OR ET OR NOIR EN COMMINGES

Par Marc Blaizot ; Geolval

Cette journée, intitulée « sur les traces de Jack London et d'Erwin Drake, ou « or et or noir en Comminges », se déroulera dans le piémont pyrénéen, piémont ou piedmont, domaine particulier de transition, tant géologique qu'humain, qui sera notre fil rouge. Nous avons divisé cette journée en deux parties.

La première, au bord de la rivière le Salat, dans un méandre situé à la limite entre Ariège et Haute Garonne, nous montrera un processus sédimentaire détritique bien particulier la sédimentation fluviatile de plaine alluviale **avec migration et piégeage de minéraux lourds (et or ?) associés aux grains détritiques, conglomératiques à argileux, principalement silicatés générés dans les Pyrénées.**

La seconde, dans les locaux de la société STC à Boussens (31), ou deux processus seront mis en évidence :

- un processus sédimentaire voisin de celui vu sur le bord du Salat, mais situé en domaine marin péri-atlantique par grande profondeur d'eau **: la sédimentation de type *deep-sea fan* ou éventail/cône de mer profonde au large de l'Angola**. Ces dépôts, sableux à micro-conglomératiques, sédimentés au large des grands deltas, forment les roches réservoirs (ou mieux, magasin) des découvertes de pétrole géantes de l'Angola : près de 10 Milliards de barils découverts, succès considérable pour les géologues et les foreurs, mais à relativiser car correspondant à seulement …3 mois de notre consommation mondiale annuelle actuelle.

-un processus fluide, de type migration d'hydrocarbures, **la mise en place du gaz de du champ de St Marcet, première découverte de gaz faite en France en 1939, dans un anticlinal de piémont, lieu privilégié de migration et piégeage du gaz généré dans le bassin d'Aquitaine.**

Les deux processus sédimentaires sont marqués par **la gravité** qui permet le déplacement de particules, du haut vers le bas de la pente, et par **la turbulence** qui permet le déplacement concomitant de boue et de particules plus lourdes et plus massives. Toutes deux montrent aussi des profils d'altération/transport /sédimentation voisins même si à deux échelles différentes, quelques dizaines de kilomètres pour la première et des centaines de kilomètres pour la seconde. Quant à la migration d'hydrocarbures, elle obéit, elle aussi, à la gravité mais de manière inversée puisque nous avons, ici, affaire à des fluides (gaz ou pétrole) plus légers que l'eau : la migration se réalise alors du bas (dépôt-centres des bassins sédimentaires ou « cuisines » en langage de pétroliers, souvent en même temps, par amour ou par force, cuisiniers) vers le haut : dans des pièges structuraux ou stratigraphiques.

Ces deux séquences illustrent **toute la richesse minérale et énergétique des piémonts** situés entre haute chaine orogénique et bassin sédimentaire, réceptacles premiers à la fois de l'érosion des chaines, mais aussi des migrations fluides venues des bassins. De l'Alaska aux Andes des Carpathes au Caucase, en passant par les Apennins ou les Pyrénées en Europe, ces

provinces géologiques particulières, marquées par la sédimentation puis la compression et le métamorphisme, ont depuis la plus haute antiquité été le siège d'innombrables prospections et exploitations tant métalliques que pétrolières. Elles sont aussi des frontières ou interfaces entre différents peuples : l'exemple le plus emblématique est bien sûr la région du Kurdistan : perses de la haute chaine, kurdes du piedmont et arabes en plaine mésopotamienne.

Jack London et Erwin Drake, ces précurseurs, tous deux remarquables observateurs, l'un des prospecteurs d'or du Yukon (Rabinovitch,2000) l'autre des échappements naturels de pétrole autour de Titusville (Tertzakian, 2007), tous deux géologues sans le savoir, seront donc nos compagnons de terrain aujourd'hui.

1) Présentation de la région : les petites Pyrénées.

La région du Comminges correspond à **une partie de la zone nord-pyrénéenne** située entre la haute chaine au Sud composée principalement de terrains paléozoïques (et pro parte protérozoïques) injectés à la fin de l'ère primaire par des massifs granitiques et **à la zone sous-pyrénéenne** au Nord, qui constitue la bordure méridionale du bassin d'Aquitaine, bassin d'avant pays correspondant à un énorme dépôt-centre de plus de 10 km d'épaisseur formé, principalement, de terrains crétacés et tertiaires.
La limite entre la Haute Chaine et la zone nord pyrénéenne est la FNP (Faille Nord Pyrénéenne) ou mieux la FNI (Faille Nord Ibérique, Biteau et Canerot , 2007) et la limite avec la zone sous-pyrénéenne est marquée par la FCNP (Front de Chevauchement Nord Pyrénéen). Il y affleure des séries jurassiques à crétacées plissées et faillées au cours de l'Eo-Oligocène, avec des chevauchements principalement à vergence Nord, selon des directions anticlinales et synclinales principalement Est-Ouest, affectés par de nombreux diapirs de sel triasique qui a largement influencé la toponymie locale : Salies, Salat…. Ces plis tertiaires sont particulièrement visibles dans la région du Comminges, dans le massif du Plantaurel (Ariège) ou les Petites Pyrénées (Haute Garonne) ainsi que beaucoup plus à l'Ouest, en Chalosse (Landes). Quelques failles transverses majeures, N30° et N160°E, héritées de la tectonique hercynienne, compliquent, s'il en était besoin, la structuration de la zone nord pyrénéenne : c'est particulièrement le cas de la faille méga-régionale de Villefranche ou de Toulouse qui influence même les dépôts quaternaires et l'orientation des cours des rivières. Cette zone est typique, par ses failles inverses et ses plis souvent asymétriques, déversés vers le Nord en général, des ensembles dits FTB, pour « *Faults and Thrusts Belts* » (Cramez et Letouzey, 2002) qui ont toujours été le siège d'explorations minières car permettant de mettre à l'affleurement des terrains très variés, plus anciens que ceux de la plaine, et d'exploitations pétrolières, car permettant la création de pièges structuraux visibles soit en surface soit en géophysique.

