



HAL
open science

Le gisement houiller du Nord - Pas-de-Calais, de la fin du XVIIIe siècle au XXIVe siècle... au moins

Francis Meilliez

► **To cite this version:**

Francis Meilliez. Le gisement houiller du Nord - Pas-de-Calais, de la fin du XVIIIe siècle au XXIVe siècle... au moins. Travaux du Comité français d'Histoire de la Géologie, 2020, 3ème série, tome 34, pp.71-99. hal-04149852

HAL Id: hal-04149852

<https://hal.science/hal-04149852>

Submitted on 4 Jul 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Le gisement houiller du Nord – Pas-de-Calais, de la fin du XVIII^e siècle au XXIV^e siècle... au moins

Francis MEILLIEZ

Pr. émérite, Univ-Lille
francis.meilliez@univ-lille.fr

Résumé. La reconnaissance par l'UNESCO, en 2012, du bassin minier du Nord – Pas-de-Calais au titre du patrimoine immatériel de l'humanité en a étonné plus d'un. Elle a contribué à « reverdir » un peu le « pays noir » dont parlaient ceux qui n'y résidaient pas. Mais cette décision n'a malheureusement pas été assortie d'une clause rappelant que l'objet géologique que constitue ce gisement n'est toujours pas inclus de façon satisfaisante dans les reconstitutions de plus en plus précises des paléogéographies varisques. Le texte examine l'enchaînement des réflexions qui ont conduit à exploiter un gisement invisible sans aucune reconnaissance préalable. Le fait d'être entièrement souterrain n'attire pas les géologues de terrain. Une densité de population rédhibitoire (supérieure à 400 hab/km²) obère tout projet minier par raison de sécurité. Mais ce territoire, fortement impacté par l'Homme, pourrait être un support de choix pour une étude innovante sur son évolution à long terme depuis un équilibre géologique naturel vers un nouvel équilibre.

Mots-clés : gisement minier – charbons – histoire minière – après-mine – énergies fossiles

Abstract. UNESCO recognition (2012) of the Nord – Pas-de-Calais coalfield as world's cultural heritage did amaze many people. It contributed to turning "green" the so-called « black country » as termed by those who did not lived there. Unfortunately that decision has not been accompanied by a clause reminding that the geological object embodied by this coal field is not satisfactorily taken into account in the ever more precise reconstitutions of the Variscan paleogeography. This text examines how ideas became linked up while working had proceeded through an invisible coal deposits without any reconnaissance. As being entirely underground does not encourage field geologists. A high population density (> 400 hab/km²) precludes any mining project by safety reason. However, such a highly mankind-impacted territory could be an excellent place for studying a long-term change from a natural equilibrium towards some new one.

Keywords : coal measures ' coal products – variscan orogeny – after-mining – fossil energies.

Introduction

Mars 1963 : la grande grève d'un mois des mineurs succède à un hiver très rigoureux. « *On n'est pas sérieux quand on a dix-sept ans*¹ ». C'est justement mon âge à un moment où je ne me doute pas qu'un jour j'écrirai sur l'histoire du bassin minier du Nord – Pas-de-Calais tandis que se joue alors un bras de fer décisif sur son avenir. La prise de conscience des impacts envi-

ronnementaux n'a pas encore voix au chapitre : la relance industrielle² de la France est engagée, la mise en production du gaz de Lacq s'ajoute aux importations croissantes d'hydrocarbures, et l'Europe des six facilite les échanges commerciaux et notamment l'importation du charbon allemand. Dans ce contexte, les conditions géologiques difficiles du gisement houiller du Nord – Pas-de-Calais n'intéressent pas les décideurs autrement que pour justifier une baisse de la

¹ Arthur Rimbaud (1854-1891).

² Après la seconde guerre mondiale.

production locale, avec leur fermeture à un horizon non encore exprimé. L'épreuve est socialement très rude (DEBERLES, 1992). Le Service géologique des houillères du Nord et du Pas-de-Calais achève la publication d'un monument cartographique, la carte géologique à la cote - 300 (BOUROZ *et al.*, 1963), qui tient lieu de bilan final sans l'annoncer. Les scientifiques n'entreprennent plus de recherches novatrices sur ce bassin pour comprendre la formation du charbon, ni sa place précise dans l'ensemble paléozoïque européen ; ils ne développent que la recherche biostratigraphique qui permet d'affiner l'identification des veines, compétence qui pourra s'exporter facilement. Quant à l'après-charbon, ce sujet n'est pas à l'ordre du jour en 1963 ! Pensez donc : 300 ans auparavant, on ne se doutait même pas de l'existence de ce gisement !

La découverte d'une promesse de gisement houiller, entièrement souterrain

Le constat d'un contexte géographique

Le 5 juillet 1914, Charles Barrois (1851-1939) accueillait au Musée houiller de Lille, qu'il avait inauguré en 1907, l'Association des ingénieurs sortis de l'École de Liège. À cette occasion il rappela tout ce que l'extraction du *charbon de terre* devait à la région de Liège, à commencer par le mot de *houille* : « *Houillos, ce forgeron de Liège dont nous répétons le nom tous les jours, exploitait déjà chez vous le précieux combustible au XI^e siècle* ». Dans leur dictionnaire étymologique, Dauzat *et al.* (1971) attestent son usage au moins dès le XIII^e siècle. Jean François Clément Morand (1726-1784) avait ajouté d'autres précisions confirmant l'ancienneté de l'exploitation liégeoise dans l'introduction de son monumental ouvrage sur *L'art d'exploiter les mines de charbon de terre* publié en trois volumes entre 1761 et 1779³. Ce médecin de Stanislas, roi de Pologne et duc de Lorraine, avait longuement visité la région de Liège, puis plusieurs mines en Angleterre, Allemagne et France notamment. Entre Aix-la-Chapelle et Liège, le charbon de terre⁴ affleure en sites distincts. Les

gisements houillers s'égrènent vers l'ouest autour de Namur, Charleroi, Mons (Borinage). Dès le Moyen Âge, l'activité minière et la sidérurgie avaient pris leur essor autour des massifs paléozoïques de l'Erzgebirge et du Harz, dans l'est. Le haut-fourneau fut mis au point entre Liège et Namur dès le milieu du XIV^e siècle (WORO-NOFF, 1998). En France, Louis XI prit une première ordonnance pour affirmer le principe d'un contrôle d'État sur les mines dès 1471. Dans les Iles Britanniques (Somerset, Worcester, Northumberland, ...), le charbon de terre affleure aussi et se prolonge avec une pente modérée en sous-sol. Pourquoi n'y aurait-il pas de charbon entre l'Angleterre et la vallée de la Meuse moyenne en Terre d'Empire ?

Aussi, en 1692, lorsque le sieur Antoine Hénichart, laboureur à Hardighen (Boulonnais) défriche un nouveau lopin de terre d'où il extrait des morceaux de « *charbon de terre* », le duc d'Aumont s'engage-t-il à lui payer « *la somme de 50 livres par an pour la concession faite à lui-même ou à ses entrepreneurs* »⁵. Y aurait-il un « filon » continu de Liège à Mons, passant par le Boulonnais et rejoignant les Iles Britanniques ? Lors d'une réunion mensuelle de la Commission historique du Nord, j'ai proposé qu'une telle perspective ait pu encourager Louis XIV dans sa stratégie de conquête des territoires en rive gauche du Rhin. Une historienne m'a démenti de façon véhémement, trouvant déplacée cette vision utilitaire. Après la révocation de l'Édit de Nantes (1685), Denis Papin a émigré en Angleterre et trouvé les moyens de développer la machine à vapeur. Et c'est en Cornouailles que Thomas Savery (1650-1715), en 1698, et Thomas Newcomen (1663-1729), en 1712, ont mis au point les premières pompes à vapeur pour exhaurer des mines. En « *1767, les seuls charbonnages de Newcastle comptaient 70 machines de Newcomen* » (DEBEIR *et al.*, 1986). La révolution industrielle était lancée.

L'émergence de la Compagnie des mines d'Anzin

La découverte du Boulonnais a aussi encouragé les investisseurs du Borinage à chercher de nouveaux sites vers l'ouest. La raréfaction du

³ François Ellenberger (1994, p. 78) a probablement influencé les dates données par Wikipedia pour cette publication (1768-1779). Celles données ici sont celles inscrites sur les pages de garde des ouvrages accessibles sur Gallica [BnF].

⁴ Pour Morand, le *charbon de terre* inclut la houille et le lignite (abondant en Allemagne).

⁵ Information fournie par Jean-Pierre Hénichart, descendant d'Antoine et qui, en 2016, présidait la Société des sciences, de l'agriculture et des arts de Lille.

bois, la pression des maîtres verriers, de la sidérurgie naissante et l'entrée des machines dans l'industrie textile autour de Lille et Valenciennes poussaient à consommer jusque-là le charbon de bois du plateau ardennais et le charbon de terre du Sillon de Sambre-et-Meuse. La découverte de nouveaux gisements plus proches était espérée pour alimenter des machines à vapeur de plus en plus nombreuses (WORONOFF, 1998). Mais l'événement réellement déclencheur a été la signature du traité d'Utrecht 1713 qui, mettant fin à la guerre de Succession d'Espagne, fixait une frontière linéaire entre la France et ses voisins. C'était une conception nouvelle, pensée et mise en œuvre par Louvois (1641-1691) et Vauban (1633-1707), et qui a forgé la stratégie française (GIRARD D'ALBISSIN, 1970). De ce fait, les affleurements de charbon les plus occidentaux connus dans le Hainaut (Basècle, Bleton) se trouvaient du côté autrichien de la frontière (Fig. 1). « *C'est le Hainaut devenu autrichien qui a fourni au Hainaut français les hommes et les capitaux qui ont joué un rôle décisif dans la découverte et l'exploitation du bassin houiller de Valenciennes* » (GILLET, 1973). Ainsi, le vicomte Jacques Desandrouin (1682-1761), né près de Charleroi, propriétaire-exploitant d'un charbonnage de son village natal, et en même temps officier dans un régiment français, avait un frère, Pierre Desandrouin, possédant une verrerie à Fresnes. De même, Pierre Taffin (1664-1745), né à Gand, titulaire d'une charge auprès du parlement de Flandre. Plus tard, le prince Emmanuel de Croÿ (1718-1784), issu d'une illustre famille de la région de Condé, sa ville natale, maréchal de camp en 1748, allait aussi jouer un rôle fondamental dans les premières recherches et l'émergence de ce qui allait devenir l'une des plus brillantes réussites industrielles françaises, la Compagnie des mines d'Anzin.

Faute d'autre indication, les premières recherches ont été menées en forant des puits dans le prolongement des couches exploitées dans le Borinage, c'est-à-dire vers l'ouest-sud-ouest. La méthode étant très aléatoire, il fallut attendre 1720, après quatre années de puits infructueux, pour trouver à Fresnes une première veine de charbon (« *4 pieds d'épaisseur* ») à environ 100 m de profondeur. Malheureusement cette couche donnait un charbon maigre juste bon pour la cuisson des briques. Enfin, en 1734, à Anzin, une vraie bonne veine de charbon gras

est trouvée⁶. La découverte éveille l'intérêt de voisins, et notamment de la noblesse locale qui se souvient d'un droit de haute justice lui permettant de prélever un écot sur la production des ressources naturelles locales. Un arrêt royal de 1744 avait pourtant réaffirmé les droits de l'État sur le sous-sol. Après quelques tractations, la Compagnie d'Anzin est constituée le 19 novembre 1757, avec plusieurs actionnaires dont les trois plus importants sont le vicomte Jacques Desandrouin, le prince Emmanuel de Croÿ et le marquis de Cernay (1710-1784).

Parallèlement, dans le Boulonnais, François-Joseph Desandrouin (1740-1802), neveu de Pierre Desandrouin, contrôlait les mines d'Hardinghem. Il y avait espoir de relier les deux en « suivant le filon » ! Cela devenait d'autant plus urgent qu'en 1709, un maître de forges de l'Ouest de l'Angleterre (Worcestershire), Abraham Darby (1678-1717) avait mis au point un procédé pour couler de la fonte. Puis le procédé de cokéfaction, consommateur de charbons maigres, fut élaboré en 1735. Dès lors, le charbon devenait la ressource indispensable au développement industriel. Un autre Français, Gabriel Jars (1732-1769), ingénieur métallurgiste, fut missionné par le roi Louis XV pour comprendre ce qui soutenait l'industrialisation anglaise. En 1768, il revint en France et, affecté en Bourgogne, il y rapporta le procédé de fabrication du coke ; il est aujourd'hui considéré comme l'un des pères du site métallurgique du Creusot (ELLENBERGER, 1994).

Les recherches de charbon s'intensifiaient, mais sans méthode scientifique. Même les ingénieurs de l'Ancien Régime avaient recours à des sourciers (GILLET, 1973). Persuadés que seuls les moyens financiers garantiraient la découverte, les habitants de Boulogne-sur-mer lancèrent même une *souscription patriotique* (Anonyme, 1795) ; ceux de Montreuil-sur-mer suivirent l'exemple, sans plus de succès.

Le développement géographique et historique de la découverte du gisement

Géologue n'étant pas encore un métier au XVIII^e siècle, l'exploitation d'un gisement relevait

⁶ Le lecteur intéressé par l'analyse des conditions économiques de la mise en exploitation est invité à consulter Gillet (1973).

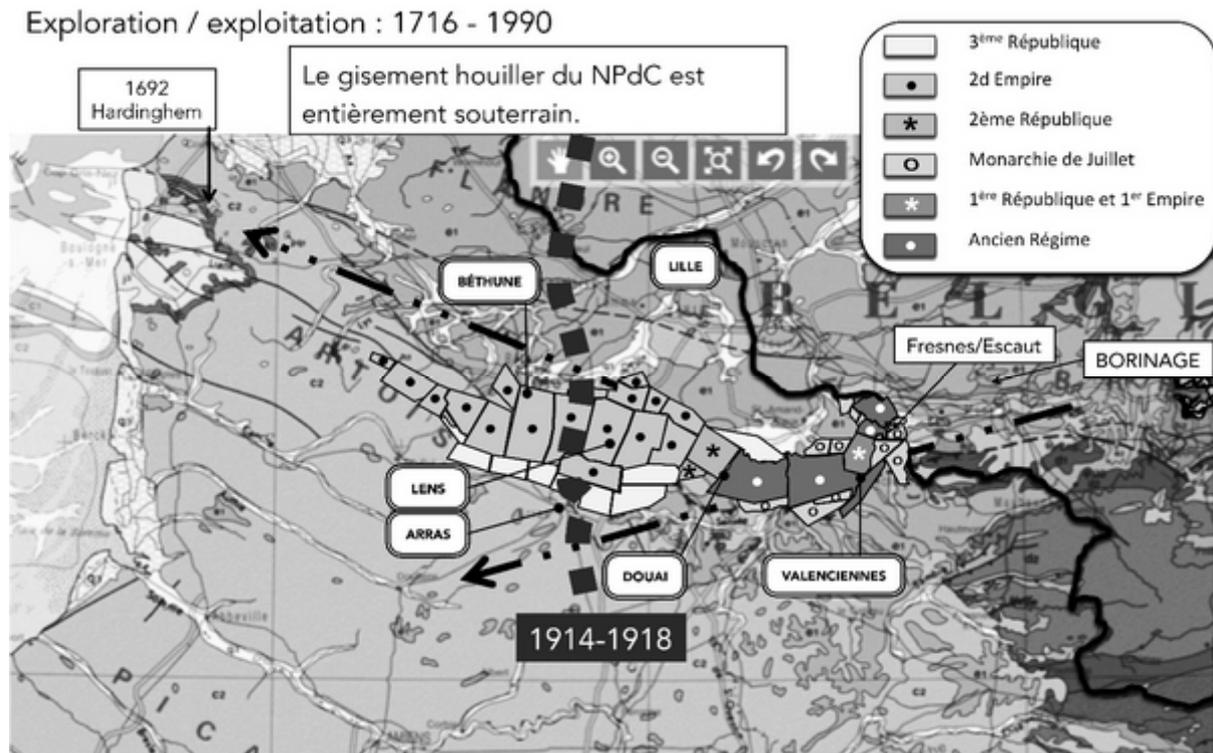


Fig. 1. Carte des concessions minières en Nord – Pas-de-Calais. La frontière franco-belge (trait noir continu) après le traité d'Utrecht (1713) fait que le futur gisement français est entièrement souterrain. Fond de carte géologique au millionième (source Infoterre). Le pointillé épais matérialise le front des opérations militaires entre octobre 1914 et août 1918. Explications complémentaires dans le texte

de l'ingénieur des mines qui avait, par son parcours individuel, cumulé apprentissage et expériences soit dans des mines métalliques, soit dans d'autres mines de charbon (voir l'exemple de Morand évoqué plus haut). C'est ainsi que Jacques Mathieu (1684-1747), bailli de Lodensart, près de Charleroi, où il dirigeait déjà les charbonnages du vicomte Desandrouin⁷, a aussi dirigé les premières recherches autour de Fresnes, en France. Il fallait être très pragmatique car tout était à comprendre et les techniques d'exploitation à inventer : si gisement il y avait, il ne pouvait être que souterrain en territoire français, à la différence de ce qu'on observait en Angleterre, en Allemagne et en ce qui deviendrait la Belgique.

