

Bulletin de la Société belge de Géologie	T. 96	fasc. 2	pp. 129-136	Bruxelles 1987
Bulletin van de Belgische Vereniging voor Geologie	V. 96	deel 2	blz. 129-136	Brussel 1987

APPLICATION DE LA TYPOLOGIE DU ZIRCON A LA TEPHROSTRATIGRAPHIE DU WESTPHALIEN C DE LA BELGIQUE ET DES REGIONS LIMITOPHES

par B. DELCAMBRE (*)

Résumé - L'étude typologique du zircon (Pupin, 1976) a été appliquée aux tonstein du Westphalien C de la Belgique et des régions voisines. Cette technique a permis d'assurer, d'établir ou de réfuter les corrélations entre ces différents bassins. Cette étude constitue un modèle applicable à d'autres parties du Carbonifère.

Abstract - The zircon typology (Pupin 1976) has been applied to the Westphalian C Tonsteins of Belgium and the surrounding areas. This analytical technique allows us to ascertain, to set up and to refute the correlations between the different bassins. This study is an example that can be applied to the other parts of the Carboniferous.

Mots-clés - Cinérites, Tonstein, Stratigraphie, Westphalien, Typologie du Zircon.

Key-words - Cinerite, Coal Tonstein, Stratigraphy, Westphalian, Zircon typology.

La présence de marqueurs argileux kaoliniques (tonstein) dans le Westphalien C des bassins houillers de la Belgique est connue depuis de nombreuses années (J. Scheere, 1955, 1956, 1958 ; K. Burger, 1982, 1986). Leur position relative et leur examen pétrographique au moyen de plaques minces ont permis d'établir des tentatives de corrélations stratigraphiques au sein même de ces bassins ainsi qu'entre régions voisines.

La découverte de nouveaux niveaux dans le bassin de Campine a été l'occasion d'une révision des données sur les tonstein du Westphalien C de la Belgique. Un des objectifs majeurs est de préciser les caractères propres de chaque tonstein et de les appliquer aux raccords proposés par le passé. Pour la partie inférieure du Westphalien C, il s'est révélé que les liaisons étaient bien établies. Pour le Westphalien C supérieur, les corrélations restaient très problématiques comme

le montrent les différentes tentatives proposées par les auteurs ayant étudié ou utilisé ces repères (Bless *et al.*, 1977 ; Burger, 1979, 1982, 1983, 1986). La figure 1 montre les dernières propositions publiées et les divergences qui subsistent.

1. VALEUR STRATIGRAPHIQUE

La genèse de ces tonstein conditionne leur valeur stratigraphique. L'idée qu'il s'agisse d'anciennes cendrées volcaniques altérées en kaolinite leur conférerait une bonne qualité de repère. Cette hypothèse génétique fut le centre d'une longue polémique (Hoehne, 1951 ; Schuller, 1951 ; Teichmuller, 1952, Scheere, 1955 ;.....) qui semble maintenant favoriser l'hypothèse volcanique. Divers arguments corroborent cette origine (Stutzer, 1934 ; Stach, 1950 ; Kirsh & Hallbauer, 1960 ; Francis, 1961 ; Bouroz, Spears & Arbey, 1982 ;.....).

(*) Université Catholique de Louvain, Laboratoire de Paléontologie-Paléogéographie, Place L. Pasteur 3 - B-1348 Louvain-La-Neuve.

