

HERITAGES DE L'EXPLOITATION INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE DU GISEMENT HOUILLER DU NORD ET DU PAS-DE-CALAIS (CARBONIFERE SUPERIEUR), UNE LONGUE HISTOIRE (XVII^e – XXIV^e SIECLES)

Industrial and scientific heritages from the Nord – Pas-de-Calais coal basin (Upper Carboniferous), a long history (XVIIth – XXIVth centuries)

par Francis MEILLIEZ (*)

Résumé. – La phase d'extraction du charbon dans le bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais s'est étendue de la fin du XVII^e siècle à la fin du XX^e siècle. Elle a contribué à l'émergence d'un scientisme triomphant qui a marqué notre culture occidentale. Elle a aussi bénéficié de ses effets en termes de développement économique, jusqu'à l'étouffement, puisque l'arrêt de l'extraction sur ce bassin est un résultat inévitable du jeu économique mondial. Mais elle a aussi contribué au développement de la connaissance (géologie, chimie, sociologie pour l'essentiel) et, par voie de conséquence, d'une société très dépendante de l'industrie. Au cours des vingt dernières années d'exploitation la prise de conscience progressive et mondiale des effets environnementaux de toutes ces activités ouvrait un nouveau champ d'investigation scientifique, pluridisciplinaire : celui du développement durable. L'UNESCO a labellisé en 2012 un important héritage mobilier, immobilier et culturel. Une façon de le valoriser est de poursuivre l'étude scientifique dont une part participe à cet héritage (archives). Les scientifiques de la région peuvent encore s'en faire une spécialité, déjà nécessaire ailleurs dans le monde.

Abstract. – *Coal extraction from the underground Nord – Pas-de-Calais basin had been exploited from the end of XVIIth century until the end of XXth century. It had contributed to the triumphant scientism that strongly imprinted our western culture. It also had benefitted of economic effects until suffocation as the closing of exploitation is an unavoidable back-effect of worldwide economy. However it also contributed to a worldwide knowledge development (geology, chemistry, sociology at first), and to a strong industrial-linked way of life. Only during the last twenty years of extracting activity progressively has upraised a global consciousness of environmental effects of such activities and the opportunity for opening a new research field, scientific and multidisciplinary about sustainable development. Since 2012 UNESCO has labelled on that area an important heritage (securities, properties, cultural). Highlighting this heritage might be done by more detailed scientific studies from the available data (archives). Regional scientists could succeed to become specialists of such tasks, as this knowledge is already useful elsewhere around the world.*

Mots-clés. – Bassin houiller, Paléozoïque, histoire de la géologie, industrie du charbon, après-mine.
Key words. – Coal basin, Palaeozoic, history of geology, coal industry, aftermath coal.

I. – INTRODUCTION

Le gisement houiller du Nord – Pas-de-Calais a été déclaré économiquement épuisé, puis l'extraction a cessé le 21 décembre 1990, à Oignies (62), à quelques centaines de mètres du puits qui avait donné un second élan à son exploration en 1841. Pour beaucoup, l'arrêt de l'extraction du charbon a signifié la fin de vie du bassin minier, c'est-à-dire du territoire contenant le gisement houiller. Mais ce n'est pas la fin de vie du territoire tarabudé. On ne fait pas des trous impunément : plusieurs phénomènes souterrains, évolutifs, affectent les couches géologiques et la surface. De plus, l'exploitation a engendré de très importants changements d'occupation du sol (assèchement, urbanisation, ...) et donc de l'hydrosystème. Toutes ces modifications entraînent des ajustements permanents, lents, peu perceptibles mais interactifs, dont certains mettent à mal l'espèce humaine et ses réalisations aux interfaces lithosphère

/ atmosphère / hydrosphère. Certaines sont réversibles, d'autres non. Par voie de conséquence, la biosphère est également affectée de transformations dont l'étude sort du cadre de cette publication. L'analyse de ces effets négatifs et des palliatifs que l'Homme tente d'y opposer fait l'objet d'un autre article (Lemal & Meilliez, 2017). En revanche, la présente publication évoque le développement de la connaissance géologique acquise lors de l'avancement de l'exploitation de ce gisement et celle qui reste à découvrir au-delà de la phase d'extraction : analyse exhaustive des documents d'archives, phénomènes d'ajustements consécutifs à l'extraction et leurs interactions avec l'environnement actuel et à venir (au moins jusqu'au XXIV^e siècle). Une part est inscrite dans l'héritage scientifique dont bénéficie la communauté universelle des chercheurs en géologie. Cet héritage complète les nombreuses études économiques et sociales qu'a suscitées ce bassin houiller, et doit être reconnu comme tel dans la valorisation qu'apporte la labellisation par

(*) Université de Lille – Sciences et Technologies, UFR Sciences de la Terre (SN5), F-59655 Villeneuve d'Ascq cedex ; e-mail : francis.meilliez@univ-lille1.fr

l'UNESCO *Patrimoine de l'Humanité*. Le développement de la connaissance scientifique a naturellement suivi l'exploitation avec un certain décalage temporel, mais l'a aussi souvent remise dans la bonne direction. L'exposé ci-dessous est structuré en trois périodes (Fig. 1) :

du XVII^e siècle à la Première Guerre mondiale : une découverte tâtonnante et progressive, avec lente montée de la production et mise en place des principaux faits de connaissance ;

de 1914 à 1945 : un développement interactif de la production et de la connaissance ;

de 1946 à nos jours : une connaissance qui éclaire les causes géologiques à la décision d'arrêt de l'exploitation.

A quoi il est nécessaire d'ajouter une période prolongeant la précédente de quelques siècles, seulement évoquée ici et présentée plus largement par Lemal & Meilliez (2017) : l'apprentissage du retour à un équilibre naturel pour le territoire, impliquant une adaptation continue pour les activités humaines qui veulent vivre sur ce territoire.

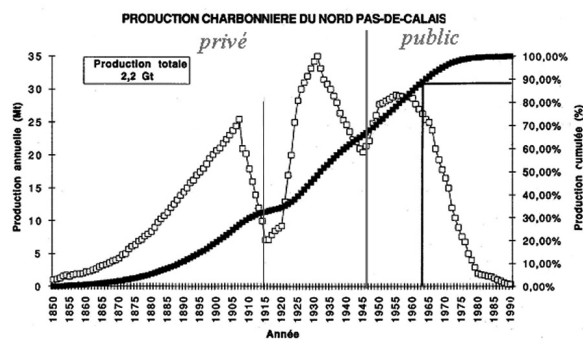


Fig. 1. — Courbe de distribution de la production de charbon (carrés blancs) et courbe cumulative (carrés noirs) de 1800 à la fin de l'extraction (1990), d'après les données rassemblées par Viseux (1991). La production cumulée est au moins de 2,2 Gt, à quoi il faut ajouter environ 0,2 Gt pour le XVIII^e siècle. Un trait vertical marque le début de la Première Guerre mondiale et un autre la fin de la Seconde.

Fig. 1. — Statistical distribution of coal production (white squares) and cumulative curve (black squares) from 1800 to 1990, end of mining (Data from Viseux, 1991). Production as a whole is at least 2.2 Gt ; approximately 0.2 Gt must be added as the XVIIIth century production. A vertical line marks the 1st World War onset and another one marks the end of 2d World War.

II. — APPRENDRE EN MARCHANT

1) Une découverte progressive (du XVII^e siècle à la Première Guerre mondiale)

a) Du charbon de terre dans le Boulonnais

« Le 22 septembre 1692, le duc d'Aumont s'engage à payer à Antoine Hénichart, laboureur à Hardingham, la somme de 50 livres par an pour la concession faite à lui-même ou à ses entrepreneurs, de tirer le charbon dans ses terres dépendant de la maison dudit Hénichart ». Ce texte a été fourni par Jean-Pierre Hénichart, actuel descendant d'Antoine Hénichart (né à

Hardingham en 1645), dont un labour avait inopinément mis au jour ce qu'on appelait alors le *charbon de terre* pour le distinguer du charbon de bois. Jean-Pierre Hénichart est actuellement membre de la Société des Sciences, de l'Agriculture et des Arts de Lille, dont le rôle a été notable dans l'émergence de la Faculté des Sciences de Lille et lors du recrutement de Jules Gosselet, premier titulaire de la chaire de géologie à Lille, en 1864.

Le mot *houille* serait wallon d'origine : *hoye* est un mot liégeois signifiant *fragment*, dont l'usage est attesté au moins depuis le XIII^e siècle (Dauzat *et al.*, 1971). Le 5 juillet 1914, Charles Barrois accueillait au Musée Houiller de Lille l'Association des Ingénieurs sortis de l'Ecole de Liège avec respect et reconnaissance, en évoquant « *Houillos, ce forgeron de Liège, dont nous répétons le nom tous les jours, exploitait déjà chez vous le précieux combustible au XI^e siècle* » (Barrois, 1914). Les deux explications s'accordent au moins pour situer dans la Principauté de Liège les premières exploitations aériennes du *charbon de terre* en Europe, au cœur du Saint Empire Romain Germanique. L'extraction de la houille s'est développée vers l'ouest (Namur, Charleroi, Mons) à partir de points d'affleurement. De même en Angleterre dont elle contribuait à la montée en puissance industrielle dès la fin du XVII^e siècle (Radau, 1876). En toute logique, la probabilité de trouver un gisement de houille entre les terres d'Empire et l'Angleterre était renforcée par la découverte faite par le Sieur Hénichart en Boulonnais. Or les industriels avaient besoin d'un combustible qui puisse se substituer au bois, lequel se faisait de plus en plus rare, et dont la difficulté à le transporter imposait une utilisation à proximité de la ressource forestière. Les verriers en particulier, à la périphérie du massif ardennais (Hainaut, Thiérache), disposaient de gisements de sables divers et devaient déboiser de plus en plus pour fabriquer l'indispensable charbon de bois (information plus précise disponible au Musée du Verre, à Trélon). Par ailleurs le Traité d'Utrecht (1713), mettant fin à la Guerre de Succession d'Espagne, fixait une frontière linéaire entre la France et ses voisins, conception nouvelle, pensée et mise en œuvre par Louvois et Vauban (Girard d'Albissin, 1970). De ce fait, les affleurements de charbon les plus occidentaux du Borinage (à l'ouest et sud-ouest de Mons) se trouvaient hors de France. C'est pourquoi, à l'exception du pointement du Boulonnais, le gisement houiller du Nord et du Pas-de-Calais est strictement souterrain. Rien, en surface, ne trahit sa présence et ne permet donc de détecter la direction dans laquelle le traquer. Sur le territoire français, l'exploration n'a pu se faire d'abord qu'à force de puits (3 à 6 m de diamètre), ensuite de forages (moins de 0,60 m de diamètre), technologies demandant du temps avec beaucoup d'incertitudes. Durant un siècle environ, la recherche a été fortement aléatoire : les notions géologiques de base (disposition en strates plus ou moins continues, plus ou moins inclinées, plissées, faillées) sont alors totalement inconnues. C'est le pragmatisme de la découverte qui guide l'exploration : on trouve au hasard à partir du Borinage puis on suit le filon ! L'apprentissage se fait peu à peu, souvent dans la douleur, à la suite d'accidents entraînant éboulements et/ou inondations ; Dollé (1985) en rapporte quelques témoignages. Le présent article tente de relater les étapes cruciales dans l'acquisition d'un savoir scientifique, que la communauté internationale des géologues et mineurs partage, davantage par nécessité que par altruisme, afin de comprendre l'organisation interne d'un gisement houiller et d'en tirer un modèle utile à toute forme d'exploration.

b) L'émergence de la Compagnie des Mines d'Anzin

Un tel processus est évidemment très dispendieux, et nombreuses ont été les faillites. Pour illustrer les difficultés et incertitudes de l'amorce de l'exploitation, examinons le cas du

