

## Das Steinkohlenrevier Nord-Pas de Calais: Geologische Aspekte

### Le Bassin minier du Nord-Pas de Calais : aspects géologiques

#### Die Lagerstätte als geologisches Protokoll und Ausgangspunkt

Nach dem Steinkohlenrevier im Ruhrgebiet ist das Steinkohlenrevier Nord-Pas de Calais das ausgedehnteste in Europa: Es umfasst ein Fläche von 120 km x 12 km x 1,2 km. Außer seiner Ausdehnung ist es sein besonderes Charakteristikum, dass es vollständig unter Tage liegt und nicht zu Tage ausbeißt.

Diese Disposition erklärt auch, warum sich seit mehr als 300 Jahren – ob unbewusst oder leichtsinnigerweise – ein Ballungszentrum mit mehr als 1,2 Mio. Einwohnern über der bauwürdigen Lagerstätte entwickeln konnte. Darüber hinaus war ein großer Teil der Oberfläche zunächst ein Feuchtgebiet, bedingt durch die gleichzeitige Existenz eines weichen Reliefs, einer relativen Wasserundurchlässigkeit des Gebietes und einer geringen Teufe der Wasser führenden Schichten unter Tage. Diese besonderen geologischen Verhältnisse resultieren aus der geologischen Geschichte Nord-West-Europas: Wenn man die Dynamik berücksichtigt, lässt sich ein künftiges Szenario mit seiner natürlichen Evolution des Gebietes wahrscheinlich machen – d. h. man kann schon heute die Hebungs- und Erosionszonen von denen der Absen-

#### Un constat et un enjeu

Après celui de la Ruhr, le Bassin minier du Nord – Pas de Calais est le plus étendu d'Europe : il est circonscrit dans un volume de 120x12x1.2 km. Outre sa continuité, sa caractéristique essentielle est qu'il est entièrement souterrain.

Cette disposition explique que depuis près de 300 ans, inconsciemment, une conurbation de plus de 1.2 million d'habitants ait pu se développer en surface, au-dessus de l'exploitation. De plus, une large part des terrains superficiels étaient initialement des zones humides, à la fois à cause de la mollesse des reliefs, de la relative imperméabilité de ces terrains et de la faible profondeur des aquifères souterrains. Ces dispositions géologiques particulières résultent de l'histoire géologique de l'Europe du Nord-Ouest. En comprendre la dynamique permet de cerner un scénario probable d'évolution naturelle du territoire – c'est-à-dire différencier les zones en soulèvement/érosion des zones en subsidence/sédimentation -, à l'échelle géologique, durant le prochain million d'années.

En revanche, c'est l'hétérogénéité locale de la structure géologique qui rend compte de l'hétérogénéité de la distributi-

*Europe. Mining of the deposits initially was carried out without any specific knowledge of the deposit, but it contributed decisively to the development of the worldwide knowledge of coal and its deposits. Today, the Nord-Pas-de-Calais coal-field represents an important reference model for the whole world in the developmental process toward a new balance between nature and interaction for the human society located on the deposit. It is important that these consequences arising from mining be thought about and researched in a universal scientific sense so as to control them.*

#### The Nord-Pas-de-Calais coal-field — geological aspects

*The deposits of the Nord-Pas-de-Calais coal-field are in their dimensions a unique geological formation lying completely underground and, as a consequence of mining activity, support a densely built-up area of European dimensions. Originally it was a segment of a mountain-chain front that was formed about 300 million years ago which includes the mined coal deposits from America through to Asia, thus incorporating also*

kung und Sedimentation auf geologischem Gebiet während der nächsten Jahrtausende unterscheiden.

Wiederum ist es die lokale Unterschiedlichkeit der geologischen Strukturen, die die Heterogenität der Verteilung der untertägigen Hohlräume bedingt und, davon ausgehend, die Verteilung der unterschiedlichen unausweichlichen Senkungen und deren übertragene und untertägige Konsequenzen besonders in der Hydrologie bedingt. Das Verständnis für diese Prozesse macht uns nachdenklich – und dies sowohl im lokalen als auch im zeitlichen Rahmen über ein Jahrhundert hinweg, d. h. im Maßstab des Verstärkungsvorgangs der Region.

In der Tat war eine solche wissenschaftliche Analyse-Situation vor 300 Jahren für eine Zukunftsforschung kaum möglich – vielmehr anlässlich der Gründung der Bergwerksgesellschaft von Anzin am Anfang ein einvorhersehbares, industrielles und gesellschaftliches Abenteuer und nur a posteriori möglich. Und es liegt im Interesse des gesamten Steinkohlenreviers Nord-Pas de Calais über die Entstehung, das Ergebnis und die Folgen dieser Entwicklung zu berichten.

#### Die Lagerstätte: eine gemeinsame und spezifische geologische Angelegenheit

Die Geologen konnten mehrere orogenetische<sup>1</sup> (gebirgsbildende) Zyklen während der letzten drei Mill. Jahre nachweisen. In jedem lässt sich eine Phase der Konvergenz zwischen zwei lithosphärischen<sup>2</sup> Platten nachweisen, die vom Zurückweichen und Verschwinden des sie ehemals trennenden Ozeans begleitet wird. Nach der Geometrie der Konturen dieser Platten markiert eine mehr oder weniger frontale Kollision mehrerer Segmente ihre zukünftige gemeinsame Grenze. Die kinetische Energie ihrer relativen Verschiebung bedingte, dass ihre Auflösung mehrere Mio. Jahre bis mehrere 10 Mio. Jahre andauerte: Es kam zur Bildung von Reliefs (Gebirgsketten), welche die Abbruchkante markieren und deren Länge im Minimum eine Größenordnung von 1000 km besitzt. Aktuell vergleichbar sind die seit 53 Mio. Jahren bestehende Situation zwischen Indien und Asien bzw. die seit 65 Mio. Jahren existierende zwischen Afrika und Europa, wobei der Himalaya und die Alpen die entsprechenden Kanten markieren. Gleiches hat sich auch vor ungefähr 300 Mio. Jahren zwischen den großen Plattenstücken ereignet, die sich vom Superkontinent (vor 600 Mio. Jahren) abgelöst haben und danach durch die südliche Hemisphäre gewandert sind, um schließlich gegen den euro-amerikanischen Superkontinent zu prallen. Die Abbruchkante liegt in der Zone zwischen den Wendekreisen: Es ist die Variskische Kette, deren Spuren man noch heute von den Appalachen bis nach Kasachstan hinein wiederfindet (Abb. 1).