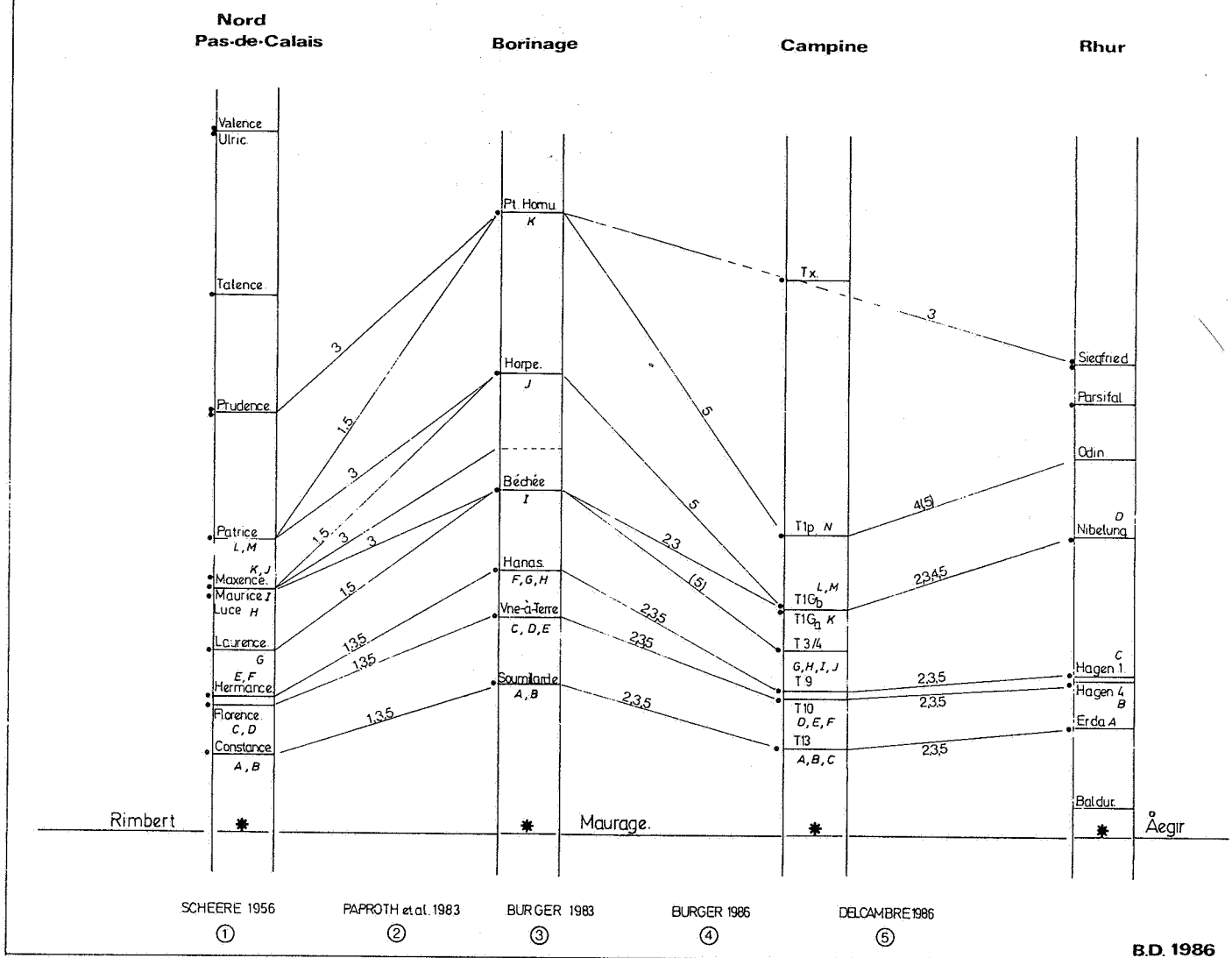


Figure 1. Représentation des différentes relations stratigraphiques proposées antérieurement à ce travail. Position stratigraphique et origine des échantillons étudiés.

Bassin du Nord et du Pas-de-Calais

- a. Constance Bruay, fosse 5, veine 32 (TW94).
- b. Constance Lens, fosse 19, sondage 19/229 (TW8).
- c. Florence Valenciennes, fosse Thiers, étage 200 m, 3ème série couchant à 745 m (TW5).
- d. Florence Lens, fosse 19, sondage 19/218 (W2).
- e. Hermance Valenciennes, fosse Thiers, étage 300 m, voie couchant à 745 m, veine Alexandre (TW96).
- f. Hermance Lens, fosse 19, sondage 27/318 (TW1).
- g. Laurence Lens, fosse 19, sondage 27/291 (TW23).
- h. Luce Lens, fosse 19, sondage 19/264 (TW9).
- i. Maurice Courrières, fosse 5 Ouest, sondage 5044 (TW6).
- j. Maxence Courrières, fosse 5 Ouest, sondage 5044 descendant sur D232 de Denise (TW3).
- k. Maxence Crespin Nouveau Nord étage 745 m à 315 m (TW4).
- l. Patrice Lens, fosse 19, sondage 27/354 (TW7).
- m. Patrice Valenciennes, fosse Thiers, étage 200 m, 24ème veine 3ème série levant (TW26).

Bassin du Borinage

- a. Renard Charb. Levant et des Produits du Flénu, siège Héribus, étage 425 m, travers-bancs Nord (TW42).
- b. Soumillarde Charb. Unis à l'Ouest de Mons, siège Sentinelle, étage 775 m, travers bancs Nord, à 200 m de l'horizon marin de Maurage (TW70).
- c. Veine à Terre Charb. Unis à l'Ouest de Mons, siège Sentinelle, travers-bancs Nord, étage 775 m à 300 m du niveau marin de Maurage (TW64).
- d. Veine à Deux Laies Charb. Levant et des Produits

- e. Bleuze Charb. Hornu et Wasmes, puits n° 5, étage 396 m, travers-bancs Nord (TW55).
- f. Hanas Charb. Unis à l'Ouest de Mons, siège Sentinelle, étage 745 m, travers-bancs Nord, à 330 m du niveau marin de Maurage (TW65).
- g. Brèze Charb. Hornu et Wasmes, puits n° 8, étage 308 m, travers-bancs Sud (TW60).
- h. Brèze Charb. Levant et des Produits du Flénu, siège Héribus, travers-bancs Nord, étage 425 m (W41).
- i. Béchée Charb. unis à l'Ouest de Mons, siège Sentinelle. Taille Béchée couchant à 490 m du niveau marin de Maurage (TW63).
- j. Horpe Charb. Unis à l'Ouest de Mons, siège Sentinelle, travers-bancs Nord, étage 775 m, à 630 m de l'horizon de Maurage (TW68).
- k. Petit Hornu Charb. Unis à l'Ouest de Mons, siège Sentinelle, travers-bancs Nord, étage 775 m à 810 m du niveau marin de Maurage (TW74).

