

# ANALYSE STRUCTURALE ET MICROPALÉONTOLOGIQUE DES FORMATIONS D'AISEMONT ET DE LAMBERMONT À LAMBERMONT (NAPPE DE LA VESDRE, BELGIQUE)

Yves VANBRABANT<sup>1</sup>, Sarah GEENINCKX<sup>2</sup> et Michel VANGUESTAINE<sup>3</sup>

- 1, Rock Deformation Research, School of Earth Sciences, University of Leeds, Leeds LS2 9JT, United Kingdom. Tel:+44-113 343 1926; Fax:+44-113 245 6233; Email: yvesvbb@yahoo.co.uk
- 2, Université de Liège, L.G.I.H., B.19, B-4000 Liège (Sart Tilman), Belgique.
- 3, Université de Liège, Paléobotanique, Paléopalynologie et Micropaléontologie, B.18, B-4000 Liège (Sart Tilman), Belgique.

(9 figures, 1 tableau)

## EXTENDED ABSTRACT

### 1. Geological setting

The Lambermont site (Belgium) is located in the central part of the Vesdre Nappe (Figure 1) on the northern boundary of the Rhenohercynian fold-and-thrust belt. The rocks exposed in this study area are mainly layered shale and limestone formations of the Upper Devonian, which were folded and thrust during the Variscan orogeny at end Carboniferous times. Within the Vesdre Nappe, and particularly in the area of Lambermont, the folds are asymmetric, northward-facing with the reverse limb commonly cut by south-dipping reverse faults. An axial plane cleavage is also commonly observed in the shale formations. The Vesdre Nappe exhibits a set of small tectonic windows, which are considered to have been generated due to the late bending of thrust faults.

The complexity of the structures observed within the Vesdre Nappe has led to various interpretations about the mechanisms of deformation. Among the most recent, Hollmann and Walter (1995) considered a model composed of ramp-flat structures. However, the use of such structures was later criticised by Hance *et al.* (1999), who mainly consider an out-of-sequence deformation best fits their field observations.

The present paper aims to decipher the sequence of deformation in the Lambermont area based on analyses carried out during field observations. The stratigraphic position of two shale members is also constrained by micropaleontological analyses.

### 2. Stratigraphic observations

The structures analysed in this paper affect the Aisemont Formation (Frasnian) and the Lambermont Formation (Frasnian-Famennian limit). The bottom and the top of the Aisemont Formation are composed of two biostrome members, the so-called first biostrome ("premier biostrome") and the second biostrome ("second biostrome"). These carbonate members are separated by a shale member, named the lower shale ("schistes inférieurs"). The Lambermont Formation can be subdivided successively, from bottom to top, in the intermediate shale member ("schistes intermédiaires"), followed by the third biostrome member ("troisième biostrome") and the upper shale member ("schistes supérieurs").

Field observations at Lambermont have provided a more detailed stratigraphic log of the upper part of the Aisemont Formation and the lower and median part of the Lambermont Formation (Figure 2) than were previously available. The lower part of the Aisemont Formation (first biostrome member and a part of the lower shale member) is not exposed in the Lambermont site whilst the upper part of the Lambermont Formation, not detailed in Figure 2, is exposed. In terms of competence, the shale members are considered to be incompetent units, while the biostrome members are the more competent units. However, the second biostrome member exhibits a gradual upward increase of competence due to a concomitant decrease of the clay content. Contrastingly, the third biostrome member shows a upward decrease of the competence, a consequence of an upward increase in clay content.

### 3. Micropaleontologic analyses

The micropaleontological analyses undertaken aim to discriminate the lower shale member from the intermediate shale member in order to better constrain the trajectory of a folded detachment level. More specifically, the stratigraphic position of samples L1 and L2000/1 needs to be clarified. In order to do this, six reference samples (L2000/2 to L2000/5 and Bellevaux/3 and /7), collected from sections where the stratigraphic succession seems not to be ambiguous by faulting, have been analysed (Table 1).

