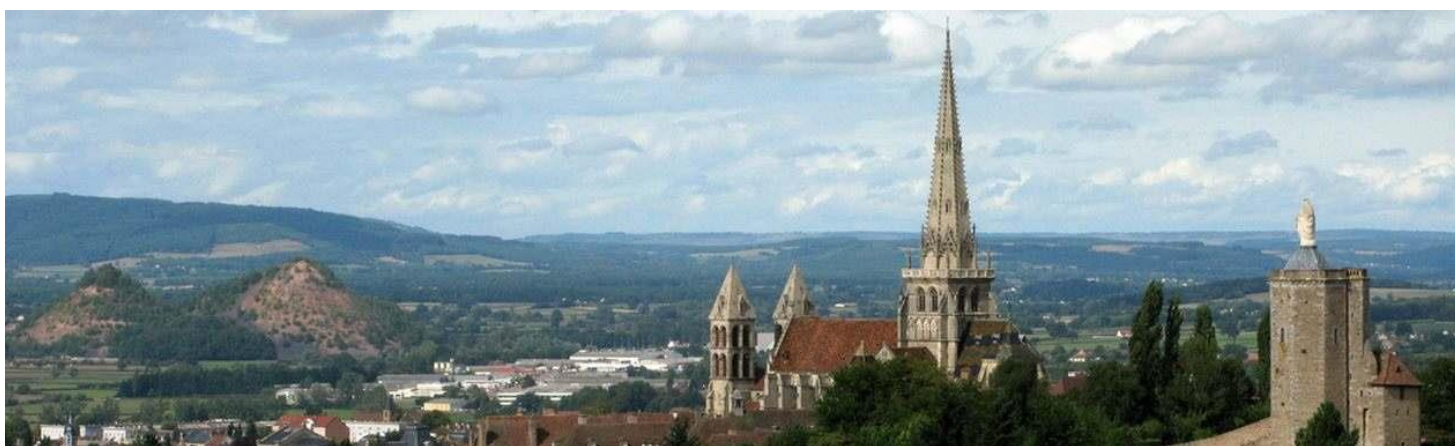


AUTUN ET SON BASSIN DE SCHISTES BITUMINEUX

Denise Géliot, membre de la SAGA.



*Figure 1. Vue panoramique du bassin de schistes bitumineux depuis Autun.
Au premier plan, la cathédrale Saint-Lazare.
Sur la gauche, les deux terrils des Télots (photo Internet).*

La ville d'Autun est l'une des voies d'accès au Parc naturel régional du Morvan. Elle est distante de 40 km du mont Beuvray et de l'oppidum de Bibracte, la capitale des Éduens avant la conquête romaine.

L'empereur Auguste, au tout début de notre ère, soucieux d'ouvrir des voies d'accès faciles dans la Gaule nouvellement conquise, décide d'installer la capitale des Éduens sur la grande voie romaine reliant Lyon à Boulogne-sur-Mer, la voie Agrippa. La capitale portera son nom, *Augustodunum* (figure 2).

Durant la *Pax Romana* qui met fin aux guerres civiles, *Augustodunum* deviendra vite une prospère cité commerciale.

Bâtie sur le modèle des villes romaines, Autun garde de nombreuses traces de son passé. Elle est entourée d'un rempart de six kilomètres de long, percé de portes monumentales, dont la porte d'Arroux donnant accès à la voie Agrippa, la porte Saint-André point de départ vers Langres et Besançon, et le théâtre dont il reste quelques traces et qui pouvait contenir jusqu'à 1 500 spectateurs.

Située en bordure du bassin côté est, Autun est adossée à des collines, reliquat de la chaîne hercynienne. Le ru de Brisecou le bien nommé dévale parmi les blocs de roches granitiques à deux micas, le granite de Mesvres, avant de rejoindre l'Arroux. Depuis la Promenade des Marbres, en haut de la ville, on aperçoit la silhouette des deux terrils des Télots (figure1), témoins vigilants de l'exploitation des schistes bitumineux.

Situation régionale de la ville d'Autun, par la route : au nord-est, Dijon est à 86 km, à l'est, Beaune est à 49 km, au sud, Châlon-sur-Saône à 67 km, au nord, Semur-en-Auxois à 70 km, et Vézelay à 95 km, et à l'ouest, Nevers à 102 km.

L'exposé qui va suivre sera divisé en trois parties.

- I. Histoire géologique.
- II. Les schistes bitumineux : dépôts, formation et exploitation industrielle.
- III. Intérêt paléontologique et archéologique de l'Autunien. Conclusion.

Cascade de Brisecou Théâtre romain Porte d'Arroux, vers les Télots

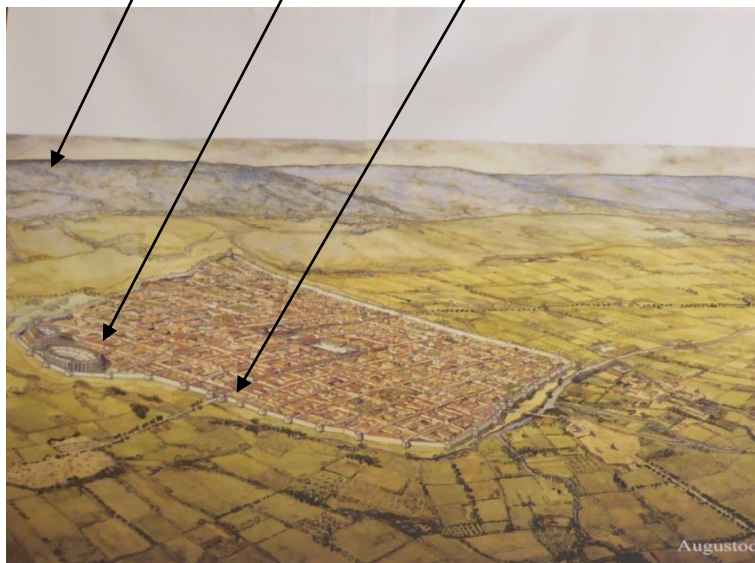


Figure 2. Plan d'Augustodunum déposé au musée Rolin d'Autun.

I - Histoire géologique

Aspect actuel

Le bassin d'Autun (figure 3, d'une superficie de 25 km², présente une forme en amande large de 25 km d'est en ouest, entre Épinac et Monthelon, et de 12 km du nord au sud, d'Igornay à Autun. Son alti-

tude est comprise entre 290 et 460 mètres, en contraste avec le socle morvandiau qui l'entoure où les hauteurs atteignent 800 m à l'ouest, au mont Beuvray, et 668 m à l'est, sur le plateau d'Antully. Limité côté sud par le socle granitique d'âge westphalien, il est bordé au nord et à l'ouest par les tufs rhyolitiques du Carbonifère inférieur ; à l'est, les granites et rhyolites du socle sont recouverts partiellement par les sédiments mésozoïques.

Signalons, à Autun, l'utilisation du calcaire à Gryphées du Sinémurien, par exemple pour les degrés du porche de la cathédrale Saint-Lazare ou encore l'escalier intérieur du Muséum d'histoire naturelle.

Le bassin est parcouru du nord au sud par la rivière l'Arroux et ses affluents : en rive gauche la Drée, la Canche et le Mesvrin, et en rive droite la Celle, le Ternn et le Méchet. Les villes principales se situent le long de la rivière ou de ses affluents : Igornay, Dracy, Saint-Loup, Autun, Étang-sur-Arroux.

Commentaires de la carte (figure 3)

Du centre à la périphérie : en partie claire, le bassin avec les dépôts fluviatiles des vallées de l'Arroux et de ses affluents, limons et alluvions, entouré de l'Autunien inférieur et de l'Autunien supérieur, puis, en périphérie SSO, le granite de Mesvres à deux micas, daté du Namurien/Westphalien et, au NNO, des tufs soudés à ignimbrites dacitiques et rhyodacitiques du Viséen supérieur, non visibles sur cet extrait de la carte géologique.