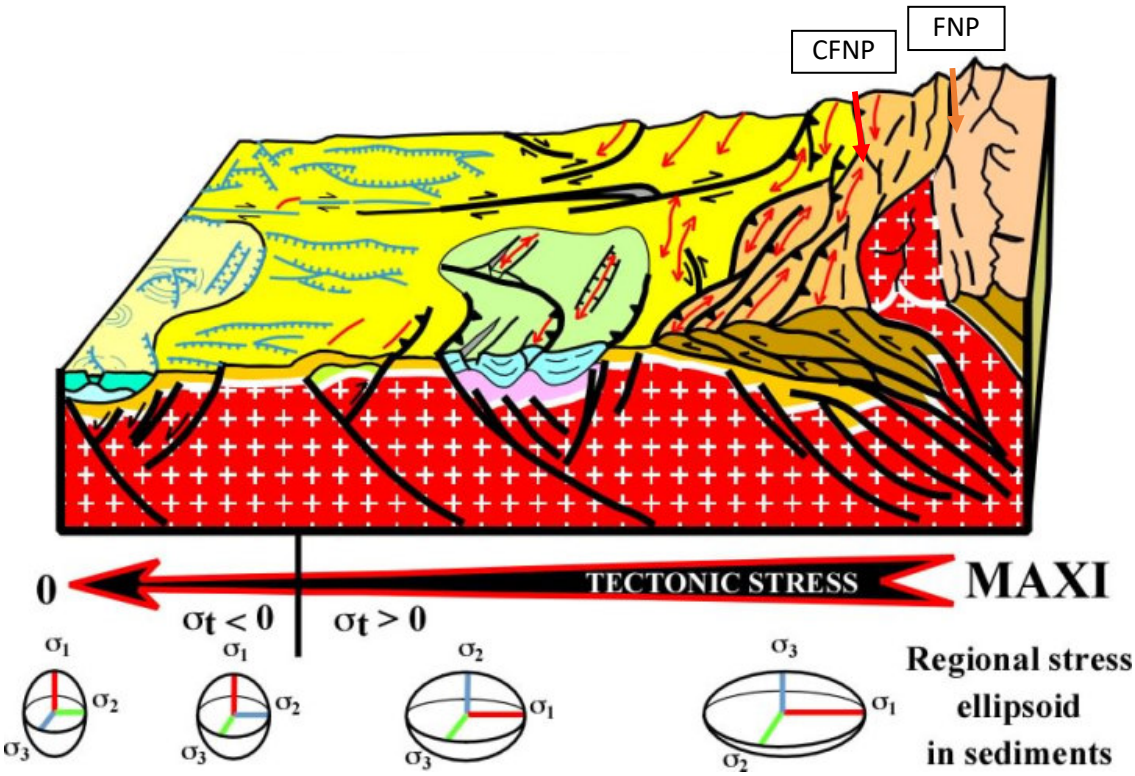

Figure 1. Schéma simplifié d'une chaine « Fault and Thrust Belt ». Cramez C. et Letouzey P.

Le bassin d'Aquitaine s'étend sur 120000 km2 mais ce sont les 7000 km2 d'un sous-bassin dit d'Adour-Comminges, le long de la bordure nord des Pyrénées, qui nous intéresseront aujourd'hui de par son contexte FTB. Ce sous-bassin se différencie au Crétacé Inférieur du fait de l'avancée vers l'Est de l'Ibérie (qui s'était désolidarisée de l'Europe entre le Permien et le Jurassique Inf.) qui entraîne l'ouverture (rifting) du Golfe de Gascogne et la création dans son prolongement oriental (Canérot, 2008), d'une succession de fossés d'effondrement très subsidents et de blocs tiltés parfois émergés. Dans la zone Adour-Comminges, les séries barrémiennes à albiennes en faciès flysch peuvent atteindre 6000 mètres. Ces faciès de sillon se poursuivent jusqu'au Campanien pendant lequel commencent les phases de compression, rapprochement en Ibérie et Europe qui donnera naissance à la chaîne pyrénéenne, orogène qui atteindra son paroxysme à l'Eocène supérieur. Mais un relief est vite érodé et dès l'Oligocène, les premières molasses, dépôts détritiques majeurs liés à l'érosion de la haute chaine apparaissent. Ces dépôts de cônes alluviaux et de fleuves vont perdurer jusqu'à aujourd'hui et sont les premiers réceptacles de tous les produits d'érosion, en particulier des minéraux lourds.

2) Le SALAT, de la zone de la Haute chaine des Pyrénées aux plaines molassiques : agent d'érosion et de sédimentation.

Plus localement, observons que le bassin versant du Salat mesure environ 500 km2 et est limité à l'Est par les massifs granitiques de l'Arize et des Trois Seigneurs qui culminent à 2200 m et au Sud par la haute chaine paléozoïque, le long de la frontière espagnole et puis à l'Ouest par des sommets granitiques et carbonatés transverses à la chaine qui font la limite avec le bassin principal de la Garonne dans laquelle le Salat se jette, à Roquefort. Sa partie principale, centrale, enclavée, au Sud de St Girons correspond à la région du Couserans, coiffée peu avant la frontière, du célèbre Mont Vallier (2838 m), point de repère et emblème de cette région.