Fort logiquement, la direction à suivre ne pouvait être que vers l'ouest-sud-ouest, à partir du « couchant de Mons » (Fig. 1). Les premières trouvailles significatives à Fresnes (1720) et à Anzin (1734) (voir ci-dessus) l'ont été selon cette

direction. Jusqu'à la fin de la monarchie de Juillet (1848), les recherches ont été modulées davantage par les dures lois de la finance et de la concurrence que par celles de la géologie. La Compagnie des mines d'Anzin décourageait ou contrôlait toutes les vellétés de concurrence. Seule la Compagnie d'Aniche a su vraiment émerger. Cette situation a perduré jusqu'en 1945, malgré les tentatives pour organiser les producteurs face à la concurrence étrangère d'une part, et à la nouveauté des questions sociales d'autre part, tout cela dans un contexte politique de plus en plus nationaliste dans tous les pays concernés (GILLET, 1973).

La découverte du changement de direction puis la stabilisation

La période 1790-1850 ne fut pas très heureuse pour améliorer la connaissance des conditions de gisement. Bien que complètement situé

⁷ Chez qui Morand fut hébergé quelques semaines.

en France⁸ de 1792 à 1815, le *bassin de Valenciennes*, était en effet le théâtre de nombreuses opérations militaires. En dépit de cette situation à risques, plusieurs industriels (verriers, textile, métallurgie) de la région ont ~~malgré tout~~ investi pour reconnaître la suite du gisement vers l'ouest-sud-ouest. Lorsqu'il prit ses fonctions de directeur du service du sous-arrondissement minéralogique d'Arras en 1835, Charles Judas du Souich (1812-1888) ne put que constater le manque de méthode dans la conduite de ces recherches qui menait à des dépenses inconsidérées (CASTEL, 1891). Parmi les recherches les plus sérieuses figuraient celles engagées au sud d'Arras (Fig. 1) : Bonnard (1809) rendit compte d'un travail méthodique ayant abouti à rencontrer du charbon à Monchy-le-Preux, aux alentours de 172 m de profondeur, mais en quantité négligeable et de qualité médiocre. En 1795, l'un de ses collaborateurs, Guillaume Castiau, mineur de Valenciennes, avait même tenté de forer un puits de 3 m de diamètre à Dieppe, localité située à mi-chemin entre Valenciennes et Littry (Normandie) où un petit gisement de charbon était connu. La tentative fut abandonnée après sept années de travail quant une profondeur de 332 m fut atteinte sans rencontrer de charbon (BIGNOT, 1989). Dans la région de Mantes, il fallut l'intervention de Dolomieu (1795) pour interrompre une autre vaine recherche.

Dans son *Essai de géologie pratique de la Flandre française* (1852), Meugy évoqua les recherches de houille autour de Lille, où il avait lui-même tenté un sondage infructueux, à Menin. Il résuma les connaissances acquises mais n'évoqua aucune étude biostratigraphique. En revanche, il fit part de ses interrogations sur la continuité éventuelle du gisement houiller entre la région de Valenciennes et le Pays de Galles dans une page de la même publication, mais datée de juin 1850 (p. 32).

On reviendra plus loin sur les progrès de la géologie. Après une reprise méthodique de l'analyse des travaux réalisés, émergea l'idée d'un changement de direction du gisement (DU SOULCH, 1839). Le hasard voulut qu'en 1841 madame Crombez, veuve de Clercq, fit creuser à

Oignies un puits pour y capter de l'eau. Après avoir traversé une craie localement non aquifère, le puisatier poursuivit son ouvrage et entra dans une veine de charbon gras à 170 m de profondeur (CDF, 2000 : Dourges, Texte, p. 34). L'espionnage industriel était déjà efficace (GILLET, 1973), de sorte que dès 1846, une campagne de forages fut engagée à la sortie nord de Douai, sur le site de l'Escarpelle ; son résultat, positif dès 1847, fut le signal déterminant pour les investisseurs. Madame de Clercq elle-même, aidée de l'ingénieur Mulo, fut du nombre, jusqu'à obtenir une concession à Oignies dès 1852. Ce fut la ruée vers l'ouest-nord-ouest (Fig. 1). De plus, il apparut très vite que les veines de charbon du Pas-de-Calais étaient plus épaisses, plus souvent sub-horizontales, et de meilleure qualité que celles du Nord. En analysant tous les paramètres non géologiques qui prévalurent alors jusqu'en 1914, Gillet (1973) a expliqué que, par souci d'égalité des chances, on décida sous le Second Empire de distribuer les concessions en bandes transversales. Les petites concessions qui vinrent s'ajouter ensuite, au nord, et surtout au sud, ont une autre origine imputable aux travaux de Jules Gosselet (1832-1916), qui avait laissé entendre que les chances d'obtenir du *charbon à coke* étaient plus grandes au sud qu'au nord (voir plus loin). Le développement des chemins de fer dans tous les pays en voie d'industrialisation poussait les métallurgistes lorrains à entrer dans les compagnies minières ; mais ce fut difficile (GILLET, 1973). Jusqu'en 1914, le développement de l'exploitation minière s'est ainsi trouvé trois régulateurs : l'opportunité de nouveaux gisements, les conditions de transport de la production et la montée de la question sociale (DE LAPPARENT, 1890 ; GILLET, 1973).

La production jusqu'à la fin de l'extraction

À partir de 1850, la production crut régulièrement jusqu'à une rupture abrupte en 1906 (Fig. 2), liée ni à la guerre ni à la géologie du gisement. Le même phénomène se produisit en 1930, cette fois-ci en raison de la crise financière de 1929. La première guerre mondiale fut toutefois l'occasion d'un renouveau majeur dans l'histoire de l'extraction. Le sujet a été traité en détail par ailleurs (MEILLIEZ & DUMONT, 2018). La maîtrise de la ressource énergétique était un objectif de tous les belligérants. Il n'y eut donc

⁸ Durant cette période, la frontière avait été reportée en rive gauche du Rhin. Jean-Baptiste d'Omalus d'Hallo (1783-1875) était donc citoyen français lorsqu'il a préparé la première carte géologique de l'Europe occidentale.

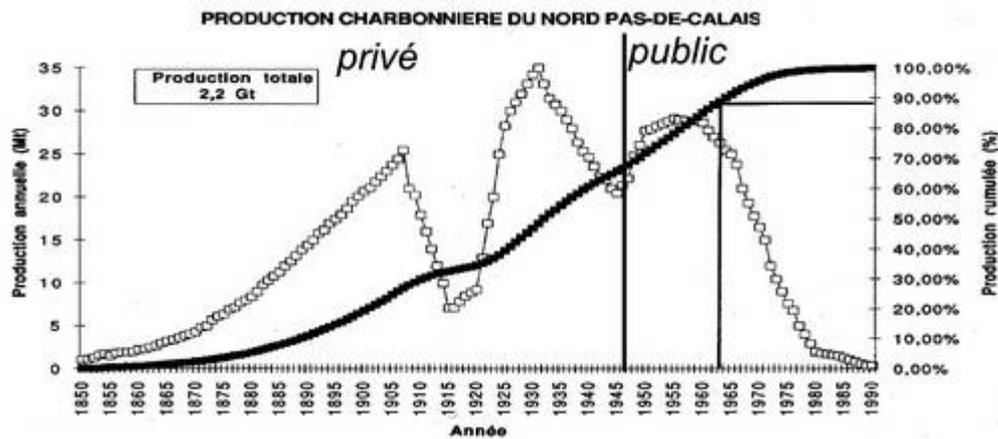


Fig.2. Production de charbon dans le Nord – Pas-de-Calais de 1850 à 1990. Reconstitution construite à partir des données établies de 5 ans en 5 ans et publiées par Viseux (1991). Modifié d'après ROUSSEL *et al.*, 1994

pas eu de destructions planifiées, au moins en 1914. Après la bataille de la Marne de l'été 1914, la course à la mer de l'automne stabilisa le front de septembre 1914 à octobre 1918 sur un couloir d'environ 5 km de large orienté nord-sud (Fig. 1).-L'extraction se poursuivit alors sous des bombardements épisodiques. À l'exception de la concession de Grenay (Compagnie de Béthune), qui fut coupée en deux (Fig. 3), les autres se trouvaient soit dans un camp, soit dans l'autre. À l'est, côté allemand, l'occupant chercha à faire produire pour son compte en rencontrant toutefois une certaine résistance. À l'ouest, cette période poussa à poursuivre l'exploration et à relever la fermeture occidentale du gisement dans un système complexe de failles récemment découvert par Gosselet (1908). On constata donc l'absence de continuité entre les gisements du Boulonnais et de l'Artois. Les installations de surface des concessions de Grenay et Lens furent mises hors d'état de fonctionnement durant les hostilités. La concession de Grenay fut la seule où des combats eurent lieu directement dans des galeries, celles qui reliaient les puits 8 et 8bis, 4 et 9 (Fig. 3). Lors du retrait allemand, en octobre 1918, une campagne de destruction systématique fut entreprise par un capitaine allemand faisant fi d'un accord international conclu entre mineurs de sorte que tous les puits sautèrent pour envoyer les chantiers (MEILLIEZ & DUMONT, 2018).

La reconstruction fut l'occasion d'un renouveau pour le bassin minier pour avoir été préparée dès mai 1917 par la Commission technique

du groupement des houillères victimes de l'invasion (SAMUEL LAJEUNESSE, 1948). Celle-ci avait été créée par Ernest Cuvelette (1869-1936), adjoint au directeur de la Compagnie des mines de Lens en 1909, qui avait été mobilisé en 1914 au ministère des Armées. En tranchant avec la période précédente (GILLET, 1973), Cuvelette amena les diverses sociétés d'explo-

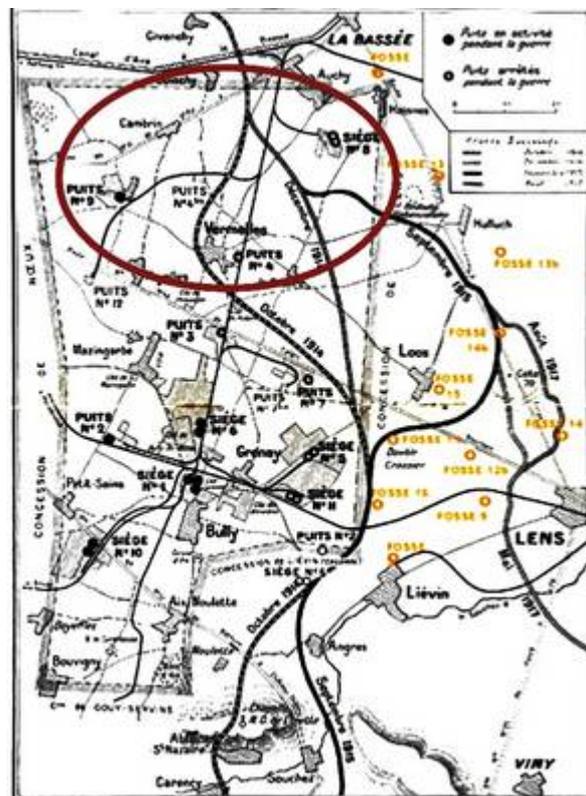


Fig. 3. Carte de la concession de Grenay durant la première guerre mondiale. Source : Centre Historique Minier de Lewarde

tation à penser de façon rationnelle l'équipement industriel du bassin minier. À cette fin, il créa une Société électrique des houillères pour fournir l'électricité nécessaire à une Société civile de dénoyage des houillères, fondée en janvier 1920. « *Vingt-trois sièges d'extraction étaient entièrement détruits, au fond comme au jour. Il fallait refaire les cuvelages dynamités, épuiser 40 millions de mètres cubes d'eau, rétablir 600 kilomètres de galeries souterraines, déblayer et reconstruire 8000 maisons ouvrières, les centrales électriques à vapeur, à gaz, les lavoirs, les usines d'agglomération, les huit cents fours à coke, les ateliers de traitement des sous-produits, etc.* » (SAMUEL LAJEUNESSE, 1948). Cuvelette avait prévu de généraliser l'utilisation de l'électricité, de desservir chaque fosse par une ligne de chemin de fer, entre autres. « *Dès janvier 1924, le niveau de production était rétabli à 50% de celui d'avant-guerre. Il fallut encore quatre ans pour arriver aux 100 %.* » (*ibid.*).

Entre-temps, la première guerre mondiale avait causé la mort de Jules Gosselet le 20 mars 1916 au musée d'histoire naturelle de Lille. Dans la seule ville universitaire française occupée, les contraintes imposées par les Allemands étaient lourdes (BARROIS, 1919) mais le musée ne pâtit d'exactions car il était occupé par des géologues allemands. Celui-ci reçut néanmoins une première bombe en octobre 1914, puis subit durant l'hiver 1916 la violente explosion dite des *Dix-huit Ponts*, en tous points semblable à celle d'AZF à Toulouse en 2001 (CADET, 2015). Les deux fois, Gosselet vint au secours des collections minéralogiques et paléontologiques mais la seconde lui fut fatale en raison d'une maladie contractée au milieu des décombres⁹. Au passage, on pourra noter que le musée d'histoire naturelle a davantage souffert au cours de la seconde guerre mondiale (AUGUSTE & DELRUE, 2020).

Dès la fin de 1944, le Conseil national de la Résistance était conscient, d'un côté que le gisement houiller du Nord de la France était vital

pour la reconstruction mais, de l'autre, qu'une mission d'évaluation du modèle économique de son exploitation recommandait sa fermeture. D'où une forte campagne pour mobiliser les mineurs (DEBERLES, 1992), qui s'estompa durant les années 1950, au fur et à mesure que montait en puissance la production lorraine. La nationalisation de 1945 était un moyen de maîtriser la relance industrielle, le temps nécessaire pour que d'autres ressources viennent se substituer au charbon. Ce fut le rôle des grandes décisions prises en 1961 : le choix de l'énergie nucléaire complétant l'hydroélectricité avait comme corollaire la fermeture progressive de l'extraction houillère dans le Nord – Pas-de-Calais. En dépit de quelques soubresauts, elle était inéluctable (Fig. 2). Aucune raison géologique n'est intervenue. Les justifications techniques étaient des veines trop petites pour être mécanisées de façon rentable et, par conséquent, une productivité trop faible.

Pourtant, les raisons géologiques de la fermeture étaient réelles et disponibles, d'ordre à la fois sédimentologique (frange de bassin sédimentaire) et tectonique (prisme tectonique induit par le raccourcissement varisque). En l'absence d'une véritable étude géologique intégrée, multidisciplinaire, elles n'ont pas été évoquées. Aujourd'hui, on peut les comprendre en dressant un bilan des apports au développement de la géologie issus de cette phase d'exploitation.

L'avenir du bassin houiller du Nord – Pas-de-Calais et la géologie

Pour raison économique, l'exploitation de ce bassin s'est arrêtée en décembre 1990. Socialement, politiquement, l'épreuve a été difficile (DEBERLES, 1992). Peu à peu, la population a pris conscience de l'emprise des Charbonnages sur ce territoire. Les élus locaux ont compris que le régime des concessions ne leur laissait aucune liberté d'action pour aménager le territoire et mettre en place des activités de reconversion. Mais entamer une procédure de sortie de concession minière ne s'était jamais fait. Et alors que la sensibilité environnementale bourgeonnait dans l'opinion publique, des élus ont compris qu'il fallait impérativement actualiser le code minier afin de se donner des chances de modifier l'aspect du *pays noir*, comme toutes les occa

⁹ Sur l'histoire de ces collections, voir CUVÉLIER, J., HENNON-ANTOINE, M. et OUDOIRE, T. (2017). L'histoire des collections géologiques Lilloises. D'une collection d'amateurs du XIX^e siècle à deux musées, rénovés à la veille de la Grande Guerre. *Trav. Comité fr. Hist. Géol.*, **31**, p. 73-92. Sur les collections géologiques lilloises sous l'occupation allemande et les circonstances de la mort de Gosselet, voir BERGERAT, F. (2018). *14-18, la Terre et le Feu. Géologie et géologues sur le front occidental*. Mém. AGBP h. s., **10**, p. 274-277.

sions (sportives le plus souvent) se permettaient de le présenter au restant de la France. L'impossibilité de faire venir des employeurs et des emplois a vite été attribuée à l'étendue des friches industrielles, à leur aspect de moins en moins engageant avec le temps, au poids des impacts irréparables de l'extraction (affaissements, inondabilité), aux effets nuisibles dérivés (pollutions : RESCUE, 2005), et à une apparente passivité de la population, conditionnée depuis 50 ans à être prise en charge « *du berceau au cercueil* » (CPBM, 1998). À la même époque, de multiples initiatives ont été lancées pour que le territoire demeure un sujet d'études variées (CUELIER et OUDOIRE, 2014 ; MALOLEPSZY, 2014 ; BERTRAM, 2014) et non pas seulement un sujet de suivi environnemental (LEMAL et MEILLIEZ, 2014). Les mêmes démarches, plus ou moins avancées, se développaient dans presque tous les bassins houillers d'Europe (DEBRABANTMALOLEPSZY, 2009).

Deux sujets sortent du lot, qui méritent d'être mis en lumière. Le premier est à la fois sécuritaire et économique : c'est l'étude des impacts miniers à long terme et son corollaire, à savoir : que fait-on du gaz de mine résiduel ? Le second est scientifique et culturel à la fois : va-t-on se décider à construire un modèle 3D détaillé de l'exploitation houillère à la hauteur de ce que permettent les archives minières ?