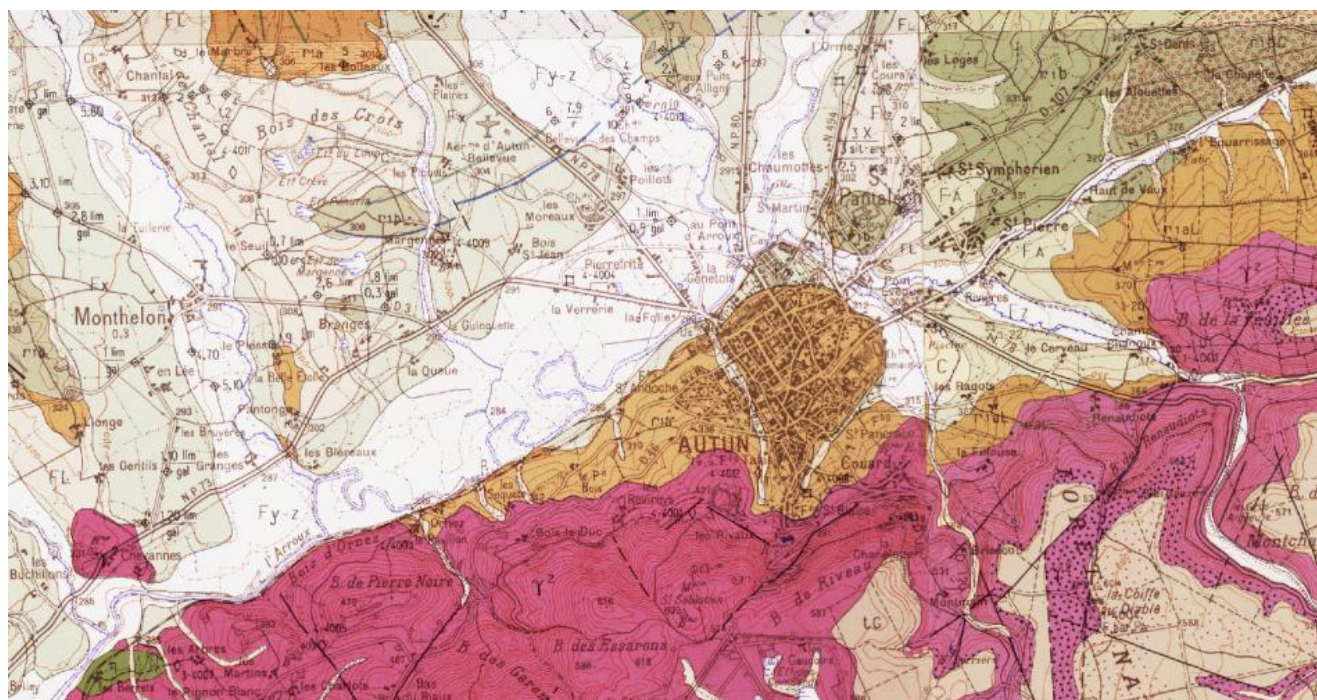


Figure 3. Extrait de la carte géologique à 1/50 000 d'Autun.

Fyz alluvions actuelles limons, sables, graviers ;
 r1b Autunien supérieur : argillites, grès, schistes bitumineux ;
 r1a Autunien inférieur : grès, conglomérats ;
 y2 granites de Mesvres à deux micas ; tg Trias : grès rhétiens.

Orogenèse hercynienne antérieure à la mise en place du bassin

Cet épisode correspond à la longue histoire de la suture des continents sud, le Protogondwana, avec le continent nord, la Laurasia, qui ont formé la Pangée, événements qui se déroulent entre la fin du Dévonien à – 360 Ma et le Carbonifère à – 300 Ma (figure 4).

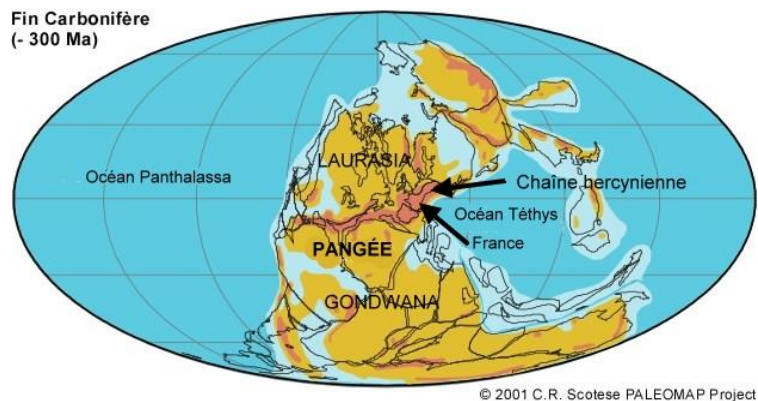


Figure 4. Au Permien, Laurasia et Gondwana ont formé la Pangée, rassemblant la quasi-totalité des terres émergées à l'époque.

Formation du bassin

À la fin du Carbonifère, au Stéphanien, une tectonique en compression se met en place, marquée par une série de décrochements EO, dont la faille d'Autun au SE, accident majeur : c'est le long de cette faille que

se produit un affaissement maximum (1 300 m). Au Permien inférieur (de – 294 à – 275 Ma), s'installe un système de failles normales en distension de direction NS. Toute cette série de décrochements en profondeur d'abord, puis en largeur ensuite, est à l'origine de la formation du bassin dominé par les sommets de la chaîne hercynienne (figure 5).

Le bassin est occupé par un lac de montagne dans lequel vont s'accumuler les sédiments issus de l'érosion et, en grand nombre, des restes d'organismes végétaux, algaires et d'animaux. La richesse de ce milieu est telle que la communauté scientifique, à l'instigation des géologues Munier-Chabas et A. de Lapparent, a décidé, en 1893, de nommer stratotype autunien cette période du Permien inférieur comprise entre – 295 et – 265 Ma. Ce stratotype est divisé en deux périodes : Autunien inférieur et Autunien supérieur. La matière organique intercalée aux produits de l'érosion est à l'origine de la formation des schistes bitumineux et du *boghead*, le charbon d'algues.

Précisions sur ces deux termes

En réalité, les **schistes bitumineux** ne sont pas vraiment des schistes, mais plutôt des argilites chargées en matière organique ; ils se débitent en feuillets et ne contiennent pas de bitume (**figures 6a et 6b**).

Le *boghead* est le nom d'une localité écossaise qui signifie « tête de marécage », variété de schistes bitumineux composée majoritairement à exclusivement

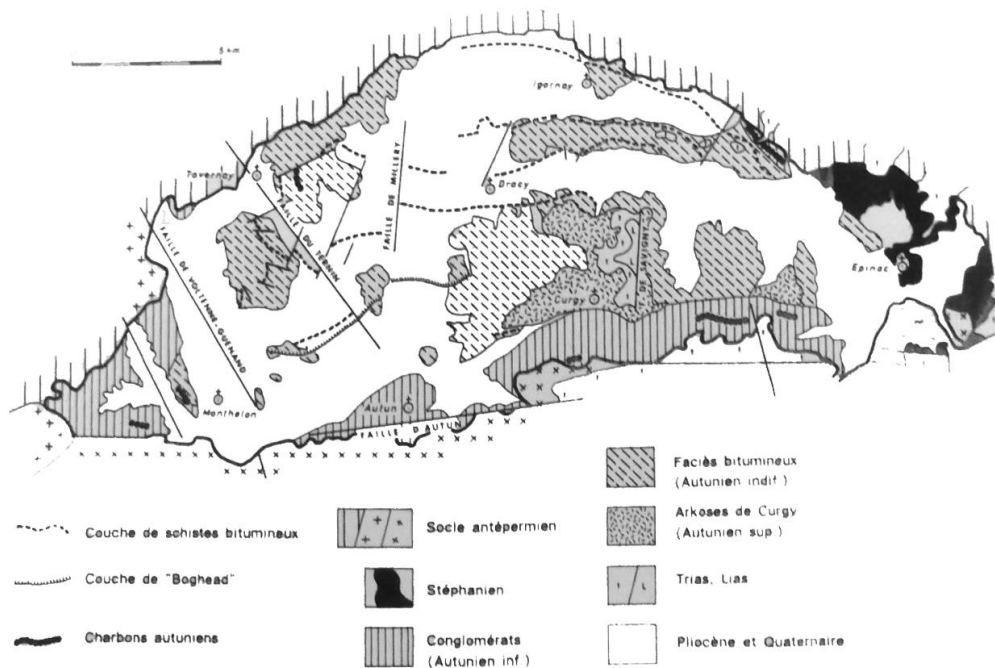


Figure 5. Schéma du bassin d'Autun donnant la direction des principales failles ainsi que les deux faciès de l'Autunien.

