Les richesses minérales de la Loire

Le bassin de la Loire, de sa source jusqu'à l'estuairede Nantes, est riche d'une métallogénie particulièrement diversifiée. Cette richesse s'est traduite au cours de l'histoire par de nombreuses exploitations de fluorine, d'antimoine, de plomb, d'or, d'argent, d'uranium, etc. À l'exception des granulats et minéraux industriels, l'activité des gisements métallifères a été arrêtée quand le prix des matières premières minérales s'est effondré à la fin du XX^e siècle. Cependant, l'envolée récente des cours des métaux pourrait permettre de jeter un nouveau regard sur ce patrimoine.





Jean-Pierre Carroué

Géologue minier
Chef de mission de 1962 à 1984
Division Minière BRGM Massif central
jean-pierre.carroue@wanadoo.fr

Fluorite en concrétionnements successifs versicolores, mine de La Tourette, district de fluorine de Langeac (Haute-Loire).

Fluorite formed in successive concretions of variegated colours, La Tourette mine, Langeac fluorite zone (Haute-Loire Department).

© J.-P. Carroué.

Outre sa grande longueur et la variation d'axe de son tracé qui passe de S-N à E-W, la Loire est aussi caractérisée par une grande dissymétrie de son bassin : absence ou faible longueur de ses affluents de rive droite, grand développement de ses affluents de rive gauche... en particulier de l'Allier qui aurait pu donner son nom au fleuve et avoir pour affluent de rive droite la Loire !

La ligne de séparation des eaux entre Rhône et Loire et entre Seine et Loire est très proche du cours de la Loire, ce qui explique que les massifs cristallins du Charolais et du Beaujolais ne sont pas drainés par la Loire. Le massif du Morvan est, par contre, irrigué dans sa partie orientale par l'Arroux, le plus important des affluents de rive droite, qui a la particularité de couler dans le sens N-S. La partie occidentale du Morvan est, en revanche, drainée par l'Yonne, affluent de la Seine. Découvrons ce bassin d'amont en aval et la grande diversité de ses richesses minérales[1] *(figure 1[2])*.

(1) – NDLR : l'auteur présente principalement dans cet article les ressources minérales et métalliques du bassin de la Loire. Les encadrés qui y sont insérés portent sur d'autres ressources abondantes dans le bassin comme les matériaux de construction (voir également l'article de D. Prigent dans ce numéro). Les ressources en charbon sont elles aussi évoquées en encadré dans cet article et dans l'article de V. Bouchot et al. *de ce numéro.*
(2) – Les informations techniques et scientifiques détaillées sur le patrimoine minier métallifère de la France sont disponibles dans la base SIGMines France (http://sigminesfrance.brgm.fr).

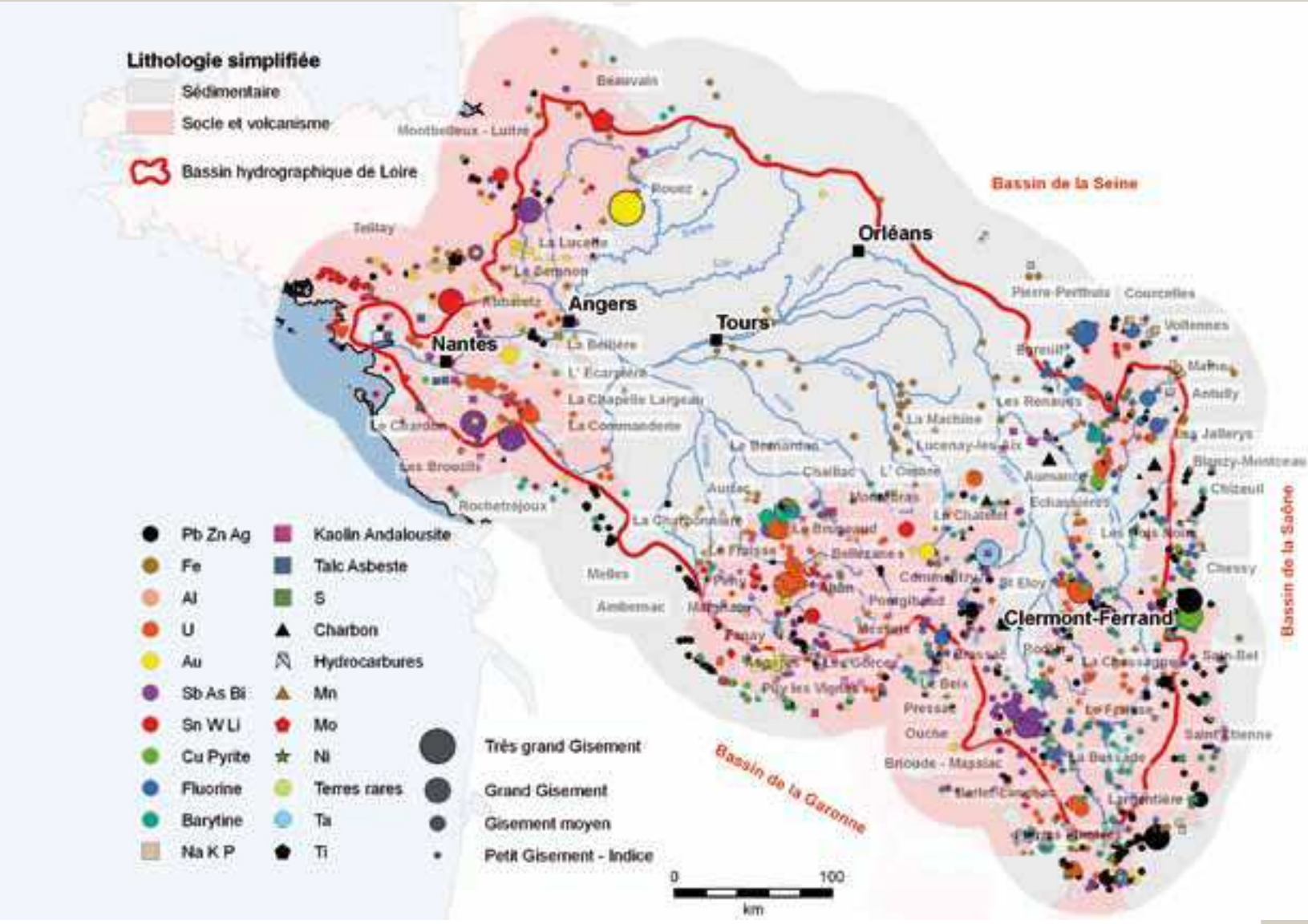


Fig. 1 : Carte métallogénique du bassin de la Loire réalisée à partir de la carte minière de la France à 1/500 000 de 1979.

Fig. 1: Metallogenic map of the Loire Basin based on the mining resources map of France at 1:500,000 scale (1979).

© BRGM, J.-P. Carroué, F. Maldan.

Des minéralisations diverses tout au long du fleuve

Le cours de la Loire de la source jusqu'à Nevers

Née au pied du mont Gerbier-de-Jonc, en plein cœur des monts du Vivarais, la Loire coule sur les basaltes ou sur leur socle, le granite de Margeride, jusqu'au-delà du bassin du Puy-en-Velay et jusqu'au bassin oligocène de Montbrison. Dans ce granite, les minéralisations se réduisent à de petits filons de barytine (Freycenet-la-Tour) ou de fluorine (la Beyssère) sans intérêt économique. À l'est d'Yssingeaux, un affluent de rive droite, le Lignon, recoupe la structure à barytine, galène, sphalérite de Chambonnet–Versilhac *(tableau 1)*.