Das Segment der Abbruchkante, das die Steinkohlenlagerstätten in Nordwest-Europa einschließt, ist vom Süden der Britischen Inseln bis nach Polen hinein wieder anzutreffen; die Lagerstätte bildet den nördlichen Rand des Gesamtabbruchs. Bei der Kollision sind die angehäuften Sedimente (mit einem Alter zwischen 600 und 350 Mio. Jahren) auf den zusammenprallenden Platten zu Schuppen verändert sowie ständig gefaltet und verworfen worden (Abb. 2). Selbstverständlich waren die so geformten Reliefs (Gebirgsketten) während ihrer Bildung nach und nach der Erosion ausgesetzt, die nicht löslichen Produkte (z. B. Sand und Ton) wurden auf der Vorderseite neu, d. h. auf Grund eines hydrographi-

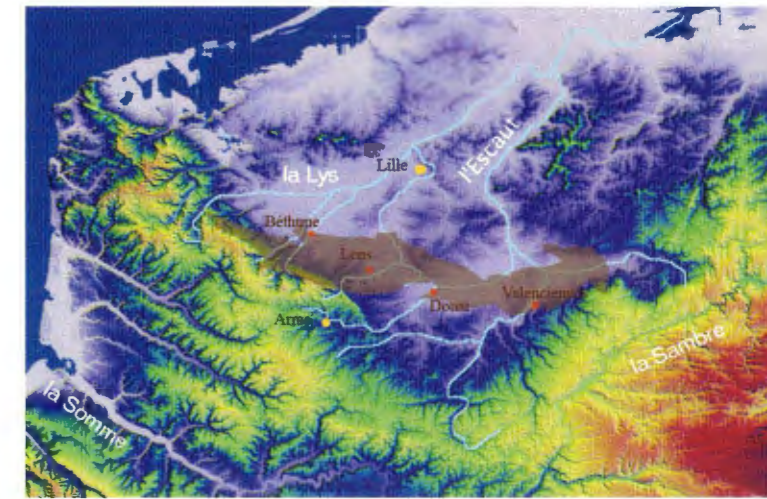


Abb. 1: Das Steinkohlenrevier Nord-Pas de Calais: Relief und Wasserläufe. Digitales Geländemodell von B. Van Vliet-Lanoë nach Satellitenbildern aus dem Jahre 2003 / Fig. 1: Le Bassin minier du Nord-Pas de Calais: reliefs et cours d'eau. Modèle numérique de terrain réalisé par B. Van Vliet-Lanoë à partir d'images satellitaires en 2003

on des excavations souterraines et, partant, de la répartition de l'inéluctable subsidence différentielle et de ses conséquences superficielles et souterraines, notamment sur l'hydrologie. La compréhension des processus en jeu permet de raisonner, localement et à l'échelle du siècle, c'est-à-dire à l'échelle des projets de développement urbains.

Evidemment, une telle posture d'analyse scientifique n'était guère possible il y a 300 ans pour alimenter une prospective, lors de la création de la Compagnie des Mines d'Anzin, à l'aube de ce qui allait être une imprévisible aventure industrielle et sociétale. Elle n'est possible qu'a posteriori. Et c'est l'intérêt d'universalité actuelle du Bassin minier du Nord – Pas de Calais de pouvoir nous conter ce qu'il est, ce qu'il nous a apporté et nous laisser comprendre ce qu'il peut encore nous apporter.

#### Ce qu'il est : un objet géologique commun et spécifique

Les géologues ont pu identifier plusieurs cycles orogéniques<sup>1</sup> durant les 3 derniers milliards d'années. Dans chacun d'entre eux peut être reconnue une phase de convergence entre deux plaques lithosphériques<sup>2</sup>, associée à la disparition de l'espace océanique qui les séparait. Selon la géométrie du contour de ces plaques, une collision plus ou moins frontale marquera plusieurs segments de leur future frontière commune. L'énergie cinétique de leur déplacement relatif est telle que sa dissipation dure plusieurs millions à plusieurs dizaines de millions d'années, par création de reliefs (chaînes de montagnes) qui jalonnent la cicatrice, et dont la largeur est au minimum de l'ordre de 1000 km. C'est actuellement le cas entre l'Inde et l'Asie depuis 53 Ma, entre l'Afrique et l'Europe depuis 65 Ma, dont les Himalaya et les Alpes jalonnent les cicatrices respectives. Cela s'est aussi produit il y a environ 300 Ma, entre d'imposants morceaux de plaques qui s'étaient détachés d'un supercontinent (vers 600 Ma), puis ont traversé tout l'hémisphère sud pour venir percuter le supercontinent euraméricain. La cicatrice se trouvait alors dans la zone intertropicale ;



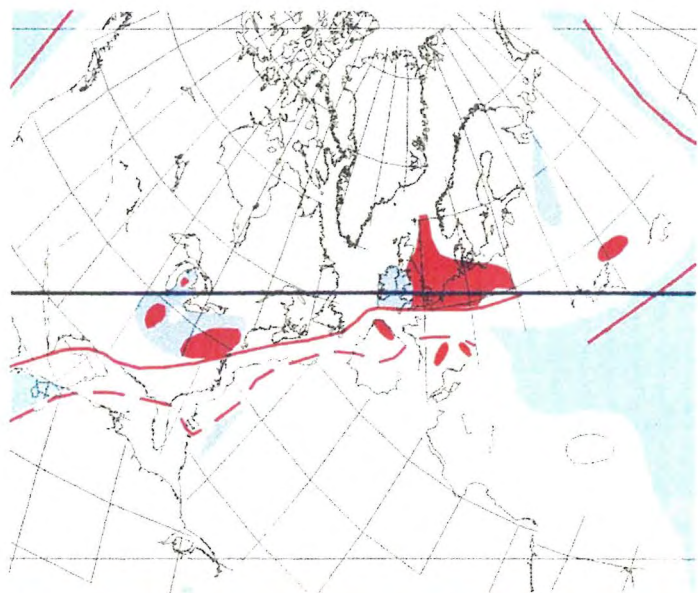


Abb. 2: Paläographische Rekonstruktion von B. Vrielynck aus dem Jahre 1997 vor 310 Mio. Jahren. Die roten Punkte markieren die bekannte Ausdehnung der Steinkohlenflöze am nördlichen Rand der Variskischen Zone. / Fig. 2: Reconstitution paléographique réalisée par B. Vrielynck en 1997 vers 310 Ma. Les tâches rouges marquent l'extension reconnue de gisements houillers, en frange septentrionale de la Chaîne Varisque

schon Netzes von weiten Ebenen vor den Bergmassiven und den alluvialen Küstenebenen, verteilt. Das Meer zwischen diesen beiden lithosphärischen Platten wurde durch diese Vorgänge mehr und mehr zugeschüttet, bis es schließlich vor rd. 290 Mio. Jahren vollständig verschwand. Eingeschlossen in diese Ablagerungen wurden mehr oder weniger mächtige und uneinheitlich abgelagerte Steinkohlenflöze; einige haben sich in den Küstenebenen geformt, andere zwischen den Gebirgen in den an Seen und Gewässern reichen Gebieten.

