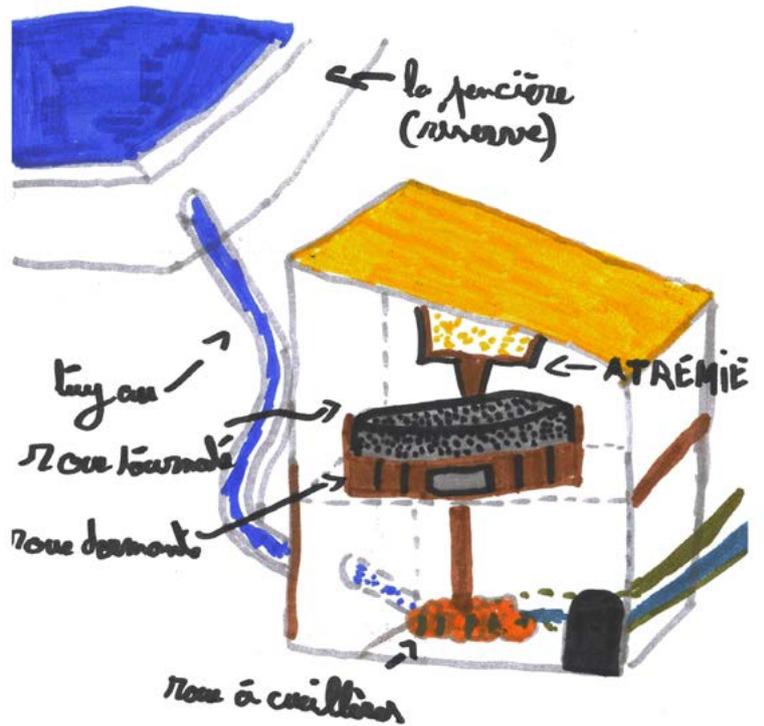
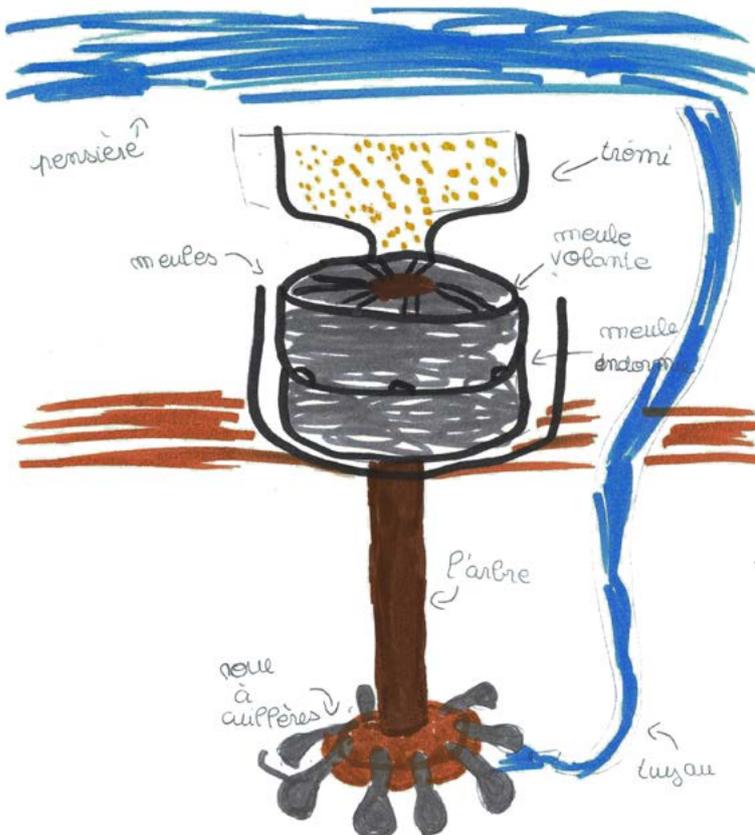
après la visite...

chloé

Alicia



Alicia



ces notions, les élèves vont pouvoir goûter la visite guidée du moulin puis fabriquer et tester des maquettes où les ailes, l'arbre moteur, le rouet et la lanterne, l'axe vertical, la meule volante et la meule dormante trouveront naturellement leur place.

« Tout a commencé avec le Soleil », titre la première affiche de l'exposition « L'énergie : quels choix pour demain ? » présente dans toutes les écoles de France. Principale source de lumière et de chaleur de notre planète, le Soleil est à l'origine de la plupart des énergies sur Terre, à l'exception de l'énergie nucléaire et de la géothermie profonde. En faisant croître les végétaux qui se sont accumulés sous terre pendant des millions d'années, le rayonnement solaire est à l'origine des réserves de charbon, de pétrole et de gaz naturel, comme il l'est aussi de la biomasse. La transmission de l'énergie solaire à l'atmosphère et aux océans, couplée avec la gravitation, est à l'origine des vents, des courants marins et du cycle de l'eau, et donc des énergies éolienne, marémotrice et hydraulique. Et les hommes se sont bien sûr attachés à capter directement une partie de cette énergie solaire par différents moyens. Les élèves

vont pouvoir s'y frotter par le jeu de l'expérimentation et des défis : mesurer la température de l'eau dans des tubes de cuivre de différentes couleurs, dans une boîte ouverte et une boîte fermée, dans deux récipients identiques placés à l'intérieur et à l'extérieur d'un four solaire, réaliser un puits solaire, éclairer une ampoule, faire tourner une hélice... Et l'on parlera d'énergie solaire passive, celle qui, dans un bâtiment bien conçu, permet de bénéficier au mieux des rayons du Soleil, d'énergie solaire thermique qui consiste à utiliser la chaleur issue du rayonnement, et d'énergie solaire photovoltaïque qui permet de produire de l'électricité par transformation d'une partie de ce rayonnement.

L'aventure, déjà riche, ne s'arrêtera pas là. De retour à l'école, après quatre journées au cours desquelles se sont conjugués les sciences, l'histoire, la géographie, l'éducation physique, le vivre-ensemble... les élèves vont pouvoir plancher, mathématiques à l'appui, sur les besoins, la consommation et les économies d'énergie.

Guilhem Beugnon

Centre de ressources de Vailhan
guilhem.beugnon@ac-montpellier.fr

Notes

1. BP Statistical Review of World Energy, 2013 (www.bp.com)
2. Cf *Los Rocaires* n° 11, p. 14.
3. <http://jeunes.edf.com/article/la-geothermie-dans-le-monde,183>

Orientation bibliographique et sitographie

- AMBERT, Martine (ss. la dir. de), Hérault, miroir de la Terre, Les Presses du Languedoc/BRGM, Montpellier/Orléans 2004.
- ARTS ET TRADITIONS RURALES, Dossiers « Les Moulins de l'Hérault », N° 1-29, 1984-2010 (www.artstraditionsrurales.fr).
- BARDINTZEFF, Jacques-Marie, *Volcanologie*, 4^e éd. Dunod, Paris 2011.
- BEUGNON, Guilhem, « Le bassin houiller de Nefflès au temps de son exploitation », *Bulletin du Groupe de Recherches et d'Etudes du Clermontois*, n° 46 à 51, 1988-1989.
- BEUGNON, Guilhem, « Mémoires d'une révolution industrielle : les mines de charbon de Nefflès », *Mémoires d'une communauté*, Vailhan décembre 2013.
- BOUSQUET, Jean-Claude, *Géologie du Languedoc-Roussillon*, 2^e éd., Les Presses du Languedoc/BRGM, Montpellier/Orléans 2006.
- CAPDEVILA, Ramon, IVORRA, Jérôme, « Volcans d'Hérault, une histoire explosive », *Los Rocaires*, N° 11, Vailhan, janvier-avril 2013, pp. 14-18.
- GRAINE Languedoc-Roussillon, *L'énergie et sa maîtrise [du CM1 à la 5^e]*, coll. Education à l'environnement 4, CRDP de l'Hérault, Montpellier 2004.
- www.auxilium34.org (Association départementale de la Fédération des Moulins de France)
- www.energivores.tv (Web-série d'éducation à la maîtrise des énergies)
- www.fondation-lamap.org (éducation à la science)
- <http://sciences34.ac-montpellier.fr/> (Groupe sciences de la Direction académique de l'Hérault)





L'énergie : mémento de l'enseignant

D'après Olivier Burger, IEN circonscription d'Avranches (Manche), *L'énergie au cycle 3*, parcours de formation continue **M@gistère**, Ministère de l'éducation nationale, 2013

1. QU'EST-CE QUE L'ÉNERGIE

L'énergie est une grandeur qui exprime la capacité d'un système à produire des actions : éclairer, chauffer, mouvoir... Elle existe sous différentes formes.