Two techniques are available to characterise the age of the shale units: the palynofacies and the classical biostratigraphic analyses. The latter technique does not allow a clear determination on account of the very poor spiny acritarch content within the lower shale member. However, the palynofacies approach allows the distinction of two palynofacies (Table 1): Samples L2000/2, Bellevaux/3 and /7, which were collected from the lower shale member, characterise palynofacies A. Samples L2000/3 to /5, collected from the intermediate shale member, characterise palynofacies B. From the palynofacies analysis sample L1 can be attributed to the intermediate shale (palynofacies B) and the sample L2000/1 can be assigned to the lower shale (palynofacies A).

### 4. Structural observations

Four sections have been detailed from field observations (Figure 3). Sections A, C and D come from the northern part of the study area, while section B is from the southern part.

#### 4.1. Section A (Figure 4)

This section exhibits mainly an anticlinal structure affecting the second biostrome. The fold here is asymmetric and northward-facing, with its reverse limb cut by a reverse fault (F1). Along the southern limb, this fault roots in more shaly limestone layers parallel to the bedding.

#### 4.2. Section B (Figure 5)

Section B, which is 200 m long, shows a set of northward-facing anticlinal and synclinal structures. In addition, a variety of faults are observed, some of which are shallow-dipping reverse faults, others being steeply-dipping normal faults. Located between 100 m and 130 m along the section, a structure composed of the A5 anticline and Sy5 syncline is presented in more details in Figure 6 with a geometrical model of its development proposed in Figure 7.

#### 4.3. Section C (Figure 8)

Along sections A and C (Figure 8), the A1 anticline exhibits tectonic repetition of the second biostrome member as two units. This structure is due to a folded detachment level (F13). At the hinge and on the northern limb of the A1 anticline the intermediate shale member occurs between both second biostrome members, whilst on the southern limb it is the lower shale member that appears between both second biostrome units.

The overthickening of the intermediate shale member at the hinge of the A1 anticline is probably due to a folded duplex structure, however the duplex's faults within the shale layers were obliterated by the progressive development of the axial planar cleavage.

#### 4.4. Section D (Figure 9)

In the eastern part of the study area, the anticline A1sup is characterised by the intermediate shale member occurring both above and below (hinge) the second biostrome member (Figure 9). At the hinge, the presence of the intermediate shale is confirmed by micropaleontologic analysis and this ambiguous position is due to the presence of the folded detachment level (F13). Hence, this structure constitutes a small tectonic window.

### 5. Discussion and conclusion

The Lambermont site allows a detailed analysis of the progressive deformation within the central part of the Vesdre Nappe. The first shortening event is characterised by the growth of detachment levels composed of flats in the incompetent members (shales) and ramps in the more competent members (limestone). Although most of these structures usually

exhibit small-scale offsets (metric-scale), at least one detachment level (F13) presents an offset estimated to be at least 138 m. The existence of these decoupling levels indicates there is no local exception to the mechanical behaviour of the Devonian-Carboniferous rocks of the Vesdre Nappe and therefore our field observations agree with the model suggested by Hollmann and Walter (1995) for the initial mode of deformation. However, as our observations suggest that the deformation continued during a second deformation event, inducing the folding of the early detachment levels and the development of out-of-sequence thrusts, the latter has to be linked with the model suggested by Hance *et al.* (1999).

The folding of early detachment levels was also clearly observed during coal-mining works in the Silesian basin of Liège (see Humblet, 1941). At Lambermont site the folding of detachment levels leads to the presence of a tectonic window, which can be observed for instance along section D (see Figure 9). Unlike the common interpretations, which consider the development of the tectonic windows observed through the Vesdre Nappe as the result of a late anticline bulge of a late fault, the Lambermont tectonic window is linked to the main folding event of an early detachment level. It is suggested that each tectonic window should be clearly analysed in order to clarify the specific development mechanisms. It should be pointed out that both mechanisms (folding of an early fault and the late anticline bulge of a fault) could coexist within the fold-and-thrust belt.