Cette rivière, le Salat, traverse donc, des territoires géologiques variés et doit d'ailleurs, elle comme ses principaux affluents, s'y frayer un chemin plus que compliqué ; on observe, le long de ces rivières, une direction principale d'écoulement SE-NW et des directions secondaires NS et même pratiquement Ouest-Est ! Ces variations de direction d'écoulement, parfois opposées, témoignent d'un paysage orographique et géologique très varié, avec des changements de faciès et de direction tectonique violents, en particulier d'accidents transverses hérités de la tectonique varisque. Son intersection avec la carte géologique (même si celle d'Aspet au 1/50000 ème n'est toujours pas finalisée et est largement à reprendre comme un certain nombre d'autres cartes des Pyrénées qui mériteraient des retours sur le terrain !) montre en effet :

- A l'Est, Nord Est et Centre, des massifs cristallins de l'Arize et Trois Seigneurs, granits calco-alcalins varisques (300 Ma) intrusifs dans les séries paléozoiques.
- Au Sud la haute chaine paléozoique cambrien-carbonifère inférieur et des intrusions granodioritiques plus rares
- A l'Ouest, le massif granitique de Milhas et son pourtour carbonatéde direction N-S qui se franchit au col du Portet d'Aspet
- Au Nord, les chainons plissés carbonatés et molassiques des Petites Pyrénées de direction ESE-ONO qui prolongent vers l'Ouest, le massif du Plantaurel.

Le Salat reçoit quelques affluents majeurs : le Garbet en rive droite, le Lez en rive gauche grossi de la Bouigane ; en conséquence, les produits de l'érosion sont très différenciés, tant en taille qu'en densité, qu'en lithologies ou pétro-physiques, nous aurons l'occasion de le ressentir.

3) A la recherche de pépites sur les traces de Jack London : le placer de Prat-Bonrepos

Pour retrouver de l'or au fond de sa batée, il ne suffit pas de laver les alluvions d'un cours d'eau aurifère, il faut aussi savoir où rechercher. Du fait de leur densité, l'or et les minéraux lourds charriés par le courant se déposent et se concentrent sur certains endroits spécifiques appelés **placers alluviaux.** C'est sur ces placers qu'il faut prélever les alluvions à laver. La rivière classe, selon leur densité, les matériaux qu'elle déplace et dépose. La nature prépare ainsi le travail de l'orpailleur en concentrant naturellement, les minéraux lourds dans les placers alluviaux. Mais ce type de prospect (volume sédimentaire capable de contenir le minerai ou le fluide recherché) alluvionnaire n'est qu'un dérivé, détritique, secondaire, d'un gîte primaire situé en amont que nous appellerons « roche-mère ».

Le ou les placers de Prat-Bonrepaux et Lacave sont situés d'après la carte géologique de St Gaudens (1/50000 ème) dans une partie de la vallée orientée Est-Ouest, probablement liée au passage du FCNP en profondeur, et plus localement, entre deux pointements diapiriques triasiques, Bonrepaux (sensu stricto) en rive droite qui met à l'affleurement, les séries salifères et ophitiques et Prat en rive gauche (voir photo satellite et photo, ci-dessous).

Photo 1 : Le placer et méandre de Prat-Bonrepaux- Crédit Photo : Blaizot M., Août 2018.

Photo 2 : vue satellite du 13/09/2017. Source : Courtoisie de GéoEspace : https://geoespace.com/ entouré en rouge, le placer de Prat-Bonrepaux, en rive gauche du Salat.

3a-Qu'est-ce qu'un placer ?

Le courant déplace les alluvions en les classant ; les minéraux lourds ne circulent pas sur toute la largeur du lit ; ils empruntent un chenal étroit souvent nommé, en Amérique, **"gold line".** Les passages étroits exacerbent ce phénomène. En cas de méandres, ce chenal suit généralement "la corde". En ligne droite, c'est la forme du lit de la rivière qui détermine le chemin emprunté par les pépites et les paillettes. Lors des crues, le trajet des minéraux lourds se modifie en fonction du débit et de la configuration de la zone traversée. Quand, en particulier, un ralentissement du courant intervient, les alluvions se déposent selon leur densité et leur volume. La densité de l'or étant de 19,33 et celle des galets et sables entre 2 et 3, l'or se trouve classé et déposé en même temps que des graviers beaucoup plus volumineux que lui. Ainsi, dans une barre de méandre, les dépôts sont en général classés d'amont en aval et de bas en haut, de la manière suivante :
-d'abord une série de gros galets, associés à des minéraux lourds et parfois, de l'or en pépites
-ensuite des graviers reposant sur des sables grossiers, avec des minéraux lourds et de l'or fin
-enfin des sables fins, en général stériles et des argiles.

Lors des décrues, les zones de passage et surtout de dépôts des minéraux lourds se retrouvent à découvert sur les berges du cours d'eau. C'est le moment, pour l'orpailleur, de commencer son harassant travail !