Elle peut se transférer d'un système à un autre.

Elle peut être convertie d'une forme en une autre.

Elle se conserve toujours.

Elle s'exprime en joules (J).

On utilise la calorie (4,18 J) en nutrition et le kilowatt-heure (3 600 kJ) pour mesurer l'énergie électrique ou thermique.

systemes	formes d'énergie	illustrations
corps en mouvement	cinétique (mécanique)	une masse d'air en mouvement possède une énergie cinétique qui peut être transférée aux pales de l'éolienne
corps en hauteur	potentielle de pesanteur (mécanique)	une pomme accrochée à un arbre possède une énergie potentielle de pesanteur
combustible	chimique	le propane possède une énergie chimique qui pourra être récupérée par combustion
corps à une température donnée	interne	un corps chaud peut transférer de l'énergie lorsqu'il est en contact avec un corps plus froid (l'eau chaude transfère de la chaleur à un glaçon et le fait fondre)
corps radioactif	nucléaire	la fission du noyau d'uranium libère de l'énergie

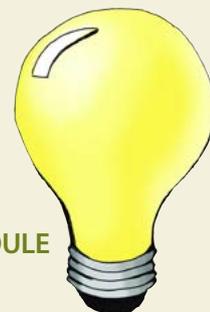
énergie chimique

PILE



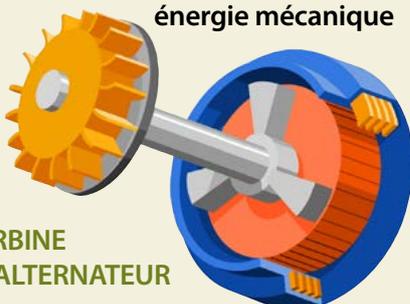
énergie électrique

AMPOULE



énergie mécanique

TURBINE
ET ALTERNATEUR



Chaîne de transfert d'énergie

2. LES SOURCES D'ÉNERGIE

Les sources d'énergie sont des systèmes auxquels est associée une certaine quantité d'énergie que l'on peut extraire. Les sources primaires sont les produits énergétiques non transformés.

Elles peuvent être renouvelables ou non renouvelables.

Les sources secondaires sont issues de la transformation d'une énergie primaire (électricité, essence, parafine...)

	sources d'énergie primaires	lieux de production d'énergie
non renouvelables	uranium	centrale nucléaire
	pétrole-gaz-charbon (dite « fossile »)	centrale thermique
renouvelables « vertes »	eau des fleuves et rivières	centrale hydroélectrique
	eau marine	marée motrice, centrale hydrolienne
	eau du sous-sol	centrale géothermique
	air en mouvement (vent)	éolienne
	Soleil	capteur solaire, chauffe-eau solaire
	agro-ressources, algues	centrale thermique, chaudière

3. LE TRANSPORT ET LE STOCKAGE DE L'ÉNERGIE

L'énergie doit être transportée vers les zones de consommation.

- ◆ pétrole : pétrolier, supertanker, oléoduc
- ◆ gaz : gazoduc, méthanier (gaz naturel liquéfié)
- ◆ électricité : réseau de conducteurs généralement porté par des pylônes

Elle peut être stockée.

- ◆ réservoirs : gaz, pétrole, charbon
- ◆ accumulateurs : énergie chimique

4. L'ISOLATION ÉNERGÉTIQUE

L'isolation thermique sert à limiter les transferts de chaleur entre un milieu chaud et un milieu froid.

Ces transferts peuvent s'effectuer par...

- ◆ convection : mise en mouvement d'un fluide,
- ◆ conduction : présence de matière immobile au sein d'un système ou contact entre deux systèmes conducteurs,
- ◆ rayonnement : au travers d'un milieu transparent.

Différents isolants permettent de limiter la consommation énergétique.

5. LES ENJEUX LIÉS À L'ENSEIGNEMENT DE L'ÉNERGIE

L'énergie est au centre des préoccupations liées à notre bien-être et à la survie des générations futures (développement durable). Notre consommation en énergie ne cesse d'augmenter alors que les ressources en énergie fossile s'épuisent. Il convient donc de...

- ◆ diminuer la consommation (moins consommer et mieux convertir en limitant les pertes),
- ◆ limiter les pollutions,
- ◆ retarder l'épuisement des sources d'énergie non renouvelables,
- ◆ préparer le passage progressif des énergies fossiles et provenant de l'uranium aux énergies renouvelables.



Sur la commune de Rosis, dans le massif du Caroux, le moulin à eau de la Fage restauré en 2011 n'était encore qu'une coquille vide où gisaient deux meules en grès. De la rencontre entre le maire du village et un professeur de charpente passionné de patrimoine allait naître un projet pédagogique exemplaire : la construction du mécanisme et la remise en fonctionnement du moulin.

Renaissance d'un moulin au coeur du Caroux



Les lycéens de Bédarieux et leur professeur de charpente devant le moulin hydraulique de la Fage (photo Fabrice)

C'est en septembre 2012 que les élèves de terminale CAP charpente du lycée Fernand Léger de Bédarieux ont pris connaissance de ce qui allait devenir « leur » projet pédagogique : redonner vie au moulin de la Fage, solidement ancré sur les berges du ruisseau d'Arles, au cœur du Caroux. L'aventure a commencé dans les Pyrénées ariégeoises, à la rencontre d'un moulin similaire

entièrement restauré dix ans plus tôt par une équipe de bénévoles : le moulin de la Laurède, sur la commune de Burret. L'accueil enthousiaste des époux Denier et la mise en route du mécanisme par chaque futur charpentier ont fait mouche. Documentation technique en main, les élèves, impatients de se mettre à l'ouvrage, ont pu retrouver leur atelier et commencer aussitôt le

façonnage des différentes pièces d'un puzzle complexe. A chacun sa mission. Pour l'un la potence servant à soulever les lourdes meules en grès. Pour l'autre la trémie qui canalise le grain. L'archure qui retient la farine. Le sommier d'archure. Le traquet en forme de cheval. Et bien sûr la roue à godets horizontale, pièce maîtresse de la construction. « *De l'implication de*

chacun dépendra le résultat final, soulignait avec lucidité l'un des artisans ».

Après avoir pendant six mois préparé et assemblé minutieusement les pièces en atelier, les élèves se sont rendus à la Fage, au chevet du moulin. C'était aux derniers jours de l'hiver, un de ces hivers rudes dont sont familiers les monts de l'Espinouse. Si la neige, le froid et l'eau glacée de la rivière ont quelque peu compliqué le chantier, ils n'ont en rien entamé l'enthousiasme des bâtisseurs. Un feu de bois entretenu en permanence réchauffait les corps et les doigts engourdis.

Il fallut construire un ponton et détourner l'eau qui envahissait constamment la chambre des roues destinée à abriter le « moteur » du moulin. Il fallut pendant des heures et au marteau-piqueur y casser le rocher affleurant afin de loger la roue à godets. Il fallut, avec les moyens du bord, soulever les sept cents kilos de la meule tournante. Autant de défis relevés avec rigueur et ingéniosité.