One of the relatively later deformation event observed in the Lambermont site is characterised by the development of longitudinal normal faults. The relative age of these faults is clarified by a small-scale structure (see Figures 6 and 7) that shows that these normal faults developed after the main folding event. The relative age of the normal faults with respect to the out-of-sequence thrust faults is still unclear, though at the Lambermont site there are some indications that normal faults were affected by at least one out-of-sequence reverse fault, whilst elsewhere the normal faults are subsequent to a large-scale out-of-sequence faulting (e.g. Trooz Quarry: unpublished observations by Vanbrabant, 2001).

Finally, it must be pointed out that within the Vesdre Nappe and the Herve coal basin, transverse faults have been frequently described in the literature (i.e. Fourmarier, 1954; Ancion & Evrard, 1957; Laloux *et al.*, 1997). The relative age of development of these transverse faults is also a very late event in the deformation sequence, since they are seen to cut all pre-existing structures. Moreover, a neotectonic activity along some of these transverse faults appears possible (Demoulin, 1989) with the Lambermont site located in the continuation of the seismically active Hockay zone in the Stavelot Massif (Camelbeeck, 1994).

**KEYWORDS:** folded detachment level, tectonic window, longitudinal post-folding normal faults, Palynofacies

**RESUME.** Le site de Lambermont, où affleurent les schistes et calcaires des formations d'Aisemont et de Lambermont, est analysé du point de vue structurale. Une séquence de la déformation progressive est établie uniquement sur base d'observations de terrain et elle se caractérise tout d'abord par une phase compressive suivie par une phase extensive. Lors de la compression, deux stades de raccourcissements peuvent être distingués: premièrement, des structures de rampes mineures se développent dans les calcaires. Cet épisode se marque également par la formation d'un niveau de détachement important en plats et rampes et dont le rejet apparent est estimé à au moins 138 m. Deuxièmement, ces structures précoces subissent un plissement avec une forte vergence vers le Nord et le développement d'une schistosité. La déformation consécutive du niveau de détachement provoque l'apparition d'une fenêtre tectonique. Il s'agit d'un nouveau mode de développement de ce type de structures pour la région. La trajectoire de ce niveau de détachement est également précisée grâce à une analyse micropaléontologique qui permet de discriminer sur base du palynofacies deux niveaux schisteux. Finalement, lors de la phase extensive, une série de failles normales longitudinales recoupent les structures développées lors de la phase compressive.

**MOTS-CLES:** niveau de détachement plissé, fenêtre tectonique, failles normales longitudinales post-plissement, palynofacies

## 1. Cadre géologique

Du point de vue géologique, le site de Lambermont se trouve au sein de la Nappe de la Vesdre. Cette dernière est comprise entre le Massif de Stavelot et la fenêtre de Theux au Sud et le bassin houiller de Herve au Nord (Figure 1). A l'Ouest, la Nappe de la Vesdre se prolonge en relais par le Synclinorium de Dinant; à l'Est, le Graben du Rhin en limite les structures.

Les roches rencontrées au sein de la Nappe de la Vesdre sont des sédiments Dévonien-Carbonifère, qui ont été déformés lors de l'orogénèse varisque au Carbonifère supérieur. Au sein de cette unité tectonique, la polarité stratigraphique des couches est orientée vers le Nord. Dans la partie Sud, les roches détritiques du Dévonien Inférieur recouvrent les sédiments du Paléozoïque Inférieur du Massif de Stavelot. Dans la région médiane de Verviers-Lambermont, les roches du Dévonien Moyen