Vers l'aval, la Loire effleure ensuite le bassin houiller de Saint-Étienne et entre dans le bassin oligocène de Montbrison qui encaisse la lentille stratiforme de marnes et sables à autunite de Grézieux. Le socle cristallin à l'est encaisse les petits filons de barytine et accessoirement galène de La Rate et de La Menue.

Nom du minéral	Composition	Formule/Symbole
Arsénopyrite *(mispickel)*	Sulfo-arséniure de fer	FeAsS
Azurite *(Chessylite)*	Carbonate de cuivre	$Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$
Barytine	Sulfate de baryum	$BaSO_4$
Berthiérite	Sulfo-antimoniure de fer	$FeSb_2S_4$
Cassitérite	Oxyde d'étain	SnO_2
Chalcopyrite	Sulfure de cuivre et fer	$CuFeS_2$
Cuivres gris (tennantite et tétraedrite)	Sulfo-arseniure et sulfo-antimoniure de cuivre et fer	$(Cu,Fe)_{12}As_4S_{13}$ et $(Cu,Fe)_{12}Sb_4S_{13}$
Énargite	Sulfo-arséniure de cuivre	Cu_3AsS_4
Fluorine	Fluorure de calcium	CaF_2
Galène	Sulfure de plomb	PbS
Hématite	Oxyde de fer	Fe_2O_3
Limonite *(Rouille)*	Mélange d'hydroxydes de fer	
Löllingite	Arséniure de fer	$FeAs_2$
Malachite	Carbonate de cuivre	$Cu_2(CO_3)(OH)_2$
Or	Or natif	Au
Pyrite	Sulfure de fer	FeS_2
Sphalérite *(Blende)*	Sulfure de zinc	ZnS
Stibine	Sulfure d'antimoine	Sb_2S_3
Sulfosels (famille des)	Sulfo-arseniures et sulfo-antimoniures complexes	
Wolframite	Oxyde de tungstène	WO_4

Tableau 1 : Phases minérales rencontrées et leurs caractéristiques cristallo-chimiques (en italiques, nom d'usage ou synonyme).

Table 1: Mineral phases encountered, together with their crystallo-chemical properties (in italics, the common name or synonym).

Au nord, au-dessus de Saint-Germain-Laval, les gisements de plomb argentifère de Juré, Grésolles, Champoly *(photo 1)* dans l'ancienne concession de Saint-Martin-La-Sauveté, département de la Loire, ont été exploités au XIII^{e} siècle.

En amont de la structure, le filon de fluorine et barytine – et accessoirement à galène – du Château de Contenson *(photo 2)* exploré par les comtes du Forez a été repris par le BRGM dans les années 1975.

Plus au nord, en plein cœur des monts de La Madeleine, le filon de fluorine et barytine d'Ambierle s'étend sur des terrains porteurs de vignobles appréciés. Cette barytine aurait éventuellement pu être utilisée pour le confinement des déchets radioactifs mais le site envisagé pour le stockage n'a pas été retenu.

Tout près, l'amas du Crozet occupe presque entièrement l'enclave de terrains carbonifères et a livré de beaux échantillons de galène, sphalérite, azurite et malachite ; des blocs de laitier dans les haldes témoignent de l'existence d'une ancienne fonderie. En rive droite, les calcaires et grès du Charolais recèlent de petites lentilles stratiformes de galène et barytine (Oye, Mesmon...).

Plus en aval, à hauteur de Digoin, la Loire va recouper l'extension sud du bassin houiller de Blanzy-Montceau avant de lécher le massif cristallin du Morvan. Elle reçoit l'Arroux qui, à l'aval d'Autun, reçoit lui-même le Ternin et la Celle, qui ont respectivement drainé les sites des importantes mines de fluorine du Maine et de Voltennes.

Dans l'extrême sud du Morvan cristallin, entre les centres métallurgiques de Bourbon-Lancy et de Gueugnon, un « chapeau de fer », autrefois exploité, coiffe l'important amas pyriteux de Chizeuil, lui-même recoupé par un filon à énargite (minéral de cuivre). Entre Bourbon-Lancy et Luzy, la Somme arrose un des plus anciens secteurs producteurs d'uranium du Massif central, celui de Grury comprenant les mines des Jallerys, des Brosses, de Bauzot et de La Tannière. Au voisinage, de petits filons de fluorine ont été reconnus par sondages dans les années 75-80 tels que Las, Mezeret, etc. *(figure 2)*.

À l'époque du rush sur la fluorine, le Morvan a été couvert par des demandes de permis de recherches alors que s'esquissait l'épuisement des mines en activité, en particulier en Haute-Loire. Le BRGM avait, de son côté, reconnu des indices nouveaux par sondages : fluorine du Bois de Luzy et barytine et fluorine des Renauds à Sémelay (département de la Nièvre).

Plus au nord, des chapeaux de fer avaient été exploités comme minerai de fer avant utilisation de la minette lorraine et alimentaient les forges locales. C'étaient Champrobert, le Châtelet et les fosses de la forêt de Chatillon, une aire sur laquelle a été entreprise en 1978 une campagne de géophysique héliportée multiméthodes « DIGHEM » pour la



Photo 1 : Haldes de Champoly – Le Poyet, rejet d'une ancienne mine, plomb argentifère.

Photo 1: The Haldes de Champoly – Le Poyet site, silver-bearing lead.

© J.-P. Carroué.





Photo 2 : Le château de Contenson et son affleurement de fluorine (Saint-Just-en-Chevalet, Monts du Forez, département de la Loire).

Photo 2: The Château of Contenson and its outcropping fluocerite (Saint-Just-en-Chevalet, Forez mountains, Loire Department).

© J.-P. Carroué.

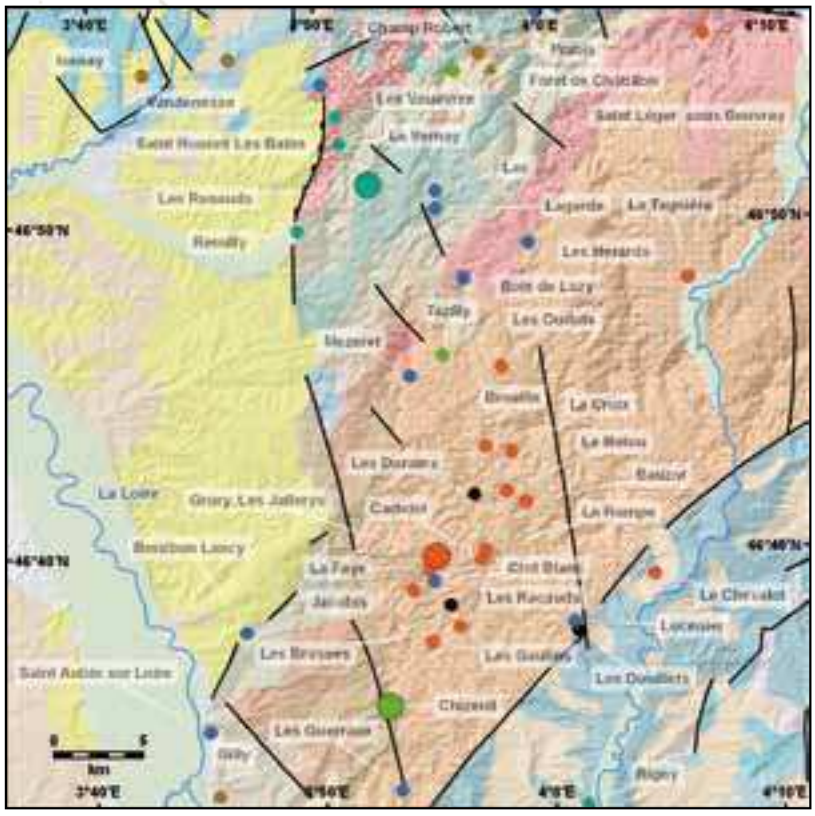


Fig. 2 : Les gisements du bassin de Loire en Morvan. Extrait de la carte métallogénique du bassin de la Loire réalisée à partir de la carte minière de la France à 1/500 000 de 1979.