Afin de mieux s'imprégner du lieu et de son histoire, les élèves ont pu pendant quelques heures découvrir la forêt des écrivains combattants où l'on célèbre les auteurs morts pendant les deux guerres mondiales : les plus célèbres (Charles Péguy, Alain-Fournier, Antoine de Saint-Exupéry...) comme les moins notoires, ceux qui « ont versé peu d'encre mais tout leur sang », pour citer Roland Dorgelès. Du haut du Caroux, le regard des élèves a plongé dans la vallée de l'Orb et jusqu'à la mer, embrassant sur quelques kilomètres des millions d'années d'une histoire géologique à rebondissement. Au milieu des bruyères, ils ont pu approcher les mouflons, emblèmes du Parc régional du Haut Languedoc.

Puis il fallut reprendre la tâche sous les encouragements de la population locale venue avec curiosité observer ces jeunes qui reconstruisaient leur moulin.

La fin de la semaine approchait, le chantier arrivait à son terme. On allait pouvoir goûter au fruit d'un semestre d'efforts et de persévérance. Aussitôt ouvert la trappe d'admission, l'eau jaillit, frappa avec fracas la roue à godets qui se mit en mouvement, entraînant



Pièce maîtresse du moulin : la roue à godet (photo André Théron)

l'arbre de transmission et avec lui, dans un bruit sourd, la meule tournante. On entendit alors le cliquetis du traquet cognant contre l'arbre. Le moulin reprenait vie après plus d'un siècle de silence et tournait déjà comme une horloge ! Derrière le sourire de chacun se lisait la fierté du travail accompli avec succès. On remisa les outils, on nettoya le gîte et l'on reprit le chemin du lycée. A chaque fois qu'ils leveront les yeux vers le Caroux, Emre, Elian, Elliott, Félix, Hulusi, Eliot, Boris et Rémy penseront sans doute que là-bas, dans la montagne, ils ont vécu une expérience unique dans leur formation et participé à la renaissance de notre patrimoine rural¹.

Bernard Azéma

Professeur technique de charpente
Lycée Fernand Léger de Bédarieux
bernard.azema@ac-montpellier.fr

Notes

1. Le moulin a été officiellement inauguré le samedi 22 juin 2013.

EN QUELQUES CHIFFRES...

2 enseignants

Bernard Azéma, professeur de charpente
Fabrice Delcourt, professeur et lettres et histoire

8 élèves

Emre Bingol, Elian Coé, Elliott Delaplace, Félix Deschard, Hulusi Karaer, Elliot Mas, Boris Rol, Rémy Saponaro

Des kilos de bois et d'acier

2 m³ de châtaignier pour la structure, de noyer pour les décors et de buis pour les pièces d'usure
100 kilos d'acier usiné (tiges filetées, platines, cerclages, moyeux...)

Une expérience technique unique

Travail de pièces de bois aux sections conséquentes
Travail du métal et de forge avec cerclage à chaud de pièces de bois
Travail de la pierre (découpage des roches affleurantes)

paroles d'élèves

Ma tâche en atelier a été de sculpter le traquet en forme de cheval. C'est une pièce qui tape continuellement sur le mât pour éviter que le grain ne se bloque dans l'auget et continue ainsi d'approvisionner les meules. Le bruit de percussion fait penser au trot du cheval, d'où la forme donnée à la pièce.

Pour sculpter, j'ai utilisé des outils anciens très tranchants comme la gouge, le burin et le fermail (sortes de ciseaux à bois). Cela demande beaucoup de patience, de persévérance et de minutie.

J'ai choisi le bois de noyer car c'est un bois facile à travailler et qui possède des qualités esthétiques. Le plus difficile, au cours des quatre semaines nécessaires pour réaliser cette pièce, aura été de sculpter les yeux et les naseaux de l'animal. Je suis fier d'avoir réussi ! Il ne reste plus qu'à fixer le traquet à l'auget...

Elian Coé

J'ai réalisé l'archure qui est une pièce circulaire placée autour des meules pour empêcher les grains broyés de s'éparpiller dans le moulin. J'ai utilisé pour cela des planches de châtaigner car c'est un bois qui résiste à l'humidité et aux insectes.

Après avoir découpé les planches à la bonne dimension, je les ai passées à la dégauchisseuse puis à la raboteuse et préparé les entailles de manière à les clipser entre-elles ultérieurement. Enfin, j'ai monté mes quarante-quatre planches dans un cerclage de fer auquel elles ont été fixées à l'aide de vis et d'écrous. Pour couvrir les meules, j'ai réalisé un couvercle en deux parties.

Ce travail a demandé de la patience et de la précision pour que toutes les planches puissent entrer dans le cerclage.

Elliot Mas

Nous avons réalisé la potence du moulin. C'est une pièce pivotante assez lourde que l'on place au-dessus des meules quand on veut les lever et les déposer pour les abraser afin qu'elles broient les grains plus efficacement. Elle est en châtaigner, un bois très dur et résistant.

Nous avons fait des assemblages par tenon (partie mâle) et mortaise (partie femelle) chevillés pour solidariser toutes les pièces de bois de la potence qui doit supporter de grands poids. C'est une technique ancienne qui demande de la patience et de la précision car le tenon doit s'emboîter parfaitement dans la mortaise

Hulusi Karaer et Emre Bingol

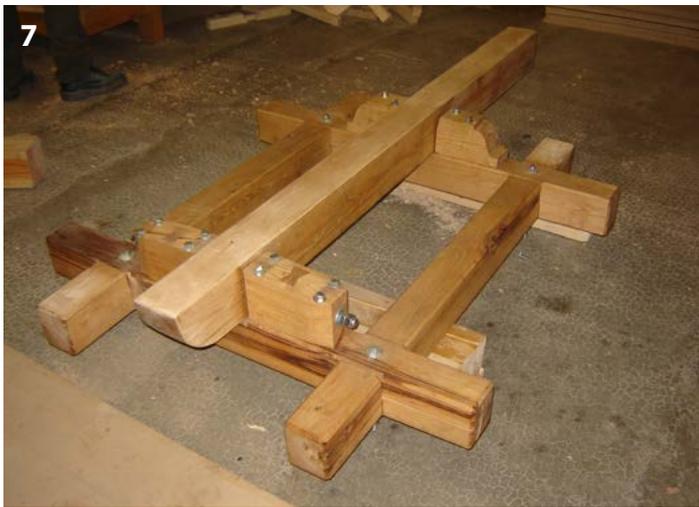
Il m'a été confié la tâche de réaliser la trémie, une pièce destinée à distribuer les grains dans l'auget qui les canalise ensuite au coeur des deux meules pour en faire de la farine.

Elle est assez complexe à effectuer à cause de sa forme pyramidale. Pour commencer, j'ai dû débiter des planches dans du bois de frêne choisi pour sa résistance à l'humidité, sa forte densité et sa qualité de finition. Une fois les planches regroupées, un travail de traçage des angles et des cotes relevés lors de la visite en Ariège a été nécessaire avant la coupe. Puis les planches ont été assemblées à l'aide de vis et de colle à bois et un ponçage a permis de donner un bel aspect à la finition.

Pour réaliser la trémie, il a fallu une bonne maîtrise des reports de traits, une vérification permanente des tracés avant la coupe et donc beaucoup de minutie.

Elliot Delaplace





1. Sculpture du traquet en forme de cheval
2. Archure et ses demi-couvercles venant habiller les meules
3. Réalisation de la potence
4. Réalisation de la trémie
5. Premiers essais de montage des éléments de la chambre des meules
6. Ensemble de la mécanique de la chambre des meules
7. Sommier du roudet (rodet ou rouet)
8. Premiers assemblages des cuillères dans le moyeu du roudet
9. Montage des moyeux sur la roue du roudet
10. Assemblage des pièces forgées sur la tête du mat du roudet
11. Installation des meules

(photos Bernard Azéma et Bridget Petit)

Il existe en Europe un potentiel hydroélectrique inexploité : des milliers d'anciens moulins à eau et de centrales hydroélectriques à l'arrêt. Leur remise en exploitation permettrait de produire de l'énergie renouvelable proche des lieux de consommation, générant ainsi des économies de réseau. C'est l'objectif que s'est fixé le projet RESTOR Hydro dans le cadre de la transition énergétique.