Encadré I. — Les charbons

Les charbons sont une forme solide d'hydrocarbures, dont la liaison chimique carbone-hydrogène constitue la réserve énergétique recherchée, libérée par combustion en présence d'oxygène. C'est l'enfouissement géologique à l'abri de l'oxygène de l'air qui a évité la combustion naturelle ; l'Homme achève cette combustion dans les diverses machines industrielles qu'il a conçues. Quelques autres éléments sont associés en faible quantité, dont le soufre, l'azote, le phosphore, quelques métaux et radionucléides. Les charbons proviennent essentiellement de matières organiques végétales (arbres et arbustes, fougères, spores et pollens), dont les traces fossilisées abondent dans les sédiments fins (schistes, charbon). Une classification macroscopique range ces matériaux en fonction de leur degré d'évolution (Rang), de la tourbe au graphite ; ce qui reflète en première approximation la trajectoire thermodynamique subie par les sédiments au cours de leur évolution tectonique. La teneur en carbone du charbon lui est directement liée. La houille proprement dite peut elle-même être différenciée selon sa teneur en matières volatiles, c'est-à-dire sa teneur en molécules hydrocarbonées de petite taille, adsorbées sur les particules solides dans le sédiment, mais qui se libèrent facilement dès la mise à l'air des fragments extraits et/ou le début de la combustion. Cette teneur dépend d'abord de la nature des matériaux végétaux à l'origine du charbon. Ces molécules légères constituent le gaz de houille, gaz de mine ou gaz de couche, selon la culture de référence de celui qui en parle ; c'est le gaz naturel. Les usages possibles de la houille dépendent de cette teneur en matière volatile. La forme la plus recherchée (houille grasse entre 20 et 28% de matières volatiles) servait à faire du coke pour les besoins de la sidérurgie (réduction du minerai de fer pour en extraire le métal). A l'échelle microscopique, les études très fines sur les composants des charbons ont conduit à préciser les conditions sédimentologiques de dépôt (p. ex. Duparque, 1933). De plus, les spores et pollens ont permis d'affiner la datation relative des divers corps sédimentaires dans lesquels les veines de charbon sont intercalées (p. ex. Paproth *et al.*, 1983 ; Laveine *et al.*, 2003).

territoire connu sous le nom de *concession d'Anzin*. Les citations qui suivent sont extraites des dossiers de négociation de sortie des concessions minières : (CDF, 2003 : Anzin, tome 1 : p. 31) : « Le 1er juillet 1716, le vicomte Jacques Désandrouin, Bailli de Charleroi, Seigneur d'Heppignies, de Lodelinsart et autres lieux, capitaine de dragons au régiment français de Flavacourt, son frère Pierre Désandrouin Desnoelles, maître verrier entre Condé et Valenciennes, s'associaient à d'autres personnes de la localité, Nicolas Desaubois, notable de Condé sur Escaut, receveur du Prince de Croÿ, Pierre Taffin, ancien conseiller du Roi au Parlement de Flandres et Procureur Général du Hainaut Français, Jacques Richard, notable de Condé, receveur des fermes du Roi à Condé et beau-frère de Pierre Taffin, pour rechercher le charbon dans la région de Fresnes sur Escaut. Jacques Désandrouin s'assura alors du concours de Jacques Mathieu, bailli de Lodelinsart qui dirigeait ses mines des environs de Charleroi. Le 1er juillet 1716, munie d'une permission spéciale de recherches, la Compagnie nouvellement créée et portant le nom de Desaubois, entreprit ainsi les premiers travaux de recherches du charbon dans le Nord de la France, à Fresnes, sous la conduite de Jacques Mathieu. Les deux premiers puits appelés Point du Jour furent creusés le long de la route de Valenciennes à Condé mais les conditions de creusement difficiles ne permirent pas de découvrir le précieux charbon et leur fonçage fut abandonné en 1717. » La compagnie est dissoute, mais renaît aussitôt selon une procédure qui, aujourd'hui, serait décrite comme une recapitalisation. La recherche continue ; une veine de charbon est atteinte le 3 février 1720, à moins de 100 m de profondeur, dont la puissance est inférieure au mètre. « Il s'agissait cependant de charbon maigre seulement propre à la cuisson des briques et de la chaux et dont la vente était difficile. » De surcroît, « dans la nuit du 24 décembre 1720 : une pièce de cuvelage conçue en bois de hêtre au lieu du chêne employé jusqu'alors, céda sous la pression des eaux qui envahirent le puits, engloutissant les travaux. » La

Encadré II. — Les concessions minières

Les substances minérales sont classées en deux groupes : celles dites stratégiques sont exploitées en mine, les autres en carrière (Articles L100-1 et L100-2 du Code Minier www.legifrance.gouv.fr). L'article L111-1 fixe la liste des substances minérales stratégiques, qui sont, par définition, propriétés de l'Etat, royal, impérial ou républicain. L'Etat, ne possédant pas en propre les moyens techniques pour procéder aux opérations d'exploration/exploitation, concède un territoire à un tiers, lequel était privé jusqu'en 1945, public de 1946 à la dissolution de Charbonnages de France (2007). En juillet 1914, le gisement du Nord et du Pas-de-Calais était découpé en 49 concessions, dont 2 dans le Boulonnais, exploitées par 25 compagnies privées, gérant 130 fosses actives et produisant à l'année 27 millions de tonnes de charbon (Barrois, 1914).

Fig. 3. — Les concessions minières : A – le gisement houiller est souterrain, sous les terrains crétacés (vert) et paléogènes (orange). B – l'exploitation a été concédée par l'Etat à des sociétés privées jusqu'en 1945, nationalisées en 1946 ; la carte montre la progression historique des concessions d'est en ouest.

Fig. 3. — Mining concessions : A – Coal-bearing terranes are underground, below Cretaceous (green) and Paleogene terranes (orange). B – Private companies had exploited coal through concessions from the State until 1945 ; nationalization occurred in 1946. The map illustrates historical progress of the concession process.

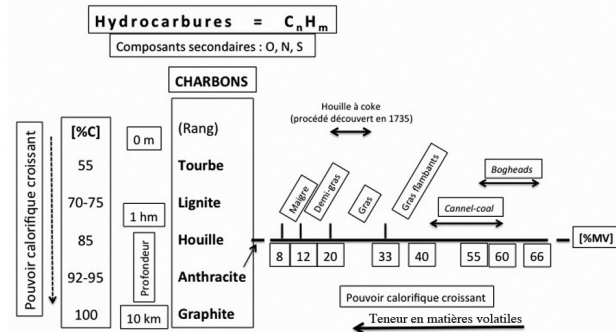
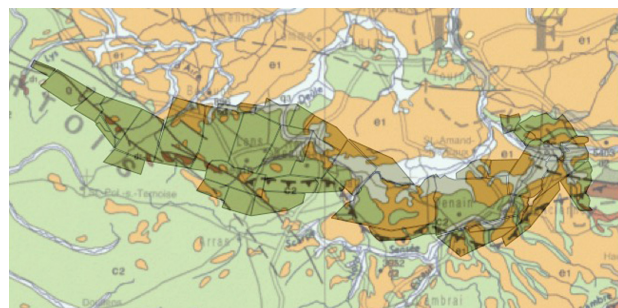


Fig. 2. — Les charbons sont des hydrocarbures solides dont la typologie est définie, selon l'objectif poursuivi, soit par la teneur en carbone, soit par le rang, soit par la teneur en matières volatiles.

Fig. 2. — Coal is a solid hydrocarbon resource ; classifications are built according to carbone content, rank, or volatile content, depending of use for coal.

Compagnie Desaubois sombre encore, des actionnaires partent. Une troisième compagnie se constitue avec ceux qui restent ; elle entreprend deux nouveaux puits. En 1723, ils retrouvent une veine de charbon maigre. Enfin leurs efforts sont récompensés en 1734 avec la découverte d'une veine de houille grasse (Fig. 2).

Dès lors c'est une autre partie qui se joue, administrative. L'autorisation d'explorer et d'exploiter le charbon de terre faisait l'objet d'un Arrêt Royal, certes. Mais la perspective de trouver de la houille grasse, rémunératrice, rappela à quelques héritiers que « la législation féodale qui réservait aux seigneurs hauts justiciers le droit de disposer de l'avoir en terre 'non extraire', c'est-à-dire de la richesse minérale qui pouvait exister dans leurs terres » était toujours en exercice. En foi de quoi « Le prince Emmanuel de Croÿ, Prince du Saint Empire, Seigneur Haut Justicier de Condé, Vieux Condé et autres lieux, propriétaire de la seigneurie de Fresnes, et le Marquis de Cernay, Auguste Marie Le Danois, Seigneur Haut Justicier de Raismes, forts de ce droit, voulurent exploiter eux-mêmes le charbon. » Bien sûr ils comprirent vite ne pouvoir se passer des techniciens



ayant l'expérience de la mine. Une période agitée de procès et tractations diverses, vit aussi l'émergence de nouvelles sociétés. L'invention du procédé pour fabriquer le coke nécessaire à la sidérurgie, en 1735, posait un enjeu économique supplémentaire. Le prince Emmanuel de Croÿ, en administrateur avisé, prit les choses en main le 19 novembre 1757, dans sa « maison de chasse » dite de l'Hermitage à Condé/l'Escaut, où fut signé un contrat associant les deux premières compagnies pour fonder une des sociétés minières les plus prospères jusqu'en 1945, la Compagnie des Mines d'Anzin.

Il faut bien distinguer les compagnies, qui sont des entités juridiques administratives, des concessions qui sont des territoires concédés par l'Etat à une société pour procéder aux opérations techniques d'exploration/exploitation (Encadré II, Fig. 3). Les compagnies étaient en concurrence pour l'obtention de concessions. Octroyée d'abord pour une durée limitée, une concession abandonnée était alors une foire d'empoigne pour les sociétés présentes sur le marché. La situation engendra de nombreux conflits si bien que la loi de 1810, ancêtre du Code Minier (voir le site web *Legifrance*), accorda la perpétuité à toutes les concessions, apaisant ainsi les tensions.

c) Une conséquence actuelle de ces débuts chaotiques

De cette période initiale résulte une situation qui, aujourd'hui, n'est pas évoquée par les pouvoirs publics à la hauteur des enjeux qu'elle induit. La recherche était si peu organisée que le nombre de puits percés pour rien est totalement inconnu, de même que leur localisation exacte. Au XVIII^e siècle, aucun service n'était en mesure d'inventorier tous les ouvrages ouverts, leur localisation précise, la profondeur atteinte, la raison de l'abandon, la qualité du remblaiement. Mais à l'époque, la densité de population était faible, l'habitat rare et non exposé. Et personne n'imaginait alors qu'un jour l'occupation du sol serait ce qu'elle est aujourd'hui. La notion de risque postérieur aux travaux d'exploration n'existait donc pas. Lors de la nationalisation de 1946, l'Etat a « mis dans la corbeille » de Charbonnages de France les ouvrages qui servirent, abandonnés ou non. Aucun des ouvrages stériles précédents n'a figuré dans l'actif de départ de la nouvelle société, entre autres parce que les archives n'existaient pas, ou ont été détruites durant les nombreux conflits que la région a subis entre 1716 et 1945. Pour donner une idée de cette perte de mémoire, un travail d'enquête réalisé avec des étudiants de DESS (Master 2 actuel) en 2000 sur le territoire de la commune de Vieux-Condé avait validé 47 sites possibles de puits amorcés mais n'ayant pas nécessairement abouti, tandis que le dossier de sortie de concession relève 9 puits patrimoniaux et 10 identifiés hors patrimoine (CDF, 2004 : Vieux-Condé : t. 1, p. 63-71). Les sites stériles du XVIII^e siècle sont donc des sites orphelins, puits au remplissage décomprimé par rapport à l'état initial du massif rocheux traversé, dont certains peuvent être inopinément mis au jour lors de terrassements.

d) Les investisseurs ne sont pas des mineurs, encore moins des géologues

Seuls le risque d'éboulement du puits et le risque financier étaient ressentis. Le taux de perte étant élevé, l'initiative d'une recherche ne pouvait donc que reposer sur un appui financier important. Ceux qui s'engagent dans l'aventure, dès le début, sont donc des bourgeois industriels (textile, métallurgie), commerçants, banquiers et quelques aristocrates argentés. Mais quels qu'ils soient les financiers avaient besoin du technicien sachant, le mineur, celui qui sait percer un trou dans le sous-sol et l'étayer de façon durable pour éviter les éboulements.