3b- La sédimentation fluviatile

Les chenaux sont présents dans de nombreux types d'environnements : alluvial, mais aussi littoral et sous-marin (voir plus loin). Voici quelques éléments caractéristiques des systèmes fluviatiles à méandres :

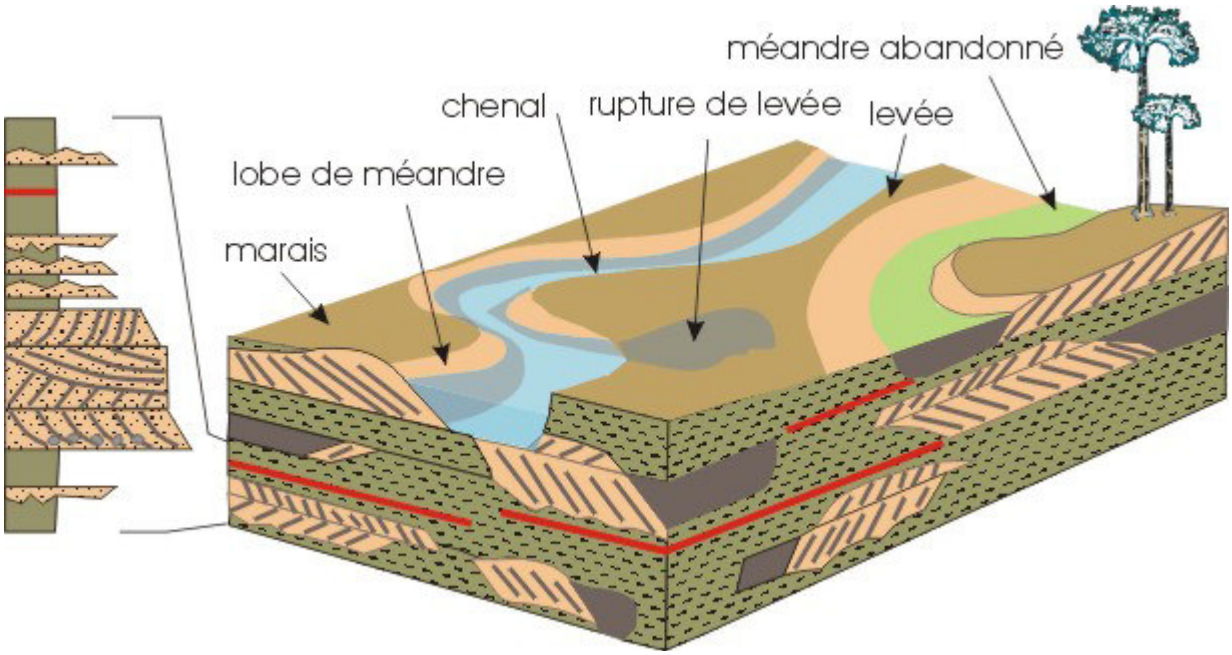

Figure 2. Schéma d'un système fluviatile à méandres et exemple d'une séquence de comblement. Les levées latérales bordant le chenal se développent suite à la diminution de la vitesse du courant près de la berge. Elles peuvent se rompre lors des crues. Sable en beige, argile et silt en vert, tourbe en gris et paléosols en rouge. Source : Boulvain F., 2018-Université de Liège.

Les placers alluvionnaires sont mobiles, souvent déplacés ou remobilisés par les crues. Les zones de piedmont, en particulier en sortie de relief, comme dans la zone de Prat-Bonrepaux

sont particulièrement recherchés du fait du ralentissement global du courant, d'un profil orographique moins marqué, de la rupture de pente. Mais s'il nous suffisait de regarder une carte topographique ou une photo-satellite, le travail de prospection serait trop simple. Quelques paramètres plus locaux sont aussi à rechercher et font tout l'art du prospecteur. La végétation inondée par une crue travaille comme un tapis et constitue un excellent piège retenant minéraux lourds et or, d'où d'ailleurs, au-delà de la mythologie grecque, le nom de la « Toison d'or » donnée aux peaux de mouton servant à récupérer les pépites ; il faut prélever ces végétaux, leurs racines, les sables qu'ils retiennent et les laver soigneusement dans la batée. Fines racines, mousses, tapis d'herbes sont très porteurs …d'or.

3c -A la recherche de la roche mère

Minéralogiquement, l'or est principalement natif, filonien, prisonnier dans une gangue de quartz ou dans des sulfures, pyrite (FeS_2) et surtout mispickel (arsénopyrite FeAsS). La destruction du quartz par l'érosion, en particulier dans les Pyrénées par les phénomènes gel/dégel, libère les particules d'or et permet leur migration vers des placers.

Fiche d'identité : L'or

Couleur : jaune vif

Très dense : 19,3

Inaltérable à l'eau et l'air

Très ductile : 1g d'or peut donner un fil de 3 km de long !

Numéro atomique : 79 (protons) ; masse atomique : 197

Clarke (teneur moyenne de l'écorce terrestre) : 0,005 g/t ou 5 ppm

L'origine de l'or du Salat est clairement détritique mais plusieurs candidats « roche-mère » ou gîte primaire, sont possibles vers l'amont ; ils nous sont fournis soit par les témoignages historiques soit par la géologie, l'archéologie et même la toponymie. Cette dernière montre en amont de St Girons et sur un affluent, la Bouigane, les localités suivantes : Argein, Aucazein, Augistrou, Orgibet, Augirein… pas besoin de faire une étude étymologique …

Photo 3. Quelques noms emblématiques de la vallée de la Bouigane, affluent du Salat dans le Couserans. Crédit Photo : Blaizot M., Août 2018.

L'archéologie minière et en particulier les nombreuses recherches dans la chaîne des Pyrénées du Pays Basque au Roussillon, effectuées par Béatrice Cauuet (Université de de Toulouse, UMR TRACES) démontre aussi l'existence de travaux gaulois, plus sûrement romains qui avaient longtemps convoité la « Gallia aurifera ».