RESTOR Hydro

les moulins au service de la transition énergétique



Au premier plan : l'ancien moulin à blé de Roquebrun (photo Brigitte)

Le premier volume du cinquième et dernier rapport du Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) récemment paru affirme qu'il est « extrêmement probable que l'influence de l'homme est la cause principale du réchauffement climatique observé depuis la moitié du XX^e siècle ». L'humanité doit donc se lancer un défi sans précédent pour réduire

l'émission des gaz à effet de serre d'origine anthropique. Dans cette perspective, la Commission européenne vient de proposer que les vingt-huit Etats membres se fixent pour objectif de réduire de 40% ces émissions d'ici à 2030 par rapport à 1990. La proposition prévoit également que l'Union européenne pousse la part de l'énergie produite à partir d'énergies renouvelables à

27% en 2030 (14 % aujourd'hui). Six pays européens produisent actuellement plus de la moitié de leur électricité grâce à l'hydroélectricité (Norvège 95%, Islande 74%, Autriche 54%, Suisse 55%, Lettonie et Croatie 59%). En France, si elle représentait 56 % de l'électricité en 1960, elle n'en totalise plus que 13 % aujourd'hui. Ici, comme ailleurs en Europe, des milliers

QUATRE PILIERS

- ◆ Fournir de l'électricité aux communautés locales et au réseau européen d'une manière économiquement viable et favorable au développement durable,
- ◆ Sensibiliser l'opinion publique, l'hydroélectricité étant une énergie renouvelable sans effet néfaste sur l'environnement et un atout au bouquet énergétique,
- ◆ Démontrer les atouts de la petite hydroélectricité en tant que vecteur de revenus pour les communautés locales, tout en contribuant à l'indépendance énergétique et en sauvegardant le patrimoine historique,
- ◆ Contribuer à une production significative et stable d'énergie renouvelable dans toute l'Europe.

SEPT CRITÈRES D'IDENTIFICATION

- ◆ Un potentiel de production supérieur à 5 kW par site (au minimum une moyenne de 35 kW par coopérative),
- ◆ Une valeur patrimoniale et historique du site,
- ◆ Un projet pédagogique, culturel ou touristique,
- ◆ Un projet proche du réseau électrique (pour le raccordement),
- ◆ L'accord du propriétaire pour déléguer la gestion de l'équipement financé par la coopérative (le propriétaire sera indemnisé en nature ou en loyer, défini par les statuts de la coopérative),
- ◆ Un projet conforme avec la réglementation (zones protégées, preuve de propriété, bâtiments classés, droits d'eau, normes écologiques),
- ◆ Des sites hors zones d'étiages et d'inondations sévères.

DES BÉNÉFICES MULTIPLES

- ◆ Pour les propriétaires : financement de l'installation hydroélectrique par la coopérative, restauration et entretien du bâtiment, rémunération (loyer, électricité),
- ◆ Pour les communes : restauration du patrimoine local, production d'énergie renouvelable sans « projet monstre »,
- ◆ Pour le grand public : investissement et participation active à un projet local où 1 personne = 1 voix en assemblée générale ; retour sur investissement actuellement fixé à 2.6 % d'intérêt,
- ◆ Equipements robustes, obligation de rachat de l'électricité par ERDF (20 ans).



Turbine de l'ancienne usine textile Le Martinet à Saint-Pons-de-Thomières (photo Bridget Petit)

de sites présentent pourtant un potentiel de production hydroélectrique non négligeable, qu'il s'agisse d'anciens moulins à eau ou de centrales hydroélectriques à l'arrêt. En 1899, le service national des statistiques recensait 50 474 ouvrages hydrauliques usiniers en France.

Financé par l'Intelligent Energy Europe dans le cadre de la transition énergétique, le projet RESTOR Hydro (Renewable Energy Sources Transforming Our Regions) s'est donné pour objectif l'inventaire des sites les plus propices et la recherche des investissements nécessaires à leur restauration au travers de sociétés coopératives d'intérêt collectif (SCIC). Ces réhabilitations doivent prendre en compte les données écologiques, économiques et sociales de chaque lieu dans une perspective de développement durable. Des outils méthodologiques et techniques ainsi qu'une cartographie interactive des sites à potentiel de production

(50 000 en Europe dont 7 000 en France) sont progressivement mis en ligne, destinés à guider pas à pas les porteurs de projets.

Parmi les onze pays partenaires, huit ont été sélectionnés pour la mise en oeuvre de projets pilotes utilisant des fonds structurels, des investissements locaux et des financements conventionnels.

France Hydro Electricité et la Fédération des Moulins de France assurent le pilotage pour notre pays. Les trois sites pilotes pressentis se trouvent dans le périmètre du Parc naturel régional du Haut-Languedoc et sont sur le point de créer leur coopérative. Croisons les doigts pour que ce projet se concrétise qui ferait du département de l'Hérault le pionnier de RESTOR Hydro en France, dans une dynamique économiquement et écologiquement viable.

Bridget Petit
Chargée de mission RESTOR Hydro
restor.fr@gmail.com
www.restor-hydro.eu/fr/

Albums, petites histoires et manuels d'expériences : depuis quelques années le développement durable fleurit au rayon des livres jeunesse. Qu'il s'agisse de protection de la biodiversité, de tri sélectif des déchets, de gestion de l'eau ou... de maîtrise des énergies, les thèmes environnementaux se sont imposés chez les éditeurs.

au rayon des livres jeunesse l'énergie expliquée aux enfants

La thématique de l'énergie est réservée au cycle 3 dans les programmes d'enseignement de l'école primaire et de nombreux ouvrages pour la jeunesse traitant de ce sujet s'adressent à des enfants de 8 à 11 ans. En voici une sélection « coup de cœur ».

Je comprends et j'économise l'énergie et *J'éteins la lumière pour économiser l'énergie* interrogent les enfants sur nos besoins en énergie, la distinction entre énergies fossiles et énergies renouvelables, le caractère épuisable des premières, afin, de manière ludique, de susciter des comportements économes en énergie. La préservation de l'environnement est à ce prix !

J'économise l'énergie peut être utilisé en classe car les illustrations sont grandes et les textes courts. Mais les propos sont un peu fouillis et nécessitent l'étayage de l'adulte afin que l'élève puisse vraiment organiser les différentes informations. *J'éteins la lumière* rend l'enfant acteur de la réflexion. Il doit chercher à répondre à des questions sur les énergies en s'appuyant sur les illustrations. La démarche est intéressante mais plus facilement exploitable en relation duelle ou en petit groupe en raison de la taille réduite des dessins.

Pour les plus grands (à partir de 9

ans), *Fisie Ka* part à la découverte des énergies renouvelables car, panique dans son village, toutes les réserves énergétiques vont bientôt être épuisées. Ecrit par une jeune physicienne, Blandine Pluchet, le roman se lit avec plaisir et aborde sources, besoins, consommation et économie d'énergie.

Les éditions Le pommier se sont spécialisées dans les ouvrages jeunesse axés sur la découverte du monde. Ils sont à l'origine de la précieuse collection des « Minipommes » destinée au cycle 3 et enrichie d'un fichier pédagogique pour les enseignants. *La radioactivité* et *Le pétrole* proposent des histoires extrêmement riches en informations et en vocabulaire et orientent aussi le lecteur vers d'autres ouvrages et des sites internet destinés aux plus jeunes¹.

D'autres albums, s'ils n'entrent pas toujours directement dans le cœur du problème, sont parfois plus drôles, plus poétiques et peuvent amener une réflexion tout aussi intéressante chez l'enfant lorsqu'elle est guidée par l'adulte. On aura facilement un petit coup de cœur pour *Uik, le cochon électrique*. Après avoir été touché par la foudre, ce pauvre Uik devient

électrique et toute la famille du fermier abuse de ses nouveaux talents. Voici un bien joli conte pour aborder en douceur l'utilisation abusive de l'électricité...