In *Les gîtes minéraux du Morvan*, G. Gourault (1995).

d'une algue verte coloniale du genre *Botryococcus*, très riche en lipide. Précisons que les échanges entre Autun et l'Écosse, productrice d'hydrocarbure provenant des schistes bitumineux, ont été nombreux.



Figure 6a. Siltite de Margenne. Éch. de 7 x 2 cm.



Figures 6b et 6c. Deux échantillons de schistes bitumineux provenant de Muse, récoltés le long d'un talus.

À la fin du Primaire, les reliefs montagneux étaient à peu près rabotés. Dans le lac, 1 300 m de sédiments se sont déposés au niveau le plus profond, c'est-à-dire le long de la faille d'Autun.

Le Mésozoïque est marqué par une série de subsidences qui débutent au Trias moyen. Jusqu'au Crétacé, oscillations et transgressions marines se succèdent, le dernier cycle étant la mer de la craie qui envahit l'ensemble de la Bourgogne. Le lac se trouve ainsi enfoui sous des couches de sédiments durant des millions d'années. Au Cénozoïque, commencent les orogénèses pyrénéenne et alpine qui engendrent une forte érosion, si bien que les géologues qui ont travaillé sur la feuille d'Autun concluent : « *Après le dépôt de l'Autunien, la subsidence était achevée, le bassin s'est figé. En définitive, le bassin tel que nous le voyons aujourd'hui est peu différent de ce qu'il était au Permien.* » (Notice, p. 42).

II - Les schistes bitumineux, dépôts, formation et exploitation industrielle

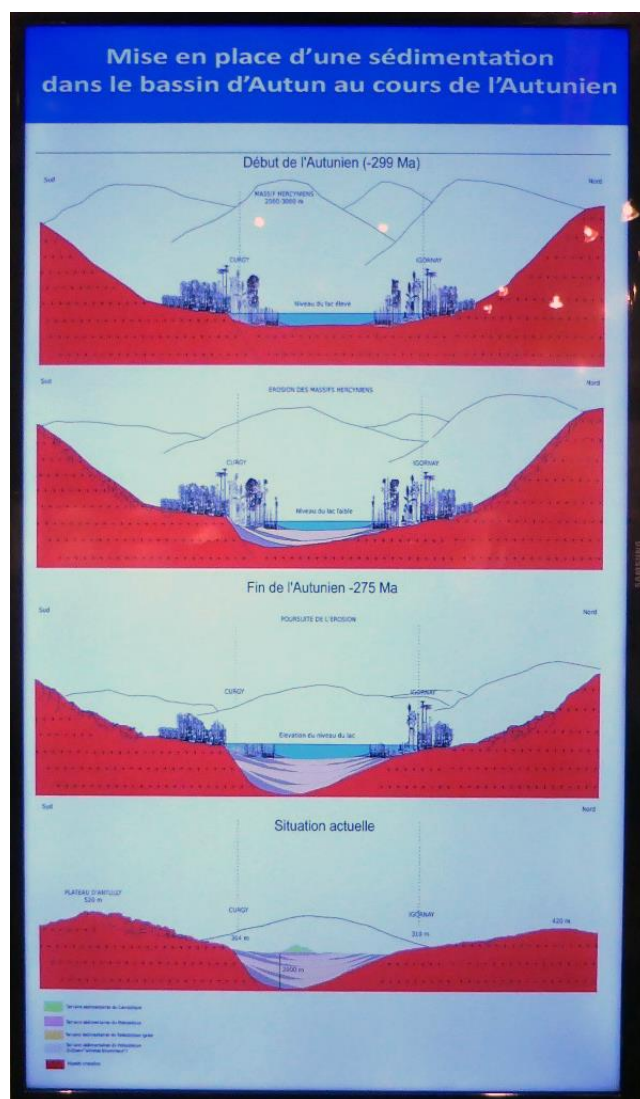


Figure 7. Bassin d'Autun, mise en place d'une sédimentation du début de l'Autunien à l'Actuel.
(Ressource fournie par le Muséum d'Autun).

Au début de l'Autunien (– 299 Ma), le niveau du lac est élevé, la végétation abondante, les sommets hercyniens se situant entre 2 000 et 3 000 m. En fin de l'Autunien, à – 275 Ma, l'érosion des massifs et l'accumulation de sédiments dans le lac, les siltites (schistes bitumineux et grès sous-jacents), entraînent une baisse du niveau d'eau dans le lac. Sous les dépôts du Mésozoïque et du Cénozoïque, se produit un épaississement de la couche sédimentaire. Actuellement, la profondeur des dépôts du Paléozoïque atteint 2 000 m (figure 7).

Les dépôts, colonne stratigraphique

Colonne lithostratigraphique du Permo-Carbonifère, les couches de schistes bitumineux (figure 8, d'après P. Pruvost, 1942).