Bassin de Campine

- a. T13 Sondage intérieur Eisdén Ei57-84 (TW13).
- b. Prélèvement intérieur 1N, étage 700 m (TW24).
- c. Echantillon J. Scheere, 1N étage 700 m (TW93).
- d. T10 Forage KB172 à 1487 m (TW18).
- e. Forage KS23 à 1238 m (TW95).
- f. Prélèvements internes Eisdén 3NZ-W, étage 700 m (TW81-TW82).
- g. T9 Forage KB172 à 1487 m (TW17).
- h. Sondage interne Eisdén Ei51-83 (TW14).
- i. Sondage interne Eisdén Ei56-84 (TW15).
- j. Prélèvement interne 3NZ-W, étage 780 m (TW80).

Légende figure 1 (suite).

- k. T1Ga Forage KB168 à 1141,8 m (TW11).
- l. T1Gb Forage KB168 à 1142,8 m (TW10).
- m. Forage KB161b à 1291,8 m (TW19).
- n. T1P Forage KB168 à 1058,4 m (TW12).

Bassin de la Ruhr

- a. Erda : Zeche Westerholt (TW114).
- b. Hagen 4 : Zeche Westerholt (TW111).
- c. Hagen 1 : Zeche Furst Leopold (TW 113).
- d. Nibelung : Bohrung Specking 1 (TW171).

La nature cinématique des tonstein leur confère plusieurs qualités stratigraphiques. Le synchronisme de leur sédimentation est essentiel : la cendre volcanique se dépose au même instant dans tout le bassin. En outre, la ponctualité du repère est remarquable, en opposition à la paléontologie qui définit des zones avec des limites souvent progressives et au positionnement délicat. Les tonstein sont des événements brefs (events) dont la position ne peut souffrir de contestation. Enfin leur mise en place est indépendante de l'écologie du milieu de sédimentation.

tonstein dans la zone de Neeroeteren (KB 110) qu'il identifie au tonstein Nibelung de la Ruhr. Des données plus complètes sont enfin publiées pour le sondage KB 168 (Burger *in* Duser *et al.*, 1986).

Pour le bassin de Campine, un tableau d'équivalence (tabl. 1) retrace l'évolution des différentes dénominations proposées au cours de la progression des connaissances. La nomenclature adoptée dans ce papier est celle utilisée aux Kempense Steenkolenmijnen (J. Tricot, 1984 non publié).

2. ECHANTILLONNAGE

Notre étude a porté sur quatre bassins recoupant au moins partiellement le Westphalien C : le bassin Nord Pas-de-Calais, le Couchant de Mons, les bassins de Campine et de la Ruhr. Les stratigraphies locales par le biais des tonstein y ont connu des utilisations plus ou moins intensives suivant les régions.

A. BASSIN DU NORD PAS-DE-CALAIS

L'établissement d'une stratigraphie du Westphalien C du bassin Nord Pas-de-Calais au moyen de tonstein remonte aux années 1950 (Chalard, 1951 ; Bouroz *et al.*, 1953 ; Dollé, 1954). Les différentes parties du bassin ont pu être reliées et l'épaississement des séquences a ainsi pu être montré d'Ouest en Est.

B. MASSIF DU BORINAGE

Les tonstein du Westphalien C du Borinage ont été reconnus dans trois coupes principales du bassin du Couchant de Mons. J. Scheere (1955, 1956) les décrit au siège Héribus des charbonnages du Levant et des Produits du Flénu, au siège Sentinelle des Charbonnages Unis à l'Ouest de Mons et dans quelques puits de la concession Hornu et Wasmes. Nous avons étudié la série complète du siège Sentinelle ainsi que quelques échantillons issus des autres coupes.

Les échantillons analysés sont ceux prélevés par Scheere et conservés actuellement à l'Institut des Sciences Naturelles de Belgique.

C. BASSIN DE CAMPINE

La présence de tonstein dans le Westphalien C du bassin de Campine est mentionnée dès 1955 par J. Scheere. Sur base des données restreintes disponibles alors, il reconnaît quatre niveaux de tonstein dans la zone de Meeuwen. Plus tard, K. Burger (1972) réduit à trois le nombre de ces niveaux en raccordant les veines G et H (Zwartberg) respectivement aux deux niveaux supérieurs du sondage KB121. Il y mentionne aussi pour la première fois la présence d'un

Tableau 1.

Scheere 1958	Tricot (1) 1983	Burger 1983 & 1986	Tricot & Delcambre 1984 (n.p.)
	TX	Odin	T1P
	T6a	Nibelung	T1Gb
	T6b		T1Ga
Veine H	T18	Hagen 1	T9
Veine G	T19	Hagen 4	T10
Couche 40	T20	Erda	T13

(1) *in* Paproth *et al.*
(n.p.) = (non publié).

D. BASSIN DE LA RUHR

Les tonstein du Westphalien C inférieur du bassin de la Ruhr sont parmi les plus anciennement connus (Burger, 1983). Les données concernant le Westphalien C supérieur sont assez récentes.

Les tonstein supérieurs (Odin, Parsifal et Siegfried) n'ont pu être étudiés par manque de matériel en quantité suffisante.