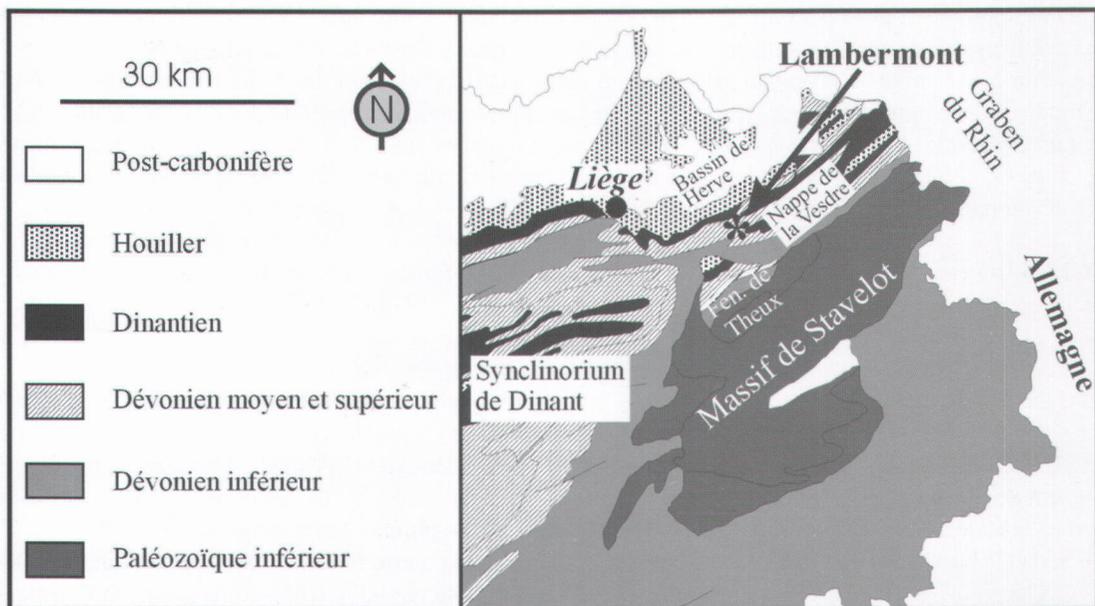
et Supérieur se composent de schistes, de calcaires (Givétien-Frasnien) et de grès (Famennien). Les calcaires du Dinantien et l'association schistes-grès accompagnée de quelques niveaux de charbon majoritairement du Namurien forment le bord Nord de la nappe.

Parmi les structures observées dans la région, les plis sont généralement déjetés à déversés vers le Nord, de direction Nord-Est Sud-Ouest et d'envoyage variable (Est ou Ouest). Le flanc inverse de ces structures est parfois recoupé par des failles inverses de faible pendage vers le sud. Les niveaux les plus argileux exposent également une schistosité plan axial, inclinée vers le Sud. Quelques petites fenêtres tectoniques comme celle de Soiron (Fourmarier, 1928) et celles de Chant des Oiseaux et des Trois-Bois (Hance *et al.*, 1989; Laloux *et al.*, 1996) ont été également décrites. Ces fenêtres sont généralement considérées comme étant dues à l'intersection de la surface topographique avec des failles de charriage faiblement ondulées lors d'une déformation tardive (Hance *et al.*, 1999). Enfin, des faisceaux de failles transversales, orientées NNW-SSE, recoupent les diverses structures. Certains de ces accidents ont conduit à la formation de gisement Pb-Zn (Dejonghe *et al.*, 1993). Une activité néotectonique pourrait également se localiser le long de certaines de ces failles (Demoulin, 1989) ou dans leur prolongement (Camelbeek, 1994).

Suite à la grande complexité des structures observées, l'interprétation tectonique de la zone de la Vesdre a conduit et conduit encore actuellement à de nombreuses interprétations. Ces dernières se présentent généralement sous la forme de coupes équilibrées ou non, dont une

analyse est réalisée dans Vanbrabant (2001). Les principaux points de discordes sont l'absence claire du positionnement stratigraphique des niveaux de décollement et le manque de consensus sur le mécanisme de formation de la Nappe de la Vesdre. Deux hypothèses récentes ont été proposées quant au modèle de mise en place des structures: d'un côté, le modèle présenté par Hollmann et Walter (1995) qui privilégie des structures en plats et rampes, fréquemment observées dans les parties externes de chaînes orogéniques (fold-and-thrust belts); de l'autre côté, celui de Hance *et al.* (1999) qui critique l'utilisation même du modèle en plats et rampes et font appel à une déformation hors-séquence pour rendre compte de leurs observations de terrain.