Le suivi des impacts miniers à long terme

Les négociations se sont étalées sur une dizaine d'années à partir de 1997. Les conseils municipaux de chacune des communes reconstruites comme minières a reçu un dossier complet l'informant sur l'historique des travaux, les ouvrages réalisés, les masses extraites, les traitements effectués après arrêt des travaux (exemple pour la concession de Dourges : CDF, 2000). La société des Charbonnages de France ayant aussi disparu, le service qui était chargé du suivi des impacts miniers a été remodelé. Il est maintenant intégré au BRGM en tant que service minier (UTAM-Nord : unité territoriale de l'après-mine – Nord). La première tâche a été de réaliser une étude dite hydrologique, hydrogéologique et hydrochimique sur l'ensemble du bassin. Cette étude (dite 3H : Charbonnages de France, 1999) a conduit à estimer que, toutes choses égales

par ailleurs, un équilibre hydraulique nouveau devrait être atteint au début du XXIV^e siècle. Mais les choses ne restant pas égales, il semble que la remontée très lente de l'eau dans les vides résiduels soit en retard sur la prévision théorique (LEMAL & MEILLIEZ, 2014). Une conséquence de cette remontée de l'eau souterraine est la mise en compression du gaz de mine résiduel. On a dit que la particularité du bassin houiller du Nord de la France était d'être souterrain. Cela lui permet d'éviter les problèmes liés au drainage acide, rencontrés dans tous les autres bassins où des galeries de mine émergent en surface. En contrepartie, le territoire minier du Nord – Pas-de-Calais comporte une densité de population supérieure à 400 hab/km². Laisser échapper librement le gaz de mine en surface expose donc à un risque très important, que Charbonnages de France a abordé de façon anticipée. La topographie mollement ondulée de la surface qui coiffe les terrains paléozoïques a été restituée ; les points hauts des dômes identifiés ont été percés par des sondages équipés pour contrôler la purge des dernières bulles de gaz. Toutefois, on ne peut raisonnablement prétendre que la sécurité soit totale tant l'ignorance est grande sur l'état de fracturation précis de la couverture mésozoïque et du toit des terrains houillers. Outre la fracturation naturelle, très mal appréciée, les ouvrages (puits, sondages de reconnaissance) et l'affaissement des chantiers ont inévitablement décomprimé les volumes rocheux au-dessus des zones exploitées. Les points bas de la région sont soit des zones humides qui étaient naturelles avant le début des travaux miniers, soit des zones ennoyées par suite de l'affaissement du sol sous la nappe phréatique locale, quel que soit le niveau de celle-ci (alluvions, sables landéniens, craie). Le dénoyage (*démagement* en wallon) de ces surfaces est indispensable si l'on veut y maintenir une activité humaine. Mais, à terme, le coût du dénoyage deviendra de plus en plus difficile à supporter. Aucune étude scientifique réelle de tous les phénomènes induits par l'extraction minière n'a été entreprise. Les nombreuses études réalisées l'ont été surtout à des fins de gestion à court et moyen termes. C'est un vrai sujet que de réfléchir au devenir de ces territoires à l'échelle d'un siècle ... au moins, pas seulement par rapport aux activités humaines, mais aussi par rapport à un éventuel retour vers un équilibre dynamique naturel. Le Bassin houiller du Nord de la

France est, avec la Ruhr, le plus grand d'Europe à devoir affronter cette situation. Considérer étude exhaustive des impacts constituerait un vrai sujet scientifique fédérateur.

Vers un modèle 3D des structures minières exploitées

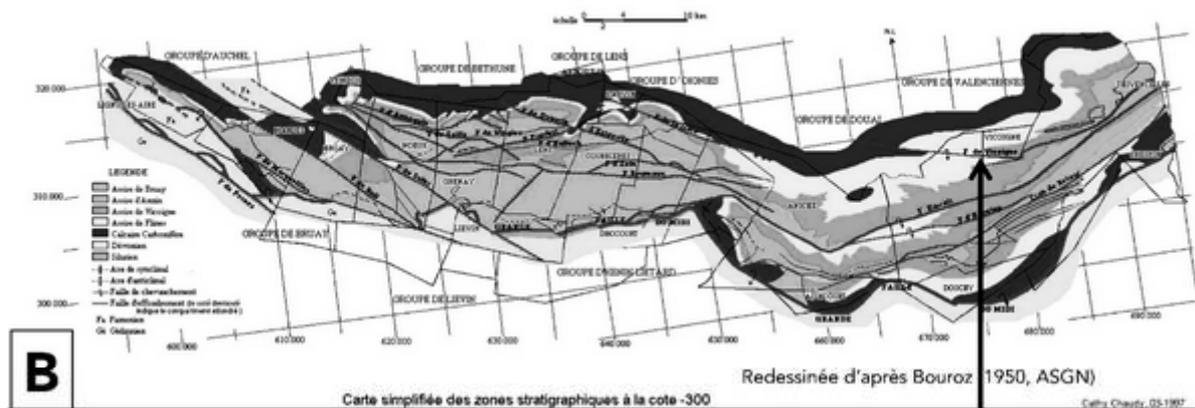
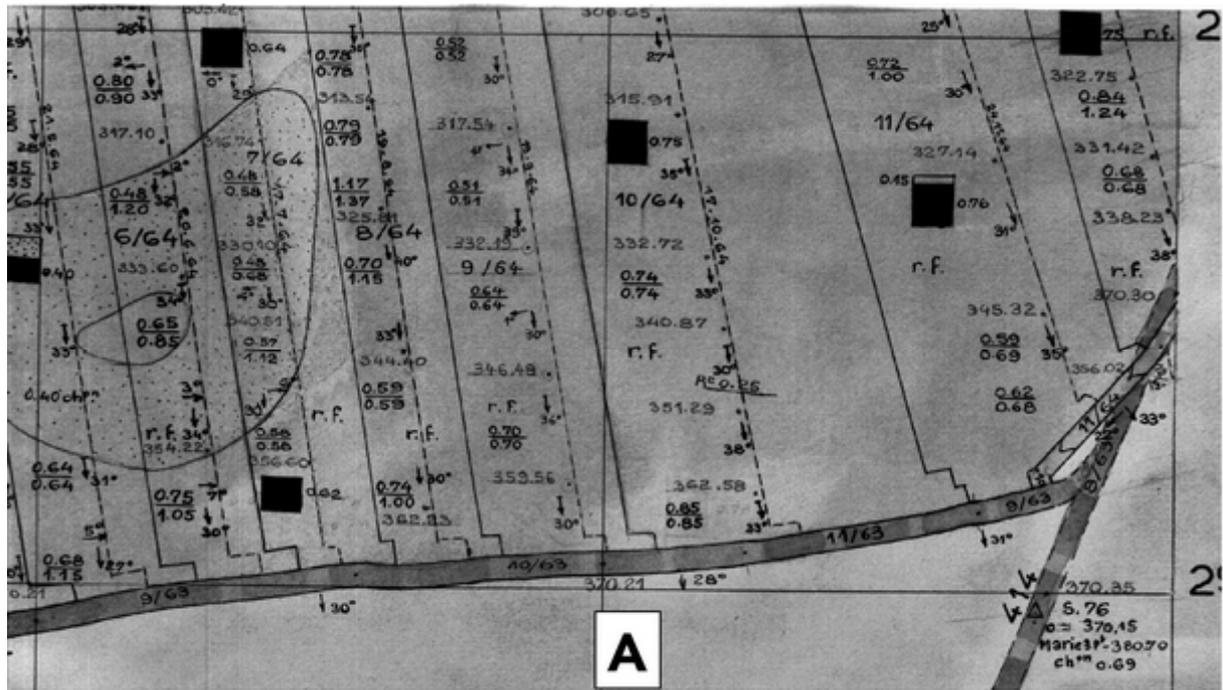
Élaborer un modèle tridimensionnel d'une mine est l'espoir de tout industriel ou scientifique qui veut comprendre l'architecture du gisement. En 1904, s'était tenue à Arras une exposition régionale destinée à valoriser les progrès accomplis par l'industrie régionale, alors en plein essor (GILLET, 1973). Le Service des mines et les diverses compagnies minières avaient préparé ensemble une représentation de ce que l'on connaissait du bassin houiller (KÜSS, 1905). À l'échelle de 1/7 500, huit lourdes tables en bois montraient, dessinées sur des plaques de verre verticales à espacement kilométrique, les traces des veines de charbon, celles des failles reconnues et de quelques bancs repères, ainsi que les bordures du bassin. La présentation de l'ensemble était impressionnante (Fig. 4). Aujourd'hui, une seule de ces tables est encore exposée au musée d'histoire naturelle de Lille. Les autres ont été retrouvées et demandent un travail de restauration. Une opération de saisie de ces données pour interpoler un modèle numérique (GRAVELEAU *et al.*, 2017) est engagée. Sa valeur patrimoniale sera intéressante, mais sa valeur scientifique limitée.



Fig. 4. Photo de 1909 de l'entrée au Musée houiller de Lille, à l'occasion de la venue de l'Association française pour l'avancement des sciences. Les tables de verre réalisées sous la coordination de Küss (1905) sont au premier plan. ©ASGN/Cuvelier et Oudoire (2017)

De leur côté, BOUROZ *et al.* (1963) avaient assorti la carte à la cote -300 d'une série de coupes verticales, disposées transversalement à la direction générale du bassin, mais pas toutes parallèles entre elles. La carte (Fig. 13) et ses coupes ont été utilisées dans les dossiers de sortie de concessions minières. Mais évidemment, elles n'ont pas pris en compte les informations issues de l'exploitation des derniers 10 % (en tonnage) de la production, effectuée entre 1963 et 1990 (Fig. 2). Aucune de ces coupes ne supporte le test de l'équilibrage tel qu'on le pratiquait dans les années 1980-1990 (MEILLIEZ, 1988). Plusieurs raisons l'expliquent, dont des raisons méthodologiques sur la façon de construire ces coupes. Aucun modèle 3D n'a encore réussi à les intégrer telles quelles.

Enfin une troisième voie était engagée, mais elle a dû être abandonnée par assèchement des crédits disponibles (MEILLIEZ *et al.*, 1997). Son principe pourrait être repris aujourd'hui, à condition de réécrire les procédures informatiques qui avaient été utilisées sur le matériel de l'époque. Le support de base est le plan minier à 1/10 000, levé par le géomètre du fond (Fig. 5A). Ce document, très riche d'informations saisies dans une base de données, est ensuite modélisé sur le principe réducteur suivant : trois points d'une même veine (assimilée à un plan) déterminent un élément triangulaire qui peut être représenté par un vecteur positionné sur son barycentre. Un module graphique positionne dans l'espace les triangles élémentaires qui reconstituent donc une surface, représentative de la veine (Fig. 5B). La base de données permet aussi des études statistiques basées sur l'orientation des éléments triangulaires, ce qui ouvre sur toute possibilité de tracés de carte ou de coupe. Enfin, des outils *ad hoc* (réalité virtuelle) permettaient au géologue aussi d'interpoler entre les éléments structuraux représentés à partir d'observations, et de discuter la reconstitution de structures plus ou moins complexes. Cet outil est arrivé trop tard et n'a pu bénéficier des moyens qui l'auraient rendu pérenne. Peut-être que les outils disponibles aujourd'hui donneront envie à certains de tenter un retour vers une valorisation 3D de ces plans merveilleusement levés et renseignés par les géomètres des Houillères, pendant 50 ans.



3 vues partielles des chantiers miniers sous la Mare à Goriaux (Lamand, Chaudy, Meilliez, 1997)

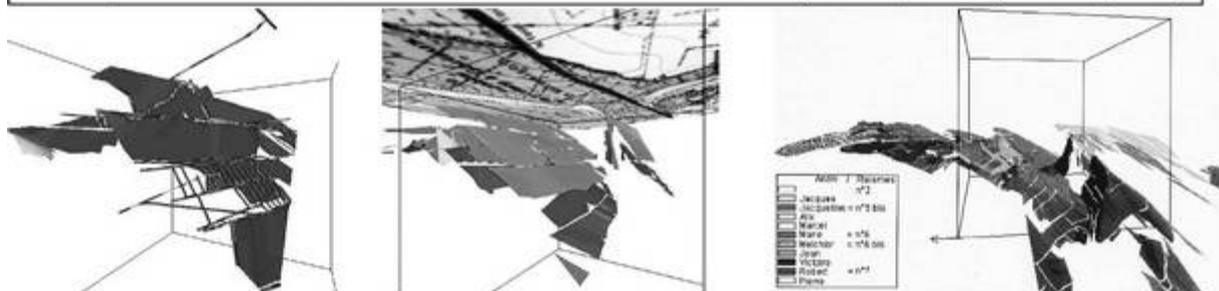


Fig. 5. Un autre essai de modélisation 3D : **A** - Extrait d'un plan minier normalisé à 1/10 000 (mise à disposition par Charbonnages de France), montrant une grande richesse d'informations : chantiers d'abattage (fond gris clair), limite mensuelle de chantier (ligne noire fine), 11/64 = chantier abattu en novembre 1964, trait épais (gris foncé) = galerie d'accès, profondeur (chiffres et points en grisé), angle de pendage (petites flèches), colonne lithologique de la veine dans le chantier (colonne noire), $0,75/1,05$ = hauteur de charbon / ouverture de la veine, courbes marron = lignes d'isovaleur de resserrement par un dépôt gréseux. **B** - Version simplifiée de la carte à la cote -300, pour localiser 3 reconstitutions de veines exploitées sous le secteur dit de la Mare à Goriaux (commune de Raismes). De gauche à droite : la veine Robert (gris foncé) avec visualisation des galeries d'accès ; surface topographique vue du dessous et, vues du sud-ouest veines Robert (gris foncé), Marie (gris moyen), Jacqueline (gris clair) ; même structure plissée avec davantage de veines ; le cube qui sert de référentiel mesure 1 km de côté

Quel avenir scientifique pour le gisement houiller du nord de la France ?

En guise de conclusion de cet article, deux enjeux d'avenir sont à souligner : la notion de risque qui s'impose aux habitants et à tout projet d'aménagement de territoire ; le positionnement de ce gisement dans le contexte du cycle varisque finissant (voir *infra* deuxième partie de l'article)

La notion de risque doit être présente dans tout projet à venir

Ainsi qu'il a été rappelé au début de cet article, la particularité du bassin houiller du Nord de la France est qu'il est entièrement souterrain. En 1995, l'ingénieur en charge de la gestion de ce bassin au nom de Charbonnages de France (CDF) me disait son dépit de devoir fermer, et que l'objectif était la remise à zéro des paysages. On mettra sur le compte de sa tristesse le fait de ne pas « voir » les marques irréversibles de la période extractive : les terrils, les affaissements et leur inondabilité inéluctable, la pollution des sols. Outre les friches qui sont peu à peu reconverties, le bâti aura aussi laissé des marques significatives, qui justifient la reconnaissance par

l'UNESCO au titre du patrimoine immatériel (BERTRAM, 2017). Mais il y a aussi des personnes : de l'ordre de 1,2 millions d'habitants. Cette densité d'habitat et d'activités a été induite par la présence du ~~s'est installée là parce que le gisement est fixé là~~. Jusqu'à présent, aucune activité nouvelle, liée à une ressource géologique locale, n'a été identifiée. La population peut donc, à tout moment, se détacher du territoire et partir. Mais quoiqu'il arrive, il y aura toujours des projets d'aménagement. Il ne faut pas négliger, voire perdre, la mémoire de ce qui a été fait dans cette tranche de terrains dont l'épaisseur dépasse localement 1 200 m de profondeur. Or la mémoire humaine est extrêmement volatile. Le risque de fuite inopinée de gaz sera éradiqué lorsque les vides résiduels seront tous envoyés (XXIV^e siècle ?). La remise en eau des vides résiduels provoquera ici ou là des reprises d'affaissement, très lents, à peine perceptibles sauf par une surveillance régulière des sens d'écoulements des rivières, des canaux, des réseaux d'adduction et d'assainissement. Anticiper ces risques et leur gestion relève de la géologie appliquée. À condition de ne pas perdre les témoignages de ce qui s'est physiquement passé. Le dispositif en place pour transmettre la mémoire est-il suffisant ? L'avenir le dira.

La construction d'une discipline scientifique nouvelle : la géologie houillée

Même si le développement de la géologie en France a davantage suivi que précédé celui de l'extraction houillère, l'étude du bassin houiller du Nord de la France est à l'origine de quelques-unes des belles notions fondamentales qui font désormais partie du corpus de cette discipline : échelle biostratigraphique végétale, subsidence, nappes de charriage. Aujourd'hui, ce bassin a, de plus, l'opportunité d'être l'un des premiers à inclure l'analyse de l'évolution à long terme des impacts miniers sur un territoire densément peuplé. Encore faut-il accepter qu'il s'agisse, en soi, d'un domaine d'étude.

Acquisition de notions géométriques fondamentales : veines, toit, mur

Le 2 septembre 1772, messieurs Le Roy et Lavoisier signèrent la page présentant à l'Académie des sciences la seconde partie de la *Description de l'Art d'exploiter les Mines de Charbon de terre* de Morand. D'emblée, ils soulignèrent le retard important qui caractérisait la

France par rapport à ses voisins anglais et allemands dans ce domaine d'activité. Ce fut pourquoi Morand composa une somme qui influença les mineurs pendant quelques dizaines d'années. Son vocabulaire spécifique était largement empreint du langage en usage dans la région de Liège. La notion de *veine* de charbon y était déjà claire depuis longtemps, sans que l'on eût eu conscience qu'il s'agissait d'un élément d'une

séquence sédimentaire. Toutefois, Morand signala que les mineurs distinguaient les lits situés au-dessus de la veine (*toit*), de ceux situés au-dessous (*mur*). Les fossiles étant connus, Morand en représenta plusieurs, animaux et végétaux. En dépit des premiers efforts accomplis durant le second tiers du XVIII^e siècle, la stratigraphie balbutiante ne fut cependant pas utilisée par les praticiens.