C'est le cas de Jacques Mathieu pour la concession d'Anzin (cf. § 1b). Les mineurs observent que les couches progressent du nord-est vers le sud-ouest, ce qui explique que la poursuite de l'exploration s'effectue vers Douai jusqu'au milieu du XIX^e siècle (Fig. 3). C'est sur ce territoire que les mineurs ont appris de leurs prédécesseurs allemands et wallons, à traverser les morts-terrains et leurs aquifères et à s'en prémunir (Dollé, 1985). C'est aussi dans ce tronçon, comme dans le Borinage, qu'ont été identifiées de nombreuses poches de dissolution affectant les terrains paléozoïques, comme celles qui ont piégé les iguanodons de Bernissart. L'une d'elles, responsable de plusieurs éboulements et inondations, connue sous le nom de *Torrent d'Anzin*, a inspiré Zola pour son roman *Germinal*. En revanche, dans le secteur de Condé/l'Escaut et Vieux-Condé, la crainte était de descendre trop bas au risque d'approcher de trop près le Calcaire Carbonifère, aquifère en charge alimenté par affleurements en Hainaut belge, et d'entraîner une inondation par rupture du plancher des chantiers d'abattage. Tout étant à apprendre, les conditions de travail étaient rudimentaires (Dumont, 1999). Enfin c'est aussi durant la première moitié du XIX^e siècle que le machinisme investit la mine : pour exhaurer les travaux souterrains, remonter le charbon, descendre/remonter les hommes, les fosses doivent investir sans cesse dans des machines de plus en plus puissantes, mais aussi de plus en plus encombrantes en surface. Ce qui, à son tour, induit une adaptation permanente de l'organisation des fosses « au jour » (Dumont, 2013). Toutefois, il n'y a toujours pas de nouvelle méthode pour déceler où forer le prochain puits à coup sûr.

e) L'apparent « décrochement » du filon de houille

Au-delà de Douai, les recherches se sont poursuivies, toujours dans la même direction, au sud-est d'Arras et jusque la région de Doullens. L'ingénieur des mines chargé du service du sous-arrondissement minéralogique d'Arras, Charles Du Souich (1812 – 1888), en poste de 1835 à 1852 (Castel, 1891), devait accompagner et conseiller les sociétés qui entreprenaient des recherches. Du Souich suspectait que la raréfaction de découvertes nouvelles ne traduisait une modification brusque dans la structure du bassin minier. Il sera le premier à suggérer que le modèle du bassin houiller unique dût être remplacé par celui d'une succession de bassins synclinaux étroits ; ce que Barrois présentera et argumentera le 5 juillet 1914 devant les ingénieurs des Mines de Liège. Et Du Souich encourage les explorateurs à regarder vers le nord de Douai. De façon indépendante, à Oignies en 1841, Mme Crombez veuve de Clercq, fait creuser un puits pour obtenir de l'eau. Fait rare, le puisatier ne trouve pas d'eau et poursuit son ouvrage jusque 170 m de profondeur où, directement sous la craie, il rencontre une veine de charbon gras (CDF, 2000 : Dourges, Texte, p. 34). Une concession sera octroyée en 1852, mais les industriels ont déjà compris que Du Souich avait raison et qu'un « décrochement » vers le nord affectait la structure du gisement houiller. Dès lors le développement vers l'ouest fut fulgurant (Fig. 3B), dans une concurrence acharnée et fébrile entre anciennes et nouvelles sociétés d'exploration/exploitation. Les concessions se multiplient jusqu'en 1908. Aucune autre concession ne sera sollicitée ensuite, la guerre 14-18 marquant un changement stratégique (cf. § 2b).

Dans une conception matérialiste et positiviste du progrès, dominante à l'époque, le développement simultané du chemin de fer n'est pas étranger à ce « cercle vertueux » : il implique le développement de la métallurgie et améliore l'efficacité de la mobilité. Mais ces liens de cause à effet peuvent être pernicieux (Lapparent, 1890). Certaines concessions rencontrent des difficultés à écouler au loin leur production faute d'accès direct à la voie d'eau, solution la plus simple. L'absence de relief

rédhibitoire favorise le déploiement d'un réseau de voies d'eau (canal de St-Quentin en 1810, canal de la Sensée en 1820, canal d'Aire en 1825, Compagnie des Chemins de Fer du Nord à partir de 1845). Enfin, au nom d'une rationalité industrielle, l'habitat minier est développé au plus près des fosses de production, indépendamment de la localisation des villages préexistants : Sallaumines et Noyelles-sous-Lens en sont des exemples particulièrement nets avec des modalités différentes (Dubar *et al.*, 1982).

Dans ce contexte où l'ingénieur organise, planifie, met en œuvre, il y a peu de place a priori pour les représentants d'une science naturelle émergente : la géologie. Le raisonnement évoqué ci-dessus tenu par Du Souich ne s'appuie sur aucune théorie ; il est pragmatique. En revanche, Du Souich en tire l'intuition d'une organisation interne du bassin houiller que rappellera Gosselet (1888).

f) Les apports de Jules Gosselet

Vers 1880, l'aura scientifique de Gosselet était telle que beaucoup lui attribuaient à tort les découvertes géologiques attachées au développement du gisement houiller. De telle sorte qu'il s'est senti obligé de corriger (Gosselet, 1881). De ce texte ressortaient les trois faits géologiques dont il se reconnaissait la paternité, et auxquels il faut en ajouter un quatrième, postérieur à cet écrit :

Le bassin houiller du Boulonnais : les quelques couches de Terrain Houiller observables et exploitées semblaient intercalées dans le Calcaire Carbonifère. S'appuyant sur une analyse biostratigraphique, Gosselet (1860) démontra d'abord que le Houiller du Boulonnais est contemporain du Houiller belge. Il démontra aussi que ces couches houillères « *reposent en stratification normale sur le calcaire carbonifère qui est au nord et qu'elles sont séparées du calcaire carbonifère du sud par une faille* », sans qu'il voulut prendre le risque de se prononcer sur le pendage de cette faille afin d'éviter une erreur de stratégie industrielle (Gosselet, 1881).

La limite méridionale du bassin minier : dans la région de Liège, Gosselet rappelait que dès 1832 Dumont avait démontré qu'une faille limitait au sud l'extension des couches de houille mais la présupposait locale et l'avait dénommée *Faille Eifélienne*. Plus tard, Briart & Cornet (1863) ont décrit le contact anormal du Calcaire Carbonifère sur le Houiller à Binche, proposant de désigner sous le nom de *Faille du Midi* ce contact qui limitait l'extension du Houiller belge au sud. Mais depuis qu'il avait identifié une disposition comparable dans le Boulonnais (voir ci-dessus), Gosselet avait accumulé d'autres observations allant dans le même sens (Gosselet, 1874-1875). Si bien que, brochant avec vigueur un tableau synthétique du bassin houiller entre Liège et le Boulonnais devant une assemblée d'exploitants (Gosselet, 1874), il proposa de généraliser sous le nom de *Grande Faille*, l'idée de limite tectonique méridionale du bassin minier : un contact faiblement incliné vers le sud sous lequel les forages pouvaient atteindre le charbon. Mais il avouait ne pas savoir préciser où, vers le sud, devaient se terminer les couches houillères (Gosselet, 1881).

La présence du Terrain Houiller au sud de Valenciennes : la bifurcation structurale observée très tôt dans les couches houillères au sud de Mons avait posé problème. Elles se suivaient bien vers le nord-ouest (Condé/l'Escaut), et semblaient ne pas atteindre la frontière vers le sud-ouest. Gosselet rapporta qu'une pénurie de charbon, éprouvée en 1874 (Lapparent, 1890), avait suscité la création de nouvelles sociétés et la reprise de recherches du côté de Crespin et Quiévrechain. Les résultats,

positifs, confirmaient la présence du Houiller productif dans le flanc inverse d'un synclinal déversé vers le nord, pouvant être atteint sous les morts-terrains (Gosselet, 1874, 1881).

La notion de tectonique polyphasée avec les failles de l'Artois : Gosselet (1908) reprit les travaux d'un prédécesseur, Soubeiran, qui avait mis en évidence, au prix d'un travail topographique soigné, le jeu de certaines failles hercyniennes (on dirait *varisques* aujourd'hui), postérieurement au dépôt de la craie. Ce travail sera complété par Bouroz (1956) et Mansy (2003).

Ces résultats furent obtenus sous la conduite de Gosselet, certes, mais avec le concours d'élèves ayant eux-mêmes démontré leurs talents. Succédant à Gosselet en 1902 comme titulaire de la chaire de géologie, Barrois délaissa quelque peu ses travaux cartographiques en Bretagne pour se mettre au service des industriels de la région, notamment les compagnies minières (Pruvost, 1945). Cela fut d'autant plus aisé qu'il était familialement attaché à certaines compagnies (Matrion, 2014). Parmi les initiatives prises par Barrois autant comme universitaire que membre de la SGN, il faut évoquer la création d'un outil de travail constitué par la mise à disposition de collections de référence ouvertes à tous les chercheurs et industriels du charbon : le Musée Houiller fut inauguré le 5 mai 1907. Aujourd'hui intégré au Musée d'Histoire Naturelle de la Ville de Lille, ce musée est consulté comme tel par les scientifiques du monde entier (Oudoire *et al.*, 2008). Enfin, concrétisant bien la coopération entre les compagnies minières et les chercheurs universitaires au sein de la SGN, il faut rappeler qu'à l'initiative de la compagnie des Mines de Lens, un modèle tridimensionnel du bassin houiller, peint sur des plaques de verre régulièrement espacées, a été exposé à Arras (1904), puis à la foire internationale de Liège de 1905 (Küss, 1905), et enfin déposé au Musée Houiller de Lille (1907). Ce modèle est aujourd'hui en voie de numérisation afin de progresser vers un modèle numérique tridimensionnel (Graveleau *et al.*, 2017).

g) La géologie contraint les techniques d'exploitation

La géologie du bassin houiller a donc été connue avec beaucoup d'essais/erreurs. Les diverses compagnies n'y mettaient pas toutes les mêmes moyens, n'utilisaient pas les mêmes méthodes. Certaines étaient opulentes alors que d'autres peinaient à exister. Les unes disposaient d'une concession vaste et riche en ressources alors que d'autres devaient se contenter de travaux peu rentables à la périphérie du bassin. En effet, on découvrait seulement que toutes les veines de charbon ne sont pas identiques en composition, puissance, extension. Le paléoenvironnement de la formation du charbon n'était pas encore suffisamment compris pour alimenter un modèle susceptible de guider les exploitants. Résultat des progrès dans d'autres domaines scientifiques, l'usage de l'électricité s'est répandu : la Cie des Mines de Marles a présenté à l'Exposition universelle de 1900 les locomotives électriques qu'elle utilisait dans ses galeries tandis que celle de Béthune assurait au moins une partie de l'exhaure grâce à des pompes électriques. Le poids de l'investissement expliquait pour une part la lenteur des progrès réalisés au début du XX^e siècle. On n'avait pas encore compris que les mines de Westphalie (bassin de la Ruhr), pionnières du développement technologique, le doivent à leur conformation géologique : leurs veines sont épaisses et relativement peu déformées, comme celles du Limbourg et du nord de l'Angleterre, par opposition à celles du sillon de Sambre-et-Meuse, du Nord – Pas-de-Calais, du Kent et du sud du Pays-de-Galles. La Première Guerre mondiale a été pour le bassin minier un cataclysme épouvantable mais aussi l'occasion d'écrire l'Après-Guerre sur une page quasi blanche. Les choix

techniques retenus pour la reconstruction (Cuvelette, 1922) ont été mieux partagés par les compagnies, l'uniformisation n'intervenant qu'avec la nationalisation de 1946 (cf. § 4).

2) De 1914 à 1945 : développement de la production et de la compréhension

a) Une épreuve à l'origine d'un renouveau scientifique

Même à un mois du déclenchement des hostilités militaires, en juillet 1914, les *Annales de la SGN* ne rendent compte d'aucune inquiétude particulière (Barrois, 1914). Mais à la reprise des réunions régulières de la société, Barrois (1919) fait état d'un lourd bilan. Une analyse de ce bilan est à paraître (Meilliez & Dumont, en cours). Résumons ici les faits ayant un impact scientifique. La perte humaine est lourde. Parmi les morts, Gosselet figure en victime collatérale : il décéda le 25 mars 1916 d'une pneumonie contractée en essayant de reconstituer les collections des musées de l'Institut de Géologie, à la suite de l'explosion d'un dépôt de munitions à Lille, le 10 janvier 1916. Toutefois aucun pillage par l'occupant n'a été à déplorer dans les documents géologiques de ces musées ; il n'en sera pas de même à l'issue de la Seconde Guerre mondiale. Le front militaire s'est stabilisé durant quatre ans en travers du bassin houiller (Fig. 3B), le différenciant en trois zones :

Au centre, des concessions ravagées plus ou moins complètement en surface (Meurchin, Grenay, Lens, Liévin), les travaux du fond ennoyés par dynamitage des cuvelages de puits. Aucune activité d'extraction n'y a été possible.

À l'est, des concessions occupées, dans lesquelles l'extraction avait repris, en partie au bénéfice de l'occupant. Les destructions de surface, systématiques, et l'ennoyage de quelques puits ne sont intervenus que lors de la retraite allemande (printemps – automne 1918) avec l'intention d'affaiblir l'industrie française.

À l'ouest, des concessions pouvant être sous le feu des canons pour certaines, mais dans lesquelles la production a été intensifiée. Financièrement, les compagnies concernées ont

réalisé leurs meilleures productions durant cette période.