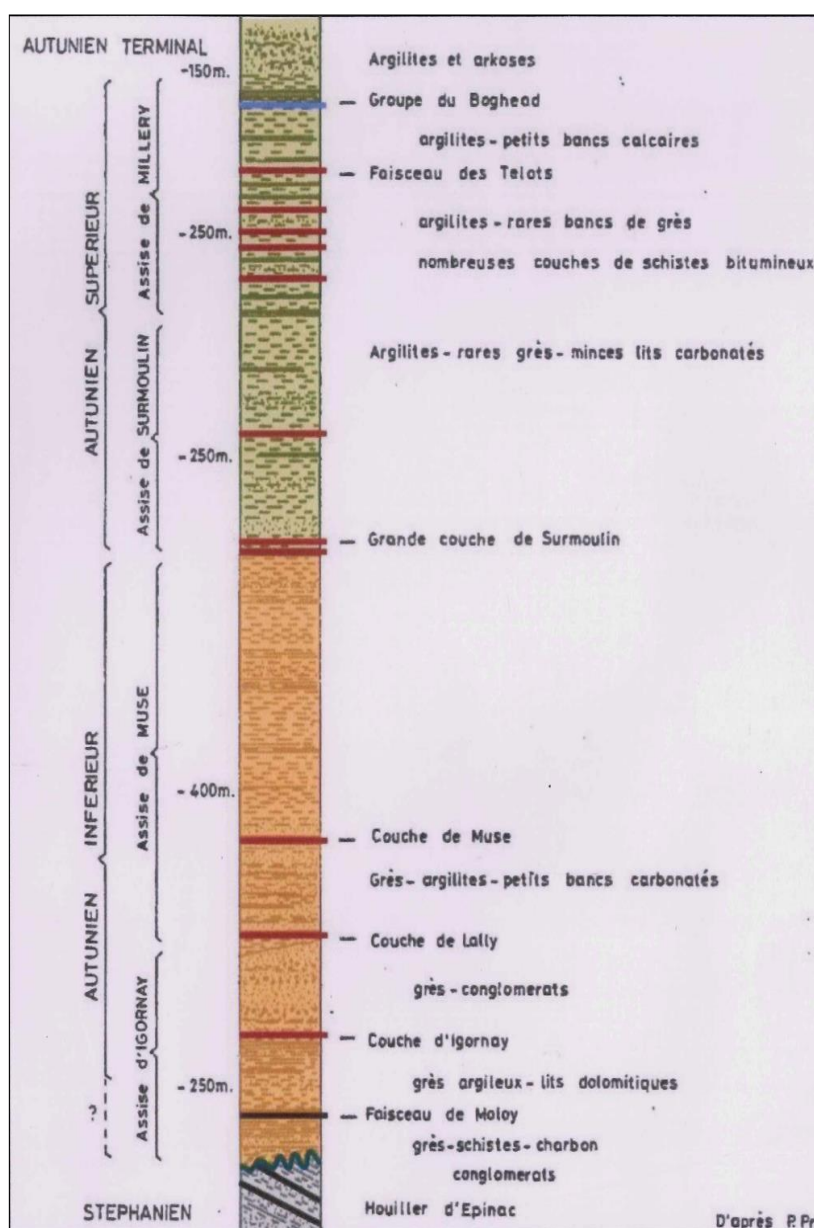


Figure 8. Schémas Géoderis. Étude des aléas miniers dans le bassin d'Autun. Rapport du 21/02/2013.

Information générale

Distance entre les gisements depuis Autun en kilomètres : Saint-Forgeot, les Télots, Surmoulin : 6 ; Dracy Saint-Loup Muse : 9 ; Igornay : 14 ; Millery : 4 ; Saint-Léger-du-Bois : 15,6 ; Margenne, quartier périphérique d'Autun.

Commentaires de la coupe

Sur une hauteur de 1 300 m. quatre assises lithostratigraphiques présentant de bas en haut :

- deux assises de l'Autunien inférieur :
 - Igornay appuyé sur le houiller d'Épinac, avec des grès, des argilites et une couche de schistes ;
 - Lally, assise de Muse connue pour sa richesse en fossiles (voir partie III).
- deux assises de l'Autunien supérieur à dominante argilo-silteuse et nombreuses couches de schistes, dont une de *boghead*. L'assise de Surmoulin est la plus épaisse au sein de l'argilite majoritaire ; elle se distingue peu de l'assise de Millery sauf que, dans cette dernière, figure une couche de *boghead*.

Précisons que les formations de Surmoulin et Millery sont très voisines. Remarque : aucun ouvrage minier n'a atteint la profondeur du bassin. Le puits le plus profond fait 463 m à La Brasserie, les Télots.

Examen du contenu du lac en matière organique

• **La faune** : sa diversité témoigne d'une vie grouillante, dans et autour du lac dans lequel s'accumulent des restes de reptiles, des poissons, des amphibiens, des traces de coprolites, ainsi que de nombreux crustacés et insectes.

• **La flore** : des Calamites (prêles géantes), des Lépidodendrons et des Sigillaires (Lycophytes arborescents), des Fougères arborescentes et l'algue verte *Botryococcus pila* (figure 9) qui a beaucoup contribué à la valorisation des schistes bitumineux.

Description

Algue verte coloniale, les *Botryococcus* sont connues depuis le Précambrien. De taille microscopique, dix micromètres, elles sont constituées d'une épaisse paroi lipidique et peuvent produire jusqu'à 80 % de leur poids lors de l'évolution thermique « l'accumulation exclusive de parois de *Botryococcus* est à l'origine des meilleurs charbons d'algues, appelés *boghead* ». (François Baudin, in Géologie de la matière organique, p. 33).

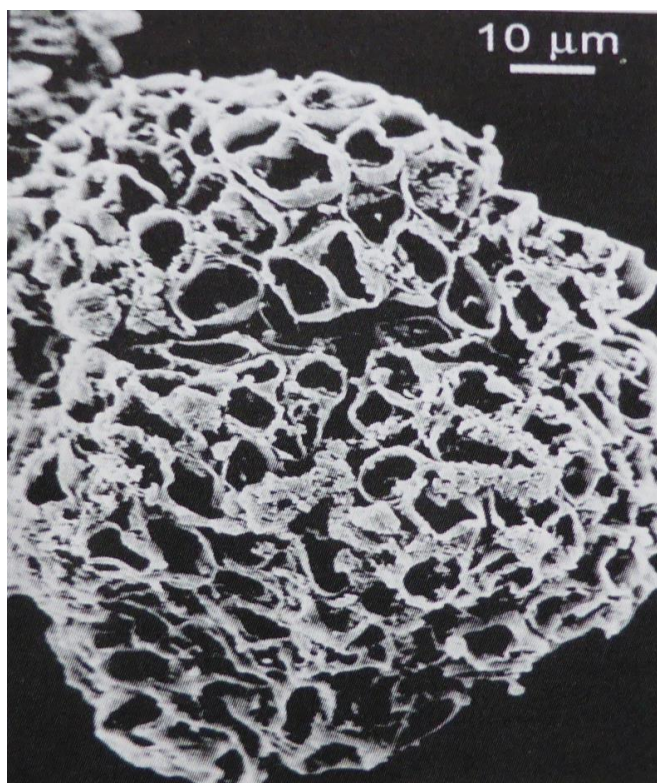


Figure 9. Botryococcus. In F. Baudin.

Une étude récente publiée dans la revue de la Société Géologique de France, de décembre 2017, donne des précisions sur la présence de cette couche d'algue dans la partie supérieure du lac : « *Durant l'Autunien, la tranche d'eau diminue, conséquence d'une baisse de l'activité tectonique et de la mise en place d'un climat plus sec. Ces changements vont entraîner une importante diminution de la quantité de nutriments apportés dans le lac, favorisant la prolifération d'algues Botryococcus qui constituent le boghead.* » L'épaisseur de la couche d'algues au sommet du lac est de 20 à 30 cm.

Évolution de la matière organique

Les organismes autotrophes, les végétaux, contiennent une forte proportion de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote. À leur mort, leur matière organique est décomposée par des microorganismes en **milieu aérobie**, donc en présence d'oxygène.

Le carbone se combine avec l'oxygène pour donner du CO₂. Il y a minéralisation.

En **milieu anaérobie**, une faible partie de la matière organique, environ 1 %, sédimente sans être minéralisée. Des bactéries anaérobies vont consommer l'oxygène et l'azote restants. Le résidu, composé de carbone et d'hydrogène, donnera le kérogène.

Évolution du kérogène

Elle est progressive en fonction de l'enfouissement. La roche mère qui contient le kérogène, ici les

schistes bitumineux, subit les effets de la tectonique des plaques, avec enfouissement au cours de millions d'années et, par suite, augmentation des températures. Cet enfouissement se fait à une vitesse moyenne de quelques mètres à quelques dizaines de mètres par millions d'années, jusqu'à des températures qui atteignent 250 °C.

Processus

« La matière organique morte évolue d'abord à des températures d'une dizaine à une trentaine de degrés, au sein de sols et de lacs... Elle évolue ensuite dans des conditions diagénétiques où la température s'élève jusqu'à 60 °C environ sous l'effet du gradient géothermique. Son évolution se poursuit et se terminera, enfin, dans des conditions dites catagéniques, puis métagéniques, où la température atteint 120 °C en fin de catagenèse et 250 °C en fin de métagenèse ». Fr. Baudin, in « Géologie de la matière organique » (p. 189).

La décomposition thermique du kérogène, ou pyrolyse, aboutira à la production d'un combustible.

Du kérogène au combustible

Il y a progressivement pyrolyse, ou décomposition chimique d'un composé organique, par augmentation de température pour obtenir des hydrocarbures.