Acquisition de notions biostratigraphiques

Une fois le gisement atteint, il fallait le situer dans la série des terrains houillers. C'est une évidence aujourd'hui, mais l'emploi des fossiles en tant que repères chronologiques relatifs dans un dépôt sédimentaire était encore balbutiant à la fin du XVIII^e siècle (ELLENBERGER, 1988). La célèbre publication de Cuvier et Brongniart qui en jeta les solides fondements ne date en effet que

de 1811 (cf. GAUDANT, 2012). L'exploitation des mines ne put donc pas en profiter initialement. En 1779, Morand fut intrigué et représenta des fossiles végétaux que, pour la plupart, il n'identifia pas comme tels. Dans les morts-terrains, ce fut par l'expérience acquise, marquée de nombreux accidents de chantier, que se fit l'apprentissage d'abord du forage des puits, puis des sondages. Gillet (1973) et Dollé (1985) firent par exemple état d'accidents induits par une circulation hydraulique souterraine non encore comprise. Les expériences de Henri Darcy (1803-1858) sur les fontaines publiques de Dijon ne furent publiées qu'en 1856. Dans les séries houillères (Fig. 6), les faciès lithologiques sont très monotones et, hors du charbon proprement dit, les sédiments détritiques passent graduellement de l'un à l'autre, verticalement et latéralement, en granulométrie et en nature ; le repérage lithostratigraphique est donc une gageure.

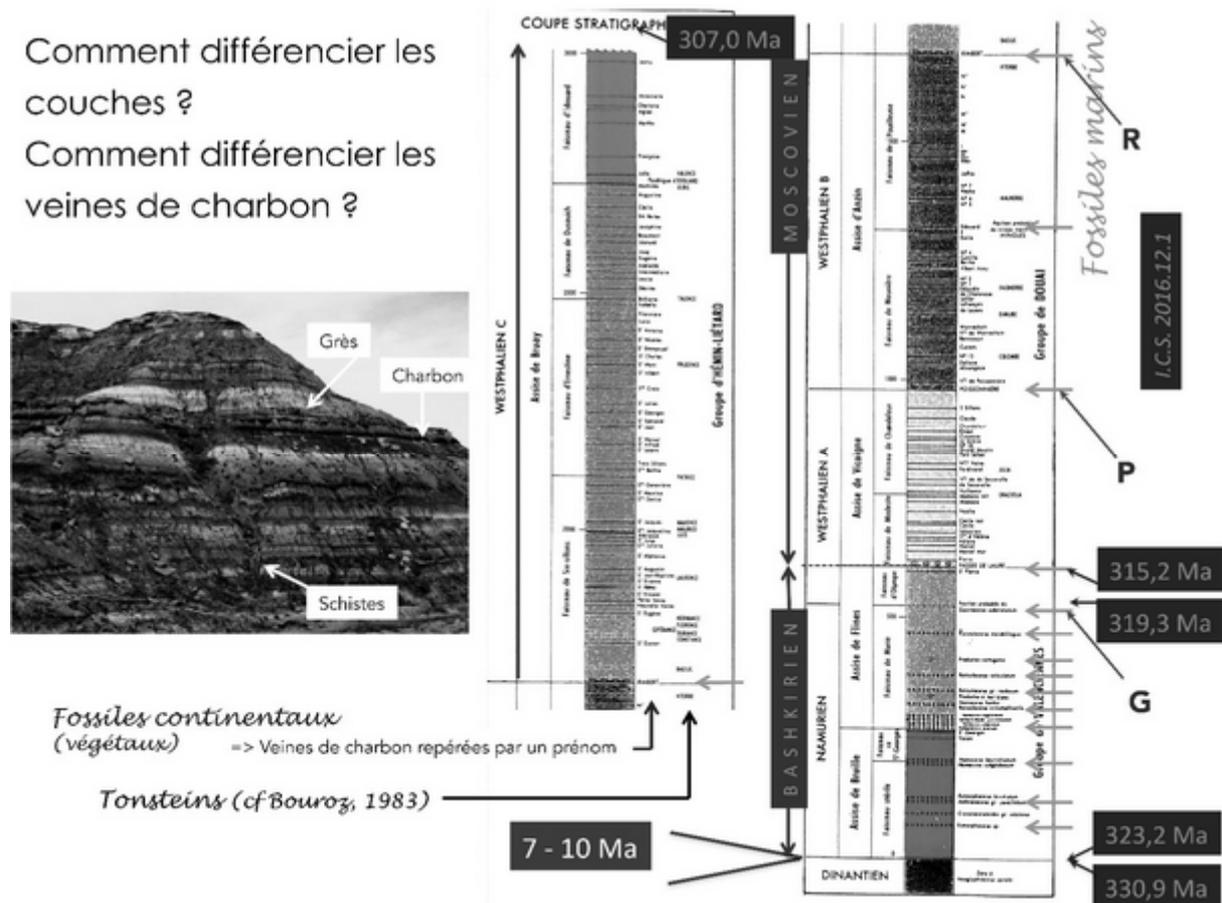


Fig. 6. Les lithologies empilées dans une série houillère sont monotones (falaise dans le *Dinosaur Provincial Park* de l'Alberta, Canada : ©F.Meilliez, 1972), comme dans tous les bassins houillers. Le repérage des unités stratigraphiques est donc établi sur la base de fossiles végétaux qui, dans le bassin du Nord – Pas-de-Calais, couvrent une période datée de 325 à 307 millions d'années. Chaque veine de charbon est désignée par un prénom. Les flèches bleues pointent les incursions marines caractérisées par des fossiles, et notamment des goniatites. Les tonsteins sont des lits argileux résultant de l'altération de retombées cinéritiques. Les trois niveaux marins repères (G, P, R) se retrouvent en Fig. 14

Dans son premier mémoire post-thèse, Gosselet (1860) ne mentionna aucune donnée paléontologique concernant les terrains houillers *sensu stricto*. Mais devant la Société industrielle du Nord de la France, il exposa avec vigueur comment les fossiles végétaux, abondants, pouvaient y être utilisés comme repères biostratigraphiques (GOSSELET, 1874). En 1888, il fit état du récent travail de l'abbé Boulay sur le *Terrain houiller du Nord de la France et ses végétaux fossiles* (1876). Originaire des Vosges, l'abbé Jean-Nicolas Boulay (1837-1905) un était spécialiste des ronces. Après un passage dans le Sud de la France, sa notoriété scientifique¹⁰ le fit nommer professeur à la toute jeune faculté Catholique de Lille en 1875. Son sujet de seconde thèse (soutenue à Caen !) n'était pas déterminé par sa spécialité, mais par l'opportunité régionale : il visita les terrils de près de 50 fosses réparties sur toute l'étendue du bassin, et repéra celles-ci sur une carte (Fig. 7). Le fond de cette carte figure la zonation, établie par les mineurs de la Compagnie d'Anzin, des divers types de charbons selon leur teneur en matières volatiles. Gosselet commenta le résultat en écrivant que l'abbé Boulay avait su « reconnaître que, s'il y a de nombreuses espèces communes à toutes ces zones, si on constate des variations progressives depuis la base jusqu'à la partie supérieure de l'étage, chaque zone contient quelques formes qui lui sont spéciales et qui peuvent la caractériser »¹¹. Cet apparent parallélisme entre zonation des matières volatiles et succession des fossiles végétaux ne résisterait pas aux développements ultérieurs des observations, mais la question était posée, et n'est pas encore complètement résolue.

Gosselet mentionna aussi les fossiles animaux trouvés dans ce qu'il appella alors « *Houiller inférieur* »¹² et que, à la suite de Xavier Stainier (1865-1943) il recommanderait de désigner comme Namurien (GOSSELET, 1901). Il évoqua les minces lits carbonatés contenant des goniatites qui témoignent d'incursions marines récurrentes. Traité ultérieurement de façon systématique (CHALARD, 1960) ce sujet révéla la raréfaction progressive des incursions marines avec le temps (Fig. 6). L'amélioration des travaux stra-

tigraphiques conduisit aussi à la mise en évidence de l'hétérogénéité de sa répartition dans le gisement (PRUVOST & BERTRAND, 1932 ; BERTRAND & PRUVOST, 1934). Enfin, après la découverte d'un premier lit de cinérite altérée (CHALARD, 1951), ces recherches stratigraphiques très précises mirent en évidence, dans la partie supérieure de la série houillère (Fig. 6), une récurrence, croissante avec le temps, de dépôts d'épaisseur centimétrique de poussières volcaniques, appelés *tonsteins* (BOULOZ *et al.*, 1983). Ces repères facilitèrent des corrélations avec les autres bassins houillers européens et appalachiens.

Au lendemain de la seconde guerre mondiale, Pierre Pruvost (1890-1967), directeur de la Société géologique du Nord, présida une cérémonie célébrant les centenaires des défunts Charles Barrois (1851-1939), Charles-Eugène Bertrand (1851-1917), ainsi que la mémoire de Paul Bertrand (1879-1944), fils du précédent. À cette occasion, Pruvost (1951) évoqua l'enchaînement des travaux de paléobotanique houillère à Lille : « ces trois savants ont grandement contribué à pénétrer le problème de la structure des bassins charbonniers et des charbons eux-mêmes, éclairer le mystère de leur formation et mieux connaître leur nature et leurs réserves. » Charles-Eugène Bertrand, nommé professeur de botanique à la faculté des Sciences de Lille en 1878, « fut l'initiateur de l'étude microscopique des charbons » (PRUVOST, 1951, p. 139). Il encouragea son fils Paul à reprendre et à développer la démarche entamée par l'abbé Boulay. Paul parvint à construire une succession biostratigraphique des végétaux houillers en quatre assises (BARROIS *et al.*, 1924). Et ce fut ainsi qu'un mur de l'ancien Institut de géologie de la faculté des Sciences de Lille porta, dès 1922, une peinture représentant une carte géologique du bassin houiller du Nord – Pas-de-Calais (Fig. 8) (MEILLIEZ *et al.*, 2014). La planimétrie (actualisée en 1933) était fixée par les localités et les contours des concessions minières, dont les dernières furent attribuées en 1908. L'altimétrie est dite « au niveau du *tourtia* » (BARROIS *et al.*, 1924). Il n'y eut plus de développement de nouvelles concessions après la première guerre mondiale (voir plus haut).

Recruté à la faculté des Sciences de Lille en 1925, Paul Corsin (1904-1983), sous les tutorats

¹⁰ Indications prises dans Wikipedia, recoupées avec d'autres écrits ensuite.

¹¹ GOSSELET, 1886, p. 695.

¹² *Ibid.*

de Paul Bertrand et André Duparque (1892-1960), devint rapidement très prolifique. Il développa la paléobotanique houillère pour répondre aux besoins des mineurs. Ses étudiants, dont sa fille, poursuivirent ce développement, qu'ils complétèrent avec la palynologie houillère. Un bilan, dressé juste avant la fermeture du dernier puits d'extraction (21 décembre 1990) résuma les résultats acquis par le laboratoire lillois (LAVEINE & CANDILIER, 1987) (Fig. 6) dont les enseignants-chercheurs mirent ensuite leur expertise au service de l'international (LAVEINE *et al.*, 2003). Depuis la fermeture des Houillères, le laboratoire a cependant dû réorienter ses sujets d'études.

Ainsi, les changements permanents de paysages, mise en évidence par les analyses du

paléo-environnement végétal (CORSIN & CORSIN, 1970), s'imposèrent comme une constante et non plus comme un événement extraordinaire, catastrophique ou non. De son côté, Charles René Zeiller (1847-1915) effectua, entre autres, un travail fondamental sur le bassin houiller de Valenciennes (ZEILLER, 1886 : les illustrations, 1888 : le texte). Bien avant l'émergence de la théorie de la dérive des continents puis de la tectonique des plaques, son étude des plantes le conduisit à constater que la population à affinité sudiste cédait la place, peu à peu, à une population à affinité nordique ; près d'un siècle plus tard, on y verra une preuve de la migration du Gondwana vers la Laurussia. Le constat était fait, mais aucune explication rationnelle n'en rendait compte et aucune conclusion mobiliste n'en fut tirée.

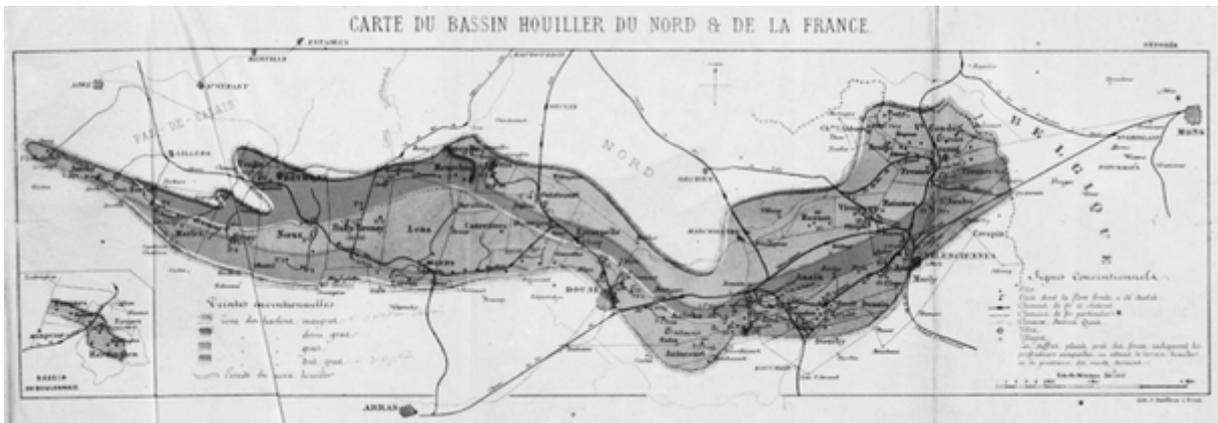


Fig. 7. Carte du bassin houiller du Nord de la France réalisée par l'abbé Boulay (1876) : y figurent les fosses dont il a visité les terrils ainsi que la zonation de la teneur en matière volatiles des charbons selon une classification mise au point par les mineurs de la Compagnie des mines d'Anzin. Source : Lilliad (U-Lille)

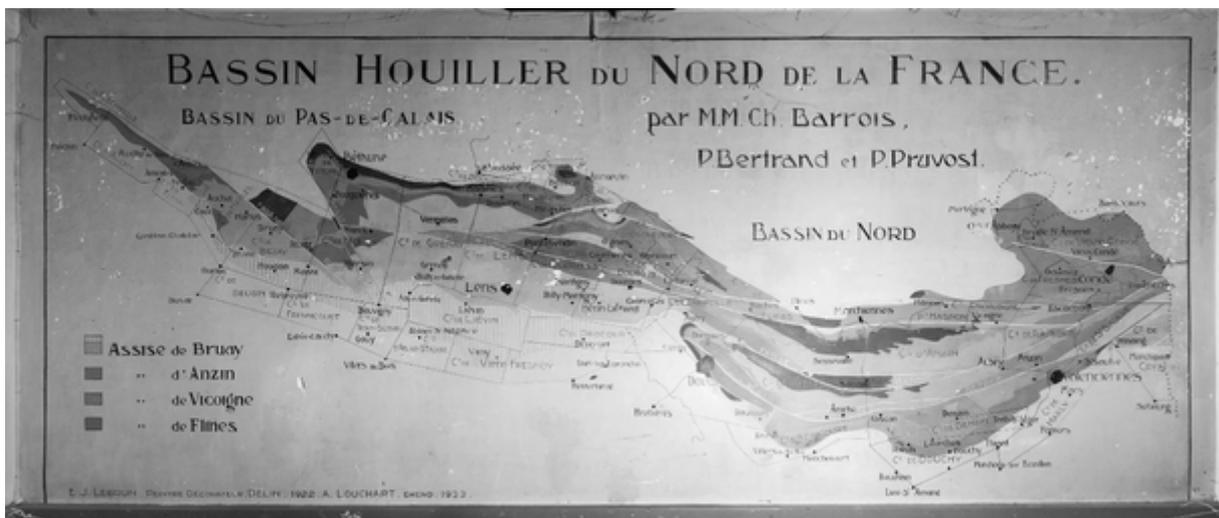


Fig. 8. Photo de la peinture murale à l'entresol de la cage d'escalier de l'ancien Institut de géologie de la faculté des Sciences de Lille (23, rue Gosselet). ©Ville de Lille

Une occasion manquée en tectonique

La Révolution industrielle battit son plein dans le dernier tiers du XIX^e siècle. Il en résulta une croissance générale de l'exploitation de houille en France (cf. *infra* BESSON dans ce même volume des *Travaux 2020*), illustrée ici par celle du gisement houiller du Nord (Fig. 2), comme à l'étranger. Ce fut spécialement le cas aux Etats-Unis dont l'industrie lourde et les voies ferrées se pour partie développées en important des matières premières importées d'Europe où, en retour, la demande d'extraction s'est accrue (DE LAPPARENT, 1890). En même temps, le recensement des ressources minérales nécessaires s'est partout appuyé sur un important effort de cartographie géologique dont témoigne en France le riche fonds documentaire de la Société géologique du Nord¹³.

Résultat inattendu en cette fin du XIX^e siècle, il apparut que les gisements houillers des Appalaches et de l'Europe du Nord-Ouest sont en tout point comparables et qu'ils résultent de la même orogénèse varisque. À une importante différence près : les premiers n'ont pas été arasés puis recouverts de plus d'une centaine de mètres de sédiments ~~plus récents~~, comme les seconds où l'exploitation a commencé à partir d'affleurements, comme dans le sillon de Sambre et Meuse, et a dû être poursuivie en sous-sol. Bien plus lisible, le célèbre « relief appalachien » se prêtait ainsi beaucoup mieux à des avancées significatives dans la compréhension des structures géologiques. De fait, celle-ci progressa dès les débuts de l'exploitation houillère quand Willis (1893) brossa une première description structurale de l'ensemble des Appalaches par des coupes géologiques en éventail. Par-delà ses descriptions géométriques, il tenta en outre des explications cinématiques et dynamiques. Peu après, Wentworth (1921) s'efforça d'estimer l'énergie nécessaire pour produire les déformations tectoniques observées et Rich (1934) décrivit avec une grande précision les chevauche-

ments en escaliers (paliers et rampes¹⁴). D'autres publications suivirent dans cette voie mais il fallut attendre Hubbert et Rubey (1959) pour inclure de façon compréhensive le rôle des fluides dans la déformation des massifs rocheux. Quant à la France, ce fut seulement en 1965 que Jean Goguel (1908-1987) proposa un traité de tectonique en français qui associait le travail de terrain à l'approche mécanique en laboratoire. Ainsi, les progrès ont été lents en Europe pour intégrer la tectonique analytique.