La principale conséquence scientifique de cette situation est qu'à l'issue de la tourmente, il était établi que le gisement houiller se fermait à l'ouest, dans le secteur de Ligny-les-Aire, sans jonction identifiable avec le gisement du Boulonnais. Aucune nouvelle concession ne fut sollicitée par la suite.

b) La reconstruction, occasion de modernisation

Tant qu'à faire de reconstruire, autant prendre des options que l'on pense porteuses d'avenir. La diversité d'aspect et d'équipement des fosses y perdra, mais l'efficacité de la production pour chaque compagnie comme pour l'ensemble du gisement y a gagné. Ernest Cuvelette (1869-1936) fut l'ingénieur coordonnant les diverses actions de déblaiement, réparations et reconstruction (Cuvelette, 1922 ; Samuel-Lajeunesse, 1948). Ingénieur des mines, employé par la Cie des Mines de Lens en août 1914, il était militaire, affecté au Ministère de l'Armement (1916-1918) lorsqu'il prit l'initiative, dès 1917, de fonder une *commission technique du groupement des Houillères victimes de l'invasion* pour échauffer un plan de modernisation et reconstruction. Il élaborait les procédures nécessaires au dénoyage des travaux souterrains, mit en place les infrastructures pour fournir de l'électricité, notamment à partir de centrales thermiques à charbon, stimula la construction d'un réseau de voies ferrées homogène complétant les voies d'eau dont l'utilisation avait commencé juste avant guerre. Dans le développement des équipements nécessaires à l'exploration, il mit autant d'énergie et de moyens que pour remettre en marche les fosses. Ses compétences et sa méthode l'ont fait appeler pour rendre les mêmes services en Belgique et en Allemagne.

c) Une compréhension géologique qui s'organise

Les nouveautés technologiques (électricité, mécanisation) favorisent l'augmentation de la production, rapide dès 1918 (Fig. 1), ce qui entraîne l'acquisition de nouvelles connaissances : le nombre de fronts de taille et de sondages à étudier augmentant, leur exécution devenant plus rapide, le nombre d'ingénieurs des

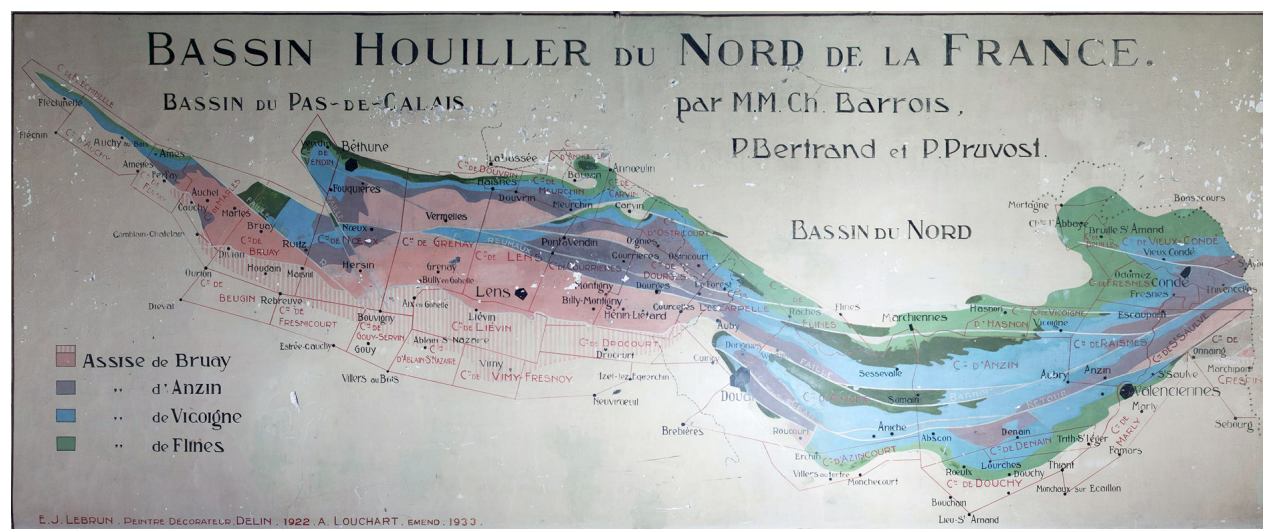


Fig. 4. — Carte de répartition des fossiles végétaux : les hiatus sont interprétés comme révélant des failles (Barrois *et al.*, 1924). Cette carte est exposée dans l'ancien Institut de Géologie de Lille (Meilliez *et al.*, 2014).

Fig. 4. — Geological map of the coal basin from palaeobotanic approach : misfits were interpreted as faults (Barrois *et al.*, 1924). This map is painted onto a wall of the ancient Geological Institute of Lille (Meilliez *et al.*, 2014).

mines convaincus de l'intérêt d'un suivi géologique augmentant aussi, les données disponibles deviennent suffisamment abondantes pour envisager synthèses et modèles afin de chercher à comprendre les déterminants de la composition et de la structuration du gisement. Les résultats sont importants en stratigraphie et, par voie de conséquence, en tectonique.

Stimulés par Barrois, qui a succédé à Gosselet, les principaux développements de la connaissance sont stratigraphiques. Les études paléontologiques avaient d'abord porté sur la faune marine, puis se sont étendues à tous les végétaux et plus tard aux pollens. Antérieurement, Gosselet (1888, p. 695-697) avait rappelé la proposition de Grand'Eury d'une zonation basée sur la composition chimique des charbons, essentiellement selon teneur en gaz (Fig. 2), en postulant une corrélation directe avec l'âge des terrains, à savoir de bas en haut : charbons maigres de la zone de Vicoigne, demi-gras de la zone d'Anzin, gras de la zone de Denain, charbons à gaz de la zone de Bully-Grenay. Il avait rappelé aussi la carte de répartition des flores identifiées dans le charbon, élaborée par l'Abbé Boulay (*in* Gosselet, 1888, fig. 171, p. 696). C'était la première figuration du gisement houiller en quatre bandes allongées d'est en ouest. Mais ce travail avait révélé aussi qu'un même assemblage de plantes peut se trouver dans des zones différentes, c'est-à-dire que la teneur en gaz n'est pas liée à l'âge des terrains. Les mineurs manquaient donc d'un outil d'identification fiable pour diriger leurs recherches de veines à exploiter. Les travaux donnant lieu à une étroite coopération entre les compagnies minières et les membres de la Société Géologique du Nord (Matrion, 2014), l'échelle biostratigraphique végétale se construisit peu à peu. Jusqu'à ce qu'une nouvelle carte fut proposée (Fig. 4) : d'abord peinte sur un mur de la cage d'escalier de l'Institut de Géologie en 1922 (Meilliez *et al.*, 2014), elle a été publiée peu après (Barrois *et al.*, 1924). La nouveauté de cette carte était de figurer le tracé de failles qui découpent le gisement minier en domaines structuraux distincts par leur succession stratigraphique. Mais comme ce document était un outil de travail biostratigraphique, il n'était accompagné d'aucune analyse tectonique susceptible de donner du sens aux tracés obtenus à l'échelle du bassin. La carte n'est d'ailleurs pas localisée sur l'échelle des profondeurs. Et pourtant c'est ce document qui a servi de guide à tous les travaux ultérieurs, et que Bouroz (1950) fixera à la cote -300 sans discuter davantage la signification des traits assimilés à des failles continues, séparant des domaines biostratigraphiquement homogènes. Dans la grande synthèse régionale pour tenter de cartographier la surface des terrains paléozoïques sous les morts-terrains, les compagnies pétrolières reprendront la même carte, en l'état du moment, sans plus la discuter (C.F.P.M. *et al.*, 1965).

En 1888, Gosselet a terminé son chapitre sur le terrain houiller en faisant état des discussions sur l'origine des charbons. Certains prétendaient que les végétaux observés dans le charbon avaient été fossilisés sur leur lieu de croissance ; d'autres défendaient l'idée d'une allochtonie possible, disant que les végétaux, plus ou moins dilacérés, avaient été transportés par un réseau hydrographique dont la présence n'avait pas encore été caractérisée dans les sédiments. Les conditions d'observation, en souterrain, étaient évidemment responsables d'une apparente carence d'analyse : l'observation tridimensionnelle des corps sédimentaires était impossible. Mais une analyse approfondie de la succession lithologique sur une coupe locale était possible et a focalisé l'attention des mineurs comme des géologues. Durant l'entre-deux guerres, l'environnement fluvio-deltaïque ou limnique a été identifié et la composition lithologique des charbons s'est aussi améliorée avec l'examen microscopique de surfaces polies (Duparque, 1933). Mais il manquait encore une explication pour rendre compte de l'accumulation sédimentaire, dont tous avaient observé la cyclicité. C'est Pruvost (1930) qui

apporta une réponse dans un article dont la clarté justifie une diffusion universelle dans la communauté géologique. L'un des exemples développé est la rythmicité des dépôts houillers, observée à l'échelle métrique (Fig. 5) : le détritique fin (argile ou

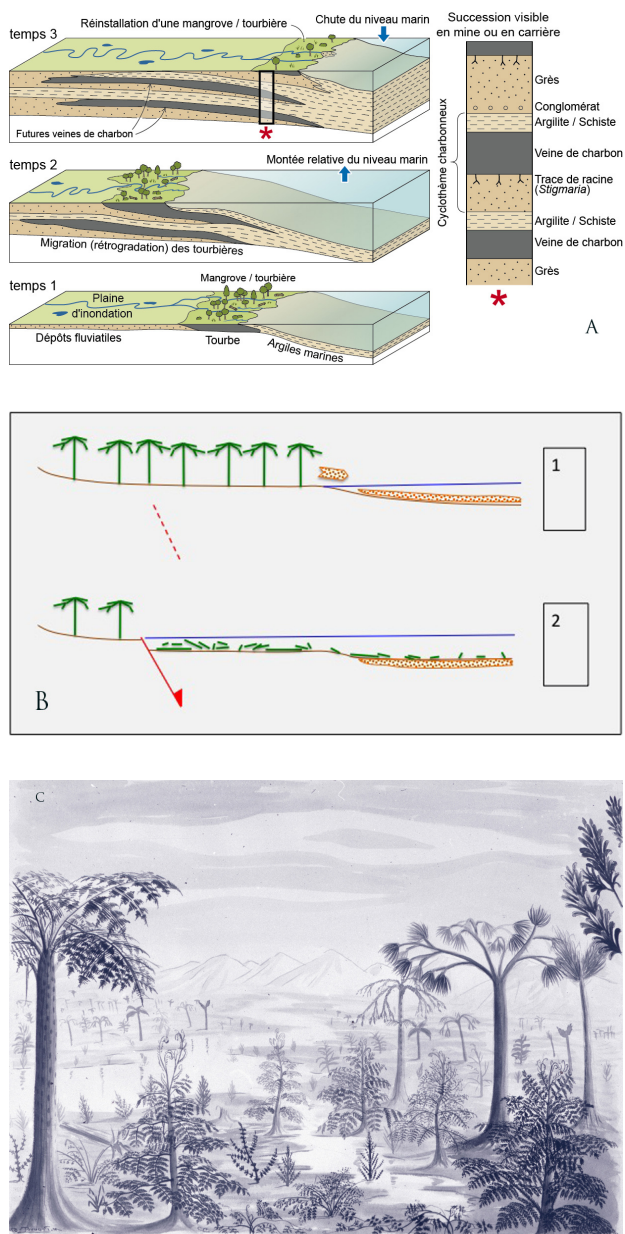


Fig. 5. — Modèle sédimentologique de dépôt des sédiments houillers.

A – La cyclicité verticale des dépôts peut être expliquée par les variations du niveau marin global (De Wever & Baudin, 2015) © De Wever ; **B** – Mais la tectonique y contribue aussi par le fonctionnement saccadé et répétitif de failles normales (penser aux images du tsunami du 24/12/2004 à Sumatra) ; **C** – Les deux processus (contrôle astronomique de la sédimentation et impulsions tectoniques) se conjuguent dans un paysage de plaine littorale frangeant une chaîne de montagnes en construction, au Westphalien C (Corsin & Corsin, 1970).

Fig. 5. — Sedimentological model for coal-bearing deposits. A – Cyclic deposits might be explained by eustatic sea level variations (De Wever & Baudin, 2015) © De Wever ; B - However tectonics might explain sudden subsidence in addition (remember the Sumatra seism on 2004/12/24th) ; C – Landscape model for paralic sedimentation during Westphalian C period where astronomic regulation and tectonic pulses add their effects (Corsin & Corsin, 1970).

sable) qui précède ou suit directement l'accumulation végétale formant le charbon est ubiquiste. Toutefois, les marques qu'il fossilise permettent de différencier le *mur* (sous la veine) du *toit* (sur la veine). Le mur contient des traces de racines et radicelles, signifiant par là que l'espace sédimentaire pour recevoir un dépôt devait être quasi nul puisque la forêt houillère s'y est installée. Le toit contient des éléments remaniés (gravier, galets, fossiles), des organismes franchement marins, signifiant par là qu'une nappe d'eau, marine ou douce, a ennoyé la forêt de façon plutôt soudaine. Argumentant sur la répétitivité observée de ces séquences, en dépit de leur variabilité latérale, Pruvost donne à la subsidence un rôle majeur dans le fonctionnement des bassins sédimentaires, par la répétition d'événements discontinus, brusques mais de faible amplitude. Cette interprétation est universellement acceptée depuis cette publication. Toutefois il bute sur la cause de ce mécanisme.