3. TECHNIQUE D'ETUDE

Un examen sommaire de la minéralogie des tonstein nous montre le peu de variabilité minéralogique d'un niveau à l'autre. La phase argileuse dominante est la kaolinite. Dans certains échantillons, une part secondaire de cette phase est constituée d'illite et de smectite (Hagen 4, Renard). Les phases accessoires sont essentiellement le quartz en esquilles, de rares débris profondément altérés de biotite et de feldspath et des phases néoformées (essentiellement carbonates et sulfures). Les minéraux denses sont peu variés, zircons et apatites étant les deux seules phases abondantes, en cristaux automorphes. Signalons aussi la présence de monazite au sein de certains de ces échantillons (T13, Erda). Le contenu minéralogique se révèle au total peu significatif et peu discriminant.

Pour déceler des différences signifi-

catives, les échantillons de tonstein du Westphalien C ont été soumis à l'étude typologique du zircon. Cette technique établie par J.P. Pupin (1976) est basée sur la mesure du développement relatif des faces du cristal de zircon. Le développement relatif entre les deux prismes du cristal ($\{100\}/\{110\}$) et le développement relatif entre les deux pyramides principales ($\{101\}/\{211\}$) sont estimés. Les combinaisons de développement définissent 64 types et sous-types de zircons illustrés dans la figure 2 (ex Pupin, 1976). A chaque ligne et à chaque colonne du tableau correspond respectivement un développement équivalent des prismes et des pyramides. Un indice variant de 100 à 800 par pas de 100 est attribué à chaque stade de développement relatif des deux groupes de face, IA pour les pyramides et IT pour les prismes.

En pratique, 100 cristaux déterminables sont étudiés sous le microscope. Pour chaque grain, l'importance des familles de faces est évaluée et le cristal est replacé dans l'un des 64 typomorphes (fig. 2), défini par les deux indices IA et IT. Une fois l'examen au microscope terminé, deux indices moyens \bar{IA} et \bar{IT} sont calculés. Ils donnent les valeurs moyennes de IA et IT établies sur l'effectif total des grains déterminés. Ils représentent respectivement l'indice moyen de développement relatif des prismes et des pyramides de la population. Ce point de coordonnées \bar{IA} et \bar{IT} représentera la population de zircons.

4. RESULTAT DE L'ETUDE

L'étude des populations de zircons permet l'établissement d'une téphrostratigraphie du Westphalien C de la Belgique et des régions limitrophes. Les assemblages types observés dans les quatre domaines investigués sont illustrés à la figure 3. Un examen bref de ces assemblages et de leurs points \bar{IA} et \bar{IT} suffit à distinguer les familles au sein des populations. Chaque famille correspond à un niveau stratigraphique de tonstein (fig. 4). Quelques caractères livrent une identification rapide de certains niveaux repères.

- le tonstein Hagen1-T9-Hanas-Hermance est le seul niveau connu à population de zircons en majorité monoprismés (100).
- la pyramide (101) des zircons de Hagen4-T10-Bleuze-Florence est très développée, tandis que le rapport de développement des prismes est très variable.
- le tonstein Maxence-Horpe-T1Gb-Nibelung présente des cristaux à zonage intense et à forte prédominance du prisme (110). Les phénomènes de surcroissance sont importants.
- les zircons Patrice-Petit-Hornu-T1p montrent des cristaux plus limpides et un développement intense de la pyramide (211) qui donne aux cristaux un contour typique aux extrémités très effilées.

Les valeurs moyennes d'indice \bar{IA} - \bar{IT} obtenues pour chacun des niveaux sont reprises dans le tableau 2. Il indique en outre les morphotypes de zircons les plus communs dans chaque tonstein.