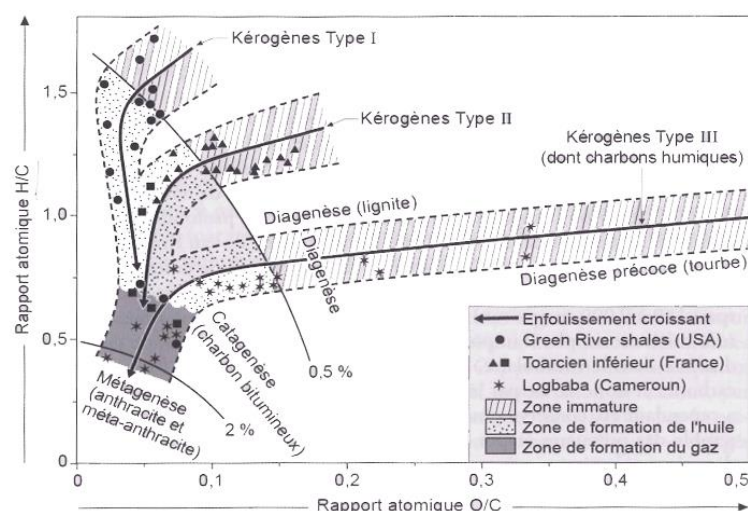


Figure 10. Diagramme de van Krevelen montrant, en fonction de l'évolution thermique, l'évolution des rapports atomiques H/C et O/C des trois types de kérogènes de référence, les zones principales de formation des huiles et des gaz, et les termes de la lignée des charbons. Les courbes 0,5 et 2 % correspondent à des courbes d'isoreflectance du pouvoir réflecteur de la vitrinite (d'après Durand, 1980). In F. Baudin, Géologie de la matière organique, p. 191.

Trois domaines thermiques ont été reconnus à partir des variations des teneurs de trois constituants principaux de la matière organique : carbone, hydrogène et oxygène ; soit la diagénèse, la catagénèse et la méta-

genèse. Le géologue pétrographe du charbon Van Krevelen a établi un diagramme qui donne la variation de ces trois éléments (figures 10 et 11).

Sur ce diagramme, les kérogènes sont classés en trois types :

- type I. Kérogènes formés en milieu lacustre par accumulation de microalgues ;
- type II. Kérogène formé de matière organique ayant subi une dégradation thermique modérée, principalement marine, tels les schistes cartons du Toarcien inférieur du Bassin de Paris ;
- type III. Kérogène formé de débris végétaux supérieurs (ex. : le delta de la Mahakam, Indonésie).

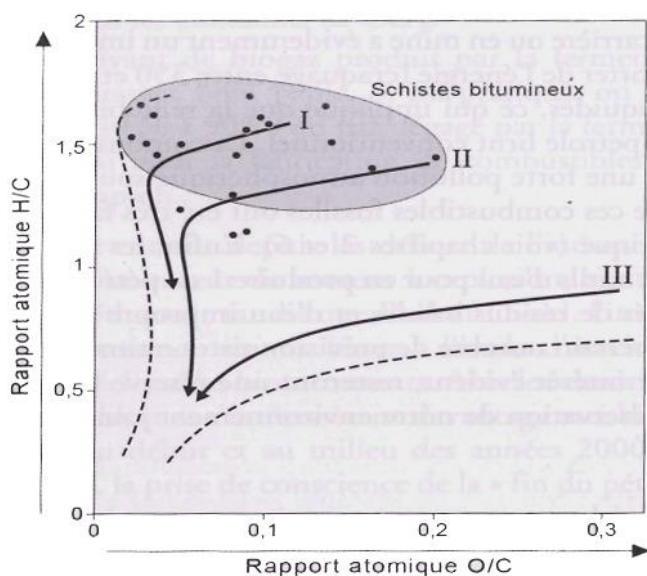


Figure 11. Position des schistes bitumineux autuniens dans un diagramme de van Krevelen (d'après Durand, 1980). In F. Baudin, *Géologie de la matière organique* (p. 167).

Les schistes bitumineux se placent dans le champ des types I et II à la fin de la diagenèse et au début de la catagenèse (figure 12). Ils n'ont donc pas atteint une température suffisante pour produire des hydrocarbures, d'où la nécessité de terminer l'opération dans des fours pour extraire la précieuse huile des sédiments.

Exploitation industrielle des schistes bitumineux

Elle a débuté dans la première moitié du XIX^e siècle. La tradition minière, avec le charbon, était déjà bien

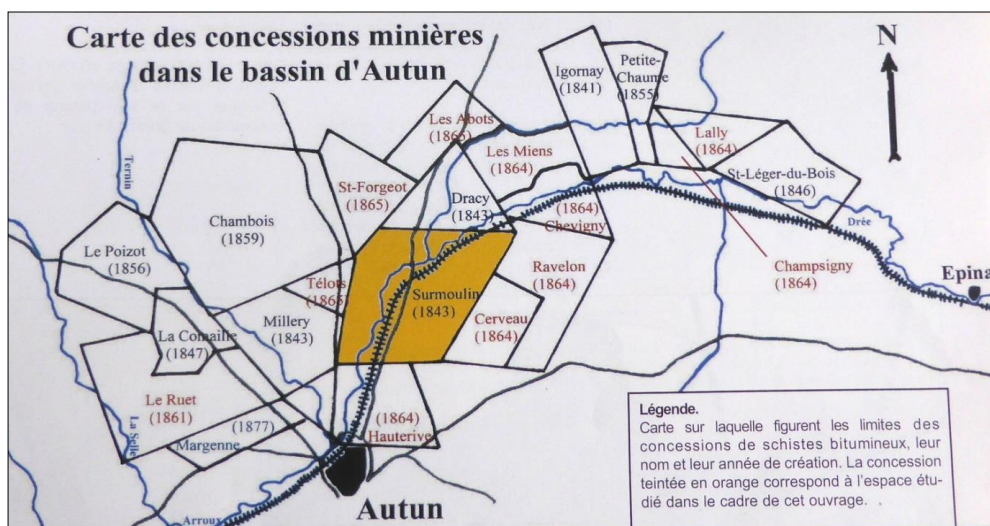


Figure 12. Carte des concessions accordées par l'administration des Mines jusqu'en 1877. Tiré de « L'essence autunoise, un carburant national ». Édition du Muséum d'Autun, 2006.

implantée dans la région dès la fin du XVII^e siècle, à Montceau-les-Mines et Le Creusot (3).

La première utilisation a lieu à Igornay, en 1838, pour la fabrication de gaz d'éclairage. La propriété des schistes bitumineux de donner de l'huile par pyrolyse (distillation) a été signalée par le chimiste Auguste Laurent (1807-1893) dans une communication à l'Académie des Sciences, en 1830.

Au total, on compte une vingtaine de sites d'extraction et seize usines de transformation.

La première exploitation, à ciel ouvert, débute à l'instigation de François Séligue, ingénieur de l'industrie parisienne du gaz, l'un des pionniers de la filière schisteuse. L'essentiel de la production sera concentrée sur le site de Surmoulin-les-Têlots. « Le site des Têlots est le premier en Europe pour lequel les méthodes de craquage des huiles de schistes ont été tentées et réussies ». In « L'essence autunoise, un carburant national ».

Avenir des concessions

La nécessité de cuire le schiste à une température de 500 °C dans des cornues pour obtenir de l'huile obère le coût de production. Les rendements sont insuffisants pour générer des bénéfices. Les sociétés ne tardent pas à faire faillite.

Toutefois, dans les années 1850/1860, la découverte d'un schiste particulier, le *boghead*, qui peut produire jusqu'à 80 % de son poids en hydrocarbure, va donner un nouvel élan à l'industrie du schiste. Exemple : un m³ de schiste bitumineux « ordinaire » donne 50 litres d'huile brute, alors qu'un m³ de *boghead* en donne 300 litres, ou 480 à 500 m³ de gaz dont le pouvoir éclairant est supérieur à celui du gaz de houille.