Fig. 2: Mineralizations of the Loire Basin in the Morvan region. From the metallogenic map of the Loire Basin based on the mining resources map of France at 1:500,000 scale (1979).

© BRGM, J.-P. Carroué, F. Maldan.

recherche, finalement infructueuse, d'amas sulfurés. La Loire va ensuite recevoir sur sa rive gauche la Besbre qui draine la montagne bourbonnaise et emprunte le tracé de la faille de même nom, le long de laquelle viennent buter les filons croiseurs de Saint-Prix et de Nizerolles, ce dernier « écrémé » avant l'arrêt de l'exploitation face à la concurrence de la fluorine chinoise, dont les coûts de production sont bien moindres. La structure de Ramillard, à fluorine et galène, a fait l'objet de petits travaux miniers *(tableau 2)*.

En amont de ce secteur à fluorine, deux mines se distinguent :

– **l'amas cupro-stannifère de Charrier**, encaissé dans les terrains dinantiens et de paragénèse assez exceptionnelle à chalcopyrite, cuivres gris, bornite et cassitérite. Sur le site lui-même, l'eau minérale gazeuse de Charrier a été exploitée pendant quelques années ;

– **la mine d'uranium du Limouzat ou des Bois-Noirs**, proche de Laprugne, qui a pris le relais de la petite mine voisine de Lachaux, près de Chateldon, une des premières exploitées en France. Elle a été une très importante source d'uranium pour l'industrie nucléaire française.

Avant de quitter le cours principal de la Loire pour s'intéresser à ses affluents, on rappellera que l'histoire recèle des traces d'exploitation d'hématite et de limonite, le « fer sidérolithique » de l'Éocène, à l'origine de la métallurgie sur la périphérie du Morvan tout comme le sont les chapeaux de fer.

Le bassin de l'Allier

Le bassin de l'Allier, premier grand affluent de rive gauche, est aussi développé et compte autant d'indices, de gîtes ou d'anciennes mines que celui de la Loire en amont de Nevers. Dans le nord du massif granitique de la Margeride, à hauteur du barrage de Naussac, l'uranium a été exploité dans les mines lozériennes

Gisement	Production en tonne	Substance	Arrêt de la production
Chambonnet-V	5 3	Pb Zn	
Voltennes	250 000	CaF_2	1972
Le Maine	480 000	CaF_2	1980
Juré	1 000	Pb	1825
Grésolles	3 800	Pb	1831
Champoly Pt	5 000	Pb	1809
Grésolette	480	Pb	1826
Le Garet	3 000	Pb	1764
Chizeuil	5 000 000 1 000	FeS Sn	1965
Les Renauds	Réserves : 430 000	$BaSO_4$	Inexploité
Nizerolles	290 000	CaF_2	1990
Charrier	1 000 760	Cu Sn	1953
Le Limouzat	5 300	U	1985 ?

Tableau 2 : Production cumulée des gisements du bassin de la seule Loire.
Source : notice de la carte minière de la France métropolitaine à 1/1 000 000, 1994, BRGM.

Table 2: Cumulative production from deposits in the basin of the Loire itself.
Source: sheet memoir for the Mining map of metropolitan France at 1:1,000,000 scale (1994), BRGM.

des Pierres Plantées et du Cellier. Dans le département de la Haute-Loire vont s'individualiser deux importants districts :

– **Le « District à fluorine de Barlet-Langeac »** [Vialaron *et al.* (2005)] dont le gisement le plus au sud, celui du Cros de Saugues, a produit 30 000 tonnes de CaF_2. Les gisements de Barlet-Langeac ont été exploités par divers opérateurs qui ont dépilé les lentilles de Marsanges, de la Dreyt et du Rouladou. Le gisement de Chavaniac a été repris par Péchiney, qui en a développé l'exploitation jusqu'à épuisement. On citera aussi le petit gisement tracé mais inexploité de La Tourette, véritable filon-école facile d'accès mais totalement obturé.

– **Le « District à antimoine de Brioude-Massiac »** [Périchaud (1971)] a été activement exploité pendant 80 ans jusqu'à la fermeture de la mine de La Bessade en 1936. Quelques recherches ont été menées sans succès par le BRGM vers 1970-1980. Principaux centres de production : Ouche, repris par le BRGM dans les années 1980, La Bessade, où la recherche d'une nouvelle lentille a été infructueuse, Le Fraisse, Pressac, La Chassagne, Osfond. Grâce à l'exploitation de ces gisements, la France a été le premier producteur mondial d'antimoine entre 1890 et 1909 avec une production globale de 120 000 tonnes dont le district de Brioude-Massiac a fourni le tiers *(figure 3)*.

Le district s'étale un peu plus vers le nord-ouest, mais les gisements sont peu importants avec des paragenèses plus complexes à stibine, berthiérite, arsénopyrite, voire galène et sphalérite, sulfosels. Ils ont fait l'objet de travaux parfois profonds par les Gallo-Romains à la recherche d'argent : Les Anglais, Le Dahu, Fournial. Le gisement de Bonnac, jamais mis en exploitation malgré les capitaux réunis par les propriétaires, était assez complexe : superposition de plateures de quartz sporadiquement minéralisé en löllingite, en wolframite et or... L'étude, reprise en 1980 en vue de la recherche d'un tonnage exploitable à ciel ouvert, n'a pas abouti. De petits affluents de la Dore, affluent de l'Allier, ont drainé de modestes gisements de plomb argentifère, exploités à Auzelles, Sagne-Cunlhat et Saint-Amand-Roche-Savine, tout à la périphérie des monts du Livradois. Au confluent de la Dore et de l'Allier, une exploitation artisanale a été conduite sur le petit filon de fluorine de Mariol.

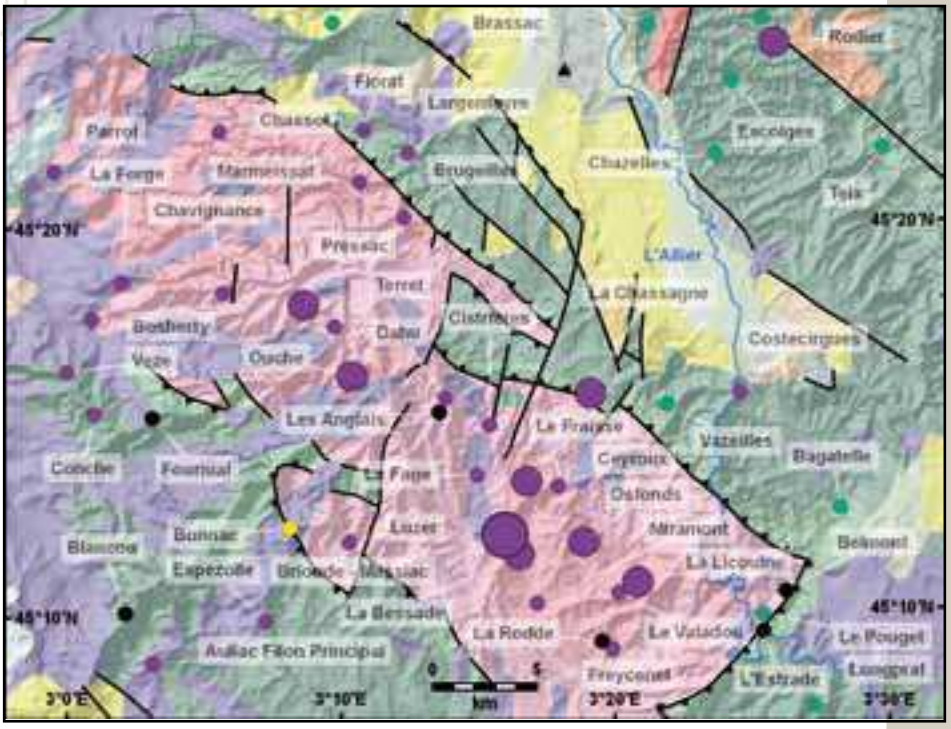


Fig. 3 : Le district à antimoine de Brioude-Massiac. Extrait de la carte métallogénique du bassin de la Loire réalisée à partir de la carte minière de la France à 1/500 000 de 1979.