C'est dans le même état d'esprit que se trouve *Mouton 56*, le 56^{ème} des 130 bêtes du troupeau de



Voyage à Poubelle-Plage, montage de Bernard Jeunet (Seuil jeunesse, 2006)

Liam. Après s'être approché trop près de la clôture électrique, il reçoit une décharge et se met à parler des temps très anciens où la civilisation « mouton » peuplait la terre. L'explosion de la plus grosse centrale « moucléaire » faillit bien la rayer de la carte mais les rares survivants décidèrent de prendre leur avenir en main en fondant le G.R.N., le Grand Retour à la Nature. Moins séduisante que l'histoire de Uik, l'album propose une entrée pour aborder l'énergie nucléaire et ses limites.

Même si elle ne concerne pas directement les problèmes d'énergie, l'histoire de *La marchande de vent* est incontournable. Madame Ali-zée, qui ne pousse pas à la consommation, vend à chacun le vent dont il a besoin. Un vent indispensable au bateau de pêche d'Oreste, au cerf-volant du petit garçon, à la montgolfière de Monsieur Jean et... à ses mots d'amour !

Pour finir cette promenade au pays du livre jeunesse, voici deux ouvrages qui permettront de parler avec les enfants de cette difficile notion de développement durable ; *Alerte à la marée noire* et *Voyage à Poubelle-Plage*.

Le premier traite de manière romancée du naufrage du pétrolier Erika en 1999 et de ses conséquences sur l'environnement. Le second est un très bel album écrit en vers et aux illustrations saisissantes. Il parle « aux enfants de tous âges », et tout en rimes en « age », de la pollution qu'entraînent certaines activités humaines :

A Poubelle-Plage...

Ramassons les trucs hors d'usage
Le mazout gluant qui surnage
Les boulettes noires du dégazage.

Vrai visage... sans bagage...

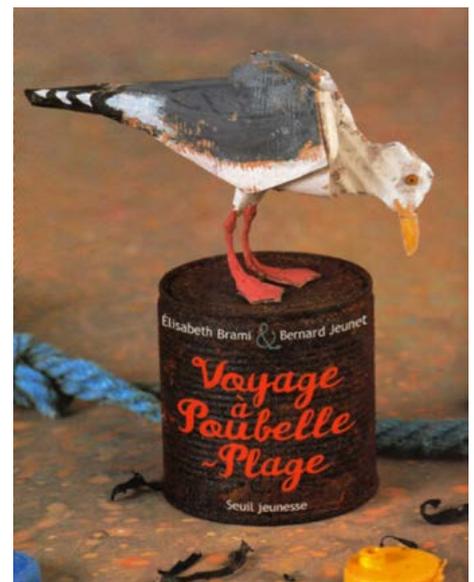
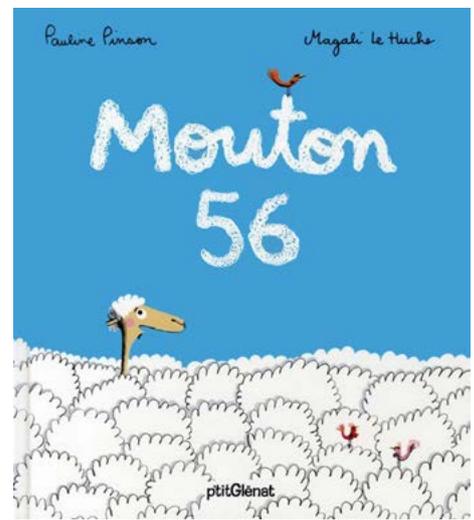
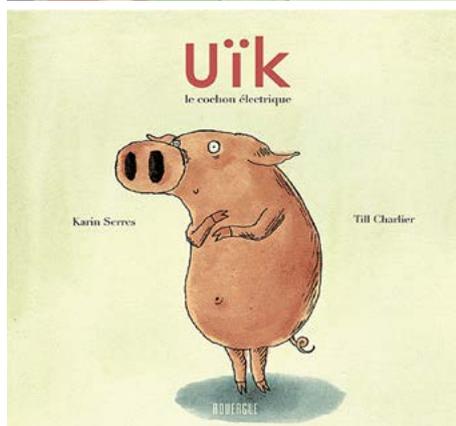
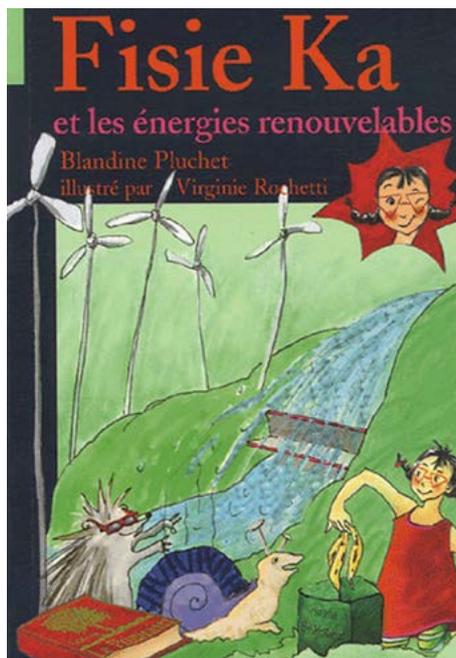
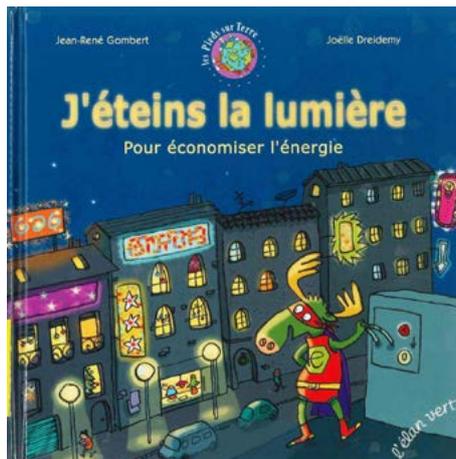
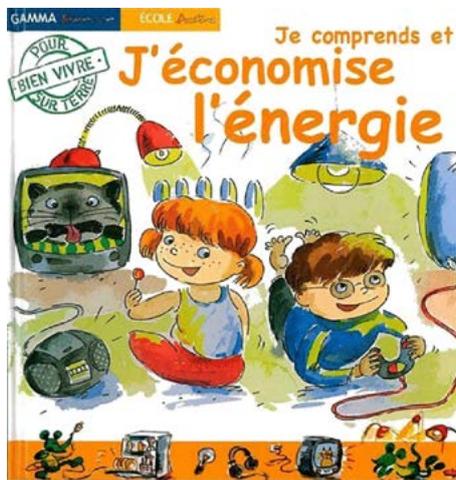
Quel avantage ? Qui s'engage ? »

Alliant la poésie des textes d'Élisabeth Brami aux ingénieux montages en papier sculpté et objets de récupération de Bernard Jeunet, cet album est un véritable plaidoyer pour la protection de la planète.

Céline Désormeaux
 Professeur des écoles maître formateur
 celine.desormeaux@ac-montpellier.fr

Notes

1. <http://www.cea.fr/jeunes>
<http://www.planete-energies.com>



NEVEU, Denise, MAYOROVA, Larissa (ill.), *Je comprends et j'économise l'énergie*, Gamma jeunesse, Paris 2009.

GOMBERT, Jean-René, DREIDEMY, Joëlle (ill.), *J'éteins la lumière pour économiser l'énergie*, L'Élan vert, Paris 2006.

PLUCHET, Blandine, ROCHETTI, Virginie (ill.), *Fisie Ka et les énergies renouvelables*, Le Pommier, Paris 2006.

BOUQUET, Alain, CHEBRET, Sébastien (ill.), *La radioactivité*, Le Pommier, Paris 2008.

CAUVIN, Sylvie, LEROUVILLOIS, Gilles (ill.), *Le pétrole de ses origines à son utilisation*, Le Pommier, Paris 2010.

SERRES, Karin, CHARLIER, Till (ill.), *Uik le cochon électrique*, Rouergue, Rodez 2011.