Reconnaître les marqueurs de déformation

La notion de déformation tectonique a eu du mal à s'imposer au cours du XVIII^e siècle. Historiquement, elle était inconcevable dans le cadre des échelles de temps courtes des chronologies mosaïques ; ELLENBERGER (1994) a bien montré comment émergea progressivement la nécessité de prendre en compte la déformation des terrains. Ce n'était pas encore s'engager dans la voie de la compréhension des mécanismes, mais simplement constater leurs effets visibles. Que cette évolution ait été continue ou par à-coups fit débat. On sait maintenant que tout dépend de l'échelle d'observation. Mais qu'en a-t-il été des étapes de cette évolution ? L'observation des phénomènes à l'œuvre dans la nature n'avait à offrir que des exemples de déplacements de masse : continus avec l'érosion fluviale ou marine, discontinus avec l'observation d'écroulements de diverses falaises et de glissements de terrain. En extrapolant ces mécanismes, des explications furent envisagées, qui impliquaient des transferts de masse globaux entre mers et continents, repris dans les multiples « théories de la Terre » proposées à l'époque. Les tremblements de terre étaient évidemment connus (pour rappel : le séisme de Lisbonne en 1755 a été d'une intensité estimée aujourd'hui entre 8 et 9 sur l'échelle de Richter) mais non leurs mécanismes. Tout cela ne relève que de la géométrie. Johann Gottlob Lehmann (1713 ?-1767), le premier qui produisit en 1756 une vraie coupe géologique ne se risqua pas à expliquer comment s'était mise en place l'architecture représentée. Dix ans auparavant, de Sauvages (1710-1795) avait fait de même dans la région d'Alès, mais en représentation

¹³ Le fonds documentaire de la SGN est en cours de recollection. Sur les 184 titres échangés avec une institution étatsunienne, 83 l'ont été avant 1910. Par tranches de 10 ans, ces échanges se répartissent ainsi : 14 entre 1875 et 1880 ; 24 entre 1880 et 1890 ; 22 entre 1890 et 1900 ; 23 entre 1900 et 1910. Le fonds possède encore au moins un volume pour chaque titre enregistré.

¹⁴ Ces deux mots sont aujourd'hui d'usage courant chez les tectoniciens et cartographes. Voir le mot *rampe* dans le *Dictionnaire de Géologie* (FOUCAULT et al., 9^e édit., 2020).

cartographique. Et plus tôt encore (1716), Johann Scheuchzer (1684-1738) avait représenté en perspective, sur une carte, un relief montagneux présentant des structures plissées. Mais lui non plus ne proposait aucune explication. ELLENBERGER (1994, p. 313) a attribué à Hutton la première représentation d'une structure plissée (en Saxe-Thuringe) assortie d'une réflexion sur un mécanisme possible.

Ce fut dans ce cadre que prit place l'étude du de gisement de Liège, qui est fortement plissé et faillé. Les veines (Fig. 9A) sont engagées dans des plis dissymétriques dont les flancs se distinguent par leur pendage relatif (Fig. 9B) : la *plateur* est à faible pendage, et le *dressant*¹⁵ à fort pendage. Les plis retinrent l'attention de l'inspecteur des mines François Gillet de Laumont (1747-1834) car il comprit vite que les structures observées à une échelle existent aussi en plus petit et en plus grand (GILLET DE LAUMONT, 1799). C'était là une idée fondamentale qui supposait une bonne capacité de vision en trois dimensions. Pour lui qui constatait que mur et toit n'ont pas nécessairement la même composition (Fig. 9A), cette observation rendait possible l'identification d'une véritable polarité de

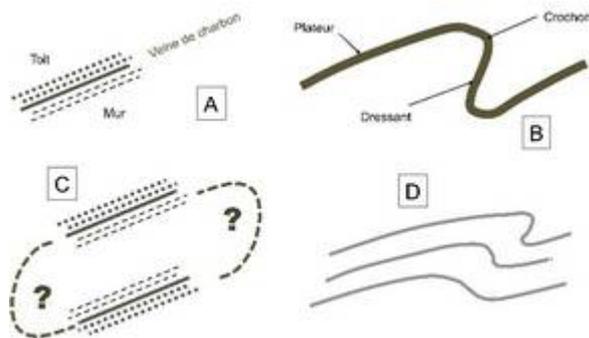


Fig. 9. Croquis réalisés d'après la description littéraire donnée par Gillet de Laumont (1799). A – Une veine de charbon est un lit dans une série dont on peut distinguer le toit du mur ; B – Les terrains houillers sont plissés de façon dissymétrique : termes utilisés à Liège / en Nord – Pas-de-Calais ; C – Connaître la polarité de composition d'une veine et des couches qui l'encadrent devient un outil prédictif pour déterminer la géométrie du gisement ; Des variations locales de la forme des plis sont souvent observées, dont la signification est comprise aujourd'hui

¹⁵ Le mot « dressant » a été conservé par l'usage ; le mot initial que Morand avait retenu à l'époque était « roisse », « dressant » n'étant pas le terme le plus utilisé. Son succès tient sans doute au fait qu'il est plus intuitif. Le mot « plateur » a connu beaucoup d'orthographe ; celle-ci est de même nature que longueur, largeur, hauteur, épaisseur.

la série lithologique. Ceci donnait alors un moyen d'estimer où allait se trouver la prochaine fermeture de pli, appelée *crochon* par les mineurs (Fig. 9C). Gillet de Laumont observa et décrit aussi la variation progressive de courbure d'une succession de couches (Fig. 9D) que nous considérons aujourd'hui comme la preuve d'une sollicitation par cisaillement général de la série, amorce d'un décollement. Ses observations le conduisirent ainsi à envisager une mise en place gravitaire superficielle, à l'image des glissements de terrain.

Morand décrit plusieurs failles qu'il présente comme des filons pierreux ; la notion de rupture mécanique n'était pas « dans l'air du temps ». Henri Struve et J.-P. Berthout s'intéressèrent eux aussi de près aux failles. Ils rappelèrent également l'origine liégeoise du terme et en formulèrent une définition qui fit autorité : « *La meilleure idée que l'on puisse se former d'une faille, c'est de la considérer comme une fente remplie d'une matière étrangère, par sa nature et sa composition, à celle de la montagne ou de la contrée dans laquelle on la trouve ; c'est donc un vrai filon pierreux qui coupe, sous différentes directions et inclinaisons, les veines de houille et les couches stratifiées avec elles.* » (STRUVE & BERTHOUT, 1795, p. 60). La même définition fut reprise en note de bas de page par Du Souich (1839, p. 77). Aujourd'hui, à la fois par la diversité des failles observées sur le terrain et par la richesse des expérimentations en laboratoire, les failles sont d'abord décrites comme des surfaces de rupture accommodant des déplacements ; leur remplissage n'est plus un critère d'identification. Toutefois, les infinies variations qu'elles présentent apportent de précieuses indications sur les conditions de mise en place. À l'évidence, ce qui frappa les observateurs de la fin du XVIII^e siècle dans les mines fut d'abord l'épaisseur et le remplissage de ces « *fentes* ». Struve et Berthout parvinrent en outre à suivre certaines veines de charbon de part et d'autre d'une faille, et formulèrent des règles pour retrouver cette continuité. De proche en proche, ils envisagèrent aussi cette continuité à l'échelle interrégionale : une approche géométrique des gisements progressait.

Après avoir visité les Alpes avec Horace-Bénédict de Saussure (1740-1799), James Hall

(1761-1832), un Écossais qui observait les structures visibles sur les falaises britanniques, eut l'idée de construire un banc d'essai pour y mettre divers tissus à plat, chacun représentant une couche, puis de les comprimer latéralement en ayant pris la précaution de charger le tout avec des poids représentant les terrains sus-jacents (HALL, 1815, in VOIGHT, 1976). Cette expérience, à son tour, fit réfléchir les géologues du XIX^e siècle naissant. Les plis pouvaient donc avoir été formés par un effort latéral dont il fallait bien trouver l'origine. Mais il fallut attendre la publication fondamentale de Bailey Willis (1893) sur les Appalaches pour exposer le principe du raccourcissement pelliculaire d'un ensemble finement stratifié au-dessus d'un niveau dit de décollement (dans VOIGHT, 1976 ; FRIZON DE LAMOTTE, 2002 ; MEILLIEZ & MANSY, 1990). Pour parvenir à ce niveau d'intégration régionale, il fallait au préalable avoir admis les notions de chevauchement et de nappe de charriage, sources de belles discussions scientifiques, résumées ci-dessous.

Décortiquer la structure d'un gisement souterrain ; la faille du Midi

Revenons à la découverte de la structure interne du bassin houiller en partant du moment où Du Souich prend ses fonctions à Arras, en 1835 (voir au début de cet article). L'Académie royale de Bruxelles avait lancé, en 1830, année de l'indépendance de la Belgique, un concours : « en réponse à la question suivante : Faire la description de la province de Liège ; indiquer les espèces minérales et les fossiles accidentels que l'on y rencontre, avec l'indication des localités et la synonymie des noms sous lesquels les substances déjà connues ont été décrites ». Un jeune ingénieur se fit remarquer : André Dumont (1809-1857), conseillé et encouragé par Jean-Baptiste D'Omalius d'Halloy (1783-1875), gouverneur de la province de Namur, mais aussi pionnier de la géologie européenne (DEJONGHE, 2019)¹⁶, le conseil et l'encouragement. Dumont proposa de distinguer quatre unités stratigraphiques là où son mentor n'en avait formé qu'une, et de faire des terrains houillers une unité particulière. De bas en haut :

- Un ensemble de schistes et grès rouges (notre actuel Dévonien inférieur) ;
- Un ensemble de calcaires et dolomies (≈ Eifélien -Givétien) ;
- Un ensemble de schistes et psammites (≈ Frasnien – Famennien) ;
- Un Calcaire supérieur (≈ Dinantien = Mississippien) ;
- Les terrains houillers.

Le document fut publié en 1832 par l'Académie royale. Dumont proposa que les deux bandes houillères de la province de Liège s'étaient formés dans deux bassins de sédimentation houillère distincts et contemporains. Son principal argument était que ses quatre unités constituaient les substrats des deux bassins qui se différaient par leurs épaisseurs et quelques variations de composition. Dumont exposa son idée, entre autres, lors de la réunion extraordinaire de la Société géologique de France à Mézières (1835). À cette occasion, il présenta aussi la première coupe géologique de la vallée de la Meuse, qui devint une référence (Anonyme, 1835). Cette coupe ne représentait aucune faille, mais des *contournements* de couches évoquant les expériences de Hall (1815). De Saussure avait introduit la notion de *refoulement* en étudiant la structure des Alpes (ELLENBERGER, 1994, p. 292) ; celle-ci devint un mécanisme invoqué par Dumont rendre compte des *contournements* du bassin houiller franco-belge. Mais quel était le « moteur » de ce refoulement ?

Du Souich n'était pas présent à cette séance de la SGF, mais il comprit vite la proposition de Dumont et proposa de l'adopter pour rendre compte de la structure du « bassin houiller de Valenciennes » (Fig. 10) qu'il mit en équivalence avec le bassin septentrional de Dumont, au nord de Liège. Puis vint Gosselet (1860), qui reconnut à Dumont la paternité de cette heureuse notion de bassin et l'appliqua au gisement de Valenciennes, en cherchant à identifier dans les synclinaux de l'Avesnois quelques couches houillères qui seraient l'équivalent du bassin méridional de Dumont. Comme Du Souich, il chercha à étendre cette notion à l'ensemble du Nord – Pas-de-Calais. Or le bassin houiller de Valenciennes posait un problème : la succession des fossiles du bord nord se retrouve en ordre inverse au sud, où les couches sont pourtant pentées dans le même sens, mais plus fortement qu'au nord.

¹⁶ Voir aussi GROESSENS, E. (2008). Quelques pionniers de la Géologie officielle et la création d'un Service géologique de Belgique. *Trav. Comité fr. Hist. Géol.*, (3), p. 1-25.

Par ailleurs, les charbons maigres du nord ne se retrouvent pas au sud. Imaginer un synclinal déversé vers le nord permettait de résoudre la première difficulté (Fig. 10). À la suite de Dormoy (1862), Gosselet proposa d'expliquer la seconde difficulté en faisant intervenir une faille, d'abord verticale (Fig. 11) puis inverse (Fig. 12), sur la base d'un argument paléontologique, mais sans l'avoir observée directement sur le terrain. Dumont avait bien identifié plusieurs failles dans la province de Liège (celles-là même qui avaient tant marqué Morand), mais, négligeant l'argument paléontologique, il n'avait pas vu qu'une partie de la série houillère manquait. Partisan de la primauté de l'analyse géométrique, Dumont se méfiait de la paléontologie (D'OMALIUS D'HALLOY, 1858), ce que Gosselet (1860) lui reprocha. En 1839, la Société géologique de France avait tenu une réunion extraordinaire à Boulogne-sur-mer. Dans la région de Marquise, le calcaire carbonifère repose sur des terrains houillers. Après la présentation des affleurements par Du Souich, qui constatait l'ordre inverse sans l'expliquer, Murchison contesta le fait, voulant y voir une passée houillère à l'intérieur du calcaire carbonifère (Anonyme, 1839). L'année suivante, Murchison reconnut son

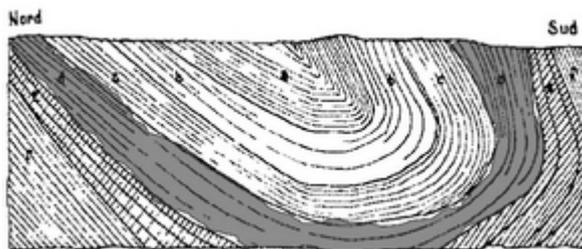


Fig. 10. « Coupe verticale présentant la disposition des bassins dans lesquels les bords opposés inclinent dans le même sens ». Coupe et légende selon Du Souich (1839). La couche surlignée est ce qui est aujourd'hui appelé calcaire de Givet, les terrains houillers occupant le cœur du bassin de Valenciennes

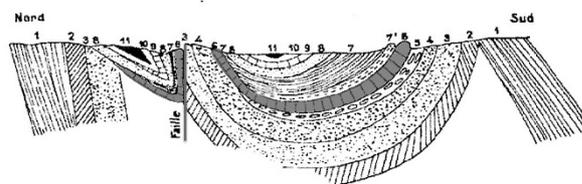


Fig. 11. « Coupe théorique du plateau anthracifère de la Belgique divisée en deux bassins » (GOSSELET, 1860). Le calcaire de Givet est encore surligné de gris (numéro 5). Les terrains houillers sont en noir (numéro 11). Cette coupe est à peu près calée sur la vallée de la Meuse. Son objectif est surtout de faire comprendre le concept de deux bassins sédimentaires séparés par une faille qui escamote la « Ride du Condros », fragmentée en Belgique

erreur et se rangea à l'avis d'autres géologues qui « ne voyaient pas de différence entre le Houiller du Boulonnais et celui de Sambre et Meuse ». La démonstration paléontologique vint, plus tard, de Gosselet (1860). Ce fut alors que Briart et Cornet (1863) rapportèrent une précieuse observation, directe : dans un charbonnage de Binche, le calcaire carbonifère repose sur les terrains houillers par l'intermédiaire d'une faille inverse bien caractérisée. Pouvoir observer un tel contact est rare et l'information avait été publiée dans une revue peu diffusée. Néanmoins informé, Gosselet revint dans le Boulonnais et y reconnut la même disposition. Le tome I des *Annales de la Société géologique du Nord*, paru en 1875 (mais relatant toutes les séances de 1872 à 1874), rendit compte des communications orales de Gosselet qui en firent état, les 9 janvier 1873 (p. 18) et 20 mai 1874 (p. 66). Et quelques mois plus tard, Gosselet démontra l'existence de failles inverses et de leurs *lambeaux de poussée* dans le bassin de Valenciennes (GOSSELET, 1874, paru en 1875), dans un exposé qu'il fit devant la Société Industrielle du Nord de la France. Il y fit preuve de son caractère visionnaire en expliquant non seulement la géométrie de sa coupe théorique (Fig. 12), mais en commentant aussi une proposition cinématique : le bassin du Nord (appelé « de Namur ») serait séparé du bassin du Sud (« de Dinant ») par un territoire qu'il nomma « ride du Condros ». Exposant ensuite son modèle devant la Société géologique de France (GOSSELET, 1879a), il parla du « ridement », point de faiblesse mécanique : « Lorsque vint l'épouvantable pression, [...] le point faible céda, il se fit une fente prodigieuse que l'on peut suivre depuis Liège jusqu'à Marquise. C'est ce que nous appellerons la grande faille. » C'était un résultat d'importance considérable pour les exploitants charbonniers. Il caractérisait la présence d'une faille inclinée au sud « transportant » sur les terrains houillers des termes stratigraphiques plus anciens : calcaire carbonifère, dévonien ou silurien selon les endroits). Dans le Nord – Pas-de-Calais, ce fut la ruée pour demander de nouvelles concessions, de préférence au sud des précédentes (voir au début de cet article). Elles furent octroyées en 1908. En dépit de quelques discussions (DE DORIODOT, 1895), la notion de grande faille s'imposa. À la suite de Briart et Cornet (1863) elle fut appelée *faille du Midi* car elle limite au sud l'extension du charbon. Plus tard, Fourmarier

(1905, 1913) confirma et précisa le raccord entre les failles du Midi et Eifélienne que Dumont avait identifiée sans en percevoir la signification régionale.