Die Steinkohle selbst stammt aus einer unter intertropischem Klima reich entwickelten Waldschicht; sie entstand während einer Periode tektonischer Ruhe, deren plötzliche, brutale Zerstörung aber aus einer neuen tektonischen Krise resultiert, die auch die Reliefs (Gebirgsketten) entstehen ließ.<sup>3</sup> Indonesien liefert ein aktuelles Beispiel für diese Abfolge von Ereignissen: Die Vegetation, die urplötzlich von Wasser und frischen Sedimenten aus den angrenzenden Gebirgen überdeckt wird, versteinert, gegenwärtig beenden die Verbraucher der Energieressourcen die Oxidation dieser alten Vegetation, indem sie sie in unterschiedlichen Kraftmaschinen verbrennen. Ein Kohlenflöz kann mehrere Zyklen eines wieder entstandenen und schließlich zu Grunde gegangenen Waldes repräsentieren, während Ton, Sandstein und die Konglomerate<sup>4</sup> die Erosionsprodukte von jungen Gebirgen und intensiven seismischen Krisenzeiten sind. Alle sedimentären Lagerstätten sind anschließend allmählich umgewandelt worden, und zwar „kurze Zeit“<sup>5</sup> nach dem Sedimentationsvorgang. Daher rührt die Komplexität der tektonischen Strukturen und ihre Heterogenität im regionalen Maßstab (Abb. 2/3).

Im Nordwesten Europas datieren die synorogenen (d. h. die aus der Erosion der neuen Gebirgsketten stammenden) Sedimente aus den Zeiträumen zwischen rd. 325 und 290 Mio. Jahren. Danach kam es bis vor rd. 120 Mio. Jahren zu Erosionsvorgängen, und der neu gebildete Superkontinent Gondwana zerbrach. Die Öffnung des nordatlantischen Ozeans trennte den amerikanischen vom euro-asiatischen Kontinent. In Nordwest-Europa drückt sich dies im Spiel der Verwerfungen aus, das die fugen-

c'est la Chaîne Varisque dont on retrouve aujourd'hui les traces des Appalaches au Kazakhstan.

Le segment de cicatrice qui inclue les gisements houillers de l'Europe du NO est reconnu du Sud des Îles Britanniques jusqu'en Pologne; il représente la frange septentrionale de la cicatrice générale. Lors de la collision, les sédiments accumulés (~600 Ma à 350 Ma) sur les plaques en confrontation se sont écaillés, ont été plissés et faillés de façon progressive et continue. Bien sûr, les reliefs formés étaient soumis à érosion au fur et à mesure de leur formation, les produits insolubles (sables et argiles) étant redistribués à l'avant, grâce à un réseau hydrographique de piémonts et de plaines alluviales côtières. L'espace marin compris entre les deux plaques lithosphériques s'est ainsi comblé peu à peu, jusqu'à disparaître totalement (~290 Ma). Intercalées dans ces dépôts, les veines de charbon sont plus ou moins épaisses et ramifiées; certaines se sont formées dans les plaines côtières, d'autres dans des environnements lacustres, intramontagneux.

Le charbon proprement dit est issu d'un couvert forestier abondamment développé sous climat intertropical, durant une période de quiescence tectonique, et dont la destruction brutale résulte d'une nouvelle crise tectonique, génératrice de reliefs<sup>3</sup>. L'Indonésie donne une image actuelle de cet enchaînement de processus. Les végétaux, soudainement recouverts par l'eau et les sédiments frais issus de l'érosion des reliefs voisins récents, ont été fossilisés. Aujourd'hui, les consommateurs de ressources énergétiques achèvent l'oxydation de ces anciens végétaux en les brûlant dans divers moteurs. Une veine de charbon peut ainsi représenter plusieurs cycles de forêt reconstituée puis détruite. Tandis que les argiles, les grès et les conglomérats<sup>4</sup> représentent les produits d'érosion des reliefs jeunes et proches durant des périodes de crises sismiques intenses. L'ensemble des dépôts sédimentaires a ainsi été progressivement déformé « peu de temps<sup>5</sup> » après avoir été déposé. D'où la complexité des structures tectoniques et leur hétérogénéité à l'échelle régionale (fig. 2/3).

En Europe du NO, les sédiments synorogéniques (issus de l'érosion des nouveaux reliefs) sont datés de ~325 à ~290 Ma. Ensuite, jusque ~120 Ma l'érosion a prévalu, et le nouveau supercontinent créé, le Gondwana, s'est fracturé. Notamment, l'ouverture de l'océan Atlantique Nord a séparé le continent américain du continent euro-asiatique. En Europe du NO, cela s'est traduit par des jeux de failles séparant des blocs jointifs mais relativement mobiles par rapport à leurs voisins. Le continent a de nouveau été recouvert par la mer qui y a laissé un nouvel ensemble sédimentaire: la craie, et ses variations plus ou moins argileuses. Enfin, il y a ~65 Ma, au SE, le supercontinent africain est entré en collision avec le supercontinent euro-asiatique, initiant la Chaîne des Alpes, entre autres; nous sommes toujours dans ce processus. Le bombement de l'Ardenne et du Massif Schisteux Rhénan, les faibles reliefs de l'Artois, du Boulonnais, du Pays de Bray sont des effets distants de cette nouvelle confrontation entre plaques lithosphériques. Et le contact a été suffisamment brutal pour que la sédimentation change soudainement de carbonates (craie) à des détritiques (sables et argiles) (fig. 4).

Il y a quelques siècles, des affleurements naturels de « charbon de terre » ont permis sa découverte dans les Îles Britanniques, dans le Boulonnais, en Belgique, en Allemagne, en Pologne. Dans le Hainaut puis l'Artois, cette découverte ne résulte que de la hardiesse à investir d'industriels, dès la fin du XVII<sup>ème</sup> siècle, persuadés de la présence nécessaire en profondeur du gisement entre le Borinage (Hainaut belge) et le Boulonnais. Le gisement a été

dichten, aber relativ beweglichen Blöcke im Vergleich zu den benachbart gelegenen zerteilt. Der Kontinent wurde wieder vom Meer überdeckt, das auf ihm ein neues sedimentäres Ensemble zurückließ: die Kreide und ihre mehr oder weniger tonigen Varianten. Schließlich kollidierte vor rd. 65 Mio. Jahren im Südosten der afrikanische Superkontinent mit dem euro-asiatischen; bei diesem Vorgang, der bis heute andauert, wurden u. a. die Alpen gebildet. Die Heraushebung der Ardennen und des Rheinischen Schiefergebirges sowie der niedrigen Gebirgszüge im Artois, im Boulonnais und in Bray sind entfernte Effekte dieser neuen Kollision zwischen den lithosphärischen Platten. Der Kontakt war dabei so heftig, dass die Sedimentation sofort vom Karbonat (Kreide) zu Trümmern (Sand und Ton) wechselte (Abb. 4).