Les principaux types de gisements d'or hors roches détritiques, correspondent aux « roches mères » suivantes (Vic G et Tourlière B., 2006) :

-**les ceintures volcaniques archéennes** (Canada Est, Australie Ouest, Brésil), protérozoiques, et **hercyniennes (Afrique-Europe**), et tertiaires (USA, Chili) qui correspondent souvent à des filons riches en quartz **associés à des sulfures massifs** (plomb, zinc, pyrite) d'origine volcanique (Canada, Australie, Suède) et entrecoupés de couloirs de déformation tectoniques (De Souza et Matthieu, 2018). La zone Sud-ouest Couserans (Mines du Bentaillou) pourrait y être rattachée.
-**des granites de type porphyrique** associés à du cuivre, à faibles teneurs en or, mais de très grande dimension : USA, Canada, Pérou, Chili, Papouasie-Nlle Guinée (Beaudoin, 2018).
- **des skarns** (métamorphisme de contact entre granites et carbonates). Ces skarns sont bien connus en haute vallée du Salt à proximité de Salau. Ce skarn a été découvert et exploité pour le tungstène, dans les années 1950 -1980, mais des nouvelles données (Thèse de Thomas Poitrenaud, 2018) révèlent des teneurs en or assez stupéfiantes (**jusqu'à 25 g/t** ! Testard J., 2018).

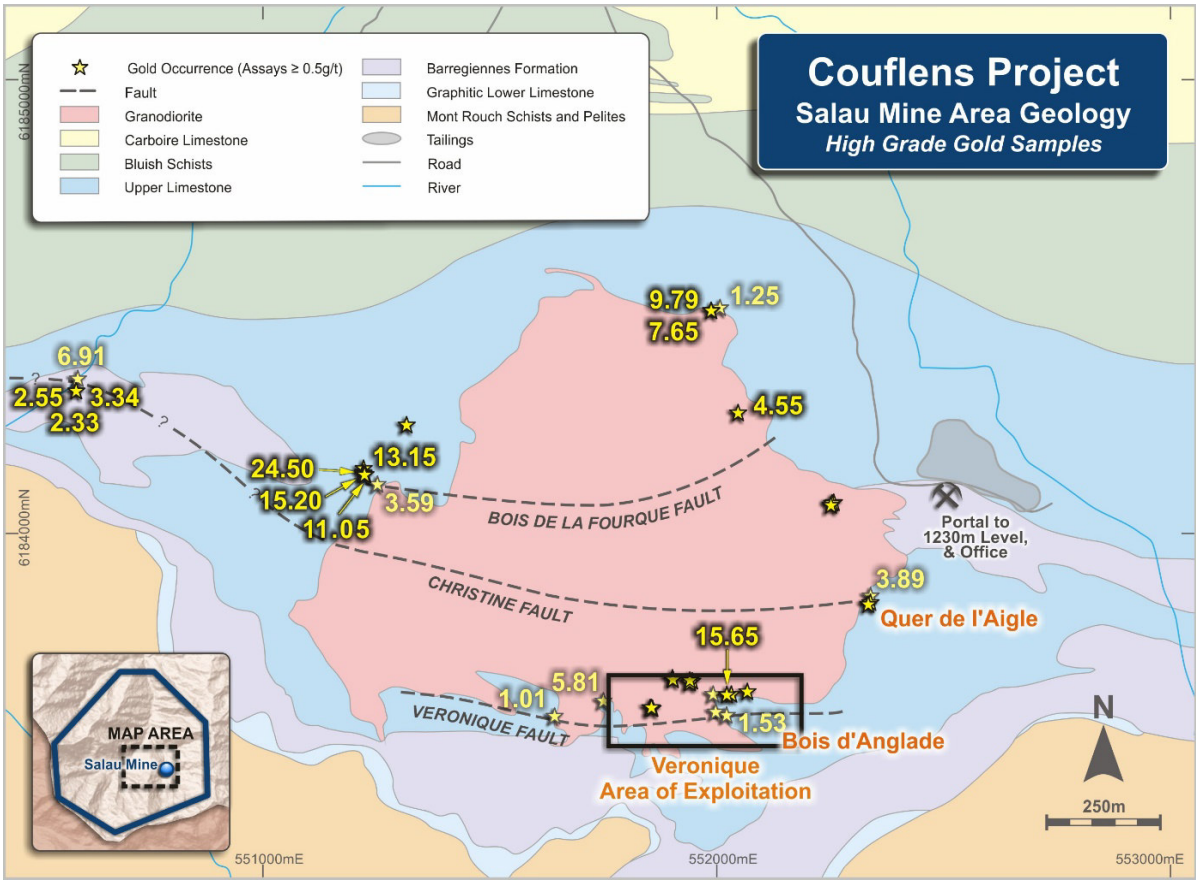

Figure 3. Zone de Salau-Couflens : Teneurs en or. Source ; d'après Poitrenaud T. publié in Testard J. (2018).

Dans le cas du bassin versant du Salat, on pourrait donc évoquer les trois types de « roches mères », mais plus sûrement les types 1 et 3. Remarquons cependant que la roche mère n'a pas été formellement reconnue malgré des recherches fréquentes mais dans des conditions cependant très difficiles (falaises, haute montagne, froid).

La production mondiale d'or est d'environ 2500 t/an. Depuis la nuit des temps (âge du Bronze), on aurait extrait 130 000 t (voir Géochronique, 2002) dont il subsisterait encore 100 000 t aujourd'hui (bijoux, monnaies).

4)-Les carottes (et les hydrocarbures) de Girassol (Angola). Un Système sédimentaire détritique de bassin profond.