Années	Nombre d'ouvriers		Extraction en tonnes		Cornues Françaises			Cornues Écossaises		
	Mine	Usine	Schiste	Boghead	Nombre	Schiste distillé en Hl	Rendement en %	Nombre	Schiste distillé	Rendement
1893	209	26	21 444	8 935	64	305 060	?	0	0	
1894	210	29	21 060	8 301	64	309 090	4	0	0	
1895	173	48	32 652	7795	64	306 878	4,52	0	0	
1896	191	28	33 360	7972	64	311 377	4,48	0	0	
1897	142	28	26 544	6 466	64	310 770	4	0	0	
1898	124	34	19 392	5 466	64	311 067	4	0	0	
1899	115	32	14 940	5 536	52	268 785	4	0	0	
1900	107	34	16 020	5 148	52	32 818	3	16	104 578	9
1901	115	17	16 283	5 167	0	0		16	131 387	8
1902	113	18	16 896	5 160	0	0		16	129 913	8
1903	107	16	16 884	5 126	0	0		16	140 852	8

Figure 13. Production de schiste et de boghead de 1893 à 1903. In *L'essence autunoise, un carburant national* (p. 25).

Signalons que le gaz d'Autun sert à l'éclairage des rues de Dijon.

Une nouvelle société, la Société Lyonnaise des Schistes Bitumineux (SLSB), une filiale de la Société lyonnaise des Eaux et de l'Éclairage, est autorisée par décret du 17 janvier 1891 à exploiter les concessions défaillantes. La société obtient le monopole de la production et, en 1892, le gouvernement met en place un système de primes pour compenser la diminution des droits de douane sur les pétroles. Grâce à ce régime les installations sont modernisées, l'usine des Télots-Varennnes fait l'objet d'un renouvellement complet des installations de pyrogénéation avec l'installation de nouvelles cornues écossaises (la cornue Young et Fife), le rendement de l'huile brute augmente de 30 % : en 1900, une batterie de seize cornues étaient en fonctionnement. Dans les années 1910, celles-ci seront remplacées par une batterie de quarante cor-

nues modèle Pumpherson, moins gourmandes en combustible (figure 13).

Le programme d'extension est interrompu en 1914 avec la mobilisation nationale. Les mines de Margenne et de Ravelon sont fermées, l'exploitation se concentre sur le site de Surmoulin-les-Télots.

En 1933, la loi sur l'exonération fiscale des essences provenant de la carbonisation des schistes bitumineux va permettre un nouveau développement.

Jusqu'en 1935, le craquage du schiste dans les cornues n'a débouché que sur la fourniture de produits ammoniacaux (un engrais, le sulfate d'ammoniaque), des huiles lampantes, des graisses, des paraffines.

..À partir de 1936, une unité de craking-raffinage est installée. Parallèlement, la SLSB obtient le concours financier de Pechelbronn SAEM ; sous la pression de l'État (Convention Ramadier du 27 janvier 1937), nouvelle société la SMSB est créée, et Pechelbronn

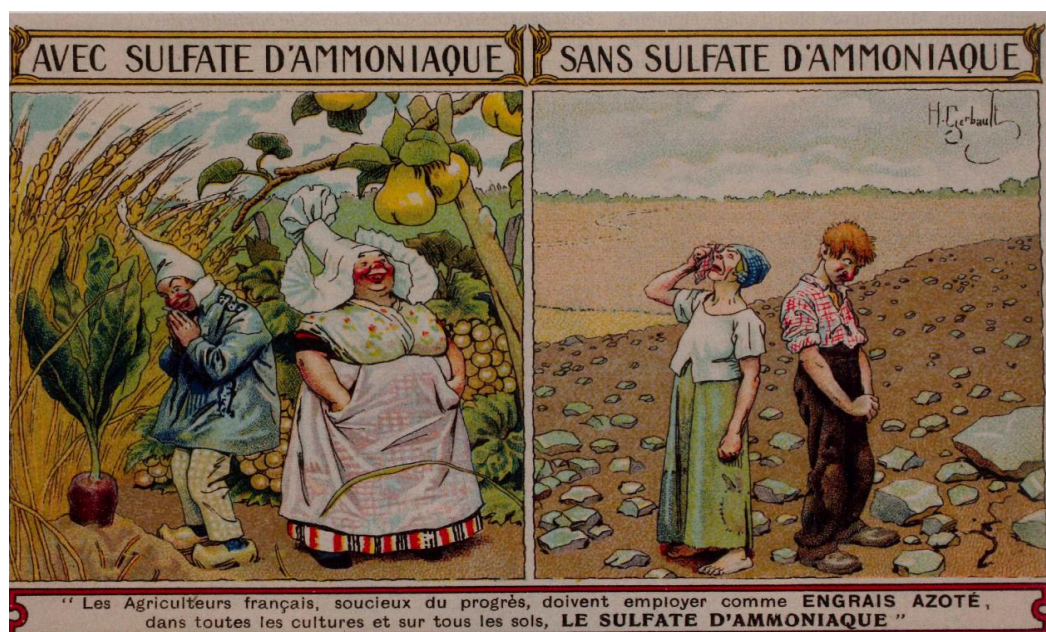


Figure 14. Publicité pour les engrais à base de sulfate d'ammoniaque (non datée).
Vue sur l'hebdomadaire *Marianne* n° 1117, du 10 au 16 août 2018.

s'engage à verser chaque mois 250 000 francs à la Société Lyonnaise. Ce secours est vite interrompu en 1939 au début du conflit.

Autun a produit de grosses quantités d'engrais à base de sulfate d'ammoniaque (figure 14).

Le plan d'extension démesuré envisagé par le gouvernement de Vichy dans le but de sextupler la production est classé sans suite à la Libération.

Après la guerre, dans les années 1945 à 1958, le marché international des carburants n'est pas très favorable aux huiles de schiste. Pour maintenir l'industrie à flots, un effort important de modernisation est entrepris, notamment par la mécanisation de l'extraction du minerai jusqu'à son chargement dans les cornues de pyrogénéation. Ces mesures s'accompagnent d'une réduction des effectifs.

Les transformations : construction de nouvelles galeries qui disposent de convoyeurs à bandes ; creusement de deux descenderies jusqu'à – 200 m (jusqu'à, le seul niveau atteint était – 100 m) à Millery et aux Télots ; les colonnes d'un diamètre de 6,50 m sont accompagnées d'un chevalement ; utilisation de perforatrices rotatives pour le foudroyage, l'opération la plus délicate, qui expose les mineurs aux coups de grisou ; construction de deux accumulateurs de stockage. Précisons que le matériel est américain ou britannique.

Les résultats sont spectaculaires : « *Entre 1951 et 1952, la quantité de schiste extraite passe de 292 421 à 338 035 tonnes* ». (Extrait de : *L'essence autunoise, un carburant national*). Ce sont des rendements bien supérieurs à ceux des mines de charbon de l'époque, mais l'entreprise ne peut fonctionner sans les subventions de l'État qui arrêtera son aide en 1957. La SMSB est dissoute le 11 décembre 1958.

L'exploitation des schistes se termine, mais les deux terrils des Télots se dressent encore du haut de leur 100 mètres pour rappeler que, grâce à la ténacité et l'inventivité technique des personnels, l'industrie schisteuse a perduré durant près de 140 ans.

L'histoire du bassin n'est pas terminée pour autant car l'aventure industrielle s'est accompagnée de découvertes scientifiques dans les domaines de la paléontologie et de l'archéologie.



III - Intérêt paléontologique et archéologique du bassin

Paléontologie à Muse

Les mineurs qui dégageaient les filons de schiste ont très vite remarqué entre les feuillets de roches de nombreuses traces qui leur rappelaient des plantes, des poissons, des insectes... La nouvelle est parvenue rapidement à la communauté scientifique par l'intermédiaire des sociétés savantes nombreuses à cette époque.