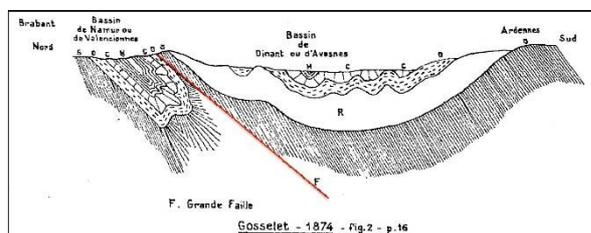


Fig. 12. Coupe théorique actualisant celle de la Fig. 9 (GOSSELET, 1874). Le Houiller est annoté H. Le point important est l'inclinaison de la faille désormais appelée Faille du Midi, ou Grande Faille

On peut comprendre que Gosselet ait eu conscience d'avoir formulé une avancé dans l'appréhension de la géologie régionale. Tout géologue de terrain sait que tout affleurement peut lui donner l'occasion d'affiner sa compréhension. Gosselet en fit notamment démonstration en commentant son changement d'avis devant la Roche à Fépin (GOSSELET, 1879b), dans la vallée de la Meuse. Observant ce qu'il interpréta cette fois¹⁷ comme des bancs conglomératiques jalonnant la discordance du Dévonien basal sur les terrains cambriens, il constata leur inclinaison en position inverse à 45° vers le sud et écrivit : « *La preuve du renversement est manifeste. [...] Si le poudingue est horizontal dans la partie inférieure, relevé sur la partie moyenne et renversé dans la partie supérieure, on doit admettre qu'il s'est déposé horizontalement et que, plus tard, la partie sud a été relevée et repliée sur la partie nord qui est restée en place.* » Ce qu'il vit là en trois dimensions, il l'intégra pour interpréter les structures internes du bassin houiller où les observations étaient ponctuelles, car souterraines. Après avoir acquis cette conviction nouvelle, Gosselet relata dans cette même publication l'échange de courriers qu'il eut, a avec son collègue de Grenoble, Charles Lory (1823-1889), à propos de l'interprétation de la coupe de l'Eiger qui serait « *presque celle de Fépin* » (GOSSELET, 1879b, p. 71). Il ne manquait plus qu'un peu d'inspiration et d'audace pour avancer vers les notions de chevauchement, puis de nappe de charriage. En reconnaissant sa dette pédagogique envers Gosselet, Marcel Bertrand (1847-

¹⁷ En 1868, Malaise et Gosselet y avaient décrit une paléofaune dévonienne.

1907) franchit le pas lorsqu'il proposa son interprétation de la structure des Alpes de Glaris (BERTRAND, 1884). Le type de structure proposé fut ensuite appliqué au *lambeau de recouvrement* du Beausset, en Provence (en 1887), puis aux régions avoisinantes (découverte en 1891 du chevauchement des « phyllades paléozoïques » sur le Permo-Trias littoral, démontré avec le creusement, à l'est de Toulon, d'un tunnel amenant à la mer les eaux de l'Eygoutier¹⁸. Les géologues alpins s'emparèrent de cette notion, la développèrent¹⁹, puis les ingénieurs des mines l'utilisèrent. Cependant le recours aux nappes de charriage devint excessif : Félix Kaisin (1879-1948) en était arrivé à qualifier « *l'Ardenne, pays de nappes* » (KALSIN, 1925). Il s'avère aujourd'hui que, s'il vit et analysa bien les structures issues de la tectonique pelliculaire varisque (KALSAN, 1936), il força aussi une interprétation dans le même sens à partir d'observations de ... non-observation, c'est-à-dire d'absence de parties de séries stratigraphiques, en ne reconnaissant pas les effets d'une tectonique distensive antérieure au raccourcissement.

Retour sur le bassin houiller du Nord – Pas-de-Calais

Il nous faut maintenant revenir à la carte géologique de Barrois *et al* (1922) (Fig. 6). Délimitée en planimétrie par le tracé des concessions et les principales localités, cette carte a été tracée, selon ses auteurs « *au niveau du tourtia* », c'est-à-dire sur la surface mollement ondulée qui constitue la base des morts-terrains. Aujourd'hui (MINGUELY, 2007), on la sait découpée en marches d'escalier par les failles qui ont jalonné la progression de la transgression du Crétacé supérieur, et partiellement inversées à partir de l'Éocène supérieur. Gosselet (1908) avait été le premier à démontrer que des failles inverses au niveau du Crétacé montrent un rejet normal résiduel au niveau du toit du Paléozoïque. Étonné, Bouroz (1956) avait repris en détail cette analyse et confirmé le constat. La notion d'inversion de déplacement sur des failles anciennes ne s'est

¹⁸ Biographie de Marcel Bertrand par Killian et Révil, consultée sur <http://www.anales.org/archives>. Voir aussi DURAND-DELGA, M. (2010). Marcel Bertrand (1847-1907), génie de la tectonique. Presses des Mines, Paris, 185 p.

¹⁹ En 1893, Hans Schardt (1858-1931) découvre l'allochtonie des Préalpes et en 1902, Maurice Lugeon (1870-1953) propose sa synthèse magistrale sur *Les grandes nappes de recouvrement des Alpes du Chablais et de la Suisse*.

vraiment imposée qu'avec les prospections pour hydrocarbures en mer du Nord, entre autres, et demeure un sujet d'étude vivace²⁰. Charles Barrois incita Paul Bertrand à mettre sur une carte les zones de répartition des échantillons qui lui avaient servi à déterminer quatre niveaux stratigraphiques : de bas en haut les assises de Flines et Vicoigne (Namurien), puis celles d'Anzin et de Bruay (Westphalien). Pierre Pruvost, plus familiarisé avec la cartographie, fut chargé de l'aider à mettre au point cette représentation. Ce fut ainsi que tous les défauts de continuité stratigraphique ont été figurés par des lignes qui, par la suite, ont été interprétées comme autant des failles (Fig. 8). La démarche était parfaitement compréhensible dans le contexte évoqué ci-dessus. Les notions de chevauchement et de nappe de charriage s'étaient imposées pour rendre compte de bien des situations jugées étranges jusque-là. Une publication comme celle de Rich (1934), dans les Appalaches, aurait cependant dû retenir l'attention des géologues européens : ce que les mineurs européens appellent une *faille plate* est une structure en marches d'escalier constituée de courtes surfaces de rupture transverses à la stratification (rampes), reliées par des surfaces de glissement étendues dans la stratification (paliers). De plus, à l'échelle de l'affleurement, une rampe peut aussi ne pas être seulement une surface de rupture mais le biseau d'une lentille sédimentaire. Une telle surface composite est très difficile à suivre dans une série finement litée (épaisseur des bancs inférieurs au mètre), et à localiser sur une topographie ; que dire alors dans un gisement souterrain où les observations ne sont que ponctuelles ? Tout tracé continu n'est qu'une interprétation, une mise en corrélation de surfaces de glissement élémentaires avec d'autres, repérées à quelques centaines de mètres, dans des lithologies monotones. À ce niveau, le pouvoir de résolution de la paléontologie est insuffisant, mais tout géologue espère toujours trouver la famille de microfossiles qui lui permettra d'affiner encore. Aussi était-il tentant, à ce stade de connaissance, de considérer les limites des domaines stratigraphiquement homogènes (Fig. 8) comme autant de failles longitudinales, plates.

²⁰ Pour consulter une abondante littérature sur le sujet, un ouvrage faisait référence (BUCHANAN & BUCHANAN, 1995) ; l'ouvrage est malheureusement épuisé. Une entrée récente peut être CHILDS *et al.* (2017).

La nationalisation de 1945 eut d'abord pour objectif une rationalisation des moyens, des méthodes et des connaissances. Les confrontations des résultats acquis par chaque compagnie amenèrent inévitablement le constat que des veines portant des noms différents selon les concessions n'en faisaient en réalité qu'une, et de même pour des failles ; ou aussi la situation inverse : des veines considérées équivalentes d'une concession à l'autre et qui en fait ne le sont pas, et de même pour les failles. Un service géologique unique fut mis en place, sous la coordination d'Alexis Bouroz (1907-1995) qui entreprit un travail analytique remarquable pour inventorier les structures tectoniques élémentaires (BOUROZ, 1950), puis les assembler dans le cadre de la carte de Barrois *et al.* (1922). Ceci a donné la fameuse *carte à la cote -300* (BOUROZ *et al.*, 1963), un remarquable travail : dresser une carte géologique à 1/50 000 à la cote -300 représenta un véritable exploit technique à cette époque (Fig. 11). Les grandes discontinuités biostratigraphiques y furent confirmées avec un statut de grandes failles longitudinales. Que, localement, de telles discontinuités coïncident avec des surfaces de glissement dont le cartographe a fait des failles est une réalité incontestable. Que des observations distinctes soient reliées pour ne faire qu'un unique plan de glissement physique, aucun mécanicien des roches ne peut l'admettre dans ces milieux très finement stratifiés. Il faut plutôt y voir la juxtaposition d'écaillés, comme ce que produit un bulldozer qui déplace un matériau pondéreux. Le cartographe, selon l'échelle de son dessin, distinguera des surfaces de glissement en relais ou leur surface enveloppe basale. Pour ensuite discuter d'un scénario de reconstitution cinématique et dynamique, la nuance est d'importance.

La similitude des diverses cartes (Fig. 7, 8 et 13) est frappante. Les couches les plus jeunes sont situées un peu au sud-est, près de la frontière belge, et à l'ouest, plutôt vers le bord sud. Ce sont les plus riches en matières volatiles (Fig. 7). Les charbons maigres (recherchés pour l'industrie du coke) sont surtout présents à l'est, au nord en stampes²¹ normales, au sud en stampes inverses. Lorsque Gosselet (1874) démontra que du charbon se trouvait vraisemblablement

²¹ Encore un terme d'origine liégeoise pour désigner une série de couches, par exemple entre deux veines de charbon consécutives.

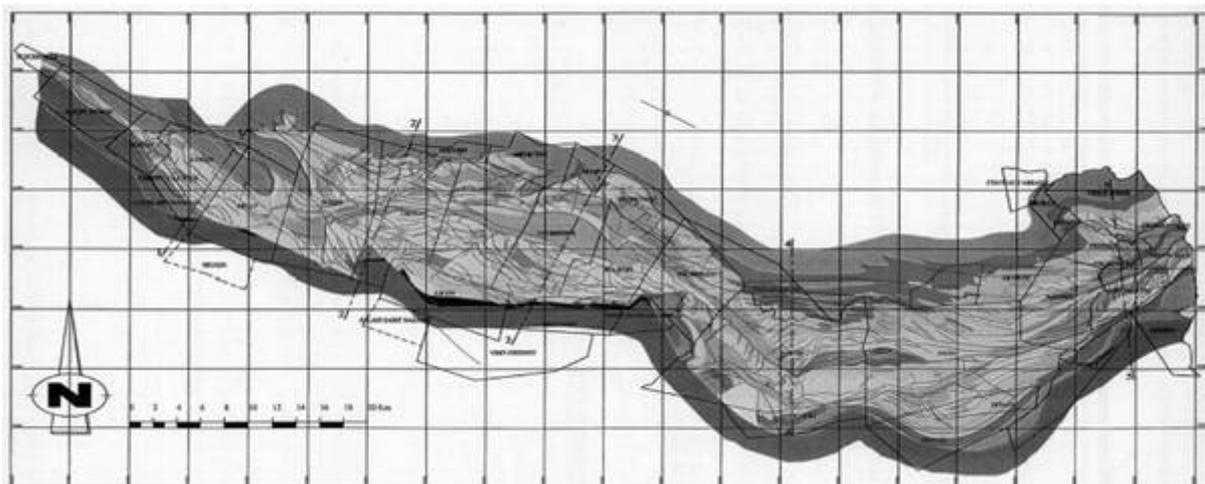


Fig. 13. Carte à la cote -300 (BOUROZ *et al.*, 1963). Source : Dossiers de sortie des concessions minières (1996-2005). Le dessin de cette carte a été établi peu à peu jusqu'à être publié en 1963. Les chantiers exploités de 1963 à 1990 (10% de la production totale du bassin : voir Fig. 2) ont apporté des informations qui n'ont pas été intégrées dans cette carte, considérée comme définitive

blement sous la faille du Midi, les exploitants ont espéré retrouver les charbons maigres au sud, en arrière de la trace de la faille du Midi, grâce à la structure générale synforme du bassin houiller. D'où ces concessions octroyées en 1908, mais peu ou pas entamées en 1914. Bouroz (1960) reprit aussi ce travail en recherchant, par sondages, jusqu'où la faille du Midi pouvait coiffer des bassins houillers. De son côté, Barrois (1905) se rendit compte d'une incohérence qui ne pouvait être résolue : la synforme générale du bassin ramenait au sud, en position inverse les couches qui sont en position normale au nord. Or, dans les couches de même âge, les charbons sont maigres au nord et gras au sud. La paléontologie stratigraphique ne pouvait donc pas tout résoudre. La réflexion devait s'orienter vers la recherche des mécanismes en jeu, tant au cours de la sédimentation que durant les épisodes de déformation.

Ingénieurs des mines et géologues avaient bien conscience que toutes ces séries résultaient d'environnements sédimentaires alluviaux, riches en sédiments fins à très fins (argiles) dans lesquels des cours d'eau déposaient des systèmes lenticulaires de grès (environnements deltaïques). Chaque période de calme relatif voyait se développer un écosystème forestier compatible avec les conditions littorales et alluviales de l'endroit et du moment (CORSIN & CORSIN, 1970). De temps à autre, une incursion marine

durable, ou un raz-de-marée²² inondait le paysage et, selon sa violence, laissait debout les troncs d'arbres ou les couchait avec l'ensemble du couvert végétal. La dégradation sous eau (conditions anaérobies) faisait évoluer ces produits vers un charbon, en passant par les stades successifs tourbe / lignite / houille / anthracite. Les travaux d'André Duparque (1892-1960) en ont précisé les étapes (DELATTRE & PRUVOST, 1961). Un tel processus a dû se reproduire plusieurs fois dans les mêmes conditions, ainsi que l'attestent les limets gréseux, les *cuerelles*, disséminés dans l'épaisseur d'une veine. Une synthèse de travaux récents (THOMAS, 2002) évalue entre 5 et 10 000 ans la durée nécessaire à l'accumulation de ce qui deviendra une couche de 1 m de charbon bitumineux, avec une compaction de l'ordre de 10 :1. La stabilité paysagère d'un tel environnement doit donc s'évaluer en dizaines de milliers d'années. Les divagations des cours d'eau rendent compte des entrelacs des corps sédimentaires, veines de charbon comprises, constatées au sein d'un même faisceau de veines (Fig. 4). Avoir su, progressivement, mettre en évidence cette organisation spatiale à partir d'observations souterraines et de sondages a déjà été une belle réalisation. Mais on peut comprendre que ce bassin du Nord de la France n'ait pu donner lieu à des analyses sédimentologiques très détaillées, à la différence des

²² On peut repenser ici aux images abondamment diffusées du raz-de-marée du Nord-Sumatra, induit par un séisme sévère le 24 décembre 2004.

gisements qui affleurent. Dans ces conditions, le passage d'un faisceau à l'autre doit être vu comme l'effet d'un événement tectonique majeur qui, modifiant drastiquement le paysage sans changer la nature des sédiments, entraîne la mise en place d'une logique paysagère différente dans laquelle se développe un nouveau faisceau de veines.

On sait aujourd'hui l'importance de la présence d'eau dans la structuration des dépôts sédimentaires, tant durant le dépôt que durant la diagenèse, en particulier avec des sédiments fins (MALTMAN, 1994). Le développement de la construction ayant entraîné celui de la géotechnique, la notion de risque d'instabilité liée à la présence d'eau dans une série sédimentaire est un élément qui fait aujourd'hui partie de la culture de tout un chacun. Mais ce n'était pas le cas au début du XX^e siècle. D'où l'importance majeure de publications comme celles de Harza et Asce (1904), Hubbert et Rubey (1959). Pierre Pruvost, lui, l'a approchée différemment.

Sédimentation et déformation, une interaction complexe

La notion d'accumulation différentielle et son corollaire, la dynamique synsédimentaire, est aujourd'hui devenue une évidence grâce à des moyens analytiques performants qui permettent de voir les mécanismes naturels en action, tant dans la nature qu'au laboratoire. Toutefois, ELLENBERGER (1994) a montré combien la notion de déformation, c'est-à-dire de perpétuelle remise en cause d'un état présumé stabilisé après dépôt, a rencontré de difficultés pour être admise. Notamment à cause d'un préjugé qui marquait encore la formation des géologues débutants il y a quelques dizaines d'années, à savoir que la déformation ne peut s'effectuer et s'évaluer qu'une fois le sédiment consolidé et lapidifié. Une publication majeure (PRUVOST, 1930) marqua approximativement le début d'une nouvelle réflexion. L'auteur constata qu'une accumulation différentielle forte affecte le Jurassique supérieur entre le Pays de Bray et le Boulonnais sans changement notable de faciès, ce qui l'amena à soupçonner qu'une subsidence différentielle a affecté le substratum du bassin pendant la sédimentation. Puis il franchit le pas pour dire que si les sédiments s'accumulent,

c'est qu'un espace récemment dégagé leur permet de le faire, en évacuant doucement l'idée inverse que le poids des sédiments pouvait être à l'origine d'un enfoncement du substrat crustal. Néanmoins, il reconnut aussi la contribution du tassement (consolidation primaire au sens géotechnique du terme). Enfin, il étendit son raisonnement aux bassins houillers franco-belgo-germaniques (Fig. 14). Et, très logiquement, il en vint à expliquer qu'une sédimentation de composition monotone sur des épaisseurs différenciées ne peut venir que d'un mécanisme local, accommodé par des failles.