Les sédiments de bassin sont surtout des sédiments boueux, argileux. Les principaux sédiments grossiers détritiques qu'ils contiennent sont **les turbidites**. L'appellation "turbidite" devrait être restreinte à des dépôts dont le mode de transport est un courant de turbidité, c-à-d. un fluide où les particules sont maintenues en suspension par la turbulence de l'eau seule. A ceci s'opposent notamment, les *debris-flows,* qui sont des écoulements gravitaires où les particules sont retenues et transportées par et à l'intérieur d'une matrice boueuse. Les turbidites vraies sont grano-classées (voir log ci-dessous) et constituées de sédiments sableux à micro-conglomératiques, à la différence des *debris-flows* qui peuvent inclure des particules de toute taille.

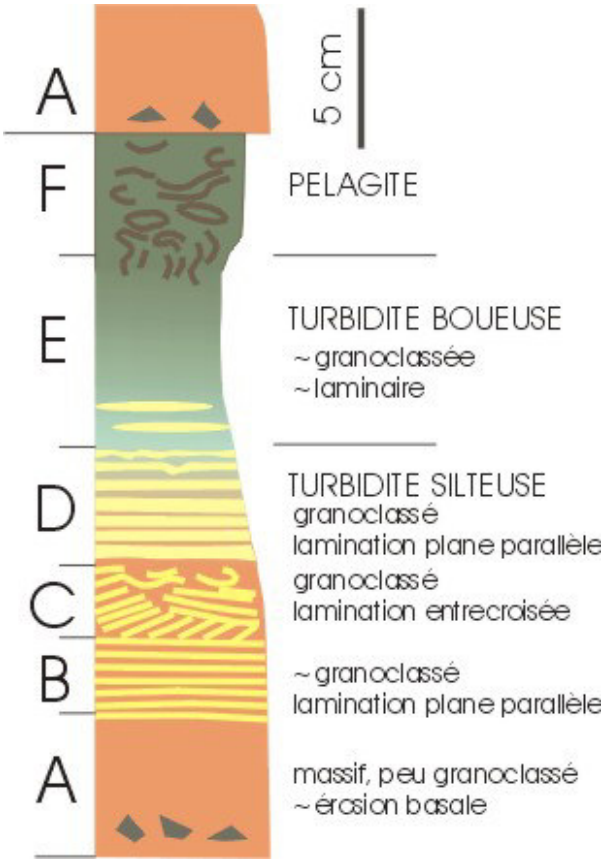

Figure 4. Séquence idéale de turbidite (dite "séquence de Bouma"). Source : Boulvain F., 2018.

A proximité des zones sources d'où proviennent les écoulements gravitaires (pieds de talus continentaux), les dépôts s'organisent sous la forme de lobes ou éventails sous-marins. Dans le détail et à partir du plateau continental d'où proviennent les sédiments, on peut distinguer :

- des dépôts de type *debris-flow* (figure ci-dessous, position 1) au niveau du chenal principal ou canyon sous-marin qui entaille le talus ;
- les bordures des chenaux ou levées) sont caractérisées par des faciès de débordement, sous la forme de minces niveaux de turbidites (2) ;
- plus en aval, les chenaux montrent des unités grano-classées de sable et gravier (3) ou massives de sable (4);
- entre les lobes proximaux et distaux, hors chenaux, s'observent des turbidites de moyenne densité (5) ou de faible densité (6) selon la distance à la source et la nature du matériel.

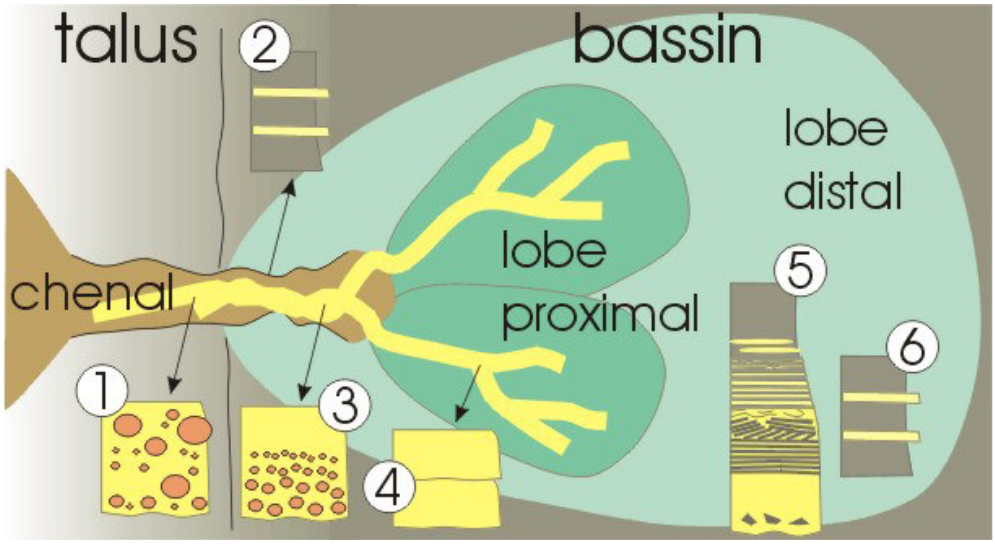

Figure 5. Organisation en plan des dépôts gravitaires au pied d'un talus continental. Explication des chiffres dans le texte. La taille du système est variable et peut atteindre plusieurs dizaines de kilomètres. Source : Boulvain F., 2018.

5) Le gisement et les carottes de St Marcet : brèche de cap-rock sur diapir salifère triasique. Système pétrolier du bassin du Comminges.