Historique des découvertes

Un site de référence : **Muse**, un hameau rattaché à la commune de Dracy-Saint-Loup. L'abbé Landriot, enseignant au petit séminaire d'Autun, commence des recherches vers 1830. Il constitue une importante collection de plantes et d'animaux dont des poissons osseux du genre *Aeduelliformis*, des petits amphibiens, les *Branchiosaurus*. Le professeur Brongniart, du Muséum de Paris (MNHN), étudia les plantes et fit paraître ses observations dans des publications à l'attention des communautés scientifiques française et internationale.

En 1866, le pasteur Frossart (1827-1902) découvre le Stégocéphale, du groupe des Amphibiens. Long de 60 cm, il fut baptisé *Actinodon frossardi*, en 1867, par le professeur Gaudry (1829-1908) du MNHN. Il s'agit du premier spécimen découvert en France. Cette espèce sera classée dans le genre *Onchiodon* en 1999. Les Stégocéphales (*i.e.* tête à plaques) sont très intéressants en terme d'évolution car il s'agit des premiers vertébrés qui se sont diversifiés sur la Terre ferme il y a environ 300 Ma, après une phase aquatique dans les lagons et les mers peu profondes du Dévonien. Il possède un corps robuste, des pattes courtes et un crâne tantôt allongé tantôt arrondi, en fonction des espèces. La morphologie de ces amphibiens évoque celle des salamandres géantes ou des crocodiles actuels (figure 15 et figures 16a à 16d).

Noté sur le Guide géologique Bourgogne-Morvan, Masson (édition 1986) : « *On trouve souvent des écailles, des aiguillons, des coprolites, voire même des échantillons complets écrasés. Les poissons de Muse se retrouvent dans les collections du monde entier, mais vont en se raréfiant dans le gisement du fait des collectes intensives. Pour éviter le pillage, le gisement est maintenant protégé par un grillage.* »

Figure 15. Reconstitution d'*Actinodon frossardi*. In *Revue Espèces* n° 28, juin 2018.

Depuis 1986, date d'édition du Guide géologique, la protection du site a été considérablement renforcée. Actuellement, un chantier de fouilles est en place. Et depuis 2010, sous l'autorité du Muséum d'Autun, il réunit tous les ans, durant une quinzaine de jours en été, une équipe d'une vingtaine de chercheurs et d'étudiants.

Résultats : 2 000 spécimens ont été découverts, des plantes, des poissons osseux (Aeduelliformes), des poissons cartilagineux (Requins Xenacanthides), des coprolites, Ostracodes et Insectes.

En 2015, la couche à poissons entiers découverte au XIX^e siècle a été dégagée. Située à trois mètres sous la terre arable, cette pièce de 5 m², sur 5 à 10 cm de haut, comprend quatre niveaux de schistes. Cette couche est très riche en poissons osseux avec également des restes de poissons cartilagineux, des phalanges et des vertèbres de Stégocéphales. Le bloc a été remis au Muséum d'Autun pour étude.

Des prélèvements ont aussi été effectués afin d'analyser les microfossiles (pollens et spores). Toutes les données n'ont pas encore été publiées.



Figure 16a. *Aedua Gaudryi* (Dauvage), Igornay, Saône-et-Loire.



Figure 16b. *Callibrachion Gaudryi* (Boule et Glangeaud, 1893 ; Spindler, Falconnet et Frobisch, 2016). Nouveau reptile fossile du Permien d'Autun. Bulletin de la Société d'Histoire naturelle d'Autun, 2016, p. 199-215.



Figure 16c. Coprolithes.

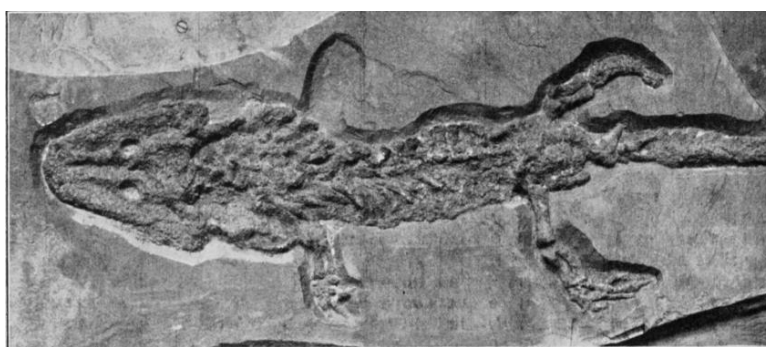


Figure 16d. *Actinodon Frossardi*. Batracien stégocéphale des Têlots, près Autun.

Tous ces fossiles sont en présentation au muséum d'Autun.

Archéologie au Champ de la Justice

Cette roche noire, affleurant dans l'Arroux, comment imaginer qu'elle n'ait pas intrigué les hommes de la Préhistoire habiles à travailler la pierre ? « *Au lieu dit La Justice, au nord d'Autun, dès 1872, de nombreux silex taillés ont été découverts, puis, vers 1880, plusieurs blocs de granite étrangers à la géologie locale s'avèrèrent appartenir à un ensemble mégalithique d'une trentaine de monolithes* » (extrait de la Revue archéologique de l'Est, n° 180, de 2009).

En limite de ce lieu côté sud-est, on voit également une dizaine de levées de terre alignées ; l'hypothèse la plus souvent retenue considère qu'il s'agit d'un alignement de tertres funéraires. Des recherches récentes publiées dans la revue citée proposent une autre interprétation : ces alignements, qui suivent un affleurement de schistes bitumineux, proviendraient du dépôt de stériles le long d'une tranchée d'accès à la couche de schistes. C'est l'hypothèse que proposent les deux archéologues rédacteurs de l'article paru dans la revue, Sébastien Francisco et Yannick Labaune, date de l'exploitation ? Les auteurs proposent :

« ...à ce stade de la réflexion, de pencher en faveur d'une exploitation antique ou protohistorique » (figures 17a et 17b). In Revue Archéologique de l'Est.



Figure 17a. Levées de terre Champ de la Justice.
In Revue Archéologique de l'Est.

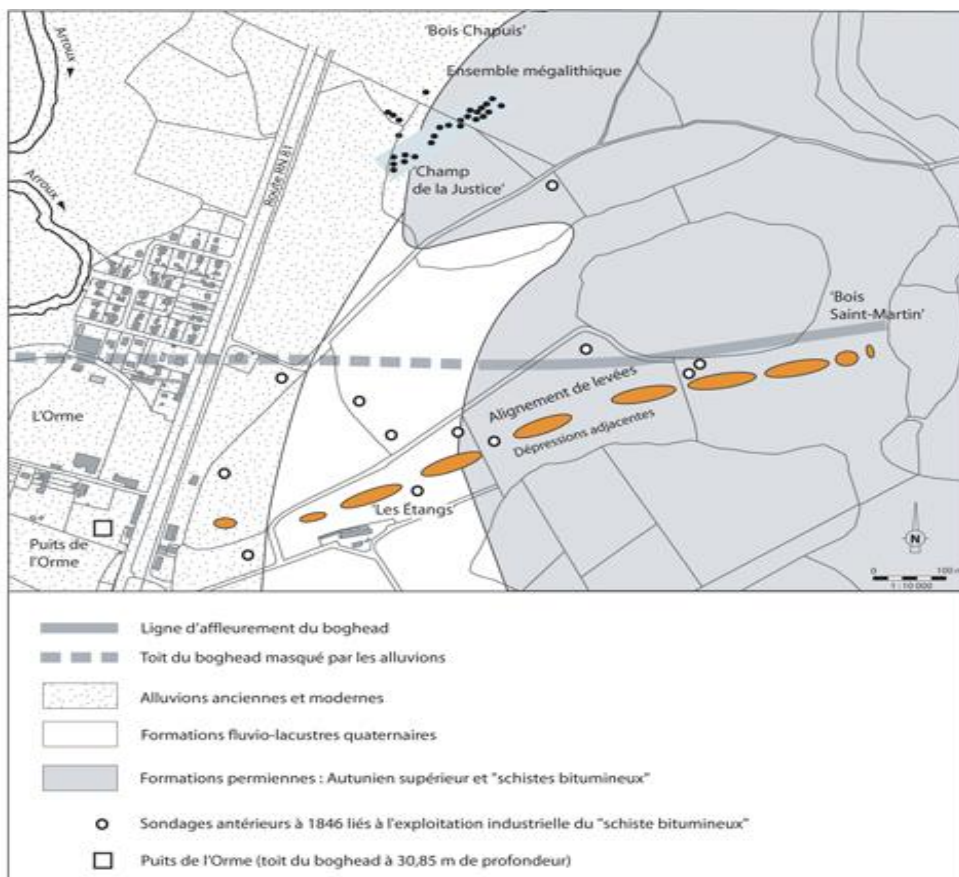


Figure 17b. Plan des levées de terre Champ de la Justice.
In Revue Archéologique de l'Est.