Fig. 3: The antimony district of Brioude-Massiac. From the metallogenic map of the Loire Basin based on the mining resources map of France at 1:500,000 scale (1979).

© BRGM, J.-P. Carroué, F. Maldan.

La Sioule

Le long de la vallée de la Sioule, la région de Pontgibaud [Bouladon *et al.* (1964)] a été le siège d'exploitations de plomb argentifère depuis la période antique. Les archives font mention explicite de mines de plomb à Pontgibaud en 1554 mais il faut attendre le XIX^{e} siècle pour que débute une exploitation industrielle. C'est finalement à partir de 1853, sous l'impulsion du financier anglais Richard Taylor et jusqu'en 1897, que sera réalisé l'essentiel de la production minière.

Les exploitations sont réparties sur une dizaine de sites et un allongement de 10 kilomètres soit, du sud au nord, le groupe Roure-Rosiers, les petites mines de La Grange et Mioche, la mine de La Brousse et la dernière arrêtée (1897), le groupe Barbecot-Pranal. Au total, 68 kilomètres de galeries et 3 000 mètres de puits ont été foncés dont il ne reste que des déblais et des accumulations de sables résiduels issus du traitement mécanique du minerai *(figure 4)*.

« La France a été le premier producteur mondial d'antimoine entre 1890 et 1909. »

Le transport du charbon des bassins houillers de la Loire

Jean-Claude Picot – Service Ressources Minérales – BRGM – jc.picot@brgm.fr
Marc Saunier – Directeur UTAM Centre Ouest – Département Prévention et Sécurité minière (DPSM) – BRGM – m.saunier@brgm.fr

La Loire, le plus grand fleuve de France ; « et qui a le plus de navigation », *disait Vauban en 1699,* « mais non la meilleure, parce qu'elle roule beaucoup de sable et y forme quantité de bancs ».

La navigation sur la Loire, plus grand fleuve de France, a connu un essor important entre les XVII^e^ et XIX^e^ siècles. Elle assurait le transport des marchandises de Roanne jusqu'à Nantes et engendrait les conditions économiques propices à l'épanouissement de la Renaissance. Les pierres de nombreux châteaux du Val de Loire ont transité par le fleuve.

Au début du XIII^e^ siècle, le lit du fleuve en amont de Roanne est débarrassé des rochers qui l'encombrent, et la Loire est rendue navigable « à la descente » depuis Saint-Rambert-sur-Loire jusqu'à Roanne. La batellerie de la Haute-Loire naît de cette particularité du voyage sans retour. Les bateaux construits sur place par milliers en utilisant les sapins du Forez se nomment les « Rambertes » *(cf. illustration ci-contre)*, les « Salambardes » ou encore les « Sapines ». Ce sont des bateaux à fond plat, longs d'environ 22 mètres, larges de 4 mètres et d'un peu plus de 1 mètre de franc-bord ; leur tirant d'eau est faible pour permettre le passage dans des eaux peu profondes.

Ces bateaux sont destinés au transport de la houille stéphanoise qui arrive à dos de mulets depuis le bassin de Saint-Étienne, distant d'environ 15 kilomètres, jusqu'à Saint-Rambert où elle est chargée sur les bateaux à raison de 20 ou 30 tonnes. Commence alors une descente périlleuse vers Roanne en passant par des gorges tortueuses. À Roanne, les bateaux reçoivent une charge plus importante jusqu'à 40 tonnes et poursuivent leur voyage. À Briare, la charge était augmentée et pouvait atteindre 100 tonnes. De Briare, les bateaux partaient vers Paris par le canal de Briare ouvert depuis 1664 ou vers Orléans et Nantes *(cf. carte)*. À l'issue de leur voyage les bateaux étaient « déchirés » ; le bois était revendu pour les besoins locaux en bois de charpente ou en bois de chauffe.



Carte de navigation fluviale de la France. En rouge, le parcours des bateaux dans le bassin de la Loire.

Map of river navigation in France. Shipping outes in the Loire Basin are highlighted in red, are highlighted in red.

Source : http://www.cosmovisions.com/atlasVLo73.htm

Entre 1704 et le milieu du XIX^e^ siècle, des dizaines de milliers de bateaux chargés de charbon vont transiter par la Loire. À partir de 1810, la nouvelle législation sur les mines entraîne le développement de l'extraction du charbon dans le bassin de Saint-Étienne. Au total ce sont près de 12 millions de tonnes de charbon qui seront transportées avant que le chemin de fer ne détrône la batellerie. La première ligne de chemin de fer de l'Europe continentale fut construite en 1823 entre Saint-Étienne et Andrézieux et servait au transport du charbon vers les bords de la Loire. En un siècle et demi, jusqu'à la fermeture du dernier puits du bassin de Saint-Étienne en 1983, le chemin de fer assurera la plus grande partie du transport des 500 millions de tonnes de charbon extraites du bassin stéphanois.



Maquette de Ramberte, « Amis du rail forézien », Saint-Étienne (Loire).

A scale model of a "Ramberte", or flat-bottomed river boat for coal transport, "Amis du rail forézien", Saint-Étienne (Loire Department).

Source : Forez Info, http://www.forez-info.com/encyclopedie/histoire/petite_histoire_de_saint-just-saint-rambert_217.html

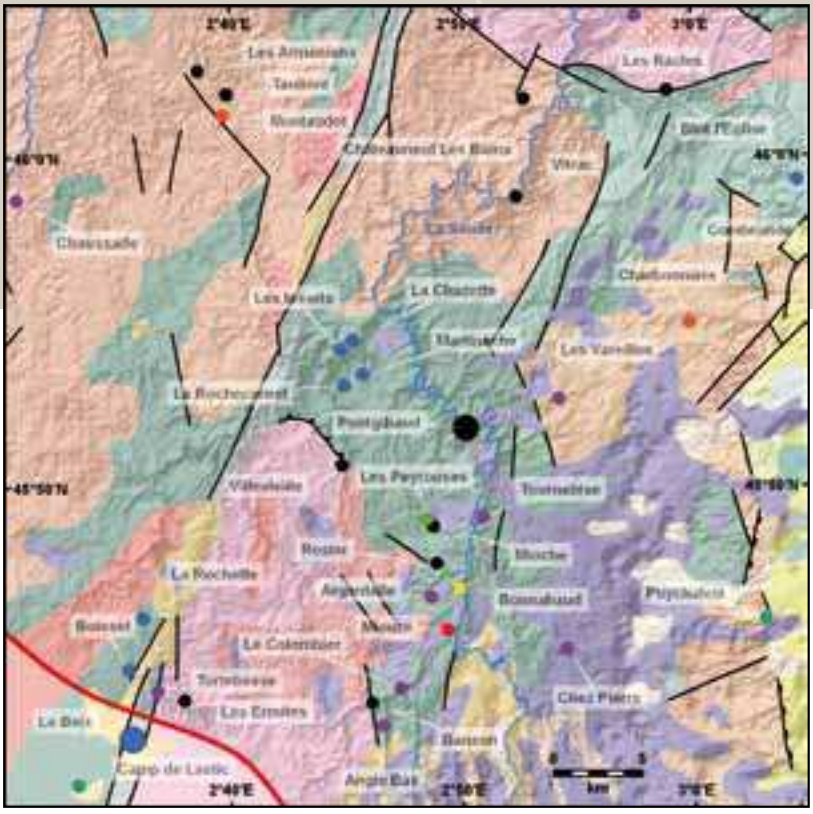


Fig. 4 : Les minéralisations de la vallée de la Sioule (Pontgibaud et Sillon Houiller). Extrait de la carte métallogénique du bassin de la Loire réalisée à partir de la carte minière de la France à 1/500 000 de 1979.