Le gisement de gaz (méthane et éthane) et condensats (propane, butane, pentane principalement) est situé entre Boussens et Saint Gaudens sur un anticlinal de surface, de direction pyrénéenne, bien marqué dans le paysage par les reliefs liés aux affleurements du calcaire Nankin (Crétacé Supérieur) qui le coiffe sur ses flancs nord et sud. La découverte remonte au…14 Juillet 1939 et les forages démontrent la complexité tectonique de la structure en profondeur qui correspond à un diapir salifère triasique (voir figure 7) dont le cap-rock, brèche polygénique située au toit du sel, d'âge cénomanien, porte des éléments carbonatés jurassiques. Même si peu poreuse (5 % en moyenne), cette brèche est un bon réservoir fissuré qui a débité 180 000 m3/j lors de l'essai initial (St Marcet 1 ; SM-1) et a produit au total 7 Gm3 et 600 t de condensats entre 1942 et 1990. Ce gisement a permis la naissance de l'industrie pétrolière française avec la création, suite à cette découverte, de la compagnie RAP (Régie Autonome des Pétroles, ancêtre du groupe Elf puis TOTAL) et l'alimentation en gaz des villes de Toulouse et Bordeaux dans les années 40 et 50. Il correspond aussi à une page noire de notre histoire puisque sous l'occupation, quatre employés ainsi que Pierre Angot directeur du champ et de l'usine de dégazolinage payèrent de leur vie, leur résistance à éviter de fournir les chars allemands en essence ; triste ironie de l'histoire, Pierre Angot mourut en déportation, non loin de Buchenwald, dans une mine de…sel.

La roche mère est probablement le Lias marno-calcaire même si le Kimméridgien, connu sur les flancs de la structure n'est pas à exclure. Au vu de la coupe régionale (Figure 6 ; Biteau et al., 2006) il est probable que la génération des hydrocarbures s'effectue au Sud où les séries jurassiques sont enfouis aujourd'hui à plus de 5000m, la migration ayant lieu au Paléogène après la formation du diapir. Les indices d'huile rencontrés et produits au puits SM 11 (et de manière moins importante au puits SM-1) montrent qu'il s'agit probablement d'un champ initialement riche en huile, envahi par du gaz du fait de l'enfouissement progressif des roches-mères puis de l'up-lift et de l'érosion tertiaire.

Ce gisement est clairement situé en zone sous-pyrénéenne dans ce que nous avons appelé une FTB qui présente des pièges structuraux de grande ampleur. Il correspond à un anticlinal de 10 km2 et 600 m de fermeture verticale (ou flèche) ! Il sera suivi par la découverte de plusieurs autres culminations au NO et SE.

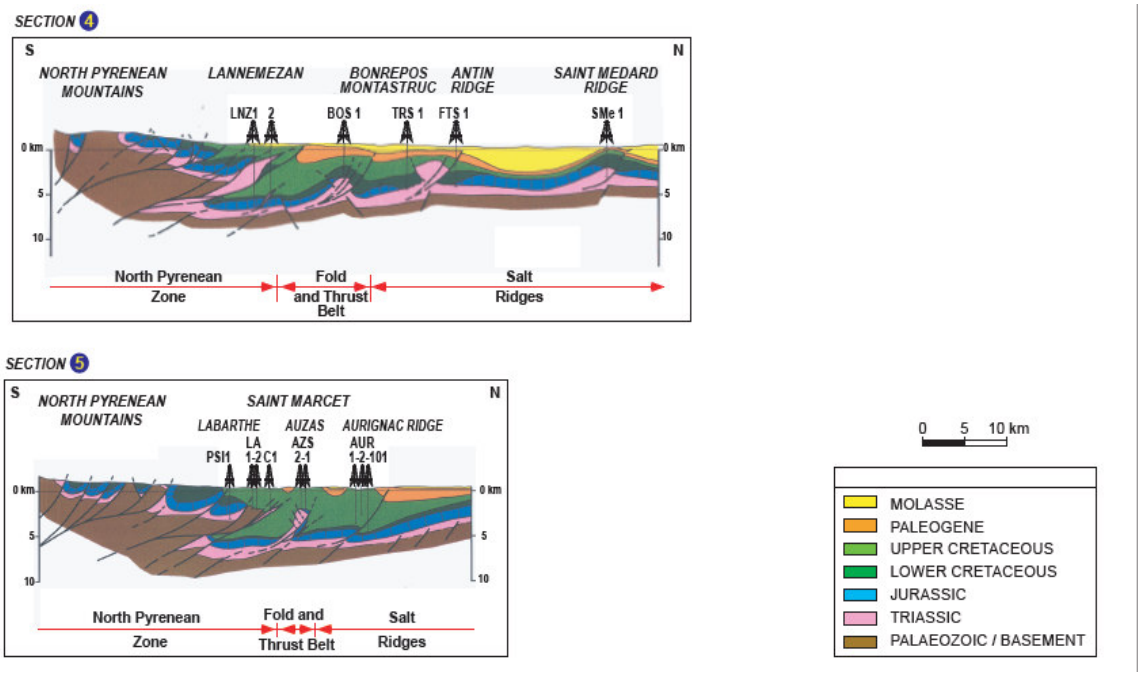

Figure 6. Le contexte régional de Piedmont du champ de St Marcet. Biteau JJ et al. (2006).