La collection du musée Rolin

Des alignements au musée Rolin (2) d'Autun il n'y a que... quelques kilomètres. Les collections du musée sont riches de très nombreuses pièces de l'époque gallo-romaine, confectionnées en schistes, bracelets, dés, cubes... ou encore de frises décoratives, de mosaïques en *opus tessellatum* constituées de petits cubes, ceux de couleur noire étant en schiste.

Conclusion

L'extraction et l'exploitation des schistes bitumineux sont bien terminées. Cependant, le stratotype Autunien fait toujours l'objet d'études comme en témoignent les fouilles à la recherche de nouveaux fossiles ou encore les études sur l'algue *Botryococcus*.



Le dernier mot revient au sculpteur Gislebertus qui, vers 1130, a réalisé le chef-d'œuvre qui ornait le linteau du portail nord de la cathédrale Saint-Lazare : « La tentation d'Ève » (ci-dessus). Ève, notre mère à tous, a cueilli le fruit de l'arbre de la connaissance. La présence à Autun de la « Joconde de pierre » est donc tout à fait justifiée.

Notes

(1) Le Muséum d'histoire naturelle d'Autun (musée Jacques de La Comble depuis 2007, du nom de son premier conservateur), possède des collections extrêmement importantes, de l'ordre de 800 000 pièces, dont près de 100 000 pièces géologiques en provenance majoritairement du Morvan. Un musée à visiter notamment pour se familiariser avec les minéraux régionaux.

Adresse : 14, rue Saint-Antoine, 71400 Autun.
Tél. : 03 85 52 09 15.

(2) Le musée Rolin est installé dans la maison natale (XV^e siècle) de Nicolas Rolin, Chancelier des Ducs de Bourgogne, fondateur des Hospices de Beaune. Il abrite des collections riches et variées, notamment des collections archéologiques montrant le passé gallo-romain d'Autun.

Adresse : 3 rue des Bancs, 71400 Autun. Tél. : 03 85 52 09 76.

(3) Cette partie de l'article a été rédigée sur la base du document « *L'essence autunoise, un carburant national* ». D. Chabard et J.-P. Passaqui. Publication du Muséum d'Autun 2006.

Fonds documentaire

RAT P. (1986) – Guide géologique Bourgogne-Morvan. Masson éd.

GOURAULT C. (1999) – Géologie des gîtes minéraux du Morvan. Société d'histoire naturelle et des amis du Muséum d'Autun éd.

CHABARD D. & PASSAQUI J.-P. (2006) – *L'essence autunoise, un carburant national*. Muséum d'Autun.

BAUDIN F. (2017) – Géologie de la matière organique. EDP Sciences éd.

Revue : *Archéologique de l'Est*. Tome 58, n° 180 (2009).

Revue : *Espèces*.

Revue de la Société Géologique de France (SGF).

Les cartes géologiques à 1/50 000 d'Autun, 1991 (n° 551), Lucenay-l'Évêque, 1993 (n° 524), Épinac-les-Mines, 1999 (n° 525). BRGM, Orléans.

Remerciements à François Audubert pour m'avoir communiqué la revue *Espèces* ; la revue de la SGF ; le magazine *Pour la science* (1988) ; extrait de « Cette roche nommée pétrole », éditions Belin non daté ; extrait de « Du charbon et des hommes », Genèse des hydrocarbures, non daté.

UNE INTELLIGENCE ARTIFICIELLE (IA) POUR PRÉDIRE LES RÉPLIQUES DE SÉISMES

Des chercheurs ont développé une intelligence artificielle permettant de prédire les répliques de secousses des tremblements de terre en créant un algorithme capable de prédire l'emplacement des répliques de secousses jusqu'à un an après un tremblement de terre majeur. Et, à l'avenir, le modèle pourrait même prédire directement les tremblements de terre.

Le modèle a été formé à partir de 199 séismes majeurs suivis de 130 000 répliques. Résultat, ce modèle s'avère plus efficace et précis que la méthode de prédiction utilisée jusqu'à présent.

La base de données qui a servi à monter le modèle regroupe un ensemble de répliques de secousses dispersées dans un périmètre de 50 km verticalement et 100 km horizontalement autour de chaque épicentre de tremblement de terre. Les données proviennent de grands séismes des dernières décennies.

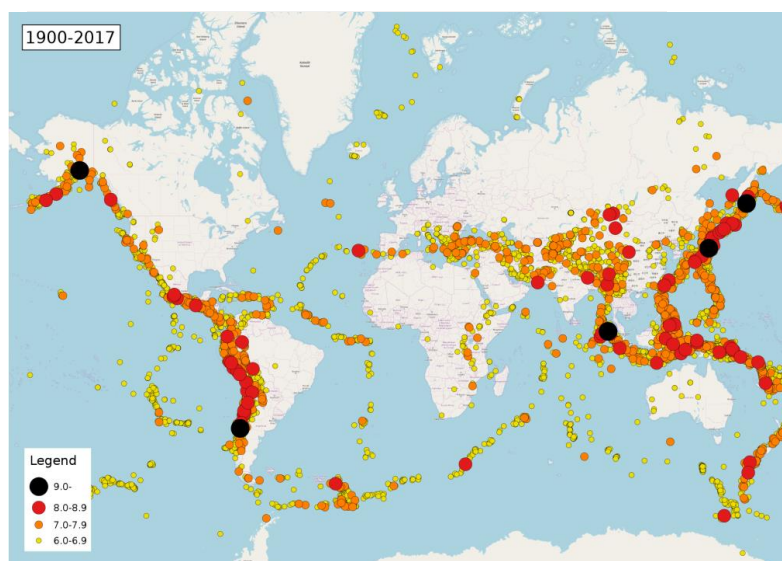
L'étude, dont les résultats ont été publiés, en août, dans *Nature*, a été menée par Brendan Meade, professeur de sciences de la Terre et des planètes à l'université Harvard, ainsi que Martin Wattenberg et Fernanda Viégas, chercheurs en machine learning Google. Chose surprenante, aucun sismologue n'a participé à ces recherches.

L'IA bientôt capable de prédire les séismes ?

Le travail de recherche effectué pour développer ce réseau neuronal a permis d'aller plus loin. Les données extraites du réseau neuronal permettent aux scientifiques de penser qu'il serait possible de trouver quels sont les déclencheurs des séismes. Meade explique : « *Nous pouvions voir ce qui sortait de ce réseau (neuronal) et y donner un sens, et cela nous a permis d'en arriver à des théories physiques différentes sur les causes des tremblements de terre, ce qui nous conduit dans une nouvelle direction, ce qui est très excitant pour nous.* »

En revanche, le modèle établi ne tient pas compte des volcans. Autrement dit, l'IA développée est incapable, pour l'instant, de prédire les tremblements de terre causés par une éruption volcanique.

(D'après un article de M. [Corentin](https://www.presse-citron.net/intelligence-artificielle-predire-repliques-seismes/), du 3/09/2018. In <https://www.presse-citron.net/intelligence-artificielle-predire-repliques-seismes/>. Communiqué par A. Guillon).



Carte des tremblements de terre de 1970 à 2017.