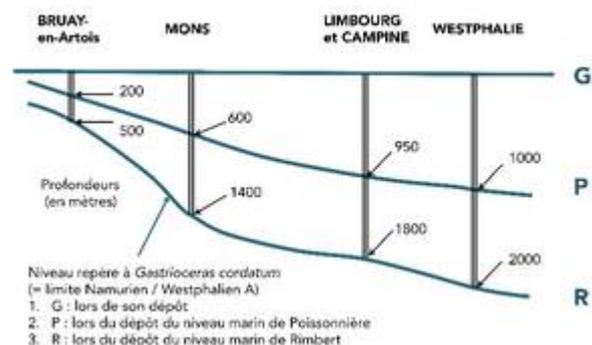


Fig. 14. Diagramme de subsidence différentielle entre les bassins houillers du Nord de la France, de Sambre-et-Meuse et de Westphalie (modifié d'après PRUVOST, 1930). Les repères biostratigraphiques sont localisés sur la Fig. 4

Pour identifier ce mécanisme, Pruvost analysa les séquences associant une veine de charbon à son mur et son toit (Fig. 9C), puis il détailla la reconstitution des faciès et de leur paléoenvironnement. Il évoqua ainsi l'idée d'un événement brutal qui peut venir perturber une sédimentation très calme, cet événement pouvant être un séisme, un glissement en masse qui envahit une partie du bassin, etc. Pruvost proposa de dénommer cyclothème ce qui, aujourd'hui, est vu comme une séquence élémentaire dans l'évolution d'un bassin sédimentaire (Fig. 15).

Cette notion de subsidence différentielle pour rendre compte d'une courte séquence sédimentaire allait marquer la communauté géologique. Curieusement, les géologues ardennais ne s'en emparèrent pas alors qu'ils disposaient de très nombreux exemples pour l'illustrer (MEILLIEZ, 1989a). Ce furent les campagnes de reconnaissance sismique sur les marges continentales (seconde moitié du XX^e siècle) qui apportèrent

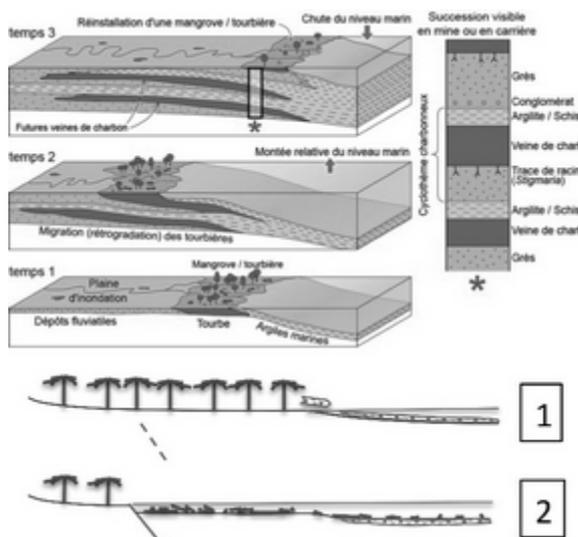


Fig. 15. Le schéma explicatif de la subsidence développé par Pruvost (1930) est ici replacé dans une séquence évolutive de sédimentation dans un environnement paralic (d'après DE WEVER & BAUDIN, 2015). Les schémas 1 et 2 complètent la reconstitution en ajoutant les à-coups tectoniques d'une faille en distension

les éléments décisifs. Cela fonctionna bien pour le Dévonien inférieur ardennais, sur une marge sédimentaire en extension (MEILLIEZ, 1989b ; MILHAU *et al.*, 1989). Mais comment expliquer que ce mécanisme, qui nécessite un contexte extensif superficiel, affecte aussi les dépôts namuriens et westphaliens dans le contexte de convergence entre Gondwana et Laurussia (voir au début, travaux de ZEILLER) du bassin houiller du Nord de la France (MEILLIEZ, 1989c) ? Bouroz (1950) en avait constaté de nombreux exemples (Fig. 16). L'explication qui prévaut aujourd'hui est d'admettre qu'à l'échelle régionale, la convergence continentale justifie l'approche d'un front orogénique, lequel provoque une surcharge, responsable d'une flexion crustale de l'avant-pays, de telle sorte que le bord nord du bassin induit a été sujet à des glissements de terrain discrets mais fréquents sur des surfaces inclinées au sud. De tels glissements s'expliquent très facilement par le jeu de surpressions fluides dans des sédiments sous-jacents, dont la consolidation n'a pas encore été réalisée à cause de la faible perméabilité des sédiments détritiques fins (MALTMAN, 1994). Les mouvements ne sont pas nécessairement brutaux, ni de grande ampleur. Leurs effets sont assez vite estompés par la sédimentation qui comble les espaces libérés. Sur le bord sud du bassin d'avant-pays, le front orogénique, qui progresse vers le nord, engendre

davantage de glissements par déstabilisations successives, et une sédimentation de plus en plus grossière. Ce qui correspond à toutes les observations. Lorsque ces glissements sont modérés, ils peuvent conserver une certaine cohérence, mais ils peuvent aussi se disloquer complètement et redistribuer les sédiments en blocs, galets émoussés, voire complètement désagrégés. Un séisme, même modeste, suffit à enclencher la déstabilisation. Or l'abondance croissante des tonsteins avec le temps (Fig. 4) atteste d'une activité volcanique croissante, explosive, habituellement accompagnée de séismes annonciateurs.

Venant aussi du bord sud du bassin, une autre forme de faille normale à pendage nord a aussi été caractérisée par Bouroz (1950), qui l'avait désignée comme *faille normale directe*. En fait, il s'agit de failles induites par effet de cisaillement au mur d'un chevauchement plat. Ce sont des failles normales subsidiaires, induites par la déformation cisailante du lambeau de poussée dont Gosselet (1875a) puis Bertrand (1884) avaient compris le rôle. Enfin, le plissement ultérieur de tels chevauchements révèle la persistance d'une déformation, qualifiée de progressive. L'enroulement conséquent d'une faille plate donne l'impression d'une *faille normale à pendage aval*, comme l'avait désignée Bouroz (1950). Fourmarier (1913) avait illustré une telle structure au sud de Liège lorsqu'il mit en évidence la fenêtre de Theux faisant affleurer le bassin houiller qualifié de méridional par Dumont (voir ci-dessus). Même Gosselet (1888) avait encore vu cette faille normale à pendage nord comme un « *effondrement* » de la région de Liège par rapport à celle du Pays de Herve, au sud. On voit donc la grande difficulté à corréliser des tronçons de failles d'un bout à l'autre du bassin. Aussi ne faut-il pas perdre de vue que ces grands tracés longitudinaux ont d'abord été déterminés comme des limites de répartition des associations végétales (Fig. 8).

Le bassin houiller du Nord de la France possède toutes les structures qui auraient pu permettre à l'équipe de géologues entourant Alexis Bouroz, de produire un travail structural aussi riche que celui des pétroliers canadiens autour de Dahlström (1970). Mais l'impossibilité de disposer de vues d'ensemble les en a empêché. La même famille de structures se trouve dans les

Rocheuses canadiennes, les Appalaches et les bassins houillers du Nord-Ouest européen. Ces derniers offrent en outre l'opportunité d'étudier la sédimentologie dans sa dynamique. L'arrêt de

l'exploitation n'a pas permis de développer ce segment de connaissances. Mais au moins la paléontologie du Carbonifère supérieur y aura-t-elle progressé.

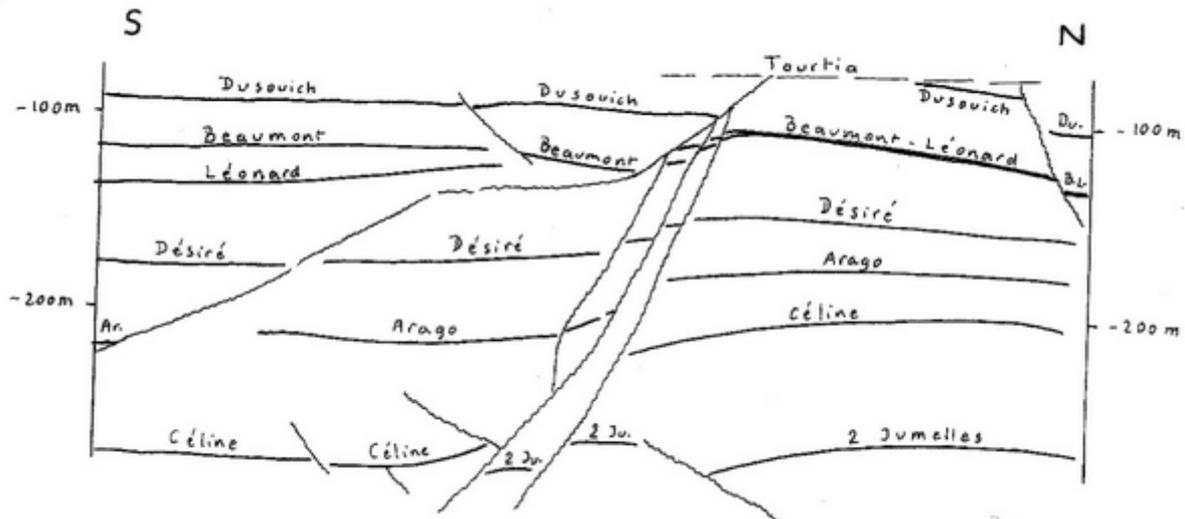


Fig. 16. Exemple de système faillé à jeu normal, synsédimentaire, à pendage sud dans la concession de Lens (Westphalien C : Faisceau de Du Souich : cf. Fig. 4) (tiré de BOUROZ, 1950)

Quelle est la place du bassin houiller de l'Artois-Hainaut dans le bâti varisque ?

Trop de chercheurs s'imaginent qu'il n'y a plus rien à glaner scientifiquement de ce territoire. Mais nous sommes très loin d'avoir valorisé les superbes données collectées par les exploitants qui se sont succédé (Fig. 5A). À l'issue du travail de recherche mené pour construire cet article, je réalise que la connaissance géologique a toujours été importée du Massif ardennais. Les découvertes ponctuelles effectuées en Hainaut, Artois et Boulonnais ne prenaient de sens qu'en adaptant un schéma élaboré outre-Quévrain. Un

travail de révision critique s'impose. Il a commencé avec la faille du Midi (MEILLIEZ, 2019). Le modèle initié par Gosselet (1879a) n'est pas épuisé. Les innombrables sondages des houillères de tous âges, entreposés dans la Banque de données du sous-sol (BRGM) sont encore exploitables. Des travaux sont en cours afin de reconsidérer ce gisement houiller-là dans l'espace européen du Carbonifère supérieur et le passage au Permien. La continuité physique entre les gisements de l'Artois et du Boulonnais d'une part, du Boulonnais et du Kent d'autre part, demeure une question sans réponse claire.

Bibliographie

ANONYME (1795). Souscription patriotique pour la recherche des mines de houille dans le district de Boulogne, département du Pas-de-Calais. *Journ. Mines*, **16-17**, p. 31-33.

AUGUSTE, P. et DELRUE, L. (2020). Les fonds géologiques volés durant la seconde guerre

mondiale : à l'ouest, du nouveau ! *Géochronique*, **154**, p. 6-7.

BARROIS, C. (1905). Observations sur le bassin houiller du Nord de la France. *Congrès Int. Mines, Métallurgie, Mécanique et Géologie Appliquée*, Liège, 25 juin-1^{er} juillet. Consulté

- sur le Fonds SGN [<https://lillocat.univ-lille.fr/>], 7 p.
- BARROIS, C. (1914). Exposé des recherches poursuivies dans le Bassin du Nord par les conservateurs du Musée Houiller de Lille. *Ann. Soc. géol. Nord*, **43**, p 323-340.
- BARROIS, C. (1919). – La Société géologique du Nord pendant la guerre. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **44**, p. xi-xvi.
- BARROIS, C., BERTRAND, P. et PRUVOST, P. (1924). Nouvelle carte paléontologique du bassin du Nord. *Revue de l'Industrie Minière*, **86** (1ère partie, Mémoires), p. 353-361.
- BERTRAM, C. (2017). Le Bassin minier du Nord – Pas-de-Calais, un patrimoine diversifié à valoriser. *Ann. Soc. géol. Nord*, (2), **24**, p. 5-57.
- BERTRAND, M. (1884). Rapports de structure entre les Alpes de Glaris et le bassin houiller du Nord. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (3), **12**, p. 318-331.
- BERTRAND, P. et PRUVOST, P. (1934). Structure du bassin houiller du Pas-de-Calais dans sa région centrale. *Ann. Soc. géol. Nord*, **59**, p. 97-108, 2 pl. h-t.
- BIGNOT, C. (1989). Une recherche (vaine) de charbon de terre près de Dieppe, durant la Révolution. Dans LORENZ J. (éd.), Les ROCHES au service de L'HOMME : géologie et préhistoire du Bassin parisien. *Bull. Inf. Géol. Bas. Paris*, Mém. h-s. n° **7**, p. 133.
- BONNARD, A. H. de (1809). Sur diverses recherches de houille entreprises dans le département du Pas-de-Calais et spécialement sur celles de Monchy-le-preux, près Arras. *Ann. Mines*, **26**, p. 415-446.
- BOULAY, N. (1876). Le terrain houiller du Nord de la France et ses végétaux fossiles. 2d Thèse D.E., université de Caen. *Imprimerie Lefebvre-Ducrocq*, Lille, p. 1-74, 3 tabl. 3 pl.
- BOUROZ, A. (1950). – Sur quelques aspects du mécanisme de la déformation tectonique dans le bassin houiller du Nord de la France. *Ann. Soc. géol. Nord*, **70**, p. 2-55.
- BOUROZ, A., (1956). Contribution à l'étude des failles épicrotacées de l'Artois. *Ann. Soc. géol. Nord*, **76**, p. 51-62, 3 pl. h-t.
- BOUROZ, A., (1960). La structure du paléozoïque du Nord de la France au Sud de la Grande Faille du Midi. *Ann. Soc. géol. Nord*, **80**, p. 101-112, 1 pl. h-t.
- BOUROZ, A., CHALARD, J., DALINVAL, A., DOLLÉ, P., PINEL, G., PUYBARAUD, G. et STIÉVENARD, M. (1963). *Carte des zones stratigraphiques à la cote -300 des H.B.N.P.C.* I.G.N. édit.
- BOUROZ, A., SPEARS, D. A. et ARBEY, F. (1983). Essai de synthèse des données acquises sur la genèse et l'évolution des marqueurs pétrographiques dans les bassins houillers. [*en Français et en Anglais*], *Soc. géol. Nord*, Mém. **16**, 74 p., 10 pl.
- BRIART, A. et CORNET, J. (1863). Communication relative à la Grande Faille qui limite au sud le bassin houiller belge. *Pub. Soc; Anciens Elèves Ec. Mines Hainaut*, Mons, **11**, ré-édit par CORNET in *Bull. Soc. belge Géologie*, Bruxelles, 1898, **12**, p. 268-299.
- BUCHANAN, J. G. et BUCHANAN, P. G. (1995). Basin Inversion. *Geol. Soc. London*, Sp. Pub. 088, 600 p.
- CADET, A. (2015). *L'Explosion des Dix-huit ponts. Un « AZF » lillois en janvier 1916.* Les lumières de la ville, Lille. 252 p.
- CASTEL, E. (1891). Notice nécrologique sur M. DU SOUICH, inspecteur général des Mines. *Ann. Mines*, (8), **19**, p. 215-252.
- CDF (Charbonnages de France) (2000). Concession de Dourges. Dossier de déclaration d'arrêt des travaux, t. 1 : 168 p.
- CHALARD, J. (1951). Les tonsteins du bassin houiller du Nord de la France dans la région de Valenciennes. *Ann. Soc. géol. Nord*, **71**, p. 110-123, 2 pl. h-t.
- CHALARD, J. (1960). *Contribution à l'étude du Namurien du Bassin Houiller du Nord de la France.* Imp. Hollande, Valenciennes : 2 vol., 300 p. [Thèse de Doctorat d'État, université de Lille, 1958].
- Charbonnages de France (1999). *Étude hydraulique, hydrogéologique et hydrochimique du bassin minier charbonnier du Nord – Pas-de-Calais. Rapport final* : 3 vol., Ras 123a / 097400, 138 p., 33 fig. h-t., 16 annexes.
- CHILDS, C., HOLDSWORTH, R. E., JACKSON, C. A.-L., MANZOCCHI, T., WALSH, J. J. et YIELDING, G. (2017). The Geometry and Growth of Normal Faults. *Geol. Soc., Sp. Pub.* **439**, 540 p.
- CORSIN, P. et CORSIN, P. (1970). Un siècle et demi de paléobotanique dans le Nord de la France. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **90**, 4 : p. 222-252, pl. XIX-XXVII.
- CPBM (Conférence Permanente du Bassin Minier) (1998). *Livre blanc : une ambition partagée pour l'Après-Charbon.* conseil régional du Nord – Pas-de-Calais, édit., Lille, 173 p.