PINSON, Pauline, LE HUCHE, Magali (ill.), *Mouton 56*, P'tit Glénat, Grenoble 2010.

DE LESTRADE, Agnès, BOILLAT, Joanna (ill.), *La marchande de vent*, Motus, Querqueville 2006.

DALADIER, Nathalie, MAUREL, Gilbert (ill.), *Alerte à la marée noire*, Gallimard Jeunesse, Paris 2000.

BRAMI, Elisabeth, QUÉMÉRÉ, Sybille, QUÉMÉRÉ, Hervé et JEUNET, Bernard (ill.), *Voyage à Poubelle-Plage*, Seuil jeunesse, Paris 2006

Initiés en 2001 par l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME), les Espaces INFO ENERGIE ont pour mission d'informer le grand public, gratuitement et de manière objective, sur l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables. Leur action contribue à atteindre les objectifs français en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Les Espaces Info Energie un réseau de spécialistes

LE RÉSEAU
INFO → **ÉNERGIE**
en LANGUEDOC
ROUSSILLON



Un geste simple pour alléger sa facture d'électricité

Comment isoler mon logement ? Quel est le meilleur chauffage ? Combien consomme ma télévision lorsqu'elle est en veille ? Mon réfrigérateur est-il économe ? Comment recourir aux énergies renouvelables ? Comment financer mon projet ? Les questions fusent lorsque l'on aborde les problèmes liés à la maîtrise de l'énergie dans l'habitat. Des questions auxquelles

les experts des 250 Espaces Info Energie (EIE) de France ont pour mission de répondre en proposant gratuitement aux particuliers des conseils objectifs et des solutions concrètes pour mieux maîtriser les consommations d'énergie (chauffage, isolation, éclairage...) et recourir davantage aux énergies renouvelables (solaire, géothermique, éolienne, biomasse...).

La panoplie des missions dévolues aux conseillers dépasse ce simple niveau de questions-réponses. La réalisation d'évaluations simplifiées de la consommation énergétique dans l'habitat, la mise en place de visites de sites exemplaires en utilisation d'énergies renouvelables et de techniques d'écoconstruction, la mise à disposition de kits de mesure (wattmètre et

débitmètre) facilitent aussi le passage à l'acte. Car c'est bien l'efficacité dans les changements de comportement que visent les Espaces Info Energie.

Pour créer l'émulation, ils ont lancé en 2008 les défis « Familles à Énergie Positive » (FAEP). L'objectif est simple : démontrer que tous ensemble il est possible de lutter efficacement contre les émissions de gaz à effet de serre en participant à une action concrète, mesurable, et conviviale tout en réduisant ses factures d'énergie. Chaque année, à travers la France, des familles réunies en équipes s'affrontent en toute convivialité dans le but d'alléger d'au moins 8 % le budget énergie de la maison. Soutenues et guidées par les conseillers des Espaces Info Energie, ces équipes voient souvent leurs espérances initiales largement dépassées.

Les EIE s'impliquent aussi dans des missions de sensibilisation du jeune public au travers d'animations spécifiques, d'expositions et en développant des outils de sensibilisation. Ils relayent enfin sur le terrain et auprès des collectivités partenaires les campagnes d'information initiées au niveau national par l'ADEME et le Ministère du Développement durable.

Que vous soyez un particulier, une entreprise, un enseignant, les raisons ne manquent donc pas pour pousser la porte de l'un des quatre Espaces Info Energie du département de l'Hérault et vous lancer sur la piste des économies d'énergie. Leurs actions, gratuites, sont financées par les collectivités locales impliquées, le Conseil Général, l'ADEME et les fonds européens FEDER

Nicolas Cattin
Chargé de Mission Grand Public
Agence Locale de l'Énergie Montpellier
nicolas.cattin@ale-montpellier.org

Sitographie

Réseau Info Energie en Languedoc
www.infoenergie-lr.org/

Agence Locale de l'Énergie de Montpellier
www.ale-montpellier.org

Défi « Familles à Énergie positive »
www.herault.familles-a-energie-positive.fr



ESPACE INFO→ÉNERGIE de l'Agence Locale de l'Énergie

Montpellier - 2, place Paul Bec
Tél. 04 67 91 96 91 - eie@ale-montpellier.org
Permanences : du mardi au vendredi de 13h à 17h.



ESPACE INFO→ÉNERGIE du Gefosat

Montpellier - 11 ter, avenue Lepic
Tél. 04 67 13 80 94 - eie@gefosat.org
Permanences : du lundi au vendredi de 9h à 13h.
Permanences sur RDV à Saint-André-de-Sangonis, Lunel, Frontignan, Balaruc-les-Bains, Sète, Mauguio et la Grande-Motte.



ESPACE INFO→ÉNERGIE du Pays Haut Languedoc et Vignobles

Bédarieux - Ecoparc Phoros, route de Saint-Pons
Tél. 04 67 95 72 21 - eie@payshlv.com
Permanences en alternance : à Bédarieux et uniquement sur RDV à Saint-Pons et Saint-Chinian.



ESPACE INFO→ÉNERGIE de la Ville de Béziers et du Grand Biterrois

Béziers - avenue de la Marne, Caserne Saint-Jacques
Tél. 04 67 36 80 77 - info.energie@ville-beziers.fr
Permanences : le mercredi et le jeudi de 9h à 12h et de 14h à 17h, mardi sur RDV.

Marcher, courir, voler, muer, se réchauffer, chaque action de la vie d'un oiseau s'accompagne d'une dépense d'énergie dont la source presque exclusive est l'alimentation. La migration, notamment, est un moment d'intense dépense énergétique et toutes les stratégies sont bonnes pour réussir ce marathon.



Les oiseaux de l'énergie sur pattes



Tadornes de Belon à la Crique de l'Angle, extrémité nord de l'étang de Thau (photo Micheline Blavier, LPO 34, printemps 2009)

Tous les animaux ont besoin d'énergie pour se maintenir en vie. Chez les oiseaux, elle provient presque exclusivement des aliments consommés. Cette énergie est nécessaire pour maintenir leur température interne (ce sont des animaux endothermes*) et pour assurer l'entretien de leur organisme : les cellules

doivent recevoir des nutriments et les cellules mortes doivent être remplacées.

Ces processus, permanents, sont plus intenses à certaines périodes : pendant la transformation des aliments (digestion), durant la mue où les nouvelles plumes grandissent, pendant la croissance chez les jeunes comme chez les adultes

dont les organes sexuels changent de volume au cours de l'année (la production des œufs entre dans ce domaine), pendant la locomotion, notamment durant le vol qui entraîne de grosses dépenses énergétiques.

Plusieurs facteurs influent sur la quantité d'énergie requise : taille, température ambiante, activité...

Une histoire de proportions

Les pertes caloriques sont inversement proportionnelles à la taille de l'oiseau. Un Roitelet à triple bandeau ou une Cisticole des joncs pèsent environ 6 g, une Mésange à longue queue 8 g, un Troglodyte mignon moins de 10 g : ces petits oiseaux peuvent avoir des difficultés à conserver leur chaleur la nuit.

Drames en hiver

Un oiseau perd plus facilement sa chaleur s'il fait froid. Les basses températures hivernales ont de graves conséquences pour les petits oiseaux. Chez les espèces mentionnées ci-dessus, la température interne est légèrement supérieure à 40°. Pour la maintenir par une froide nuit d'hiver, il faut une quantité d'énergie considérable. Ainsi, au milieu de l'hiver, les petits oiseaux passent toute la journée à se nourrir et de façon encore plus intense avant d'aller dormir afin de constituer la réserve de graisse nécessaire.

Malgré cette stratégie, nombreux sont ceux qui meurent en une nuit lors d'une intense vague de froid car ils épuisent leurs réserves énergétiques pour essayer de maintenir leur température interne. Leur survie dépend alors en grande partie des qualités isolantes de leur plumage. Les hivers rigoureux de

1984-1985 et 1986-1987 éliminèrent les populations de Cisticole des joncs de nombreuses régions et même de la côte languedocienne (où elle est, grâce à sa grande faculté de reconquête, à nouveau présente en nombre).