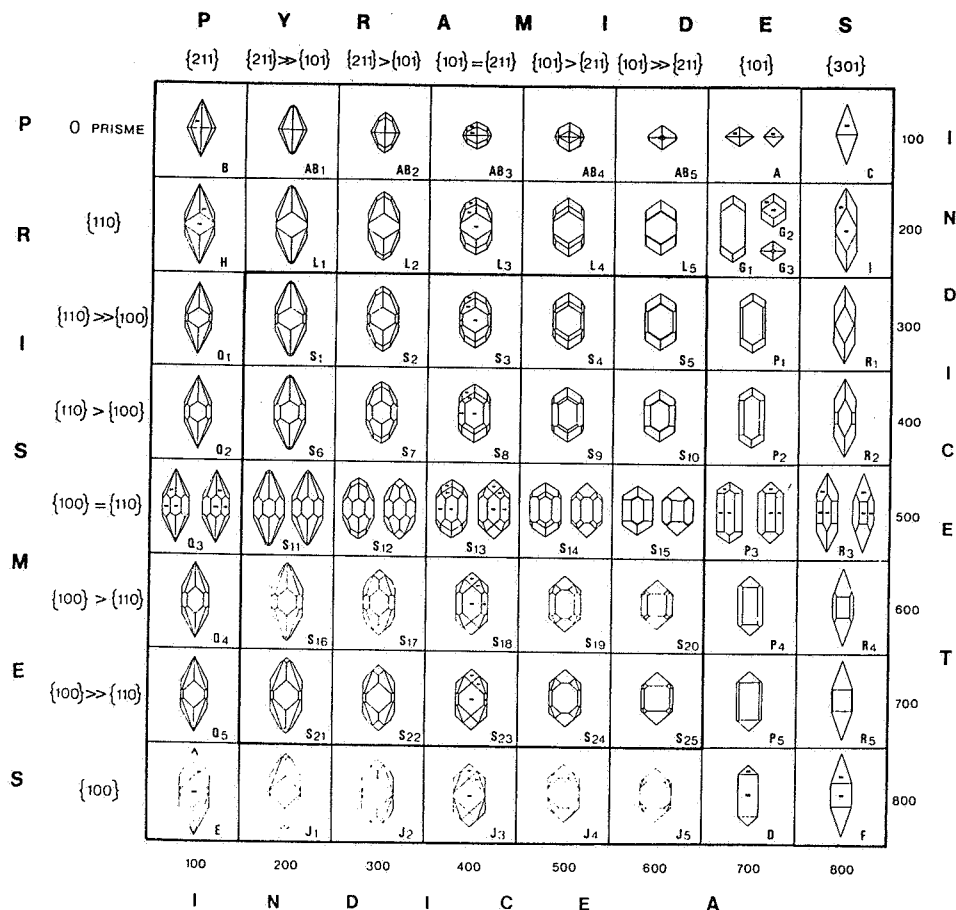


Figure 2. Représentation des types et sous-types morphologiques de zircon (ex Pupin, 1976).

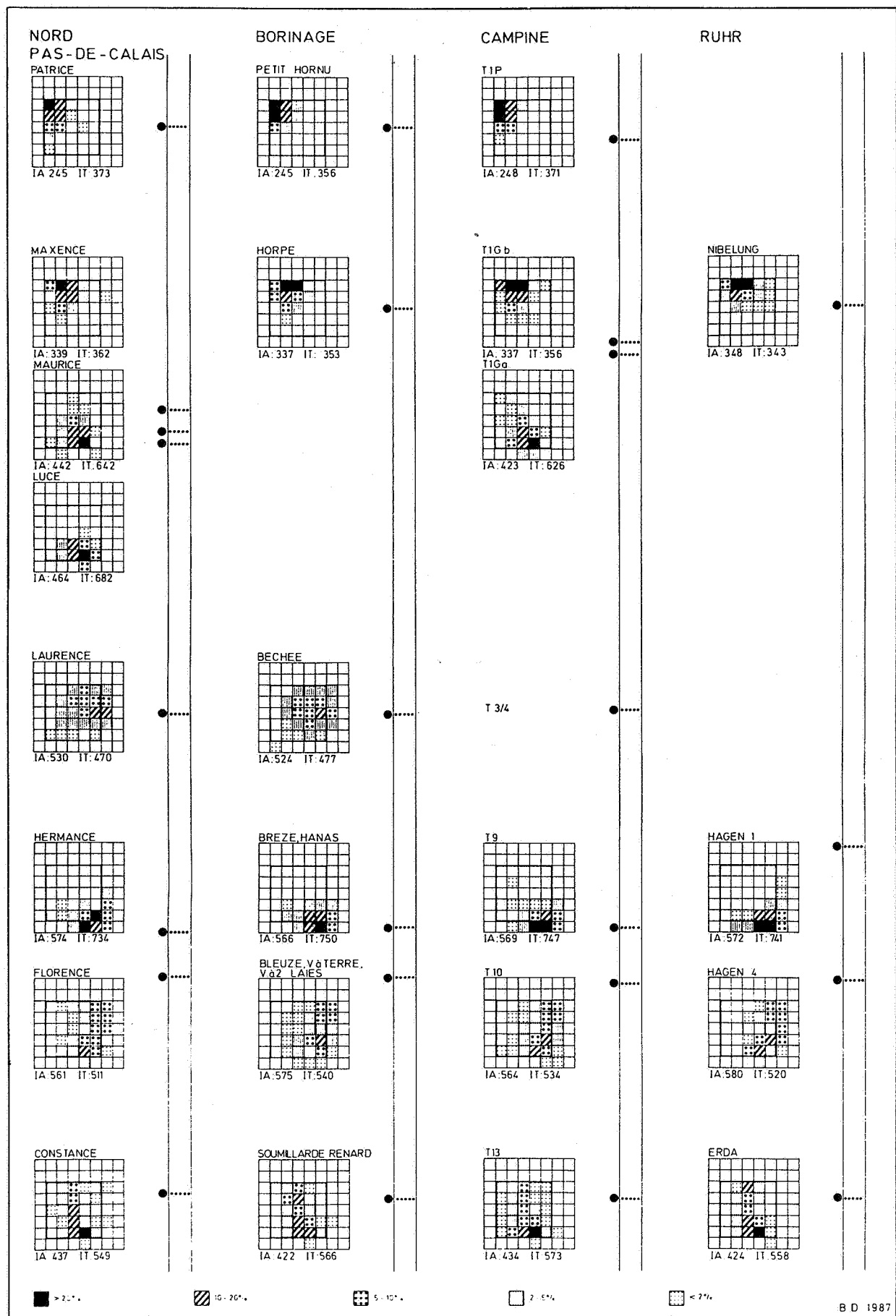


Figure 3. Tableau de répartition de chaque classe de zircon pour chaque niveau stratigraphique de tonstein prélevé dans les bassins du Nord Pas-de-Calais, du Borinage, de Campine et de la Ruhr.