Fig. 4: Mineralizations in the Sioule Valley (Pontgibaud and Sillon Houiller). From the metallogenic map of the Loire Basin based on the mining resources map of France at 1:500,000 scale (1979).

© BRGM, J.-P. Carroué, F. Maldan

La minéralisation était portée par deux filons subparallèles et pendant l'un vers l'autre. La profondeur maximale atteinte est de 250 mètres. Dans les années 1980, le BRGM a réalisé des sondages carottés pour reconnaître l'aval de cette structure : le dispositif est confirmé, mais la minéralisation reste insuffisante pour susciter un intérêt économique. La production globale de « Pontgibaud » reste comparable à celle de la plupart des mines filoniennes françaises dans les socles, comme Huelgoat dans le Massif armoricain.
La Compagnie des Fonderies et Usines de Couéron, installée sur la rive droite de la Loire en aval de Nantes, traitait des minerais de plomb importés de provenances diverses. À la suite de difficultés budgétaires, la compagnie a été renflouée par Richard Taylor, devenant ainsi une succursale de « Pontgibaud ».

> *« Les archives font mention explicite de mines de plomb à Pontgibaud en 1554. »*

À Couéron, une association met tout en œuvre pour conserver la « tour à plomb » alors qu'à Pontgibaud l'association « La Route Des Mines » a vu son travail de réhabilitation réduit à néant par la condamnation récente des accès. Point positif, il reste le « musée de la mine » installé en 1993 au Château-Dauphin avec l'obligeance de ses propriétaires.

Le long du Grand Sillon Houiller du Massif central à l'ouest, drainé par le ruisseau des Sagnes en direction du Sioulet, le filon du Beix a été exploité dans la commune de Lastic. Ses gros cristaux cubiques de fluorine jaune ou bleue ont fait la joie des amateurs [Carroué et Lucas (2005)]. Le long de ce grand accident, d'autres filons croiseurs à fluorine ont pu fournir le « fondant » nécessaire à la fonderie de Pontgibaud : le Boisset, la Rochette et surtout Martinèche dont il ne resterait plus de mineurs survivants, victimes de la silicose.

Gisement	Production en tonne	Substance	Arrêt de la production
Pierres-Plantées	550	U	?
Le Cellier	1 100	U	?
Cros-de-Saugues	30 000	CaF_2	
Marsanges	800 000	CaF_2	1975
La Dreyt	150 000	CaF_2	
Le Rouladou	20 000	CaF_2	
Chavaniac	700 000	CaF_2	1985
Ouche	8 500	Sb	1961
La Bessade	8 000	Sb	1936
Le Fraisse	3 000	Sb	
Pressac	3 000	Sb	1912
La Chassagne	2 000	Sb	1934
Osfond	2 100	Sb	1916
Auzelles	6 000 6	Pb Ag	1901
Pontgibaud	50 000 100	Pb Ag	1897
Le Beix	360 000	CaF_2	1975
Martinèche	70 000	CaF_2	1970 ?

Tableau 3 : Production cumulée des gisements de la vallée de l'Allier et de la Sioule.
Source : notice de la carte minière de la France métropolitaine à 1/1 000 000, 1994, BRGM.
Table 3: Cumulative production from deposits in the Allier and the Sioule Valleys.
Source: sheet memoir for the Mining map of metropolitan France at 1:1,000,000 scale (1994), BRGM.

Au nord du district de Pontgibaud, à proximité du carrefour bien nommé de La Bosse, le massif de granite de la forêt des Colettes est drainé par la Sioule et par son affluent la Bouble. Il porte **le gisement polymétallique d'Échassières** formé par une intrusion granitique minéralisée en masse sous un *stockwerk* installé dans sa couverture métamorphique. Le granite affleurant est entièrement kaolinisé et traversé par des venues quartzeuses, des « greisens ». La carrière ouverte depuis 150 ans fournit un kaolin de qualité, exploité pour l'industrie de la porcelaine (IMERYS). La cassitérite plus ou moins largement cristallisée est présente dans tous les faciès du granite, kaolinisé ou non, plus abondante dans les greisens. La teneur moyenne du granite, tous faciès confondus, est de 1,4 kg d'étain à la tonne, 0,7 % Li_2O sous forme de lépidolite (le mica blanc de ce granite), 500 g/t de BeO et 300 g/t Niobium + Tantale, ce qui, compte tenu de la récupération du feldspath (kaolinisé ou non) et éventuellement du quartz, pourrait en faire un minerai d'importance de métaux aujourd'hui stratégiques pour de nombreuses applications de haute technologie. Dans l'exploitation actuelle du kaolin, seule la cassitérite est récupérée.

À La Bosse restent les gradins noyés de « l'*open-pit* », exploitation à ciel ouvert du *stockwerk* à wolframite installé dans les micaschistes de couverture. Le site de la coupole granitique a été retenu dans le cadre du Programme de géologie profonde de la France pour la réalisation d'un sondage carotté de 900 mètres.

Proche de celui d'Échassières par son contexte géologique et gîtologique, le gisement de Montebras, dans la Creuse, est exploité pour feldspath. Des alluvions stannifères y ont été exploitées à l'époque gallo-romaine [Aubert (1969)].

Au nord d'Échassières, surmontant à l'est le bassin permien de houille et de schistes bitumineux de l'Aumance, le plateau granitique encaisse le petit filon de barytine de Montalimbert. Au nord encore et de l'autre côté du bassin de l'Aumance, la Cogéma a mis en évidence des réserves uranifères à Lombre.

Le Cher et autres affluents en aval

Affluent de la Loire qu'il rejoint aux environs de Tours, le Cher prend sa source sur le site de l'ancienne mine d'antimoine de Mérinchal, puis suit une grande faille N-S croisée par le filon de fluorine de Château-sur-Cher, proche d'un indice uranifère. Son affluent, la Tardes, baigne le site de **l'ancienne mine d'or du Châtelet** exploitée jusqu'en 1953. Des recherches d'extension ont été faites en 1989. Il a produit une dizaine de tonnes d'or. Plusieurs sites voisins ont fait l'objet de petites exploitations ou recherches : Villeranges (Au, inexploitable), Gouzon (U dans les sables).

« La mine contiguë de barytine à ciel ouvert de Chaillac a produit trois millions de tonnes de minerai extrait, à partir d'un complexe ferro-barytique. »

Peu avant sa confluence avec la Loire près de Saumur, la Vienne reçoit sur sa rive droite la Creuse. Les petits filons de fluorine de La Charpagne, Champotré, Montgoury, Baraize situés dans la zone de confluence de la Petite et de la Grande Creuse ont été exploités dans les années 1970 à 1980. En amont, le long de la faille limitant à l'est le plateau de Millevaches, le gîte d'Hyverneresse a fourni un petit tonnage d'uranium.