La formation des chaînes de montagne faisait alors l'objet de spéculations dans laquelle les mouvements horizontaux de la croûte terrestre n'étaient pas soupçonnés. Or les failles inverses, comme celles observées en plusieurs points de la bordure sud du bassin houiller (cf. § 1f) impliquent de concevoir une part de raccourcissement horizontal. D'où l'importance de la notion de *Grande Faille* qu'avait apportée Gosselet, démontrée par des sondages ayant atteint le terrain houiller sous le calcaire carbonifère (§ 1f). Marcel Bertrand reconnaissait volontiers que cette notion l'avait inspiré pour concevoir les grands chevauchements alpins (*in* Barrois, 1919). A la suite de quoi, la tectonique tangentielle a imprégné toutes les études régionales, le bassin houiller (Bertrand, 1894) comme l'Ardenne (Kaisin, 1936).

d) Une seconde guerre dévastatrice

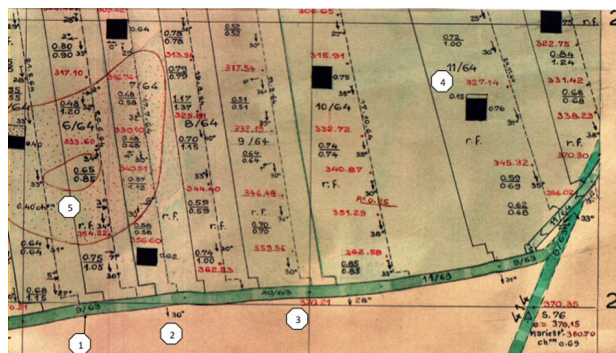


Fig. 6. — Plan minier normalisé à 1:10 000 : 1 - Les galeries sont marquées d'une double ligne colorée (vert), portant la date à laquelle le tronçon a été creusé (septembre 1963). 2 - Direction et intensité du pendage (30°). 3 - Points de nivellement (rouge ; profondeur 370,21 m). 4 - Un chantier d'abattage (fond vert clair) délimité par des traits continus indique la production en un mois (novembre 1964) ; cette veine contient 0,76 m de charbon pour une ouverture de 0,91 m (dessin) ou 0,59 m de charbon pour une ouverture de 0,69 m (fraction) ; le chantier a été foudroyé après abattage (r.f.). 5 - Un corps sédimentaire gréseux vient serrer la veine.

Fig. 6. — Normed mining plane on 1/10 000 scale. 1 - Galleries are coloured (green), with the date of caving (september 1963). 2 - Dip of the coal seam (30°). 3 - Levelling point (red ; depth in meters). 4 - In pale green is the monthly (November 1964) worked area (pale green) bracketted by continuous lines ; aperture of this vein is 0.91 m (small column) with 0.76 m of coal, another contains 0.59 m of coal for an aperture of 0.69 m (fraction) ; this work was stroken down after coal pulling out (r.f.). 5 - A sandstone body makes the seam too narrow.

La production de charbon s'est effondrée dans le Nord et le Pas-de-Calais à compter de 1932, soit bien avant la déclaration de guerre, mais clairement après le krach boursier de 1929 (Fig. 1). La dernière séance d'avant-guerre de la SGN s'était tenue le 10 avril 1940 : la reprise s'est faite le 20 juin 1945, toutes deux sous la présidence de R. Dion. Ouvrant la séance, le président donna la parole à Pierre Pruvost qui s'exprima très durement à propos de de l'occupation allemande dans les musées (Musée Gosselet et Musée Houiller). Nous ne retiendrons qu'une phrase parmi d'autres : « *Alors que les Kriegsgeologen [sic] de 1914 avaient respecté l'Institut Géologique de Lille, leurs successeurs de 1940, les Wehrsgeologen [sic], pénétrés de la doctrine de la race élue, s'y sont installés comme en pays conquis, oubliant, tout universitaires qu'ils fussent, que le patrimoine scientifique commun à l'humanité avait droit à certains égards.* » (Pruvost, 1945). S'ensuit un inventaire sommaire des collections emmenées vers Berlin. Une information personnelle (2014) de P. Taquet à A. Blicek nous fait espérer retrouver une partie de ces collections aux USA (P. Auguste, comm. pers.).

Dès la séance du 19 décembre 1945, une publication sur la tectonique dans le bassin houiller a été présentée (Chalard, 1945). Elle marque à la fois la continuité d'un patient travail d'observation mené par tous les chercheurs et mineurs sous la coordination de Barrois, comme l'a souligné Pruvost (1940), mais aussi une évolution dans le développement de la connaissance sur le gisement houiller. Dès lors l'analyse sera à la fois stratigraphique et structurale pour rendre compte des effets de la tectonique.

3) Une consolidation de la connaissance, inachevée (1946-1999)

a) Une profonde réorganisation et un objectif clair : rationaliser l'exploitation

La période qui s'ouvrait alors est marquée de changements majeurs dans les conditions de développement stratégique de l'exploitation houillère. Par ordonnance du 13 décembre 1944, le général de Gaulle créa la société des houillères nationales du Nord - Pas-de-Calais (la nationalisation fut votée le 5 mai 1946). Dès le 1er janvier 1945 la nouvelle société réorganisa l'exploitation : les fosses des 32 concessions, exploitées par 18 compagnies ont été redistribuées en 6 groupes territoriaux (Deberles, 1992). Le premier objectif était de rationaliser l'exploitation. Ce qui signifie que les *stots* (massifs non exploités isolant les concessions les uns des autres et/ou protégeant les puits de fosse) devront par la suite être progressivement abattus, sauf autour des fosses actives. Pour la connaissance géologique c'est une démarche prometteuse : on va enfin pouvoir contrôler la continuité des veines, des faisceaux de veines et des structures tectoniques (plis et failles) entre concessions. D'où un important et patient travail analytique ; un service géologique des Houillères du Bassin du Nord et du Pas-de-Calais (HBNPC) a été créé, coordonnant les travaux réalisés dans chaque groupe autour d'un ingénieur dont la mission est d'aboutir à une description géologique précise de son territoire. Ce service a complété un corps de géomètres déjà rompu à travailler avec une précision centimétrique pour enregistrer toutes les informations concernant chaque puits, chaque voie, chaque taille, chaque chantier d'abattage (Fig. 6). Toutes les actions à mettre en œuvre ont été normées de façon à construire une image homogène sur l'ensemble du gisement. La moindre information était consignée, jour après jour. Par exemple, l'emploi du marteau-piqueur provoquait un dégagement de poussier, entre autres effets, responsable de la silicose des mineurs. Pour tenter de l'atténuer, une méthode consistait à injecter de l'eau sous pression par des

cannes forées dans la veine de charbon avant abattage. L'eau était prélevée dans l'aquifère crayeux des morts-terrains situés au-dessus des chantiers d'abattage. Mais une fois injectée, l'eau s'accumulait dans les chantiers ; il fallait donc l'exhauser pour ne pas noyer les mineurs. Tous les volumes d'eau injectée, d'eau exhaussée, fosse par fosse, jour par jour, sont notés. On verra plus loin (§ 4b) en quoi cela a été précieux par la suite.

b) Une exploitation géologiquement condamnée à l'arrêt

La bataille du charbon était destinée à rendre la France autonome dans la reconstruction de son industrie et la fourniture en énergie domestique. Mais les dirigeants avaient déjà conscience, dès cette époque, que la conformation géologique du gisement houiller du Nord – Pas-de-Calais ne lui permettrait pas de faire face à la concurrence économique, même à l'intérieur de l'Europe. Les géologues savaient que le potentiel exploitable s'accroissait très nettement d'ouest en est et donc que, tôt ou tard, le bassin du Nord – Pas-de-Calais ne pourrait concurrencer ceux du Limbourg et de la Ruhr (Pruvost, 1930). Les ingénieurs savaient que les veines régionales ne se prêtaient pas à une mécanisation rentable suffisante. Lorsque les grandes mines à ciel ouvert ont commencé à produire sur d'autres continents, le coût de la tonne de charbon ne soutenait plus l'exploitabilité des mines souterraines européennes. Les veines les plus minces ne pouvaient être mécanisées de façon rentable et les fosses qui les exploitaient ont fermé, une à une, en progressant d'ouest en est, et la production a diminué irrémédiablement (Fig. 1). Pour la même raison, durant les décennies suivantes, les bassins du Borinage, du Limbourg, de la Ruhr et des divers bassins anglais ont fermé. La décision française irréversible fut prise en 1961, dans un contexte politique de choix de grands investissements. Elle fut vécue de façon très difficile (Deberles, 1992). La rationalisation devait se poursuivre mais dans une dynamique de repli progressif aboutissant à la fermeture définitive. Toutefois aucun ingénieur en activité alors ne pensait être encore en activité lors de cette fermeture (J. Faille, comm. pers., 1995). C'est de cette époque que datent deux documents majeurs dont la parution, vue d'aujourd'hui, apparaît comme la réalisation d'un bilan de la connaissance géologique : une publication (Bouroz *et al.*, 1961) et la carte à la cote -300 (H.B.N.P.C., 1963). L'ultime publication (Becq-Giraudon, 1983) n'y a apporté qu'un modeste apport scientifique supplémentaire.

c) Diverses échelles stratigraphiques pour un référentiel universel

L'abattage des *stots* (cf. § 3a), le développement rationnel de nouveaux chantiers, une technologie augmentant la productivité, devaient apporter une moisson de données nouvelles, utiles à la connaissance stratigraphique. Mineurs et géologues travaillaient au quotidien avec des veines, regroupées en faisceaux, eux-mêmes séparés par des séries stériles. Dans l'ensemble, tous les gisements européens, de l'Angleterre à la Pologne étaient de même âge, mais se différenciaient par les épaisseurs accumulées, des veines comme des faisceaux. Seule la paléontologie pouvait étayer des corrélations car les lithologies, monotones, étaient ubiquistes : charbon, grès, pélites schistosées. L'échelle internationale de référence est calée sur des marqueurs communs et complétée localement par d'autres espèces, plus endémiques, permettant de définir des sous-étages locaux (Fig. 7), très utiles pour l'exploitation (Barrois, 1914). Chaque gisement avait ainsi élaboré sa propre échelle synthétique, sur la base de critères multiples : fossiles marins, abondants à la base de la série et se raréfiant vers le haut ; fossiles continentaux végétaux très abondants dans toutes les veines de charbon ; spores et pollens qui, se répandant largement,

deviennent très précieux pour corrélater les divers gisements (Laveine & Candilier, 1987) ; cendres volcaniques d'appareils distants mais dont les nuages, largement répandus, ont fourni d'excellents repères temporels appelés *tonsteins* (Chalard, 1951 ; Bouroz *et al.*, 1983). En dépit de leur argilisation au cours de la diagenèse, les moyens technologiques d'aujourd'hui autorisent toujours des analyses raffinées de ces *tonsteins* grâce aux témoins laissés en collections au Musée, mais il n'y a pas réellement de spécialiste lillois sur la minéralogie des *tonsteins*. En revanche, les paléobotanistes lillois ont longtemps constitué une équipe de référence internationale, et sont encore consultés soit pour des synthèses mondiales (Laveine *et al.*, 2003), soit pour les collections soigneusement entretenues, également au Musée d'Histoire Naturelle de Lille (Oudoire *et al.*, 2008).

d) Un rendez-vous manqué avec le développement de la connaissance en tectonique

L'analyse de la succession des faciès avait stimulé les imaginations pour restaurer les anciens paysages (Fig. 5C) : une plaine littorale, de plus en plus à l'étroit entre un espace marin qui se comble et un relief vigoureux en érosion permanente au front d'une chaîne montagneuse, d'où descendent des cours d'eau de plus en plus torrentiels avec le temps, pour rendre compte d'une granularité moyenne de plus en plus grossière de bas en haut de la série. La tectonique des plaques a donné un cadre dynamique à ce schéma : les bassins houillers y représentent le comblement d'un bassin d'avant-pays en cours d'occlusion tectonique, et donc de structuration continue, l'érosion sans cesse avivée alimentant la sédimentation dans un processus qualifié d'autophagique.