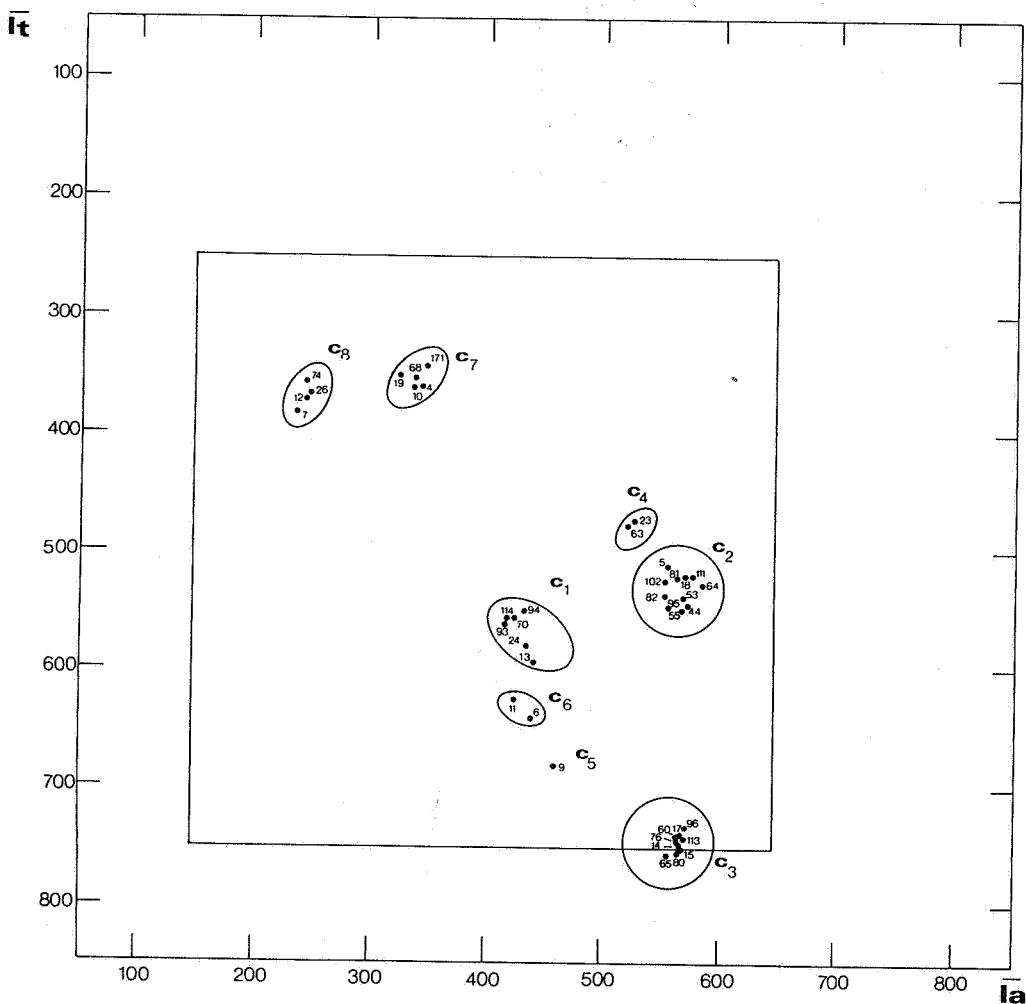


Figure 4. Disposition des points IA-IT de chaque échantillon de tonstein étudié. Répartition de ces points en familles correspondant à chaque repère stratigraphique.

Tableau 2.

B.D. 1986

Niveau	$\bar{I}A$	$\bar{I}T$	Types principaux
Patrice/Petit Hornu/T1P	245,5 (+ 3,5)	368,5 (+ 7,5)	S1, S6, S2
Maxence/Horpe/T1Gb/Nibelung	339,6 (+ 5,9)	353,4 (+ 5,9)	S2, S3, S7, S8
Maurice/T1Ga	434,5 (+ 7,5)	633,5 (+ 8,5)	S24, S19, S23, S18
Luce	464	582	S24, S23, S18, J4
Laurence/Béchée	527,0 (+ 3,0)	473,5 (+ 3,5)	P3, S15, S9, S10, S14
Hermance/Hanas/T9/Hagen1	569,1 (+ 3,4)	745,9 (+ 6,0)	J4, J5, S25
Florence/Bleuze/T10/Hagen4	569,6 (+ 6,7)	533,1 (+ 10,4)	S24, S20, P1, P2, S5, S10, S15
Constance/Soumillarde/T13/Erda	430,3 (+ 8,7)	566,8 (+ 14,1)	S24, S23, S18, S13

Tableau 3.

	Nord	Borinage	Campine	Ruhr
C8	Patrice	Petit Hornu	T1P	(Odin)
C7	Maxence	Horpe	T1Gb	Nibelung (u)
C6	Maurice		T1Ga	
C5	Luce			
C4	Laurence	Bechée	(T3/4)	
C3	Hermance	Hanas-Brèze	T9	Hagen1
C2	Florence	Bleuze-Veine à Terre	T10	Hagen4
C1	Constance	Veine à deux Laies Soumillarde Renard	T13	Erda

Les corrélations obtenues et illustrées au tableau 3 sont bien assurées. Entre parenthèses sont mentionnés les niveaux non analysés.