La Creuse reçoit elle-même la Gartempe qui, près de sa source, draine la zone des aurières gallo-romaines de Bénévent-l'Abbaye où la mine de La Petite-Faye a fourni un peu d'or. Au plus près de son confluent avec la Creuse, la Gartempe reçoit l'Anglin qui, dans ses premiers kilomètres, traverse le bassin secondaire de Chaillac connu depuis longtemps pour ses gisements de fer.

L'exploitation du gisement du Rossignol a conduit à la découverte d'un filon de fluorine exploité par une filiale des Aciéries du Rouget et d'une lentille stratiforme de fluorine et barytine dont les plateures de fluorine ont été exploités par les Aciéries de Paris et Outreau [Carroué (1966) ; Carroué *et al.* (2004)]. **La mine contiguë de barytine à ciel ouvert de Chaillac** a produit trois millions de tonnes de minerai extrait, à partir d'un complexe ferro-barytique à 35 % $BaSO_4$ dit « des Redoutières » *(photo 3)*. Chaillac est le principal gisement français de barytine.

Les sondages effectués sur des indices voisins de barytine du secteur de La Châtre-Chateaumeillant n'ont mis en évidence qu'une minéralisation sporadique et à basse teneur.



◄ **Photo 3 : Le minerai rubané et ferro-barytique des Redoutières, mine de Chaillac (Indre).**

Photo 3: Banded iron-barite ore at Redoutières, mine of Chaillac (Indre Department).

© J.-P. Carroué

La Vienne elle-même suit un tracé complexe. Née sur le plateau de Millevaches, elle se dirige vers le nord-ouest, passe à Saint-Léonard-de-Noblat, drainant le site de l'ancienne mine de tungstène de Puy-les-Vignes *(photo 4)*, puis au-delà de Limoges file plein nord avant de recevoir la Creuse et de se jeter dans la Loire. Entre les cours de la Vienne au sud et de la Gartempe au nord, soit sur un alignement de Limoges à Chaillac, s'étend **la province uranifère des monts d'Ambazac** avec les gisements de Pény, Margnac, Fanay-Le-Fraisse, Bellezane, Le Brugeaud et Le Bernardan, le dernier arrêté. La mine de fluorine voisine de La Charbonnière doit sa découverte fortuite à la présence d'un filon parallèle minéralisé en antozonite, une fluorine violet foncé affectée par la radioactivité.

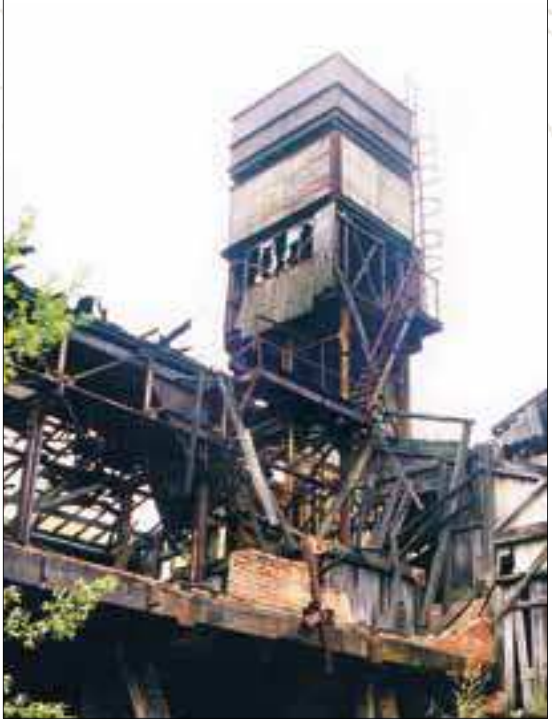


Photo 4 : Le chevalement de l'ancienne mine de tungstène de Puy-les-Vignes.

Photo 4: The shaft tower of the abandoned tungsten mine at Puy-les-Vignes.

© J.-P. Carroué

Les alluvions de la Loire, source de granulats

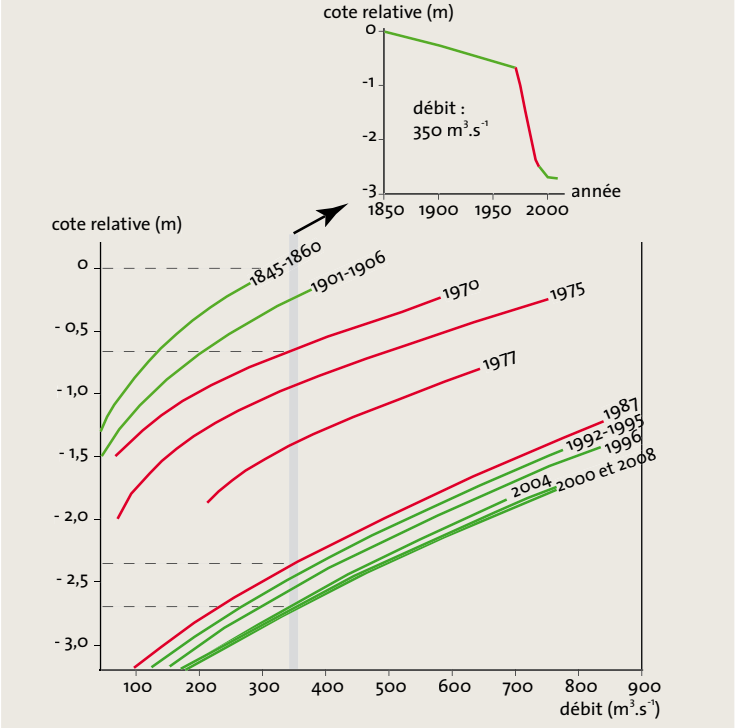
Jean-Jacques Macaire – Professeur émérite – Université François-Rabelais de Tours – jean-jacques.macaire@univ-tours.fr

Les alluvions de la Loire, exploitées dès l'Antiquité, représentent actuellement près de 30 % des granulats extraits en région Centre. Matériaux naturellement meubles, ils ne nécessitent pas de concassage et leur granularité permet la réalisation de mortiers et de bétons. Essentiellement constituées d'éléments siliceux sains, triés par la dynamique fluviale et très résistants, les alluvions sont un matériau « noble » en grande partie composé de quartz, feldspaths et de fragments de roches cristallines du Massif central, et de silex du sud du Bassin parisien.

Ces alluvions ont d'abord été exploitées dans le lit mineur du fleuve où elles sont plus riches en graviers, peu abondants en Loire moyenne (en moyenne 10 % de la masse du sédiment) et surtout où la dynamique fluviale peut réapprovisionner naturellement les sites d'extraction par l'apport de sédiments, ce qui assure une certaine pérennité des installations d'extraction.

Mais l'enfoncement des chenaux du fleuve depuis le milieu du XIX^{e} siècle s'est fortement accéléré après 1970 *(figure)*. Cette évolution a été notamment attribuée à l'accroissement considérable des prélèvements de granulats qui ont évolué de 0,5 à 6 Mt par an entre 1960 et 1979, alors que le flux naturel de sables et graviers était de l'ordre d'1 Mt par an. Ce déficit explique la réglementation imposant la diminution progressive des prélèvements dans le lit actif entre 1982 et 1992 et leur interdiction totale en 1995 (« Protocole Foucaud »). À la suite, l'enfoncement du lit a diminué pour se stabiliser à partir des années 2000 *(figure)*.