Indispensable à l'étude tectonique régionale, le pouvoir de résolution de la stratigraphie restait cependant insuffisant à une étude structurale détaillée des zones très déformées. Dans les Appalaches, *a contrario*, les géologues se sont très tôt intéressés à l'analyse géométrique des zones déformées (Willis, 1891-1892), aidés par un contexte paysager directement lisible (relief dit appalachien : Foucault *et al.*, 2014, p. 314). Pour répondre au besoin des ingénieurs, le service des HBNPC a commencé

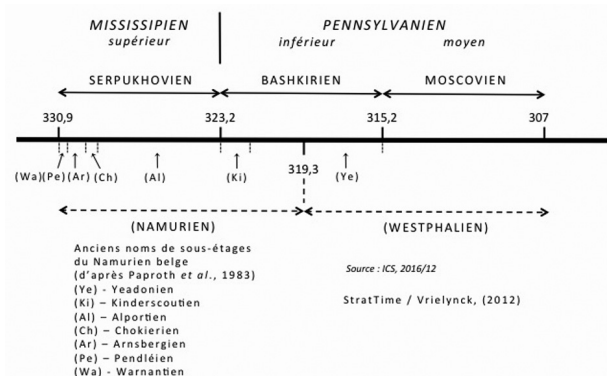


Fig. 7. — Cadre stratigraphique du bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais : Diagramme construit à partir de l'échelle stratigraphique internationale (I.C.S., 2016/12) et permettant de recaler les anciens noms d'étages et sous-étages (Vrielynck, 2012). Les sous-étages du Namurien belge (Paproth *et al.*, 1983) sont reportés sur cette échelle.

Fig. 7. — Stratigraphical framework of the Nord – Pas-de-Calais coal basin : Ancient and local sub-stages might be reported on the international frame (source : I.C.S., 2016/12), according to an application (Vrielynck, 2012). Sub-stages were defined within Namurian of Belgium (Paproth *et al.*, 1983) and are reported on this frame.

à étudier les structures tectoniques pour elles-mêmes afin de comprendre la logique géométrique qui les liait. Le coordonnateur de ces recherches a développé une nomenclature spécifique (Bouroz, 1950). Les données structurales acquises à l'époque ont été reportées sur la carte à la cote -300 pour la compléter. C'est certainement la perspective de la fermeture annoncée qui justifie le fait que ce louable effort n'ait pas été suivi d'une analyse structurale approfondie de cet avant-pays écaillé. Quelques années plus tard, c'est dans un contexte pétrolier dont l'avenir était moins menacé, à partir de l'environnement géologique des Rocheuses Canadiennes, dont la partie frontale est comparable aux bassins houillers européens, qu'une théorisation majeure a été réalisée (Dahlström, 1970).

4) Une nouvelle phase d'apprentissage (1995 à XXIV^e siècle, au moins)

La loi de 1810 avait octroyé les concessions à perpétuité (cf. § 1b). Mais à l'époque, personne n'imaginait la fin de la période d'exploitation, même si certains avaient conscience de l'épuisement à venir du gisement (Lapparent, 1890). Les conséquences physiques de l'extraction (affaissement, perturbations hydrauliques) ne pouvaient être anticipées faute de connaissance dans ce domaine. De plus l'implantation concentrée d'industries transformant le charbon, et/ou consommatrices de produits dérivés, ainsi que le développement de l'urbanisation nécessaire au fonctionnement de toutes ces activités, ne pouvaient être imaginés vers 1890. Les pollutions induites par toutes ces activités et leurs conséquences sur la qualité de l'air (à court terme), des sols et de l'eau (à long terme) n'étaient pas non plus imaginables. Une réflexion aurait pu être conduite au moment de la nationalisation (1946), mais l'urgence était plutôt à la nécessité d'un redémarrage d'activité. En 1990, la loi n'avait toujours pas été modifiée et l'Etat, au travers de HBNPC (puis de Charbonnages de France = CDF) se trouvait propriétaire de l'ensemble des biens fonciers, mobiliers et immobiliers progressivement installés sur, et autour des sites miniers. En droit français, la police minière prévalant sur la police du maire, aucun maire n'était habilité à prendre la moindre décision quant au traitement des sites abandonnés et à leur réaffectation. Il fallait donc changer le Code Minier ; ce qui fut fait en 1994, en 1999, puis tout récemment (mars 2017). Le nouveau Code Minier, s'ajustant avec la législation environnementale, a arrêté la procédure à suivre pour *sortir de concession*, démarche dont l'achèvement est marqué d'un arrêté ministériel pour chacune des concessions. A la suite de quoi le maire retrouve son pouvoir de police sur le territoire de sa commune et peut donc agir pour le bien public. Expliquer le déroulement de la phase de négociation, complexe pour un tel dossier, serait hors de propos dans cet article. A l'issue de cette phase, chaque commune a reçu directement une copie complète des documents concernant l'ensemble de la (ou des) concession (s) la concernant.

Les circonstances m'ont amené à participer, en tant qu'expert scientifique missionné par le conseil régional Nord – Pas-de-Calais, aux négociations de sortie de concessions, et en particulier à une étude préalable sur l'ensemble du système hydraulique du territoire affecté (CDF, 1999 : Etude 3H). Les lignes qui suivent résument la problématique scientifique induite par l'extraction d'une ressource naturelle souterraine ; les réponses apportées pour l'instant sont exposées dans un autre article (Lemal & Meilliez, 2017). Le travail a été mené conjointement avec les services de CDF et les entreprises missionnées sur des tâches fixées ensemble, sous le contrôle des services de l'Etat. Vues par un géologue, les conséquences de cette extraction peuvent être examinées sous trois aspects : les cavités souterraines et affaissements de sol induits, l'hydraulique

superficielle et souterraine, la pollution. Le bassin houiller du Nord – Pas-de-Calais est le premier de cette dimension à être fermé à l'exploitation pour les raisons géologiques rappelées plus haut. Plus d'un million d'habitants développent leurs activités au-dessus des anciens travaux. Il y a donc nécessité à surveiller les ajustements souterrains incessants et leurs effets différés en surface. C'est une nouvelle activité qui demande une approche scientifique rigoureuse, adossée à un suivi opérationnel sérieux. Il y a donc, pour les acteurs régionaux, une opportunité à acquérir un savoir faire et développer une connaissance scientifique dans un champ nouveau. D'autant que des outils nouveaux facilitant la représentation de l'hétérogénéité du sous-sol sont maintenant disponibles (Graveleau *et al.*, 2017). Ici seront simplement exposés les principes généraux des aléas et enjeux associés.

a) Les cavités souterraines et les affaissements miniers

On ne fait pas des trous en sous-sol impunément (Meilliez, 2003). Si la technologie (dimensions, vitesse d'avancement, eau, ...) utilisée conditionne les impacts, la géologie (composition, structure) contraint le choix de la méthode d'exploitation. Les morts-terrains de la région sont constitués de bancs minces, très fracturés qui ne peuvent en aucun cas assurer la stabilité du toit d'une veine de charbon en exploitation, à la différence de la Lorraine ou de la Provence. La relative forte tectonisation des terrains houillers et de leur encaissant est aussi responsable d'un état de fracturation intense qui s'exprime bien dans l'éclatement des stériles sortis de la mine. Il n'y a donc aucune stabilité naturelle à espérer ; l'étalement était indispensable pendant l'extraction et le foudroyage (retrait des étais), au moins partiel, se faisait à l'avancement. De ce fait, une veine pouvait être abattue dans toute son épaisseur (*l'ouverture* des mineurs) : c'est la méthode de l'exploitation totale qui n'abandonne aucun pilier rocheux pour assurer le soutènement. Ainsi l'adaptation du sous-sol à la cavité commence dès le foudroyage. Rapide et brutal au toit de la veine, ce mouvement descendant s'amortit peu à peu par glissements entre blocs voisins, comme le font les tuiles d'un vieux toit dont la charpente s'affaisse. Tout se passe comme si le vide créé se fragmentait en vides de plus en plus petits, diffusant progressivement dans les terrains vers le haut. La durée nécessaire pour que ces mouvements atteignent la surface augmente avec la profondeur. Une exploitation située à plus de 100 m de profondeur commençait à déprimer le sol en surface après plusieurs semaines tant que l'extraction se faisait au pic, après quelques jours lorsque la mécanisation de l'abattage devint plus performante. Le gros avantage de cette méthode est qu'aujourd'hui, l'essentiel des affaissements est réalisé. Mais le problème est plus complexe qu'il n'y paraît (Lemal & Meilliez, 2017).

b) Eaux superficielles et eaux souterraines

Dès lors que des cavités souterraines et des dépressions superficielles se différencient, les eaux de ruissellement et d'infiltration modifient leurs trajectoires. En surface, les dépressions affectent les ruissellements sur les sols mais aussi tous les réseaux artificiels (canaux, adductions d'eau, assainissement) et naturels (cours d'eau). Les conséquences sont spectaculaires et l'eau superficielle est le meilleur révélateur de ces mouvements de sol, même infimes et/ou très lents. En de nombreux sites de ce territoire, la nappe phréatique (la plus superficielle, quel que soit le niveau stratigraphique de l'aquifère) peut se trouver émergente si la dépression amène le sol *sous* la surface d'équilibre piézométrique de cette nappe. En profondeur, la migration des vides modifie de façon sensible les propriétés hydrauliques et donc géotechniques des massifs rocheux traversés. Certaines zones qui n'étaient pas aquifères

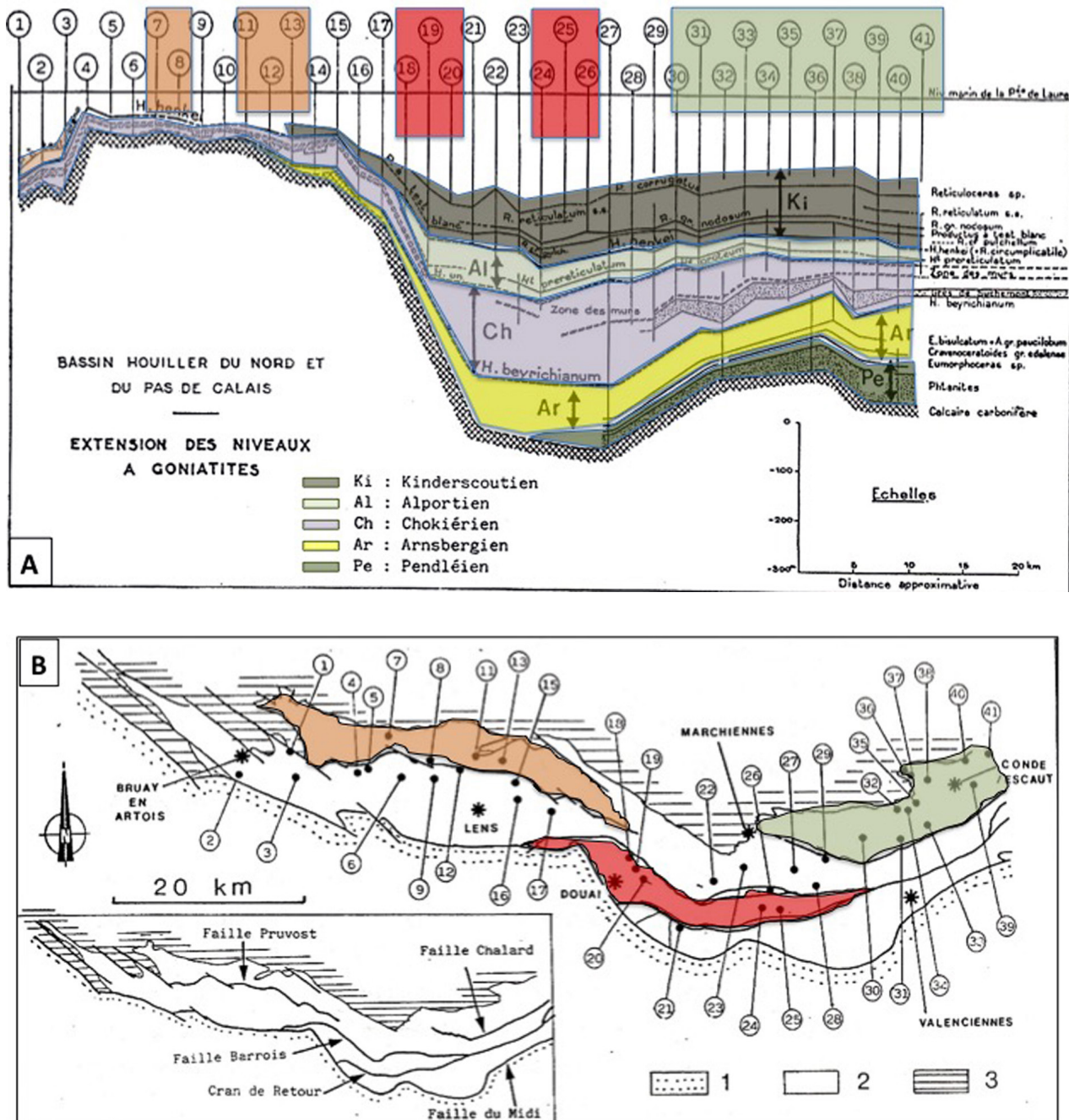


Fig. 8. — Carte et coupe ouest-est du bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais au Namurien. **A** — La coupe a été dessinée par Chalard (1960) en y reportant ses repères bio- et lithostratigraphiques identifiés en sondages. Meilliez (1989) a reporté (couleurs) les limites des sous-étages du Namurien (Paproth *et al.*, 1983). Les rectangles colorés regroupent des sondages qui participent à une même unité structurale. **B** — La carte localise tous les sondages analysés par Chalard (1960). Au moins trois unités structurales se distinguent par leur composition stratigraphique au Namurien.