Elles aboutissent à reconnaître que :

- les relations stratigraphiques obtenues entre les bassins français et le massif du Borinage sont celles proposées par Scheere dès 1956. Elles infirment celles de K. Burger (1983). Ce résultat confirme l'épaississement des séquences observées d'Est en Ouest depuis le Pas-de-Calais (Bless *et al.*, 1977). Vu le faciès paralytique des séquences, la subsidence du bassin de Mons marquée par cette augmentation de la stampe du Westphalien C peut être appréciée par l'établissement des rapports entre les distances séparant stratigraphiquement chaque tonstein mesurées dans chaque région. La vitesse relative de subsidence semble constante avec, néanmoins, par comparaison avec les deux régions voisines un léger ralentissement dans le massif du Borinage entre Constance et Florence et entre Laurence et Hermance. A l'examen d'autres valeurs connues dans le bassin du Nord Pas-de-Calais, cette tendance semble générale.
- les corrélations de Burger (1983, 1986) entre les bassins de la Ruhr et de Campine, sont confirmées. Le lien T1P-Odin doit néanmoins être contrôlé, de même que la recherche d'un tonstein situé entre Hagen 1 et Nibelung en Allemagne pourrait être entreprise.

L'étude des tonstein stratigraphiquement plus hauts que Patrice-Petit Hornu-T1P-Odin n'a pas encore été entreprise en raison du manque de matériel disponible en quantité suffisante. On pourrait en déduire les corrélations entre le Westphalien C supérieur-Westphalien D des bassins du Pas-de-Calais (série Prudence à Valence), de la Ruhr (Parsifal et Siegfried) et même de Campine (KB168, 698 m *in* Dusar *et al.*, 1986, KB169, K186 non publ.). Ces liaisons permettront notamment de mieux cerner la limite Westphalien C-D fixée au

niveau du tonstein Talence dans le Pas-de-Calais.

5. PETROLOGIE

L'unicité du matériel parental de chacun de ces repères argileux constitue une condition essentielle pour la validité de cette technique de corrélation. Il faut en déduire une roche mère identique pour chacun des tonstein attribués au même niveau stratigraphique et sédimentés dans des régions géographiquement éloignées. Une telle identité de source exclut une origine détritique simple, résultant du démantèlement d'un massif extérieur.

Une population à cristaux de zircon en majorité monoprisms (100) relevée dans Hagen 1 et ses équivalents latéraux est un signe de volcanisme (Pupin, 1976). De telles populations ne sont connues que dans un contexte volcanique acide et alcalin. Cette nature des zircons et ces larges aires de répartition corroborent donc bien l'hypothèse volcanique.

D'après Pupin (1976), la typologie des zircons est conditionnée par les conditions thermodynamiques du milieu de cristallisation. Ceci pourrait permettre de préciser, tonstein par tonstein, le type de volcanisme responsable de l'émission. A ce stade du travail, une réserve s'impose. Nos analyses des traces en cours, apporteront peut-être des informations indispensables ou du moins utilisables.

CONCLUSIONS

L'établissement d'une téphrostratigraphie du Westphalien C de la Belgique et des régions limitrophes repose sur l'analyse typologique du zircon (Pupin, 1976). De la base du Westphalien C (horizon marin de Maurage) au tonstein Patrice, chaque niveau stratigraphique est caractérisé par une population de zircon type représentée par un point de coordonnées IA et IT. Cette étude a même confirmé l'uni-

Tableau 4.

Pas-de-Calais <i>in</i> Bouroz (1967) (Hénin-L.)	Nord <i>in</i> Bouroz (1953) Valenciennes	Borinage (Sentinelle) Scheere (1955, 1956)	Rapport d'épaisseur H-L. Val.	
Patrice - 80 m	120 m	Petit Hornu - 180 m	2.25	1.5
Maxence - 90 m	120 m	Horpe - 140 m	1.64	1.16
Laurence - 70 m	100 m	Béchée - 160 m	2.28	1.60
Hermance - 10 m	15 m	Hanas - 30 m	3.00	2.00
Florence - 55 m	95 m	Veine à Terre - 100 m	1.82	1.05
Constance - 80 m	150 m	Renard - 200 m	2.50	1.33
Rimbert		Niveau marin de Maurage		

cité du matériel parental. Des travaux dans le Viséen (K-Bentonites) et dans le reste du Westphalien sont en cours et précisent la stratigraphie établie.