Vor einigen Jahrhunderten haben die natürlichen Ausbisse der „erdnahen Kohlenlagerstätten“ ihre Entdeckung auf den Britischen Inseln, im Boulonnais, in Belgien, Deutschland und in Polen ermöglicht. Zunächst im Hainaut, danach im Artois entdeckte man die Steinkohle durch den Wagemut einiger Industriellen am Ende des 17. Jahrhunderts, die von der Präsenz der Lagerstätte zwischen der Borinage (Hainaut/Belgien) und dem Boulonnais überzeugt waren. Die Lagerstätte wurde allmählich von Ost nach West unter einer zwischen 25 m und 200 m mächtigen Sedimentschicht entdeckt: Diese einzigartige Disposition vermied das Abführen saurer, anderswo aktiver Wasser.

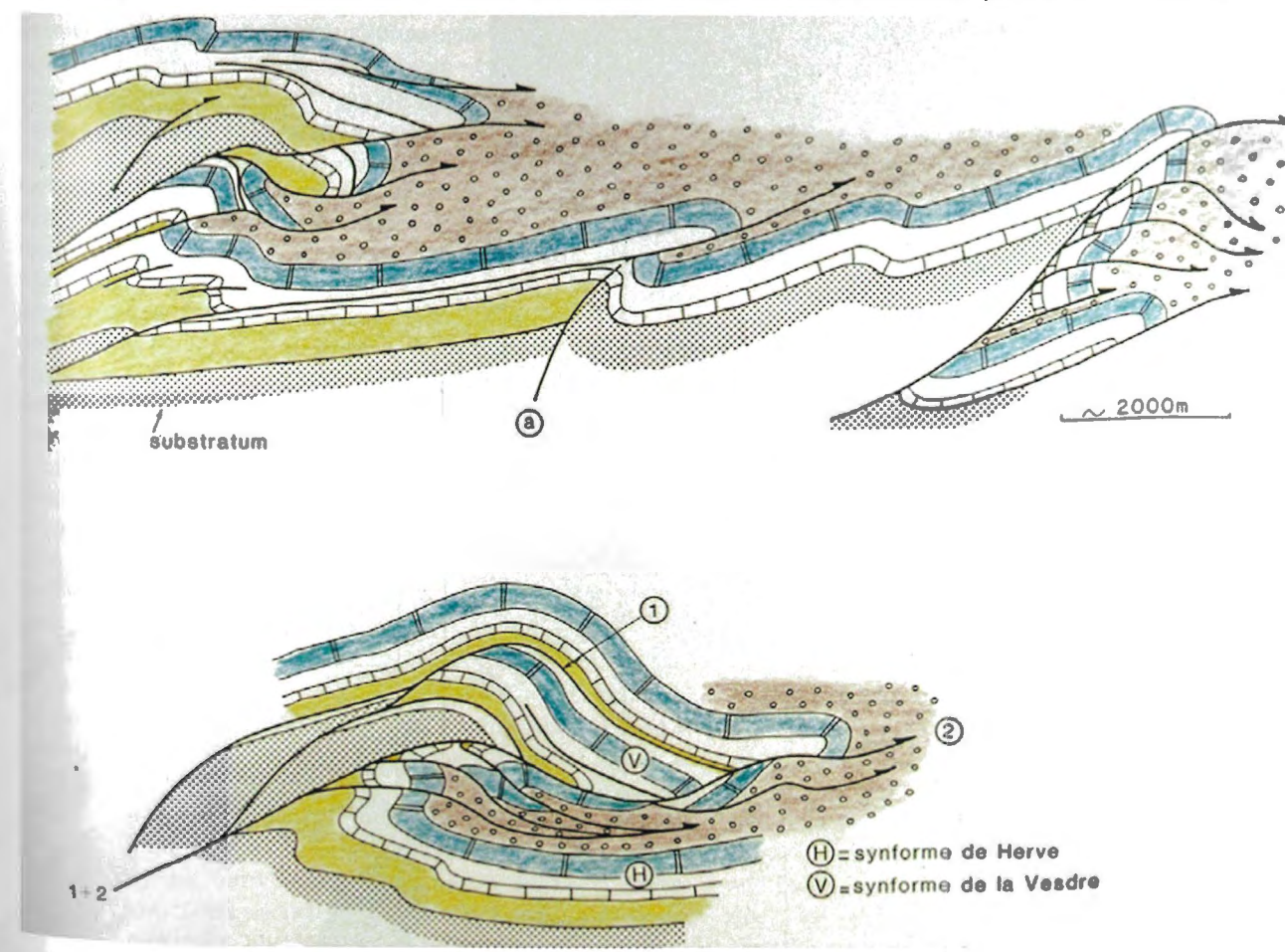
identifié progressivement d'Est en Ouest sous une couverture sédimentaire épaisse de 25 à 200 m. Cette disposition, unique, nous évite le désagrément du drainage acide, actif ailleurs.

### Ce qu'il a apporté : une connaissance scientifique de référence universelle

Le second tiers du XIX<sup>ème</sup> siècle est marqué par l'élaboration des bases de la biostratigraphie, c'est-à-dire par la compréhension que la suite des temps géologiques est jalonnée par une succession d'espèces vivantes : la connaissance de cette succession et l'identification d'espèces dites caractéristiques permettent, en retour, d'attribuer une datation relative aux terrains qui les contiennent. Le géologue dispose ainsi d'un critère de discrimination devant une série sédimentaire monotone de grès, argiles et charbons alternés.

Cette époque était celle du développement de l'extraction houillère dans le Hainaut, belge et français, ainsi qu'en Angleterre, dans les régions de Liège, Aachen et dans la Ruhr. Les connaissances recueillies dans ces régions ont donc beaucoup contribué à l'élaboration de l'échelle biostratigraphique internationale. L'apport du Bassin minier du Nord - Pas de Calais s'est accru avec la découverte de la partie occidentale du gisement en Artois à partir de 1841.