Actuellement les alluvions de la Loire sont exploitées dans le lit majeur, tandis que l'extraction de granulats de substitution issus de roches massives est croissante. La réhabilitation des anciennes gravières, sous forme de zones humides protégées, favorise le développement de la biodiversité, contribuant ainsi à la valeur du fleuve.



Évolution de la courbe de tarage de la Loire à Tours depuis le milieu du XIX^{e} siècle (d'après Gazowsky et DIREN Centre).
Pour un même débit (par exemple 350 m³ par seconde) l'abaissement de la ligne d'eau, faible entre 1845 et 1970 (0,7 m en 125 ans) s'est fortement accentué entre 1970 et 1987 (1,6 m en 17 ans – courbe rouge), période de forts prélèvements de granulats dans le lit actif, puis a diminué entre 1987 et 2000 (0,4 m en 13 ans) pour se stabiliser ensuite, en relation avec la diminution puis l'arrêt (1995) des prélèvements.

Evolution of the calibration curve for the Loire River at Tours since the mid 19th century (from Gazowsky and DIREN Centre). For a given flow rate (e.g. 350 m³ per second), the drop in surface profile, slight between 1845 and 1970 (0.7 m in 125 years' time), considerably accelerated from 1970 to 1987 (1.6 m over 17 years – red curve), a period corresponding to massive extraction of aggregates in the active bed, then slowed and stabilized from 1987 to 2000 (0.4 m over 13 years) in pace with extraction which decreased and finally stopped (1995).

Le transport solide de la Loire : des sédiments sans cesse en mouvement

Stéphane Rodrigues – srodrigues@univ-tours.fr
Nicolas Claude – nclaude@univ-tours.fr
UMR CNRS INSU 6113 ISTO – équipe de Tours
Université François Rabelais, Tours

La Loire présente une forte dynamique sédimentaire qui lui vaut sa réputation de fleuve « sauvage », facteur de renouvellement des communautés végétales et des habitats à l'origine de sa biodiversité. Cependant, l'accélération de l'incision du chenal principal renforcée par les actions humaines (endiguement, navigation, extraction de granulats) engendre des problèmes comme la déstabilisation d'ouvrages, le colmatage des chenaux secondaires, la banalisation des habitats et l'accentuation du risque inondation.

L'analyse des flux de sédiments et des formes du lit, grâce à la bathymétrie multifaisceaux *(figure 1)*, la courantométrie à effet Doppler, la mesure des flux par échantillonneurs et la modélisation numérique, montre que ces formes sont très mobiles lors des épisodes de crue (5 mètres par jour dans certains secteurs). Au cours de ces épisodes, elles permettent l'exportation de la charge de fond vers les chenaux secondaires qui sera ensuite fixée par la végétation ligneuse pionnière. La présence de ces formes exerce une rétroaction sur l'intensité et la direction des flux liquides et solides, plus particulièrement lors du lissage qui s'opère pour les faibles débits. L'effet de ce lissage, dont la durée peut être importante au cours de l'année, participe donc à la redistribution des sédiments déposés au cours des crues et conditionne la morphologie du lit avant la crue suivante *(figure 2)*. Le transport solide et la morphologie en Loire sont en permanente évolution, les crues imposant des modifications de formes importantes au lit alors que les basses eaux redistribuent le stock sédimentaire disponible sur un secteur donné.

Les premières estimations du débit solide (en charge de fond uniquement) réalisées à l'aide d'échantillonneurs sur le secteur de Bréhémont (37) indiquent des valeurs variant entre 250 et 1 350 m³/jour pour des débits liquides faibles (non débordants) compris entre 180 et 600 m³/s.

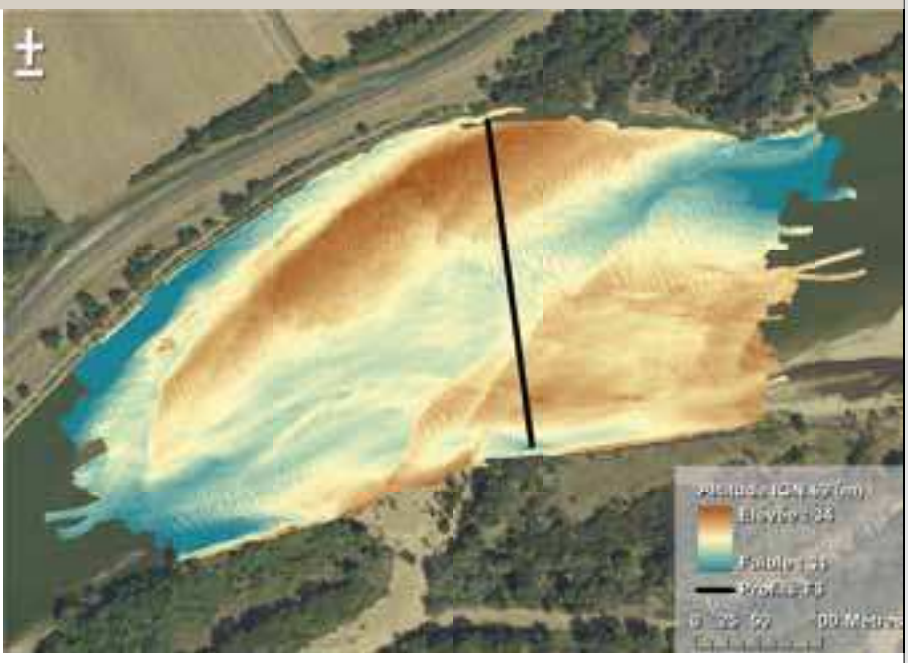


Fig. 1 : Modèle d'élévation numérique obtenu par un levé bathymétrique multifaisceaux réalisé dans le secteur de Bréhémont (Indre-et-Loire). Deux barres sédimentaires (en marron) délimitées à l'aval par un front de progradation sont visibles ainsi que des dunes subaquatiques de second ordre (jaune clair). L'écoulement est orienté depuis l'Est vers l'Ouest et la droite noire correspond au profil de jaugeage solide *(cf. figure 2)*.

Fig. 1: Digital elevation model obtained using a multibeam bathymetric survey conducted in the Bréhémont sector (Indre-et-Loire Department). Two bars of sediment (in brown) bounded downstream by a progradation front, are visible, as well as secondary immerged dunes (yellow). Flow is east-west, and the heavy black line marks the solid gauging profile.

Source : Nicolas Claude, Université de François Rabelais, Tours.

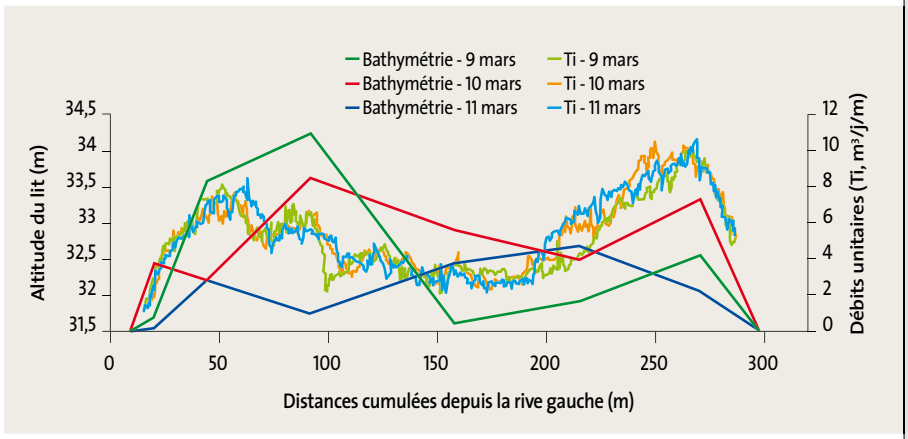


Fig. 2 : Débits solides unitaires (charge de fond et suspension supérieure à 50 µm) pour 8 verticales de mesure et sections transversales bathymétriques en mars 2010 (09, 10 et 11/03/2010) au droit du profil mentionné sur la *figure 1*. Pour ces trois dates, les débits liquides à la station de Langeais (4,5 km à l'amont) étaient respectivement de 681, 608 et 578 m³/s. Noter le lissage de décrue et la réorganisation des flux solides pendant la décrue.