REMERCIEMENTS

Je remercie le Professeur G. Seret qui a suivi mes travaux et a critiqué ce texte. Mes remerciements vont aussi à Monsieur J. Tricot pour son aide précieuse au cours de mon étude. Que Messieurs J. Chalard et K. Burger, l'Institut r. des Sciences Naturelles de Belgique et le Geologisches Landesamt Nord Rhein und Westfal. trouvent ici ma reconnaissance pour leur aide à la récolte des échantillons. Que soit aussi associé à ces remerciements l'I.R.S.I.A. qui a soutenu financièrement cette recherche de 1982 à 1985.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BECQ-GIRAUDON, J.F. (1983) - Synthèse structurale du bassin Houiller du Nord. *Mém. B.R.G.M.*, 123, 71 p.
- BLESS, M.J.M. *et al.* (1977) - Paleogeography of Upper Westphalian deposits in NW Europe with references to the Westphalian C North of the mobile Variscan Belt. *Med. Rijks Geol. Dienst, N-S 28-5*, 101-147.
- BOUROZ, A. (1967) - Corrélation des tonsteins d'origine volcanique entre les bassins houillers de Sarre-Lorraine et du Nord-Pas-de-Calais. *C.R. Acad. Sc. Paris, D*, 264, 2729-2732.
- BOUROZ, A., CHALARD, J. & DOLLE, P. (1953) - Extension géologique et stratigraphique des niveaux de tonstein du bassin houiller du Nord de la France. *Ann. Soc. Géol. Nord*, LXXIII, 98-141.
- 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, 115 p.
- BURGER, K. (1971) - Stratigraphie, Petrographie und Fazies der Kaolin-Kohlentonsteine in höheren Westfals im RuhrKarbon. *C.R. 7ème Cong. Int. Strat. Carbon. (Krefeld)*, 2, 211-225.
- BURGER, K. (1982) - Untersuchung einiger Kohlentonsteine aus dem Westfal C des Campine-Reviers in Belgien. *Prof. Paper Serv. Géol. Belg.*, 189.
- BURGER, K. (1983) - Kohlentonsteine in OberKarbon N-W Europas ein Beitrag zur Geochronologie. *C.R. 10ème Cong. Int. Strat. Carbon. (Madrid)*, 3, 433-447.
- BURGER, K. & DAMBERGER, H.H. (1979 reprint 1986) - Tonsteins in the Coalfields of Western Europe and North America. Reprint from the 9th Congress on Carboniferous Stratigraphy and Geology, Mai 1979, Washington D.C. *Economic Geology: Coal, Oil, Gas. Southern Illinois Press Carbondale*, 433-448.
- BURGER, K., OTTE, M.U. & PFISTERER, W. (1979) - Nibelung Kaolin-Kohlentonstein als neuer Leithorizont im RuhrKarbon. *Glückauf Forschungshefte*, 40, H. 5, 224-232.
- CHALARD, J. (1951) - Les tonsteins du bassin houiller du Nord de la France dans la région de Valenciennes. *Ann. Soc. Géol. Nord*, LXXI, 110-123.
- DELMER, A. & GRAULICH, J.M. (1954) - Tableau synoptique des échelles stratigraphiques des gisements houillers de Belgique et des régions voisines. *Planche annexe du Prodrôme d'une description géologique de la Belgique. Vaillant-Carmanne, Liège*, 826 p.
- DOLLE, P. (1954) - Tonstein de la partie supérieure de l'assise de Bruay. *Ann. Soc. Géol. Nord*, LXXIV, 39-52.
- DUSAR *et al.* (1986) - De steenkoolverkenningboring Opoeteren-Den Houw (Boring 168 van het Kempens Bekken). *Prof. Paper Serv. Géol. Belg.*, 226, 98 p.
- HOEHNE, K. (1954) - Zur Ausbildung und Genese der Kohlentonstein in RuhrKarbon. *Chemie der Erde*, bd 17, H.1, 6-28.
- PAPROTH *et al.* (1983) - Bio- and lithostratigraphic subdivisions of the Silesian in Belgium, a review. *Ann. Soc. Geol. Belgique*, 106, 241-383.
- PUPIN, J.P. (1976) - Signification des caractères morphologiques du zircon commun des roches en pétrologie. Base de la méthode typologique. Applications. Thèse d'Etat, Université de Nice, laboratoire Pétrologie-Minéralogie.
- PUPIN, J.P. & TURCO, G. (1972) - Une typologie originale du zircon accessoire. *Bull. Soc. Fr. Min. Crist.*, 95, 348-359.
- SCHEERE, J. (1955) - Contribution à l'étude des tonstein du terrain houiller belge. *Ass. Et. Pal. Strat. Houil.*, 19, 38 p., 3 pl.
- SCHEERE, J. (1956) - Nouvelle contribution à l'étude des tonstein du terrain houiller belge. *Ass. Et. Pal. Strat. Houil.*, 26, 54 p., 5 pl.
- SCHEERE, J. (1958) - La pétrologie des tonstein du Houiller belge ; à l'occasion de la présence d'un tonstein dans la couche 40 d'Eisden. *Bull. Soc. belge Géol., Pal. & Hydr.*, 66, 300-317.
- SCHULLER, A. (1951) - Zur Nomenklatur und Genese der Tonsteine. *Neues Jb. Min. Monatsh.*, H.5, 97-109.
- STACH, E. (1950) - Vulkanische Aschenregen über dem Steinkolhenmoor. *Glückauf*, 86, H.3-4, 41-50.
- STUTZER, O. (1934) - Vulkanische Aschen als Leitlagen in Kohlenflözen. *Z. Prakt. Geol.*, bd. 39, 145-148.
- TEICHMULLER, M., MEYER, H. & WERNER, H. (1952) - Der erste Tonsteinfund in Aachener Revier und die Frage nach der Entstehung. *Geol. Jb.*, bd 66, 723-736.