Certaines espèces essaient de réduire leurs pertes caloriques en passant la nuit dans une cavité où l'air se réchauffe un peu, tel le Troglodyte mignon, ou, pour se protéger du vent, en creusant un abri dans la neige comme le Lagopède alpin. D'autres espèces choisissent de dormir ensemble telles les Mésanges à longue queue qui passent la nuit serrées les unes contre les autres et qui d'ailleurs se déplacent en groupe tout l'hiver.

Le plein d'énergie

La marche et la course augmentent la consommation énergétique mais c'est sans conteste le vol qui exige le plus de calories, environ dix fois plus que lorsque l'oiseau est au repos.

Ce n'est probablement pas par hasard si la plupart des activités dévoreuses d'énergie ne sont pas concentrées à la même période mais réparties tout au long de l'année. Ainsi, la majorité des oiseaux ne muent pas pendant la saison de reproduction mais après l'élevage des jeunes.

L'usure et la décoloration des plumes ainsi que les changements de couleur pour acquérir par exemple les parures nuptiales rendent nécessaire leur remplacement. La mue a lieu quand la nourriture est abondante car les oiseaux ont alors besoin d'un supplément d'énergie (+25% environ par exemple chez le Pinson des arbres et le Bruant ortolan) et volent moins bien d'où aussi une dépense énergétique supplémentaire. Les canards qui perdent toutes leurs plumes de vol presque simultanément sont même incapables de voler durant près d'un mois. Certains, comme les Tadornes de Belon, nicheurs nombreux sur les lagunes du littoral languedocien, convergent alors par milliers, après l'élevage de leurs petits, vers les immenses vasières de la mer des Wadden, en Allemagne, pour muer en toute sécurité, assurés de profiter d'une nourriture abondante, en l'occurrence un petit Gastéropode. Quand arrive la saison de reproduction, les organes sexuels entrent en activité et grossissent (leur volume est très faible en hiver). Aussi bien chez les mâles que chez les femelles cette transformation exige plusieurs semaines mais ne semble pas entraîner un accroissement supérieur à 2% des besoins énergétiques quotidiens. Toutefois, cette transformation n'est pas également répartie dans le temps et, à certains moments, la dépense sera de 10% supérieure à la normale (chez la femelle de l'Hirondelle de rivage par exemple). La femelle a besoin d'une plus grande énergie à l'époque de la formation des œufs. L'augmentation va par exemple de 80% chez le Goéland argenté et 55% chez l'Étourneau à 25% chez le Pigeon biset. On comprend facilement que les adultes ont besoin de grandes quantités d'énergie supplémentaire quand les jeunes sont nés puisqu'ils doivent non seulement se nourrir mais aussi nourrir leurs petits. Ce surcroît d'activité peut multiplier par 3, 4 voire 5 la consommation normale d'énergie, selon les espèces, l'importance des nichées, la rapidité de croissance des jeunes, etc.

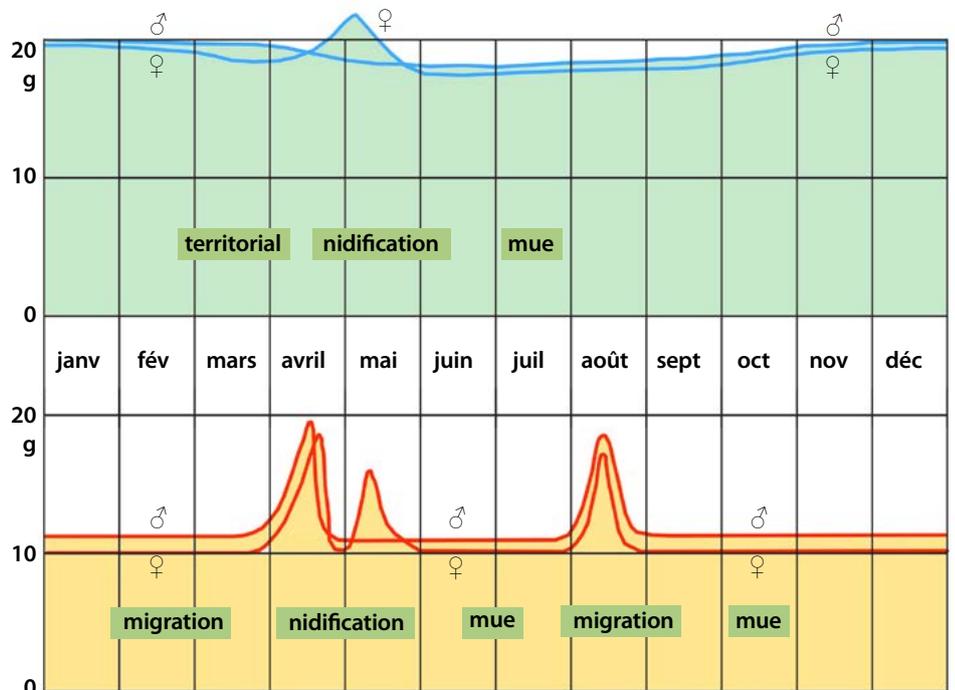
Troglodyte mignon (photo Virginie Lopes, LPO 34)



Vers d'autres cieux

La faculté de voler permet aux oiseaux de parcourir de grandes distances en peu de temps au-dessus des terres et des mers ; grâce à elle ils peuvent se rendre dans les lieux où la nourriture abonde à certaines saisons et les quitter quand elle se raréfie ou devient inaccessible. Ce n'est pas pour fuir le froid que les oiseaux migrent : ils migrent entre différents environnements dans lesquels il leur est possible de trouver des refuges, des sites de nidification et surtout de la nourriture. Or, dans les régions boréales, comme dans toutes celles présentant une alternance de saisons, la forte croissance végétale associée à l'émergence des insectes en début d'été engendrent une forte densité et une grande variété de ressources alimentaires. Pour gagner ces régions, plus ou moins éloignées, tout vol, lent ou rapide, demande un effort soutenu et donc des réserves énergétiques importantes. Le vol migratoire s'apparente souvent à un vrai marathon et, tout comme les athlètes, les oiseaux s'y préparent. Ils doivent disposer de réserves de « carburant » sous forme de graisse. Celle-ci est en effet une meilleure source d'énergie que les protéines et les hydrates de carbone. En outre, son

Gobemouche noir en halte migratoire
(photo Micheline Blavier, LPO 34)



Cycle énergétique annuel de deux espèces
Les variations du poids d'un oiseau renseignent sur la quantité d'énergie dont il a besoin au fil des saisons. Ces graphiques montrent que la Mésange charbonnière (ligne bleue) grossit pour résister au froid hivernal et que la femelle mange plus quand elle va pondre. Le Phragmatique des joncs (ligne rouge) double de poids avant de migrer. (C. Collins, Les Oiseaux d'Europe, Delachaux & Niestlé, 1987)

utilisation par l'organisme dégage une certaine quantité d'eau très utile pour un oiseau qui reste parfois en vol pendant deux à trois jours à grande altitude sans possibilité de boire (l'eau présente dans les crottes étant réabsorbée avant la défécation et recyclée). Avant leur départ ils font donc « le plein ». Certaines espèces vont jusqu'à doubler leur poids avant de grandes étapes. La Fauvette babillarde qui pèse généralement 10 g peut atteindre 18 g avant son départ en migration, la Fauvette des jardins, avant de traverser le Sahara, peut atteindre 37 g alors qu'elle n'en pèse habituellement que 18. Toutefois, chaque espèce se doit de trouver un équilibre entre sa corpulence, sa surface alaire, son type de vol, la durée de ses étapes, de manière à ce que ce gain de poids ne fasse pas perdre plus d'énergie qu'il n'est sensé en faire gagner. Ainsi, en moyenne, les limicoles* gagnent 60 % de leur masse initiale, les passereaux* migrateurs au long cours 50 %, les passereaux migrateurs courte distance 25 %, les rapaces 10 %. Chez tous les migrateurs, cette hyperphagie* s'accompagne de transformations, plus ou moins importantes selon les espèces, des organes digestifs : l'intestin s'étend

et devient plus volumineux, le foie s'accroît, en un ou deux jours chez les petits passereaux avant de très grandes étapes, en sept jours chez les oiseaux de taille supérieure comme les limicoles et les Anatidés. Puis l'intestin s'atrophie avant le départ.