Fig. 8. — Map and west-east cross-section through the Nord – Pas-de-Calais coal basin during Namurian time. **A** — Chalard (1960) drew a cross-section from bio- and lithostratigraphical analysis of boreholes. Meilliez (1989) reported the boundaries of namurian sub-stages (coloured) as defined by Paproth *et al.* (1983). Coloured rectangles gather structural units with homogeneous sedimentary record; **B** — Chalard (1960) located all the boreholes on a map; at least three structural units might be distinguished during Namurian time.

le deviennent ; les nappes les plus superficielles ont pu être au moins localement vidées autour des puits, surtout les plus anciens, faute de technologies appropriées pour étanchéifier au fonçage (Dollé, 1985). Les troupes allemandes qui ont ennoyé les puits durant la Première Guerre mondiale ont dynamité les

cuvrages au niveau des aquifères peu profonds (Meilliez & Dumont, en cours). Aujourd'hui, les vides résiduels s'ennoient lentement mais inéluctablement, sous surveillance (Lemal & Meilliez, 2017). L'étude 3H (CDF, 1999) a estimé que le niveau d'équilibre ultime devrait être atteint au début du XXIV^e siècle,

dans les conditions actuelles d'alimentation et de prélèvement. Il y a donc tout un champ d'étude pour suivre cette évolution et les phénomènes d'interaction avec les autres éléments du sous-sol (comportement géotechnique des massifs rocheux, gaz de mine). Cela nécessiterait un programme de travail pour les chercheurs et d'information destinée aux collectivités territoriales et aux citoyens.

c) La pollution

Les matériaux rocheux extraits du sous-sol sont en eux-mêmes peu polluants. Hormis l'oxydation de la pyrite qui engendre localement une acidification des eaux de lessivage à la périphérie des accumulations de matériaux issus des terrils (Denimal *et al.*, 2001). Mais les processus impliqués dans l'utilisation et les traitements du charbon et produits dérivés ont attiré nombre d'industries (chimiques, sidérurgiques et métallurgiques, manufactures diverses), elles-mêmes sources de pollutions. A quoi il faut ajouter les pollutions d'origine domestique engendrées par une population devenue dense sur ce territoire. Le traitement des friches industrielles, dont les minières, a fait l'objet d'opérations spécifiques nombreuses, portées en région par l'Etablissement Public Foncier à partir de 1995. Personne, à la fin du XIX^e siècle, n'aurait pu imaginer l'ampleur que prendrait cette question. Les sols, les eaux, sont durablement contaminés sans que l'on puisse différencier, à l'échelle des bassins versants, les poids respectifs de l'industrie, de l'agriculture, des transports et des usages domestiques. De nombreuses actions sont engagées, localement et à l'international (RESCUE, 2005) mais il faudra du temps et de la volonté pour revenir à un « bon état » des cours d'eau et de la ressource en eau, selon la volonté commune européenne (Meilliez *et al.*, 2015).

III. — CONCLUSION : UN CHAMP D'ETUDES RENOUEVÉ

La découverte progressive du gisement houiller du Nord et du Pas-de-Calais a répondu à une demande de ressource énergétique destinée d'abord au développement industriel. Les progrès de la chimie, de la physique, de la technologie ont révélé d'autres propriétés de la ressource, ce qui a suscité, par voie de conséquence, un développement industriel puis urbain inattendu et donc non maîtrisé. Les deux conflits mondiaux ont fait de ce gisement un enjeu de puissance et ont été, de fait, deux occasions de changement drastique de la stratégie de développement : le premier en favorisant une modernisation à peu près équitable pour chacune des compagnies exploitantes, le second en entraînant la nationalisation de l'industrie extractive, notamment pour rationaliser l'exploitation. La géologie (composition, structure) du gisement a fortement contraint les scénarios de développement puis de repli de l'activité

industrielle et induit une différenciation territoriale que les aménagements réalisés par l'homme ne pouvaient pas toujours compenser. Après que la décision de fermeture fut prise, peu de travaux géologiques furent engagés. Une fois le dernier géologue retraité (Jacques Chalard ; Laveine & Cuvelier, 2011), il n'a pas été remplacé. Son travail a été poursuivi dans le cadre d'une prestation du BRGM auprès de CDF. Toutefois la fin de l'extraction n'élimine pas les questions géologiques encore

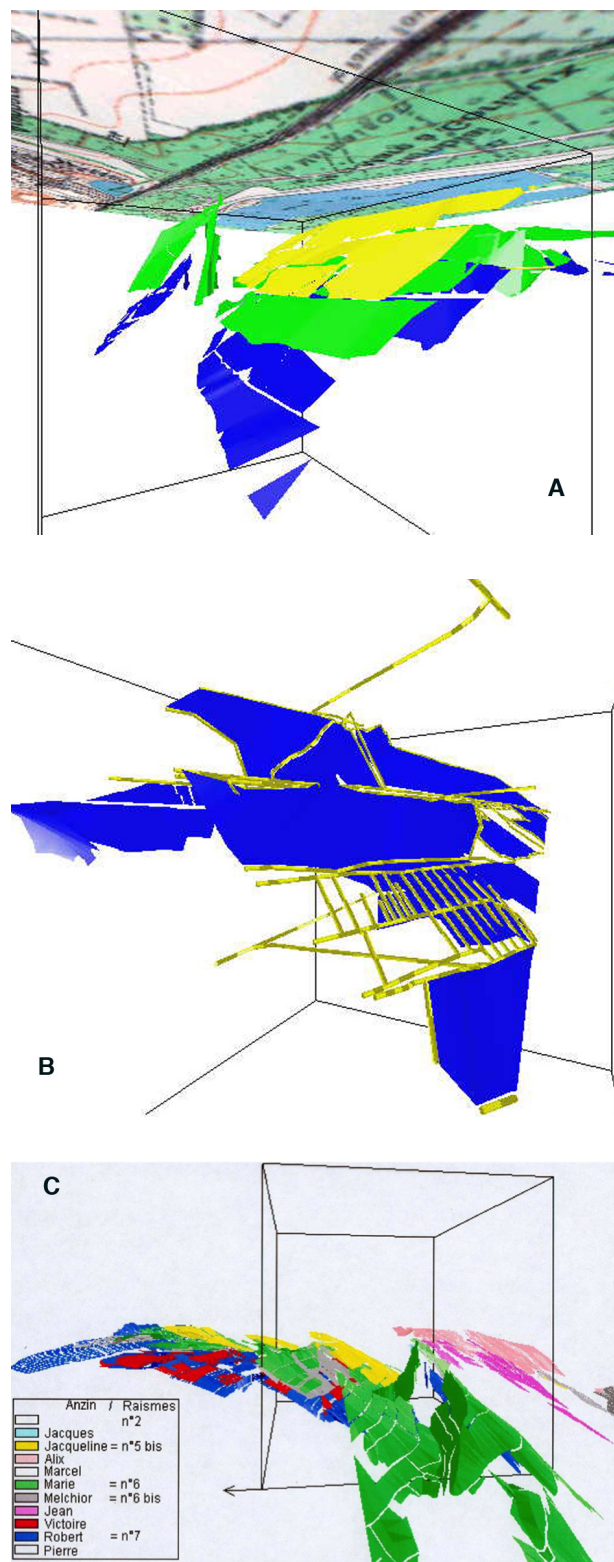


Fig. 9. — Modélisation 3D en réalité virtuelle d'un petit volume du bassin houiller sous la Mare à Goriaux, entre Valenciennes et St-Amand-les-Eaux : **A** – Modèle 3D (en regardant vers l'ouest) de chantiers exploités dans trois veines, sous la mare (les arêtes du cube de référence sont longues de 1 km) ; **B** – Représentation des chantiers exploités pour la veine Robert et des galeries les desservant ; **C** – Modèle de chantiers seuls, exploités dans 9 veines plissées et faillées.

Fig. 9. — Virtual reality 3D model of a small volume of the coal basin under the Mare à Goriaux area, between Valenciennes and St-Amand-les-Eaux : **A** - 3D model (westwards view) of works within three coal seams, below the pond (the cube reference is 1 km in length) ; **B** - The only Robert coal seam with service galleries ; **C** - Nine worked coal seams that are folded and faulted.

en suspens. Restent aujourd'hui deux champs d'études sur ce gisement pour les géologues : en géologie appliquée sur le suivi et l'analyse des évolutions du sous-sol jusqu'à stabilisation, en géologie structurale pour progresser dans la construction d'un modèle 3D de la géologie actuelle du gisement, et donc d'une approche de la paléogéographie régionale au cours de la période namuro-westphalienne.

Un premier exemple est donné par la thèse de Chalard (1960). Ce dernier a mené une analyse très rigoureuse des sondages, coupes de *bowettes* et autres chantiers (Fig. 8A). Outre la découverte d'un premier *tonstein* (Chalard, 1951), il a recalé toutes ces coupes sur les marqueurs biostratigraphiques connus alors. Mais il n'en a tiré aucune conséquence structurale, parce que « *ce n'était pas dans l'air du temps* » m'a-t-il répondu lorsque je m'en étonnais (J. Chalard, comm. pers., 1997). Dans ma propre thèse (Meilliez, 1989), j'ai donc ajouté au schéma sur lequel il avait positionné ses marqueurs les noms des étages et sous-étages définis dans le Namurien de Belgique (Paproth *et al.*, 1989). Le résultat suggère d'aller plus loin (Fig. 8B) car il met en évidence que les unités structurales limitées par des failles majeures se distinguent par leur évolution paléoenvironnementale propre durant le Namurien. Ce résultat, banal en géologie en terrain découvert, n'était pas immédiat à affirmer en contexte souterrain il y a une cinquantaine d'années. Il est encore possible et nécessaire de travailler cette question.

Le second exemple se situe à une échelle locale, kilométrique. Les documents d'archives houillères sont très riches, même si tout n'a pu être préservé des conflits et accidents divers. Entre autres, les géomètres ont levé des plans d'une précision qui permet, aujourd'hui, de reconstituer en 3D des modèles à l'échelle

kilométrique (Fig. 10). Certains de ces plans sont accessibles au Centre Historique Minier de Lewarde (Malolepszy, 2017) ; la plus grande partie est gérée par le Département Prévention Sécurité Minière (DPSM) du BRGM, à Billy-Montigny (Lemal & Meilliez, 2017). A l'occasion d'une thèse soutenue par le conseil régional Nord – Pas-de-Calais, D. Lamand avait élaboré un moteur de réalité virtuelle qui a été testé sur les plans miniers à 1/10 000 du secteur de la Mare à Goriaux, près de Raismes (Meilliez *et al.*, 1997). La qualité des plans miniers est telle qu'une méthode de triangulation conduite à partir des points cotés sur les plans permettait de générer les surfaces de veines de charbon dans un volume de l'ordre de 4 km³. La panoplie d'outils associée à la réalité virtuelle, complétée par l'intégration d'un canevas stéréographique, permettait alors de restituer les structures géologiques excavées (Fig. 9). Cette démarche qui ouvrait sur une exploitation géologique plus avancée des données, a été interrompue par la suppression du soutien financier pour des raisons non géologiques. Aujourd'hui, ce type d'outil a beaucoup progressé ; la méthode devrait être reprise car les plans miniers sont toujours accessibles et exploitables.

Remerciements. — Cette publication a beaucoup bénéficié des relectures de Bernard Maitte, François Thiébault et Alain Blicke. Des informations inédites ont été fournies par Jean-Pierre Hénichart. Des données et éléments d'illustrations ont été mis à disposition par Sandrine Lemal (UTAM-Nord / BRGM) et Patrick De Wever. Avec quelques années de recul, cet article a aussi beaucoup bénéficié des discussions approfondies avec les représentants de Charbonnages de France, de la DRIRE (aujourd'hui intégrée dans la DREAL), de BURGEAP, d'ACOM-France et du Conseil Régional Nord – Pas-de-Calais.