- CUVELIER, J. et OUODOIRE, T. (2017). Les roches et fossiles du Bassin minier du Nord – Pas-de-Calais : un héritage remarquable du Musée houiller de Lille. *Ann. Soc. géol. Nord*, (2), **24**, p. 43-49.
- CUVIER, G. et BRONGNIART, A. (1811). *Essai sur la géographie minéralogique des environs de Paris, avec une carte géognostique, et des coupes de terrain*. Baudoin, Paris, 287 p., 3 pl. color. dépl.
- DAHLSTRÖM, C. D. A., (1970). Structural Geology in the Eastern Margin of the Canadian Rocky Mountains. *Bull. Can. Petrol. Geol.*, **18**, p. 332-406.
- DAUZAT, A., DUBOIS J. et MITTERAND, H. (1971). *Nouveau dictionnaire étymologique*. France Loisirs, Paris, 4^e éd., 806 p.
- DE WEVER, P. et BAUDIN, F. (2015). *Du vert au noir : le charbon*. EDP sciences, Paris, 80 p.
- DEBEIR, J.-C., DELÉAGE, J.-P. et HÉMERY, D. (1986). *Une histoire de l'énergie*. Flammarion, Paris, 591 p.
- DEBERLES, K. (1992). *La grande épopée des mineurs*. La Voix du Nord édit., Lille, 238 p.
- DEBRABANT-MALOLEPSZY, V. (2009). Les paysages de la mine, un patrimoine contesté ? *Actes du Colloque international de Lewarde, 13-15 novembre 2018*, CHM-Lewarde et CILAC, édit., 232 p.
- DEJONGHE, L. (2019). Les précurseurs et les grands noms de la géologie belge, nés entre 1719 et 1900. *Nouvelle biographie nationale, supplément 1, Acad. roy. Sc. Lettr. Beaux-Arts*, 113 p.
- DELATTRE, C. et PRUVOST, P. (1961). L'œuvre de André Duparque (1892-1960). *Ann. Soc. géol. Nord*, **81**, p. 81-88.
- DOLLÉ, P. (1985). L'histoire de la géologie et de son évolution dans le Bassin Houiller du Nord – Pas-de-Calais, de son origine à 1960. *Trav. Comité fr. Hist. Géol.*, (2), **3**, p. 41-73.
- DOLOMIEU, D. (1795). Sur la prétendue mine de charbon de terre dite de la Désirée, commune de Saint-Martin-la-Garenne, district de Mantes. *Journ. Mines*, **2**, n°7, p. 45-58.
- DORLODOT, H. de (1895). Recherches sur le prolongement occidental du Silurien de Sambre-et-Meuse et sur la terminaison orientale de la Faille du Midi. *Ann. Soc. géol. Bel.*, Liège, **105**, p. 105-129.
- DORMOY, E. (1862). Note concernant l'allure générale du bassin houiller du nord de la France. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (2), **19**, p. 22-29, 1 pl. h-t.
- DU SOUICH, J. A. (1839). *Essai sur les recherches de houille dans le Nord de la France*. Carillan-Gœury, Paris, 148 p.
- DUMONT, A. (1832). Mémoire sur la constitution géologique de la province de Liège. *Acad. roy. Bel.*, Hayez Imp., Bruxelles, **8**, 378 p., 3 pl. h-t.
- ELLENBERGER, F. (1988). *Histoire de la Géologie*, vol. 1, *Des Anciens à la première moitié du XVII^e siècle*. Tec-Doc Lavoisier, Paris, 352 p.
- ELLENBERGER, F. (1994). *Histoire de la Géologie*, vol. 2, *La grande éclosion et ses prémices*. Tec-Doc Lavoisier, Paris, 383 p.
- FOURMARIER, P. (1905). La limite méridionale du bassin houiller de Liège. *Congrès Int. Mines, Géol. Appl.* Liège, fasc. **2**, p. 479-495.
- FOURMARIER, P. (1913). Les phénomènes de charriage dans le bassin de Sambre-et-Meuse et le prolongement du terrain houiller sous la faille du Midi dans le Hainaut. *Ann. Soc. géol. Bel.*, Liège, **40**, p. 192-235.
- FRIZON DE LAMOTTE, D. et BUIL, D. (2002). La question des relations entre failles et plis dans les zones externes des chaînes de montagnes. Ébauche d'une histoire des idées au cours du XIX^e siècle. *Trav. Comité fr. Hist. Géol.*, (3), **16**, p. 47-62.
- GAUDANT, J. (2012). Naissance de la stratigraphie. *Géochronique*, **122**, p. 12-14.
- GILLET, M. (1973). *Les Charbonnages du Nord de la France au XIX^e siècle*. Mouton, Paris. 527 p.
- GILLET DE LAUMONT, F. (1799). Sur le gisement et la forme des replis successifs que l'on remarque dans certaines couches de substances minérales, et particulièrement des veines de houille ; suivies de conjectures sur leur origine. *Journ. Mines*, **9**, p. 449-454.
- GIRARD D'ALBISSIN, N. (1970). Genèse de la frontière franco-belge. *Bibliothèque de la Société d'Histoire du Droit des Pays flamands, picards et wallons*, Picard, Paris, 434 p.
- GOGUEL, J. (1965). *Traité de Tectonique*. Masson, Paris, 458 p.
- GOSSELET, J. (1860). *Mémoire sur les Terrains Primaires de la Belgique, des environs d'Avesnes et du Boulonnais*. Martinet, Paris, 164 p.

- GOSSELET, J. (1874). Études sur le gisement de la houille dans le nord de la France. *Bull. Soc. industr. Nord Fr.*, **6**, p. 102-124.
- GOSSELET, J. (1875). Documents nouveaux sur l'allure du Terrain houiller au sud du Bassin de Valenciennes. *Ann. Soc. géol. Nord*, **2**, p. 112-120.
- GOSSELET, J. (1879a). Sur la structure générale du bassin houiller franco-belge. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (2), **37**, p. 505-511.
- GOSSELET, J. (1879b). Contact du terrain silurien et du terrain dévonien sur les bords de la Meuse. *Ann. Soc. géol. Nord*, **6**, p. 66-73.
- GOSSELET, J. (1888). L'Ardenne. *Bull. Serv. Carte géol. Fr.*, Baudry, Paris, 881 p.
- GOSSELET, J. (1901). Compte rendu sur la communication de M. Xavier Stainier sur la stratigraphie du bassin houiller de Charleroi et de la Basse Sambre. *Ann. Soc. géol. Nord*, **30**, p. 38-41.
- GOSSELET, J. (1908). Note sur quelques failles communes aux terrains crétacique et houiller de l'Artois. *Ann. Soc. géol. Nord*, **37**, p. 80-109.
- GOSSELET, J. et MALAISE, M. C. (1868). Observations sur le terrain silurien de l'Ardenne. *Bull. Acad. roy. Bel.*, (2), **26**, p. 5-63, 2 pl. h-t.
- GRAVELEAU, F., AVERBUCH, O., CREPIN, B. et OUDOIRE, T. (2017). Projet de modélisation en 4-D du Bassin houiller du Nord – Pas-de-Calais : des tables de verre du Musée de Lille à une modélisation géométrique et tectonique par ordinateur. *Ann. Soc. géol. Nord*, (2), **24**, p. 23-41.
- HALL, J. (1815). On the Vertical Position and Convolutions of Certain Strata and their Relation with Granite. *Trans. Roy. Soc. Edinburgh*, 1815, **7**, p. 85-86. Dans *Mechanics of Thrust Faults and Decollement*, ed. by VOIGHT, B. (1976), Dowden, Hutchinson & Ross, Inc., p. 16-17.
- HARZA, L. F. et ASCE, M. (1904). The Significance of Pore Pressure in Hydraulic Structures. *Amer. Soc. Civil Eng. Trans.* **114**, p. 193-214. Dans *Mechanics of Thrust Faults and Decollement*, ed. by VOIGHT, B. (1976), Dowden, Hutchinson & Ross, Inc., p. 196-198.
- HUBBERT, M. K. et RUBEY, W. W. (1959). Role of Fluid Pressure in Mechanics of Overthrust Faulting. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **70**(2), p. 115-166. Dans *Mechanics of Thrust Faults and Decollement*, ed. by VOIGHT, B. (1976), Dowden, Hutchinson & Ross, Inc., p. 201-252.
- KAISIN, F. (1925). L'Ardenne, pays de nappes. *Rev. Questions scien.*, Louvain, (4), **7**, p. 1-32.
- KAISIN, F. (1936). Le Problème Tectonique de l'Ardenne. *Mém. Inst. Géol. Univ. Louvain*, **11**, 327 p.
- KÜSS, M. (1905). Les coupes des bassins du Nord et du Pas-de-Calais offertes au Musée de Lille par la Chambre des Houillères. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **34**, p. 398-407.
- LAMAND, D., MEILLIEZ, F. et CHAUDY, C. (1997). Utilisation de la réalité virtuelle pour la gestion de données géologiques en aménagement du territoire : exemple du bassin minier du Nord – Pas-de-Calais. *Actes du Coll. « Interfaces 97 »*, 6^e Journées Int. Informatique, Montpellier, 28-30 mai, Résumé : 5 p
- LAPPARENT, A. de (1890). La question du charbon de terre. Savy, Paris, 120 p.
- LAVEINE, J.-P. et CANDILIER, A.-M. (1987). La flore du bassin houiller du Nord de la France, biostratigraphie et méthodologie. *Ann. Soc. géol. Nord*, **106**, p. 87-93.
- LEMAL, S. et MEILLIEZ, F. (2017). L'après-mine, un nouveau chapitre scientifique du Bassin houiller du Nord – Pas-de-Calais. *Ann. Soc. géol. Nord*, (2), **24**, p. 59-67.
- MALOLEPSZY, V. (2017). Le Centre historique minier, un centre de ressources pour la recherche. *Ann. Soc. géol. Nord*, (2), **24**, p. 51-54.
- MALTMAN, A. (1994). *The geological deformation of sediments*. Chapman & Hall, London, 362 p.
- MEILLIEZ, F. (1988). La tectonique pelliculaire et ses limites en pratique : exemple des Rocheuses canadiennes et de l'Ardenne. *Mém. et Doc. du CAESS*, Rennes, **20**, p. 93-107.
- MEILLIEZ, F. (1989a). *Importance de l'événement calédonien dans l'Allochtonne Ardennais ; essai sur une cinématique paléozoïque de l'Ardenne dans la Chaîne varisque*. Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences, université du Maine, Le Mans, 518 p. [inédit].
- MEILLIEZ, F. (1989b). Tectonique distensive et sédimentation à la base du Dévonien sur le bord NE du Massif de Rocroi (Ardenne). *Ann. Soc. géol. Nord*, **107**, p. 281-295.
- MEILLIEZ, F. (1989c). Pre-orogenic shallow stretching tectonism within the Namurian

- Beds in the northern France. *Bull. Soc. bel. Géol.*, Bruxelles, **98**, p. 231-234.
- MEILLIEZ, F. (2017). Héritages de l'exploitation industrielle et scientifique du gisement houiller du Nord et du Pas-de-Calais (Carbonifère supérieur), une longue histoire (XVII^e – XXIV^e siècles). *Ann. Soc. géol. Nord*, (2), **24**, p. 17-31.
- MEILLIEZ, F. (2019). La Faille du Midi, mythe et réalités. *Ann. Soc. géol. Nord*, (2), **26**, p. 13-32.
- MEILLIEZ F. et MANSY J. L. (1990). Structures de déformation pelliculaire dans une série lithologique différenciée : le Dévonocarbone de l'Ardenne. *Bull. Soc. géol. Fr.*, Paris (8), **7**, p. 177-188.
- MEILLIEZ, F., LAMAND, D. et CHAUDY, C. (1997). Procédure de restitution 3D en réalité virtuelle de structures géologiques excavées. Atelier ENSMP, Paris 3-4 février. *Documents du BRGM*, Orléans, **274**, p. 49-52.
- MEILLIEZ, F. et BLIECK, A. (2014). Les dix premières années de la SGN et sa place dans la société en cours d'industrialisation du XIX^e siècle. Dans : BLIECK A. & DE BAERE J.-P. (dir.), La Société géologique du Nord et l'histoire des sciences de la Terre dans le nord de la France. *Mém. Soc. géol. Nord*, **17**, p. 41-48.
- MEILLIEZ, F. et DUMONT, G. (2018). Le bassin minier du Nord – Pas-de-Calais, une expérience de guerre totale. Dans BERGERAT, F. (dir.), *14-18, La Terre et le Feu. Géologie et géologues sur le front occidental*. Co-édition AGBP-COFRHIGÉO-SGN, Mém. h-s. APBG n°**10**, p. 106-115.
- MEUGY, M. A. (1852). *Essai de géologie pratique sur la Flandre française*. Vanackere, Lille, 307 p., 2 pl. h-t.
- MILHAU B., BRICE D. et MEILLIEZ F. (1989). Une coupe partielle de la Formation de Mondrepuis dans la vallée de la Hulle, en bordure NE du Massif de Rocroi (Ardenne). *Ann. Soc. géol. Nord*, **107**, p. 271-280.
- MINGUELY, B. (2007). *Caractérisation géométrique 3-d de la couverture sédimentaire méso-cénozoïque et du substratum varisque dans le nord de la France : Apports des données de sondages et des données géophysiques*. Thèse Doct. Univ. (Sci.), université de Lille, 230 p.
- MORAND, J.-F., (1761). *L'art d'exploiter les mines de charbon de terre*. Saillant & Nyon, Paris, vol. 1, partie 1 et partie 2, sections 1-3, 805 p.
- MORAND, J.-F., (1774). *L'art d'exploiter les mines de charbon de terre*. Saillant & Nyon, Paris, vol 2, partie 2, section 4, 685 p.
- MORAND, J.-F., (1779). *L'art d'exploiter les mines de charbon de terre*. Saillant & Nyon, Paris, vol. 3, partie 3, 254 p., 78 pl. h-t
- OMALIUS d'HALLOY, J.-B. (1858). Notice sur André Dumont. *Annuaire Acad. royale. Bel.*, **24**, p. 91-100.
- PRUVOST, P. (1930). Sédimentation et subsidence. *Centenaire de la Société géologique de France. Livre jubilaire 1830-1930* ; Paris, vol.1, p. 545-564 ; 7 fig.
- PRUVOST, P. (1951). Célébration du Centenaire de Ch. Barrois et Ch.-E. Bertrand et du souvenir de P. Bertrand. *Ann. Soc. géol. Nord*, **71**, p. 135-143..
- PRUVOST, P. et BERTRAND, P. (1932). Quelques résultats des récentes explorations géologiques du Bassin houiller du Nord de la France. *Rev. Ind. Minér.*, **282**, p. 365-379.
- RESCUE, (2005). *Best Practice Guidance for Sustainable Brownfield Regeneration*. EDWARDS D., PAHLEN G., BERTRAM C. & NATHANAIL C.P. eds, Land Quality Press on behalf of the RESCUE consortium, Nottingham : 144 p.
- RICH, J.-L. (1934). Mechanics of Low-angle Overthrust Faulting as Illustrated by Cumberland Thrust Block, Virginia, Kentucky. *Bull. A.A.P.G.*, **18**(12) : 1584-1596. Dans *Mechanics of Thrust Faults and Decollement*, ed. by VOIGHT, B. (1976), Dowden, Hutchinson & Ross, Inc., p. 146-147.
- RICH, J. L. (1934). Mechanics of low-angle overthrust faulting as illustrated by Cumberland Thrust Block, Virginia, Kentucky and Tennessee, *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, **18**, p.1584-1596. Dans *Mechanics of Thrust Faults and Decollement*, ed. by VOIGHT, B. (1976), Dowden, Hutchinson & Ross, Inc., p.146-147.
- ROUSSEL, I., MEILLIEZ, F. et CARLIER, E. (1994). Noir, bleu, vert, les différentes couleurs de l'environnement du Bassin Minier. *Hommes et Terres du Nord*, Lille, **1**, p. 41-47
- SAMUEL-LAJEUNESSE, E. (1948). *Ernest Cuvelette et la reconstruction des houillères sinistrées (1869-1936)*: <http://www.annales.org/archives/x/cuvelette.html> (consulté le 12/05/2017).

- STRUVE, H. et BERTHOUT, J.-P. (1795). Sur la théorie des failles, et sur la manière de se conduire lorsqu'il s'en rencontre dans l'exploitation des mines de Houille. *Jour. Mines*, n°3, vol. 1, p. 57-77, pl. h-t.
- THOMAS, L. (2002). *Coal Geology*. Wiley, 384 p.
- WISEUX, A. (1991). *Mineur de fond*. Plon, Paris, 602 p.
- VOIGHT, B. (ed.) (1976). *Mechanics of Thrust Faults and Décollement*, Dowden, Hutchinson & Ross, Inc., p. 201-252. 47 p.
- WENTWORTH, C. K. (1921). Russell Fork Fault of southwestern Virginia. *Jour. Geol.*, **29** :368-369. Dans *Mechanics of Thrust Faults and Décollement*, ed. by VOIGHT, B. (1976), Dowden, Hutchinson & Ross, Inc., p. 31-61.
- WILLIS, B. (1893). The Mechanics of Appalachian Qtructure. *U.S. Geol. Surv. 13th Ann. Rept.*, 1891-1892, p. 217-281. Dans *Mechanics of thrust faults and décollement*, ed. by VOIGHT, B. (1976), Dowden, Hutchinson & Ross, Inc., p. 31-61.
- WORONOFF, D. (1998). *Histoire de l'industrie en France, du XVI^e siècle à nos jours*. Le Seuil, Paris, 682 p.
- ZEILLER, R. (1886-1888). Flore fossile du bassin houiller de Valenciennes. *Et. Gîtes Min. France*, 2 vol : Atlas (1886), pl. I-XCIV ; texte (1888), 731 p.