Abb. 3: Geologische Schnitte durch Nordfrankreich (oben) und den Nordosten Belgiens (unten). Die Steinkohlengebiete zeigen Trümmersedimente (Sandstein und Ton), in die die Kohlenlagen eingelassen sind. Die unterschiedlichen „Bodenschichten“ sind von Störungen durchschnitten und die Störungen selbst sind durch die fortschreitende Deformation quasi „engerollt“ / Fig. 3: Coupes géologiques génériques valides pour le Nord de la France (haut) et le Nord-Est de la Belgique (bas). Les terrains houillers représentent les sédiments détritiques (grès et argiles) dans lesquels sont intercalées les couches de charbon. Les différentes „lames de terrain“ découpées par les failles, et les failles elles-mêmes sont comme „enroulées“ par la déformation progressive





## Die Lagerstätte: eine wissenschaftliche Erkenntnis mit universeller Bedeutung

Das zweite Drittel des 19. Jahrhunderts ist geprägt von der Erarbeitung der Grundlagen der Biostratigraphie, d. h. von dem Verständnis, dass die geologische Zeitenfolge durch eine Abfolge von lebendigen Arten und Biosphären charakterisiert worden ist. Die Kenntnis dieser Abfolge und die Identifikation der sie charakterisierenden Arten erlauben rückwirkend eine relative Datierung der sie enthaltenden Erdschichten. Der Geologe verfügt auf diese Weise über ein wichtiges Unterscheidungs- und Auswahlkriterium für eine Serie von wechselnden gleichförmigen Sedimentationen aus Sandstein, Ton und Kohle.

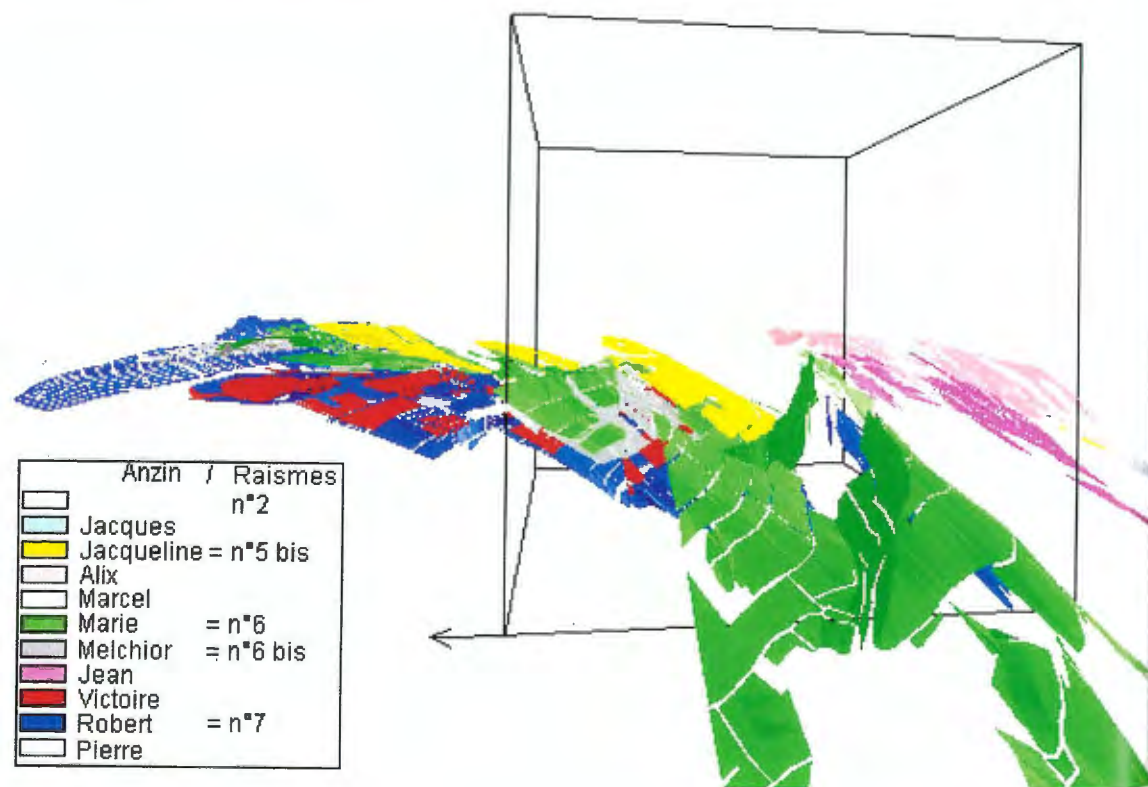
Diese Epoche ist diejenige, der der Steinkohlenbergbau im belgischen und französischen Hainaut, in England sowie in den Regionen um Lüttich, Aachen und an der Ruhr seine Entwicklung verdankt. Die erworbenen Erkenntnisse aus diesen Lagerstätten haben sehr zur Erarbeitung der internationalen biostratigraphischen Skala beigetragen. Der Beitrag des Steinkohlenreviers Nord-Pas de Calais wuchs durch die Entdeckung des westlichen Teils der Lagerstätte im Artois seit dem Jahre 1841.

Der wissenschaftliche Wert dieser Erkenntnisse von den Lagerstättenverhältnissen wuchs allmählich und mit der Entwicklung des Bergbaus. Sie wurden geduldig gesammelt von Pionieren wie Charles Du Souich (1812-1888), Jules Gosselet (1832-1916), Charles Barrois (1851-1939), Paul Bertrand (1879-1944), Pierre Pruvost (1890-1967), André Duparque (1892-1964) und Paul Corsin (1904-1983), deren internationale Reputation in dem Erkenntniszuwachs über die unterschiedlichen Lagerstättenbereiche begründet liegt. Die wissenschaftliche Fakultät in Lille hat sich einen Weltruf in der Erforschung der fossilen Vegetation und ihrer Pollen sowie zum Beitrag dieser Vegetation bei der Zusammensetzung der Kohle erworben.

Jean-Pierre Laveine, der Konservator im Naturkundemuseum Lille, ist der letzte Repräsentant dieser Linie; er ist als Experte selbst im asiatischen Steinkohlenbergbau anerkannt.

Auf geologischem Gebiet lässt sich noch ein weiterer Beitrag zum internationalen Vokabular anführen, der von den Bergleuten des Steinkohlenreviers Nord-Pas de Calais herrührt. Das Wort „Verwerfung“ hat eine universelle Verwendung gewonnen; auch die Bezeichnungen „liegend“ und „steil“, welche die Lage des Flözes als flach oder sehr steil kennzeichnen, sind von den franko-belgischen Bergleuten erfunden worden.

Abb. 4: Neuere Erkenntnisse durch 3D: Die unterschiedlichen Kohlenflöze auf dem Niveau von Anzin und Raismes (im Osten des Steinkohlenreviers) / Fig. 4: Nouvelles connaissances apportées par l'information numériques en 3D: les différents veines de charbon au niveau d'Anzin et de Raismes (Est du Bassin Minier)



La valorisation scientifique de ces données, recueillies patiemment au fur et à mesure du développement de l'extraction, a été faite par des pionniers dont la réputation internationale s'est bâtie dans des domaines de plus en plus spécialisés, en fonction des progrès de la connaissance. On citera Charles Du SOUICH (1812 – 1888), Jules GOSSELET (1832 – 1916)<sup>6</sup>, Charles BARROIS (1851 – 1939), Paul BERTRAND (1879 – 1944), Pierre PRUVOST (1890 – 1967), André DUPARQUE (1892 – 1964), Paul CORSIN (1904 – 1983). L'école lilloise s'est forgée un renom universel dans l'étude des fossiles végétaux et de leurs pollens, et à la contribution de ces végétaux dans la constitution des charbons. Jean-Pierre LA-VEINE, actuel conservateur du Musée d'Histoire Naturelle de Lille, est le dernier représentant de cette lignée, expertisant encore les exploitations asiatiques.