BIBLIOGRAPHIE

- BARROIS C. (1914). – Exposé des recherches poursuivies dans le Bassin du Nord par les conservateurs du Musée Houiller de Lille. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **XLIII** : 323-340.
- BARROIS C. (1919). – La Société Géologique du Nord pendant la guerre. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **XLIV** : xi-xvi.
- BARROIS C., BERTRAND P. & PRUVOST P. (1924). – Nouvelle carte paléontologique du bassin du Nord. *Revue de l'Industrie Minière*, **86** (1ère partie, Mémoires) : 353-361.
- BECQ-GIRAUDON J.-F. (1983). – Synthèse structurale et paléogéographique du bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais. *Mém. B. R. G. M.* (Bureau de Recherches Géologiques et Minières), **123** : 71 p.
- BERTRAND M. (1894). – Etudes sur le bassin houiller du Nord et sur le Boulonnais. *Ann. Mines*, 9e série, **V** : 569-635.
- 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*, **LXX** : 2-55.
- BOUROZ A. (1956). – Contribution à l'étude des Failles épicrotées de l'Artois. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **LXXVI** : 51-62.
- BOUROZ A., CHALARD J., DALINVAL A. & STIEVENARD M. (1961). – La structure du bassin houiller du Nord de la région de Douai à la frontière belge. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **LXXXI** : 173-220.
- BOUROZ A., SPEARS D.A. & ARBEY F. (1983). – Essai de synthèse des données acquises sur la genèse et l'évolution des marqueurs pétrographiques dans les bassins houillers. *Mém. Soc. Géol. Nord*, **XVI** : 74 p.
- BRIART A. & CORNET J. (1863). – Communication relative à la Grande Faille qui limite au sud le bassin houiller belge. *Pub. Soc. Anciens Elèves Ec. Mines Hainaut*, **11**, rééd. par CORNET J. (1898), in *Bull. Soc. Belge Géol.*, **12** : 268-299.
- CASTEL E. (1891). – Notice nécrologique sur M. DU SOUICH, inspecteur général des Mines. *Annales des Mines*, 8e série, **XIX** : 215-252.
- CDF (Charbonnages de France) (1999). – *Etude hydraulique, hydrogéologique et hydrochimique du bassin minier charbonnier du Nord – Pas-de-Calais*. Document de synthèse : 57 p. et 15 annexes ; document complet : 138 p. et 16 annexes.
- CDF (Charbonnages de France) (2000). – *Concession de Dourges*. Dossier de déclaration d'arrêt des travaux, t. 1 : 168 p.
- CDF (Charbonnages de France) (2003). – *Concession d'Anzin*. Dossier de déclaration d'arrêt des travaux, t. 1 : 188 p.
- CDF (Charbonnages de France) (2004). – *Concession de Vieux-Condé*. Dossier de déclaration d'arrêt des travaux, t. 1 : 174 p.

- C.F.P.(M.), COPESEP, R.A.A.P. & S.N.P.A. (1965). — Contribution à la connaissance des bassins paléozoïques du Nord de la France. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **LXXXV** : 273-281.
- CHALARD J. (1945). — La faille de Vicoigne du terrain houiller du nord de la France. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **LXV** : 177-196.
- CHALARD J. (1951). — Tonstein du Bassin Houiller du Nord de la France. In : 3ème Congr. Strat. Géol. Carbonifère (Heerlen) : 73-77.
- 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'Etat, Université de Lille, 1958].
- CORSIN P.M. & CORSIN P. (1970). — Paysages du Nord de la France au cours des temps géologiques. *Soc. Géol. Nord* édit. Document 1 : 6 diapositives + texte.
- CUVELETTE E. (1922). — *La destruction et la reconstitution des Mines de Lens*. Conférence donnée au CNAM (Lille) ; Imp. L. Danel, Lille : 92 p., 46 planches hors-texte. Consulté sur <http://iris.univ-lille1.fr/handle/1908/3638>
- DAHLSTRÖM C.D.A. (1970). — Structural geology in the eastern margin of the Canadian Rocky Mountains. *Bull. Can. Petrol. Geol.*, **18** : 332-406.
- DAUZAT A., DUBOIS J. & MITTERAND H. (1971). — *Nouveau dictionnaire étymologique*. France Loisirs, Paris, 4e édition : 806 p.
- DEBERLES K. (1992). — *La grande épopée des mineurs*. La Voix du Nord édit., Lille : 238 p.
- DENIMAL S., BARBECOT F., DEVER L., TRIBOVILLARD N. & MEILLIEZ F. (2001). — Traçage chimique et isotopique des eaux souterraines en relation avec les eaux de lixiviation de terrils, bassin minier du Nord – Pas-de-Calais. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, **172** : 111-120.
- DE WEVER P. & BAUDIN F. (2015). — *Du vert au noir : le charbon*. EDP sciences, Paris : 80 p.
- 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. *Travaux du COFRHIGEO*, 2e série, **3** : consulté sur <http://Annales.org/archives/cofrhigeo/houiller.html>
- DUBAR C., GAYOT G. & HEDOUX J. (1982). — Sociabilité minière et changement social à Sallaumines et à Noyelles-sous-Lens (1900 – 1980). *Revue du Nord*, **LXIV** : 364-463.
- DUMONT G. (1999). — *Sur les pas d'Antoine Delfosse, mineur de 1768 à 1823*. Edition du Centre Historique Minier du Nord – Pas-de-Calais, Coll. Mémoires de Gaillette, Lewarde : 166 p.
- DUMONT G. (2013). — La fosse Mathilde à Denain, un laboratoire de l'innovation au milieu du XIXe siècle. In : Des machines et des Hommes (Actes du colloque des 19 et 20 novembre 2012). Edition du Centre Historique Minier du Nord – Pas-de-Calais, Lewarde : 24-31.
- DUPARQUE A. (1933). — Structure microscopique des charbons du Bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais. *Mém. Soc. Géol. Nord*, **XI** (1 - 2) : 547 + 209 p.
- FOUCAULT A., RAOULT J-F, CECCA F. & PLATEVOET B. (2014). — *Dictionnaire de Géologie*. 8e édition, Dunod, Paris : 396 p.
- 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, Paris, A. & J. Picard édit., **XXVI** : 434 p.
- GOSSELET J. (1860). — *Mémoire sur les Terrains Primaires de la Belgique, des environs d'Avesnes et du Boulonnais*. Imp. Martinet, Paris : 164 p.
- GOSSELET J. (1874). — Etudes sur le gisement de la houille dans le nord de la France. *Bull. Soc. Industr. Nord France*, **6** : 102-124.
- GOSSELET J. (1874-1875). — Documents nouveaux sur l'allure du terrain houiller au sud du bassin de Valenciennes. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **II** : 112-120.
- GOSSELET J. (1881). — *Exposé de mes études sur le Terrain Houiller*. Imp. Six-Horemans, Lille : 6 p.
- GOSSELET J. (1888). — L'Ardenne. *Mém. Serv. Carte géol. France*, Paris : 881 p.
- GOSSELET J. (1908). — Note sur quelques failles communes aux terrains crétacique et houiller de l'Artois. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **XXXVII** : 80-109.
- GRAVELEAU F., AVERBUCH O., CREPIN B. & 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*, 2e série, **24** : 33-41
- H. B. N. P. C. (Houillères du Bassin du Nord et du Pas-de-Calais) (1963). — *Carte des zones stratigraphiques à la cote -300 du Bassin Houiller du Nord – Pas-de-Calais*. Dressée sous la direction d'A. BOUROZ par le Service de Ressources et Etudes géologiques des HBNPC, Imprimée par l'Institut Géographique National, Paris.
- KAISIN F. (1936). — Le Problème Tectonique de l'Ardenne. *Mém. Inst. Géol. Louvain*, **XI** : 368 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*, **XXXIV** : 398-407.
- LAPPARENT (de) A. (1890). — *La question du charbon de terre*. F. Savy, Paris : 120 p.
- LAVEINE J-P. & CANDILIER A-M. (1987). — La flore du bassin houiller du Nord de la France, biostratigraphie et méthodologie. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **CVI** : 87-93.
- LAVEINE J.-P. & CUVELIER J. (2011). — Jacques Chalard (1921-2010). *Ann. Soc. Géol. Nord*, 2e série, **18** : 3-9.
- LAVEINE J.-P., ZHANG S. & LEMOIGNE Y. (2003). — Apport des études paléobotaniques dans le Nord – Pas-de-Calais aux reconstitutions paléogéographiques du Carbonifère. *Ann. Soc. Géol. Nord*, 2e série, **10** : 111-134.
- LEMAL S. & MEILLIEZ F. (2017). — L'après-mine, un nouveau chapitre scientifique du bassin houiller du nord – pas-de-calais *Ann. Soc. Géol. Nord*, 2e série, **24** : 59-67.

- MANSY J.-L. – La réactivation du socle paléozoïque au nord-ouest de la France. *Ann. Soc. Géol. Nord*, 2e série, **10** : 135-146.
- MATRION A. (2014). – Les financements de la Faculté des Sciences de Lille par les compagnies minières : un simple échange de bons procédés ? *Mém. Soc. Géol. Nord*, **XVII** : 49-58.
- MEILLIEZ F. (1989). – *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. (2003). – L'ingénierie écologique au regard de l'expérience de l'exploitation des bassins charbonniers d'Europe. In : LÉVÊQUE C. & VAN der LEEUW S. eds, *Quelles natures voulons-nous ?* Elsevier, Amsterdam : 236-245.
- MEILLIEZ F., AMEDRO F. & OUDOIRE T. (2014). – Les peintures murales de l'Institut des Sciences naturelles de Lille : un patrimoine à préserver. *Mém. Soc. Géol. Nord*, **XVII** : 139-150.
- MEILLIEZ F., LAMAND D. & CHAUDY C. (1997). – Procédure de restitution 3D en réalité virtuelle de structures géologiques excavées. *Documents du BRGM*, **274** : 49-52.
- MEILLIEZ F., PRYGIEL J. & COULON H. (2015). – Etat des eaux et protection de la ressource dans le bassin Artois-Picardie. *Ann. Soc. Géol. Nord*, 2e série, **22** : 11-14.
- OUDOIRE T., DELBECQUE S. & DEMARQUE D. (2008). – Les collections du Musée d'Histoire Naturelle de Lille : V. – La collection de paléobotanique du Carbonifère. *Ann. Soc. Géol. Nord*, 2e série, **15** : 39-45.
- PAPROTH E., DUSAR M., BLESS M.J.M., BOUCKAERT J., DELMER A., FAIRON-DEMARET M., HOULLEBERGS E., LALOUX M., PIERARD P., SOMERS Y., STREEL M., THOREZ J. & TRICOT J. (1983). – Bio-and lithostratigraphic subdivisions of the Silesian in Belgium : a review. *Ann. Soc. Géol. Belgique*, **106** : 241-283.
- PRUVOST P. (1930). – Sédimentation et subsidence. In : Centenaire de la Société Géologique de France. Livre jubilaire (1830-1930) : 545-564.
- PRUVOST P. (1940). – Charles BARROIS (1851-1939) : notice nécrologique. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **LXV** : 29-57.
- PRUVOST P. (1945). – Séance du 20 juin 1945. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **LXV** : 23-25.
- RADAU R. (1876). – La production houillère en Angleterre et en France. *La Revue des Deux Mondes*, **17** : 53 p. ; World Wide Web address : <http://fr.wikisource.org> (consulté le 12/12/2016).
- 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.
- SAMUEL-LAJEUNESSE E. (1948). – Ernest Cuvelette et la reconstruction des houillères sinistrées (1869-1936). World Wide Web address : <http://www.annales.org/archives/x/cuvelette.html> (consulté le 12/05/2017).
- WISEUX A. (1991). – *Mineur de fond*. Plon édit., Paris : 602 p.
- VRIELYNCK B. (2012) – StratTime: an intelligent stratigraphic converter – CCGM (Comité de la Carte Géologique du Monde). World Wide Web address : <https://ccgm.org/fr/27-charte-chronostratigraphique> (consulté le 10/05/2017).
- WILLIS B. (1891-1892). – The mechanics of Appalachian structure. *U. S. 13th Ann. Rept.*, Washington : 217-281, 96 pl. h-t.

WEBOGRAPHIE

- Annales des Mines : <http://annales.org/archives/cofrhigeo/houiller.html>
- Comité de la Carte Géologique du Monde : <https://ccgm.org/fr/27-charte-chronostratigraphique>
- International Commission of Stratigraphy : <http://www.stratigraphy.org/index.php/ics-chart-timescale>.
- Légifrance : <https://www.legifrance.gouv.fr/> : code minier nouveau : mars 2017.