Stratégies de halte

Des cigognes qui s'arrêtent tous les jours pour se nourrir, n'accumulant presque pas de réserves, aux Barges rousses effectuant toute leur migration sans une seule halte, en passant par les passereaux migrateurs au long cours parcourant des étapes d'une dizaine d'heures de vol en moyenne et reconstituant leurs réserves plusieurs jours entre chacune d'elles, et les cygnes et les oies adeptes de longues étapes entrecoupées de plusieurs jours à plusieurs semaines, les espèces organisent leur temps de vol et de récupération de mille manières possibles. La durée de halte varie aussi selon les conditions météorologiques (le mauvais temps, un vent contraire empêchant le vol, un vent favorable), la condition physique initiale de l'oiseau, son âge - un jeune ayant tendance à stationner plus longtemps -, la qualité du milieu, le but de la halte étant la récupération et



Vol migratoire pré-nuptial de Grues cendrées, dans le centre de la France (photo Micheline Blavier, LPO 34, février 2009)

la constitution rapide de nouvelles réserves énergétiques.

Un autre facteur important intervient : plus les dépenses énergétiques occasionnées durant le vol seront faibles, plus le temps passé à les reconstituer le sera. Les oiseaux migrateurs doivent composer avec cette source d'énergie : le vent. Beaucoup profitent des vents portants, le gain de vitesse étant en moyenne de 30 %, allant même jusqu'à 100 % ! Ainsi, pour traverser le Sahara en volant à une vitesse de 41 km/h, une fauvette parcourt 410 km en dix heures ; par vent arrière de 9 km/h, elle parcourt 515 km dans le même laps de temps, contre 320 km par vent de face de même force.

Certaines espèces ont adopté une autre technique pour économiser leur énergie lors de leurs vols migratoires. Les Anatidés*, les cormorans, les limicoles, les Laridés*, les grues volent en formation prenant généralement la forme d'un « V », d'une ligne ou d'un « échelon » (ligne au sein de laquelle chaque oiseau est un petit peu plus haut ou plus bas que le précédent). Chaque

oiseau gagne ainsi de l'énergie en profitant de la poussée d'air provoquée par l'oiseau le précédant. La « tête de file » dépensant plus d'énergie, elle est fréquemment remplacée. Ce gain d'énergie peut aller jusqu'à 10 % pour un vol d'Oies cendrées par exemple (vitesse de croisière 68 km/h).

Quant aux oiseaux marins, lesquels sont très dépendants des vents, ils orientent leur route migratoire de façon à profiter de l'assistance des vents. Les Puffins fuligineux de l'océan Pacifique nichant en Nouvelle-Zélande quittent leurs colonies en avril vers l'est, portés par les vents d'ouest, et parcourent plus de 500 km par jour, gagnant pour certains les côtes sud-américaines. Ils mettent ensuite le cap vers le nord-ouest en utilisant les vents du sud-est, et parcourent plus de 900 km par jour jusqu'à leurs sites d'hivernage du Pacifique Nord. Au retour, ils sont portés par les vents dominants, au rythme de 800 km par jour. Cet aller-retour de 70 000 km pour certains constitue le record de distance parmi les migrateurs.

En vol plané

Les rapaces, les cigognes, oiseaux de grande taille, adoptent quant à eux une technique de vol particulière, différente du vol battu, et très économe en énergie, le vol plané. Se laissant porter en altitude par les courants ascendants thermiques, ils planent puis, toujours en planant, glissent en perdant progressivement de l'altitude jusqu'à l'ascendance suivante, limitant ainsi au maximum les battements d'ailes. Les colonnes d'air chaud étant abondantes et puissantes en fin de matinée lorsque le soleil a réchauffé la terre et l'air (vitesse d'ascension le plus souvent de 1 à 5 m par seconde), c'est en fin de matinée et en milieu de journée que l'activité des planeurs, vautours mais aussi Grands corbeaux, Chocards... est la plus intense. Les migrateurs, rapaces, cigognes... les utilisent en migration, suivant alors des itinéraires précis qui évitent les traversées marines, les ascendances thermiques étant absentes des ciels marins. Pour se rendre en Afrique, les oiseaux d'Europe empruntent ainsi les

deux points de passage marins les plus courts, les détroits de Gibraltar et du Bosphore.

Mais comment ces oiseaux peuvent-ils supporter les conditions de vol en altitude, en particulier le manque d'oxygène ? Grâce, entre autres adaptations, à leur appareil respiratoire beaucoup plus performant que celui des mammifères, qui permet de renouveler l'air à chaque inspiration et d'absorber l'oxygène plus efficacement. C'est ainsi que les migrants ont la capacité de voler, selon les espèces, à 1 000 m pour franchir les cols, entre 2 000 et 4 000 m

au-dessus du Sahara, voire au-delà de 4000 m lors des traversées marines, même au-delà de 8000 m pour les Oies à tête barrée qui franchissent l'Himalaya à la hauteur du mont Everest !

Certains oiseaux pélagiques*, notamment les puffins, sont d'admirables voiliers capables de profiter de l'énergie développée par le mouvement de l'air repoussé vers le haut par les vagues pour planer de longues heures sans effort apparent. Dans l'hémisphère sud, les albatros sont passés maîtres dans l'art d'utiliser les différences de vitesse du vent à proximité de

la surface de l'eau. Montant et descendant avec le mouvement des vagues, ils donnent une impression extraordinaire de légèreté et de facilité.

Des oiseaux en péril ?

Qu'il pèse 6 g ou 11 kg, qu'il vive près de nous toute l'année ou qu'il parcoure plusieurs milliers de kilomètres, bravant tous les dangers, pour se nourrir et perpétuer l'espèce, on ne peut qu'être émerveillé par les facultés d'adaptation de l'oiseau à son environnement, acquises au fil des millénaires. En de nombreuses régions du monde, en quelques décennies, l'Homme a modifié les milieux, les insectes disparaissent, les haies fournisseuses de baies l'hiver sont arrachées, les zones humides - lagunes, marais, vasières...- rétrécissent comme peau de chagrin. De la qualité en ressources nourricières des sites de nidification, des sites de mue et des haltes migratoires, dépend la bonne santé des populations avifaunistiques. Les phénomènes climatiques, sécheresse, vagues de froid, tempêtes successives, tuent des milliers d'oiseaux épuisés. Les oiseaux auront-ils le temps de s'adapter à de si rapides changements ?

Micheline Blavier

Vice-présidente de la LPO Hérault
lombrette@gmail.com

Lexique

anatidés : famille d'oiseaux, ansériformes, palmipèdes, dont le type principal est le canard

endotherme : se dit des animaux capables de produire de la chaleur interne

hyperphagie : tendance à s'alimenter de manière anormalement importante

laridés : famille des mouettes et des goélands

limicole : petit échassier appartenant à l'ordre des Charadriiformes, plus précisément au sous-ordre des Charadrii

passereaux : plus grand ordre de la classe des oiseaux (regroupe plus de la moitié des espèces) ; ont comme caractéristiques, outre leur taille réduite, d'être arboricoles, d'avoir un petit bec, un dimorphisme sexuel assez marqué et une grande aptitude pour le chant

pélagique : qui vit dans la haute mer

Pour poursuivre la migration

ZUCCA, Maxime, *La migration des oiseaux : comprendre les voyageurs du ciel*, Editions Sud-Ouest, Bordeaux 2010

Verdier d'Europe par un matin d'hiver (photo Micheline Blavier, LPO 34)