Dans le domaine géologique, on peut ajouter une contribution au vocabulaire international, venue des mineurs du bassin minier Nord – Pas de Calais. Le mot de « faille » a reçu une audience universelle ; les mots de « plateur » et « dressant », qui désignent des couches respectivement peu ou très inclinées, ont été forgés par les mineurs du Hainaut franco-belge.

## Ce qu'il doit encore apporter : une référence universelle sur le comportement d'un géo-écosystème modifié par l'homme (passé industriel, urbanisation)

Aujourd'hui, la phase d'extraction du charbon est terminée. Il n'est pas envisageable de la reprendre, à la fois pour des raisons techniques, économiques et environnementales. En revanche, la

## Die Lagerstätte und die Folgen: eine weltweite Referenz für das Verhalten eines durch den Menschen veränderten Geoökosystems (einschließlich der industriellen Vergangenheit und des Städtebaus)

Heute ist die Zeit des Steinkohlenabbaus beendet und es ist nicht wahrscheinlich, dass er je wieder aufgenommen werden wird – weder technische, wirtschaftliche Gründe noch solche der Umwelt sprechen dafür. Hingegen ist die Phase der Harmonisierung und der Schaffung eines neuen Gleichgewichts des Geoökosystems weit davon entfernt abgeschlossen zu sein. Sie hängt zum Teil auch vom Verhalten der menschlichen Gesellschaft ab, die auf der Lagerstätte lebt, denn das Steinkohlenrevier Nord-Pas de Calais ist eines der ersten postindustriellen dieser Größe in der Welt, das durchgehend unter Tage liegt und auf der eine dichte Bevölkerung lebt (Abb. 3). Das Revier kann deshalb eine weltweit wirksame, experimentelle Vorreiterrolle einnehmen, um Prozesse auf dem Weg der Entwicklung zu einem vollkommen neuen Gleichgewicht verstehen zu können. Diese einzigartige Situation rechtfertigt das Interesse an der Lagerstätte und dem Revier, doch müssen die Herausforderungen präzisiert werden.

In der Endphase der variskischen Deformation (s. o.) muss das spätere Steinkohlenrevier im Artois der Grund eines sumpfigen Golfes gewesen sein, während sich das Hainaut – das diese erwähnte Phase bereits hinter sich gelassen hatte – noch in der Phase der Deformation gegen die widerstandsfähigere Kante des Brabant befand. In der Konsequenz haben sich sehr dünne, verzweigte, später verworfene und gefaltete Kohlenflöze entwickelt. Der Abbau einer derartigen Lagerstätte in großer Teufe zwischen 150 m und 1200 m bereitete grundlegende technische und finanzielle Probleme, z. B. eine schwierige und teure Mechanisierung sowie anstrengende und auch gefährliche Arbeitsbedingungen. Außerdem setzt die aktuelle Entwicklung des Städtebaus oberhalb der Lagerstätte die Bevölkerung heute inakzeptablen Risiken aus. Zwei weitere Gründe stehen einer möglichen Wiederbelebung des Bergbaus in Nord-Pas de Calais entgegen: Leicht zugängliche und daher preiswerte Kohlen sind weltweit in großem Umfang verfügbar, und die Verbrennung der Kohle trägt in signifikanter Weise zum Treibhauseffekt bei.

Die Antwort der beanspruchten Lagerstätte hängt von der Methode des ehemaligen Bergbaus ab. Im Nord-Pas de Calais wurde fast ausnahmslos der „vollständige Langfrontabbau“ als Abbauverfahren eingesetzt, bei dem ein Flöz auf einer Länge von 100 m bis 200 m in voller Mächtigkeit hereingewonnen wird. Flächen von einigen bis zu einigen Dutzend Hektar Größe und mit Flözen von 1 m bis 2 m Mächtigkeit wurden auf einmal abgebaut. Man gräbt jedoch nicht ungestraft Löcher in die Erde: Früher oder später verfüllen sie sich wieder, in der Konsequenz treten mehr oder weniger schnell Bodensenkungen an der Tagesober-

phase de convergence vers un nouvel équilibre du géo-écosystème est loin d'être terminée. Elle dépend en partie de la façon dont la société humaine qui vit dessus se comportera. Le Bassin minier Nord – Pas de Calais est l'un des tout premiers au monde, de cette taille, entièrement souterrain, et supportant une population dense, en situation post-industrielle. Il peut jouer un rôle de pilote expérimental mondial pour comprendre les processus en jeu dans l'évolution vers un équilibre inédit. Cette situation unique justifie l'intérêt qui peut lui être porté, et dont il faut préciser les enjeux.

En phase finale de la déformation varisque (voir ci-dessus), le futur Bassin minier de l'Artois devait être un fond de golfe très marécageux, tandis que le Hainaut – qui était précédemment passé par cette phase – était en cours de déformation contre le môle un peu plus résistant du Brabant. En conséquence, s'y sont

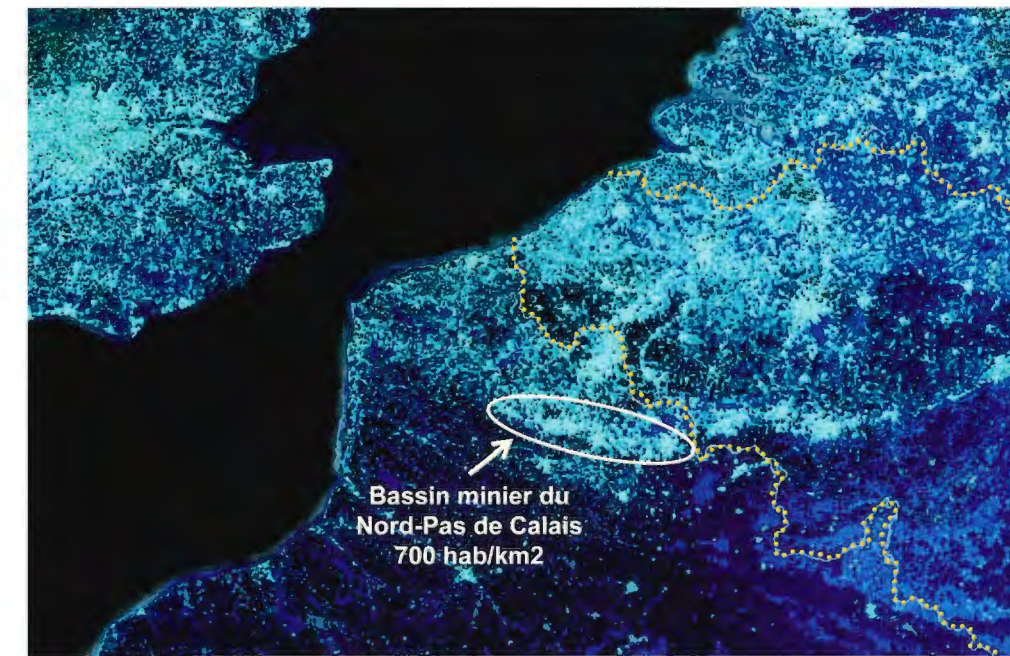


Abb. 5: Die Bevölkerungsdichte im Steinkohlenrevier Nord-Pas de Calais / Fig. 5: La densité de la population dans le Bassin minier du Nord-Pas de Calais