Fig. 2: Solid discharge (bedload and suspended bed material load) for 8 verticals and bathymetrical cross sections measured in March 2010 (3/9/2010 to 3/11/2010) at the cross section mentioned on Figure 1. *For these dates, liquid discharges at the Langeais gauging station were respectively of 681, 608 et 578 m³/s. Note the bed smoothing as well as lateral changes in solid fluxes during the falling limb of the flood.*

Source : Olivier Guillemet et Nicolas Claude, Université de François Rabelais, Tours.

Gisement	Production en tonne ou kilo	Substance	Arrêt de la production
Échassières		Sn,Ta, ..	(1)
Montmins	6 500	65 % WO_3	1962
Montalimbert	80 000	$BaSO_4$	1975
Lombre	3 000	U	1988
Le Châtelet	11	Au	1953
Mérinchal	2 500	35 % WO_3	1901
Petite Faye	300 kg	Au	1962
Chaillac Redoutières	3 000 000	$BaSO_4$	1996
Chaillac Rossignol	300 000	CaF_2	1994
Puy-les-Vignes	3 0170	WO_3	1957
Pény	1 380	U	1994
Margnac	13 000	U	?
Fanay	3 229	U	?
Le Brugeaud	2 290	U	?
La Charbonnière	350 000	CaF_2	1994
Rouez	2,4	Au	1993
Le Chardon	1 000	U	?
La Lucette	42 000 8	Sb Au	1934
La Bellière	10	Au	1952
L'Écarpière	2 500	U	1991

(1) – réserves importantes non chiffrées, actuellement sous-produit exploitation kaolin.

Tableau 4 : Production minière cumulée des gisements drainés par le Cher, la Creuse, la Vienne et la Loire dans le Massif armoricain.

Source : notice de la carte minière de la France métropolitaine à 1/1 000 000, 1994, BRGM.

Table 4: Cumulative production from deposits drained by the Cher, Creuse, Vienne Rivers and the Loire River in the Armorican Massif.

Source: sheet memoir for the Mining map of metropolitan France at 1:1,000,000 scale (1994), BRGM.

La Loire dans le Massif armoricain

Dès son arrivée dans le Massif armoricain, la Loire va recevoir sur sa rive droite la Maine issue de la confluence de la Sarthe et de la Mayenne qui drainent respectivement l'amas sulfuré aurifère de Rouez, sur la Sarthe et la mine d'antimoine de La Lucette ouverte dans le cours supérieur de la Mayenne. La Lucette a été le premier producteur français d'antimoine *(tableau 4)*.

Peu avant Ancenis, la Loire reçoit sur sa rive gauche l'Èvre, qui arrose Montrevault et le site de la mine d'or de La Bellière.

Un des derniers affluents de la Loire, la Sèvre nantaise, draine les gisements d'uranium qui ont été exploités au Chardon, à l'Écarpière et à la Commanderie. La mine d'antimoine de Rochetréjoux est à la limite des bassins versants de la Loire par la Sèvre nantaise et du Lay qui rejoint le Pertuis breton.

Hors du strict cadre du bassin de la Loire, les gallo-romains ont exploité du plomb argentifère autour de Melles. De remarquables travaux de réhabilitation et un des plus beaux musées ont mis le site en valeur. Face à ces travaux mais au plus près de la bordure sédimentaire du Massif central, le périmètre d'Alloue-Ambernac renferme des indices identiques. Celui de La Boissière aurait fourni une petite production à partir d'un tout-venant à 3,6 % Zn, 1,2 % Pb et 1 600 g/t Ag.

L'ensemble de ces deux secteurs a été étudié dans les années 1955-1960 par la division « Détroit-Poitevin » du BRGM. Les résultats de ces travaux présentent peu d'intérêt pour le plomb-zinc et l'argent. Mais à l'époque aucune étude n'a porté sur les « Terres Rares » éventuellement présentes.

Demain, le réveil ?

Le bassin de la Loire a bien été un champ de gisements les plus divers. Toutes les mines, épuisées ou non compétitives, ont été fermées. Les réserves en étain, lithium, uranium, tantale et autres de la coupole de granite d'Échassières y sont encore considérables. Mais qui sait si demain, dans un contexte mondial d'épuisement des ressources et de valorisation des minerais, la Loire ne redeviendra pas attractive pour ses richesses minérales ?

The Loire River's Mineral Wealth

The hydrogeographic basin of the Loire River bathes the northern half of the Massif central granular rock formation and the Morvan region, as well as the Armorican Massif between the Poitou and Normandy hills and the Perche region.
This basin clearly reflects the diversity and fertility of France's subsurface as attested by the metallogenic map in this article. From its headwaters to the estuary at Nantes, this basin abounds in metal-bearing deposits, some of them worked intensively, since Gallo-Roman times in some instances, and responsible in particular for industrial development in areas though which the Loire and its tributaries flow.
Mineral wealth is particularly substantial, with resources in fluocerite and barite, as in Chaillac (Indre Department), where 3 million tons have been extracted. But the same is true for silver-bearing veins, fine samples of galena, sphalerite, azurite and malachite, hematite, limonite and copper.
The river course has also flowed in the vicinity of gold mines like that of Le Châtelet or uranium deposits.
The working of metal-baring ore sites ground to a halt in the second half of the 20th century when metal prices plummeted. Yet the Loire basin remains an important source for aggregates and industrial minerals, including clay, feldspar and kaolin.
The recent surge in metal prices and fevered international competition for access to mineral resources could well open out a rosy future for these Ligerian minerals.

Bibliographie : **Aubert G. (1969)** – Les coupoles granitiques de Montebras et d'Échassières (Massif central français) et la genèse de leurs minéralisations en Sn, Li, W et Be, Thèse Clermont, *Mémoire du BRGM n° 46*. **Bouladon J. *et al.* (1964)** – Le faisceau filonien de Pontgibaud (Puy-de-Dôme) - Extrait du *Bulletin du BRGM n°1*. **Carroué J.-P. (1966)** – Étude de la bordure sédimentaire dans le Bassin de Chaillac. *BRGM-DL Clermont* n° 163. **Carroué J.-P. *et al.* (2004)** – Histoires de Chaillac- *in Le Règne Minéral, Hors Série X*. **Carroué J.-P., Lucas J. (2005)** – La fluorine dans le Puy-de-Dôme – *in Le Règne Minéral, Hors Série XI*. **Périchaud J.-J. (1971)** – Les gisements métalliques du district à antimoine de Brioude-Massiac (Massif central français) – Thèse, *Bulletin du B.R.G.M. section II*. **Vialaron Ch. *et al.* (2005)** – La fluorine en Haute-Loire. *In Le Règne Minéral, Hors Série XI*. **Cartes publiées :** **Carte des Gites Minéraux de la France** à l'échelle du 1/500 000, feuilles Lyon, Strasbourg, Nantes, Bordeaux. **Carte Minière de la France Métropolitaine** à l'échelle du 1/1 000 000 – Situation 1994.