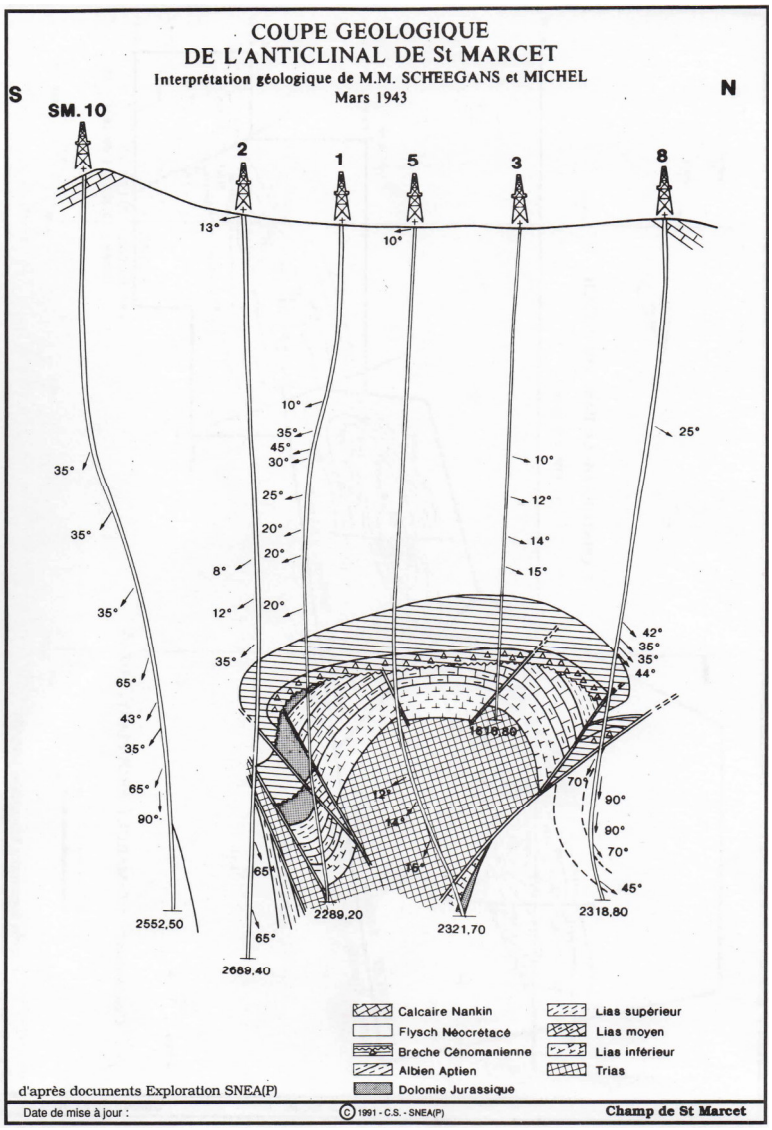

Figure 7. L'anticlinal de St Marcet. Principaux forages et lithologies. Chambre syndicale de la recherche et production de pétrole et de gaz. (1991).

5) Conclusions

Système pétrolier et système aurifère : beaucoup de ressemblances, au-delà de la sédimentation parfois très voisine, dans la recherche de l'or ou de l'or… noir. Il s'agit finalement du même triptyque que le géologue pétrolier ou minier, doit reconstituer **: roche mère mature /migration/piégeage**. C'est ce processus qui permet une prospection scientifique et raisonnée, même si bien souvent, c'est le piège (le gisement !) qui est trouvé en premier, sans même connaître la nature, la qualité et la localisation de la roche mère ! même si celle-ci pourrait bien, dans les deux cas, être le graal ! trouver le filon aurifère primaire et trouver les hydrocarbures, dits non-conventionnels, huile et gaz de schistes en fait d'hydrocarbures de roche mère ! Il s'agit surtout et enfin du même état d'esprit : plaisir de la recherche ou mieux encore ? recherche du plaisir (du placer) !

Bibliographie

Beaudoin G. (2018) - Récentes avancées en métallogénie au Québec- Géologues n°198.

Biteau JJ. et Baudin F. (2017) – Géologie du Pétrole-Dunod Editions.

Biteau JJ. et Canerot J. (2007) -La Chaîne des Pyrénées et ses avant-pays d'Aquitaine et de l'Èbre :caractéristiques structurales, évolution géodynamique et tectono-sédimentaire. ***Géologues*** n° 155.

Biteau JJ., Le Marrec A., Le Vot M. et Masset JM. (2006) - The Aquitaine Bassin-Petroleum Geoscience, 12, pp 247-273.

Blaizot M. et Alazard N. (2015). La production de pétrole face au changement climatique. Ingénieurs Géologues, bulletin n° 105.

Boulvain F. (2018) – Eléments de Sédimentologie et de Pétrologie sédimentaire : www.geolsed.ulg.ac.be. - Université de Liège – Département de Géologie

Canérot J. (2008) - les Pyrénées, histoire géologique- Editions Atlantica.

Cauuet B. (2005) – Les mines d'or antiques d'Europe hors péninsule ibérique. Etat des connaissances et travaux récents. *Pallas*, 67, pp 241-291

Chambre syndicale de la recherche et production de pétrole et de gaz naturel **(1991)** - SN Elf Aquitaine Editions-

Cramez C. et Letouzey P. (2002) – Basic Principles in tectonics, chapter 3.1, Universidade Fernando Pessoa- Porto, Portugal.

Géochronique (2002) - L'or – Numéro spécial 83.

De Souza S. et Mathieu L. (2018) - Éléonore et Canadian Malartic, exemples de découvertes et défis en exploration minérale au Québec- ***Géologues*** n°198.

Rabinovitch M. (2000) – Les trésors de la Terre- Société de l'Industrie Minérale Editeur.

Tertzakian P. (2007) – A thousand barrels a second- McGraw-Hill Companies Editor.

Testard J. (2018) – Reprise de l'activité d'exploration minière en France, ***Géologues*** n°197, 73-86.

Vic G., et Tourlière B. (2016) - Revalorisation du potentiel minier français. Revue et cartographie prédictive pour W, Au et Ge dans les Pyrénées. BRGM/RP-66278-FR.