développées des veines de charbon très minces, ramifiées, ultérieurement faillées et plissées. Exploiter de telles ressources en souterrain profond (entre 150 et 1200 m) pose des problèmes rédhitoires techniques et financiers : mécanisation très difficile et coûteuse, conditions de travail très pénibles et dangereuses. En outre, le développement actuel de l'urbanisme au-dessus exposerait de nombreuses populations à des risques inacceptables aujourd'hui. Deux raisons supplémentaires écartent l'éventualité d'une reprise d'exploitation dans le Nord – Pas de Calais : des charbons d'accès faciles, et donc peu coûteux, sont très largement disponibles dans le monde ; la combustion du charbon contribue de façon significative à l'effet de serre.

La réponse du sous-sol à l'excavation dépend notamment du mode d'extraction. En Nord – Pas de Calais a été utilisé de façon presque unique le mode « extraction totale en longue taille » : une veine était complètement évidée sur un front de 100 à 200 m, sur une longueur dépendant de la persistance de la veine dans son inclinaison. Des tranches de 1 à 2 m d'épaisseur, sur quelques hectares à quelques dizaines d'hectares d'un seul tenant ont ainsi été extraites. On ne fait pas des trous impunément dans le



fläche auf, deren Tiefe in der Regel 70 % bis 90 % der Mächtigkeit des abgebauten Flözes betragen.

Seit den 1970er- bis 1980er-Jahren kennen die Ingenieure zahlenmäßig sehr genau die zeitliche und räumliche Entwicklung derartiger Bergsenkungen, sofern das abgebaute Flöz allein und horizontal in der Lagerstätte und in Bereichen mit mechanisch homogenem Verhalten liegt. Die örtlichen und zeitlichen Interaktionen an einer Örtlichkeit zwischen übereinander liegenden Flözen mit eventuell variabler Neigung, die zudem noch zu unterschiedlichen Zeiten abgebaut worden sind, sind heute noch nicht Gegenstand verlässlicher vorhersehbarer Modelle. Vor allem ist es noch nicht möglich, das endgültige Ende von Bergsenkungen bei gleichbleibenden Bedingungen festzulegen.

Doch besteht in der Tiefe ein anderes Phänomen, das an der Oberfläche unsichtbar ist: Die aus der Gewinnungstätigkeit entstandenen Hohlräume haben sich heute mit Flüssigkeiten aus unterschiedlichen Quellen gefüllt (Abb. 4). Die Geschwindigkeit, mit der das Bergbaugesamt geflutet wird, bedingt die Veränderung der geotechnischen Eigenschaften in Gebieten, die für den Abbau trockengelegt worden sind. Örtlich führte dies zu Veränderungen im Bodenniveau: Erhöhungen hier, Senkungen dort sowie an den meisten Orten zu Kombinationen von beiden. Um diese in ihrer Art unterschiedlichen Bewegungen vorherzusehen, sollten in weltweitem Rahmen einige aussagekräftige Orte sehr sorgfältig wissenschaftlich untersucht werden. Auch hier könnte das Steinkohlenrevier Nord-Pas de Calais zukünftig und auf wissenschaftlichem Gebiet eine universell wichtige Rolle spielen.

Die Herausforderungen an eine derartige wissenschaftliche Forschungsmaßnahme zielen somit auf ein Ballungszentrum, das oberhalb von abgebauten Flözbereichen und in einer strategisch bedeutsamen Position im Nordwesten Europas an der Kreuzung mit den Verbindungswegen von Norden nach Süden bzw. Osten nach Westen liegt. Die Bergsenkungen haben das ursprüngliche Bodenniveau unter das oberflächennahe Grundwasser absinken lassen, die Bergsenkungen liegen je nach Örtlichkeit zwischen

sous-sol : tôt ou tard, ils se referment. En conséquence apparaissent plus ou moins rapidement en surface de vastes dépressions, dont la profondeur est de l'ordre de 70 à 90% de l'épaisseur de la veine exploitée.

Les ingénieurs savent bien, depuis les années 1970-1980, modéliser numériquement l'évolution temporelle et spatiale d'un tel affaissement, dès lors que la veine exploitée est unique, horizontale, intercalée dans des terrains de comportement mécanique homogène. Les interactions spatio-temporelles en un site donné, entre veines superposées, d'inclinaison éventuellement variable, exploitées à des époques différentes, ne peuvent pas encore, aujourd'hui, faire l'objet de modèles prévisionnels fiables. En particulier, il n'est donc pas possible d'affirmer aussi bien l'arrêt définitif que la reprise de tout affaissement minier, toutes choses égales par ailleurs.

Mais en profondeur, un autre phénomène intervient, invisible en surface : les excavations nécessaires à l'extraction constituent aujourd'hui des vides résiduels qui se remplissent par drainage de diverses origines. La vitesse d'envolement des terrains houillers conditionne donc la modification des propriétés géotechniques des terrains qui ont été dénoyés pour les besoins de l'exploitation. Localement, ceci entraînera donc des variations du niveau du sol : gonflement ici, affaissement là, combinaison des deux sur la plupart des lieux. Pour prévoir ces mouvements, différentiels par nature, il faudrait instrumenter très sérieusement quelques sites qui, à l'échelle mondiale, auraient une valeur expérimentale. Là encore, scientifiquement, le Bassin minier du Nord - Pas de Calais peut continuer à jouer un rôle universel.

Les enjeux d'un tel dispositif d'étude scientifique tiennent à la présence, au-dessus des zones exploitées, d'une conurbation dont la densité ne fait que s'accroître, étant donné sa position stratégique de carrefour de l'Europe du NO pour les communications Nord-Sud et Est-Ouest. Or, les affaissements miniers ont fait passer le niveau du sol initial sous la surface d'équilibre des nappes d'eau souterraine les plus superficielles (affaissements

1 m und 25 m. Wie auch anderswo, so waren diese Gebiete vor der industriellen und landwirtschaftlichen Nutzung einst weite Feuchtgebiete gewesen (s. o.). Zahlreiche dieser Gebiete liegen heute nur dank permanenten Abpumpens trocken, wobei das Oberflächenwasser in existierende Wasserläufe, in Drainagen oder in Vorfluter abgeleitet wird. Wie auch die Entwicklungsmodelle für dieses Ballungszentrum für die kommenden Jahrhunderte aussehen werden: Eine Beschäftigung mit diesen potentiell überfluteten Gebieten ist unvermeidlich, es sei denn, die Bevölkerung zieht um. Das Risiko wird noch durch die Tatsache wachsen, dass die Tiefenwässer, wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, ansteigen werden.

Schließlich muss ein letztes Risiko genannt werden, das, bei gleichbleibenden Bedingungen, sich erst in zwei bis drei Jahrhunderten ereignen wird: Wenn die untertägigen Wasserreservoirs ein neues hydraulisches Gleichgewicht erreicht haben werden, könnten an einigen Punkten, die heute schon vorherbestimmt werden können, die sauren Wässer die Wasserreservoirs der Kreide, die für die Wasserversorgung des Ballungszentrums unverzichtbar sind, kontaminieren.

### Schlussfolgerung

Die Lagerstätte des Steinkohlenreviers Nord-Pas de Calais ist in seiner Dimension ein einzigartiges geologisches Objekt, das durchgängig unter Tage liegt und als Konsequenz der Gewinnungstätigkeit ein sich verdichtendes Ballungszentrum von europäischem Ausmaß trägt. Ursprünglich ist es das Segment einer Gebirgsfront, die sich vor rd. 300 Mio. Jahren gebildet hat, die abgebauten Steinkohlenlagerstätten von Amerika bis Asien einschließt und dabei Europa inkorporiert. Der Bergbau auf dieser Lagerstätte wurde bei seinem Beginn zunächst ohne spezifische Kenntnisse von der Lagerstätte durchgeführt, doch trug er ganz signifikant zur Entwicklung der weltweiten Kenntnisse von der Steinkohle und ihrer Lagerstätten bei. Heute stellt das Revier Nord-Pas de Calais ein weltweit wichtiges Referenzmodell im Entwicklungsprozess zu einem neuen Gleichgewicht zwischen der Natur und den Interaktionen für die menschliche Gesellschaft dar, die auf der Lagerstätte lebt. Es muss darüber nachgedacht werden, diese aus dem Bergbau herrührenden Folgen im universellen wissenschaftlichen Sinne zu erforschen und zu beherrschen.

### Anmerkungen

- 1 Abgeleitet aus dem griechischen Wort „oros“ (= Berg, Gebirge).
- 2 Die Mächtigkeit beträgt zwischen 70 km und 150 km, je nachdem, ob die Platte einen Ozean oder eine Gebirgskette getragen hat. Bezieht sich auf 6371 km Erdradius.
- 3 Die tektonische Aktivität drückt sich in einer Folge von Erdbeben aus, die Senkungen und Tsunamis hervorrufen.
- 4 Der Sandstein resultiert aus der natürlichen Zementation von Sand; die Konglomerate sind Anhäufungen von mehr oder weniger verbrauchten Steinen und Blöcken, eingelagert in eine Matrix, die mehr oder weniger reichhaltig an Sanden und Tonen ist, zementiert oder auch nicht.
- 5 Im Rahmen von Tausenden von Jahren. Im Vergleich zum menschlichen Leben kann man an den Tsunami vom 26. Dezember 2006 in Sumatra denken.
- 6 Zusammen mit Pasteur und Kuhlmann ist er der Begründer der Fakultät für Wissenschaften in Lille.

de 1 à 25 m selon les endroits). Comme par ailleurs, ce territoire comportait avant l'activité industrielle et agricole d'abondantes zones humides (voir ci-dessus), de nombreuses zones ne sont aujourd'hui dénoyées que grâce au fonctionnement permanent de pompes de relevage qui restaurent l'écoulement superficiel des eaux dans les cours d'eau, dans les réseaux d'adduction ou d'assainissement. Quelque soit le modèle de développement de cette conurbation à l'échelle du siècle à venir, la gestion de ces territoires potentiellement inondables est inévitable, sauf à démenager tout le monde. Le risque sera accru par l'effet induit de remontée des eaux profondes, évoqué au paragraphe précédent. Enfin, dernier risque qui, toutes étant égales par ailleurs, n'interviendra pas avant 2 ou 3 siècles: lorsque le réservoir aquifère des terrains houillers aura atteint un nouvel équilibre hydraulique, en certains points qui peuvent être déterminés aujourd'hui, cette eau de qualité médiocre à tout le moins, pourrait contaminer le réservoir aquifère de la Craie, indispensable à l'alimentation de la conurbation présente.

### Conclusion

Le bassin minier Nord-Pas de Calais est un objet géologique singulier par sa dimension, par son caractère entièrement souterrain et, en conséquence, par le fait qu'il supporte une conurbation de dimension européenne, qui se densifie. D'origine, c'est un segment du front montagneux construit il y a 300 Ma et qui renferme des gisements charbonniers égrenés de l'Amérique à l'Asie en passant par l'Europe. Son exploitation s'est faite sans connaissance a priori, à l'avancement, mais en contribuant de façon très significative au développement des connaissances universelles sur les charbons et leur mode de gisement. Aujourd'hui, il constitue de fait un objet de référence universelle pour le suivi des processus d'évolution vers un nouvel équilibre naturel, et des interactions avec les actions engagées par la société humaine qui vit à sa surface. Encore faut-il décider d'organiser un tel suivi, dans un esprit scientifique universel.

### Anmerkungen

- 1 Du grec « oros », montagne.
- 2 Epaisseur de 70 à 150 km selon que la plaque porte un océan ou une chaîne de montagnes. A rapporter aux 6371 km du rayon terrestre.
- 3 L'activité tectonique s'exprime par une succession de séismes qui provoquent subsidence et tsunamis.
- 4 Les grès résultent d'une cimentation naturelle des sables ; les conglomerats sont des amas de galets et blocs, plus ou moins usés, emballés dans une matrice plus ou moins abondante de sables et d'argiles, cimentés ou non.
- 5 De l'ordre du millier d'années. Comme référence à l'échelle de la vie humaine, penser au tsunami du 26/12/2006 à Sumatra.
- 6 co-fondateur de la Faculté des Sciences de Lille avec PASTEUR et KUHLMANN.

### Anschrift des Verfassers

Prof. Francis Meilliez  
 Directeur UFR Science de la Terre  
 Université des Sciences et Technologies de Lille  
 F-59655 Villeneuve d'Ascq Cedex

Abb. 6: Vorausberechnung des Wasseranstiegs im Steinkohlenrevier bis zum Jahre 2300 / Fig. 6: Prévision de la remontée des eaux dans le Bassin minier vers 2300