Le but poursuivi dans ce travail n'est pas de prendre partie pour l'une ou l'autre hypothèse, mais d'effectuer une analyse structurale détaillée d'une zone d'affleurements de grande qualité. Celle-ci permet d'éclairer l'évolution structurale de la région médiane de la nappe de la Vesdre, et d'apporter de nouvelles données pour la compréhension de la tectonique de la région. Une analyse stratigraphique des formations rencontrées est tout d'abord présentée (Chapitre 2). Celle-ci a pour but de mieux contraindre les différentes lithologies en vue de faciliter les interprétations structurales. Une partie de cette analyse stratigraphique provient de données bibliographiques; une autre correspond à des observations de terrain réalisées dans le cadre de cette étude. Ensuite, dans le Chapitre 3, une étude micropaléontologique est présentée en vue de discriminer deux membres schisteux de lithologie comparable, mais appartenant à des formations différentes. Leur identification correcte conditionne



**Figure 1.** Carte géologique simplifiée de la partie Nord-Est de la Belgique. Le site de Lambermont est localisé sur la figure.  
**Figure 1.** Simplified geological map of NE Belgium with the location of the Lambermont site.

le tracé d'une faille importante d'un point de vue structurale. Les observations structurales proprement dites sont par la suite décrites au Chapitre 4. L'influence des différentes lithologies et donc des différentes compétences lors de la déformation est analysée. Par ailleurs, l'étude géométrique des structures permet de dégager une séquence relative de la déformation progressive. Finalement au Chapitre 5, une discussion-conclusion permet de récapituler les principales observations et les implications sur la tectonique de la région.

## 2. Observations stratigraphiques

### 2.1. Données de la littérature

Trois formations constituent l'essentiel des roches affleurant dans la zone d'étude: les formations d'Aisemont, de Lambermont et de Hodimont. Elles appartiennent toutes les trois au Dévonien Supérieur. La limite Frasnien-Famennien se localise au sein de la Formation de Lambermont. Dans cette étude, seule la partie supérieure de la Formation d'Aisemont et la partie inférieure de la Formation de Lambermont ont été détaillées. Comme aucune subdivision en membres n'a jusqu'à présent été établie pour décrire les unités sédimentaires constitutives de ces formations, la terminologie employée par J.-M. Graulich lors de ses descriptions des forages durant la construction du viaduc de l'autoroute de Lambermont (données non-publiées du Service géologique de Belgique) et lors du forage profond d'Ensival-Lambermont (Graulich & Vandenvén, 1973) a été utilisée.

Pour la Formation d'Aisemont, on trouve successivement de bas en haut:

- un membre calcaire de 3 à 6 mètres d'épaisseur à colonies de coraux surmontant les calcaires de la Formation de Lustin et dénommé: *premier biostrome*;
- un membre schisteux, épais d'une trentaine de mètres, accompagné par quelques bancs calcaires appelé: *schistes inférieurs*. Ce niveau est cependant connu aussi sous le nom de 'schistes intercalaires de la Formation d'Aisemont';
- un membre calcaire à coraux formant le sommet de la formation. Il s'agit du *deuxième biostrome*, dont la puissance est d'environ de 10 m. Dejonghe (1987) a montré qu'il s'agit en fait d'une dolomie dédolomitisée.

Pour la Formation de Lambermont, la colonne stratigraphique se compose de bas en haut:

- d'un membre schisteux sans nodules, dont l'épaisseur atteint 8 mètres, repris sous le terme de: *schistes intermédiaires*;
- d'un membre calcaire très riches en nodules et localement en coraux, devenant un shale nodulaire vers le

haut. L'épaisseur de cette unité est d'environ 10 mètres: *troisième biostrome*;

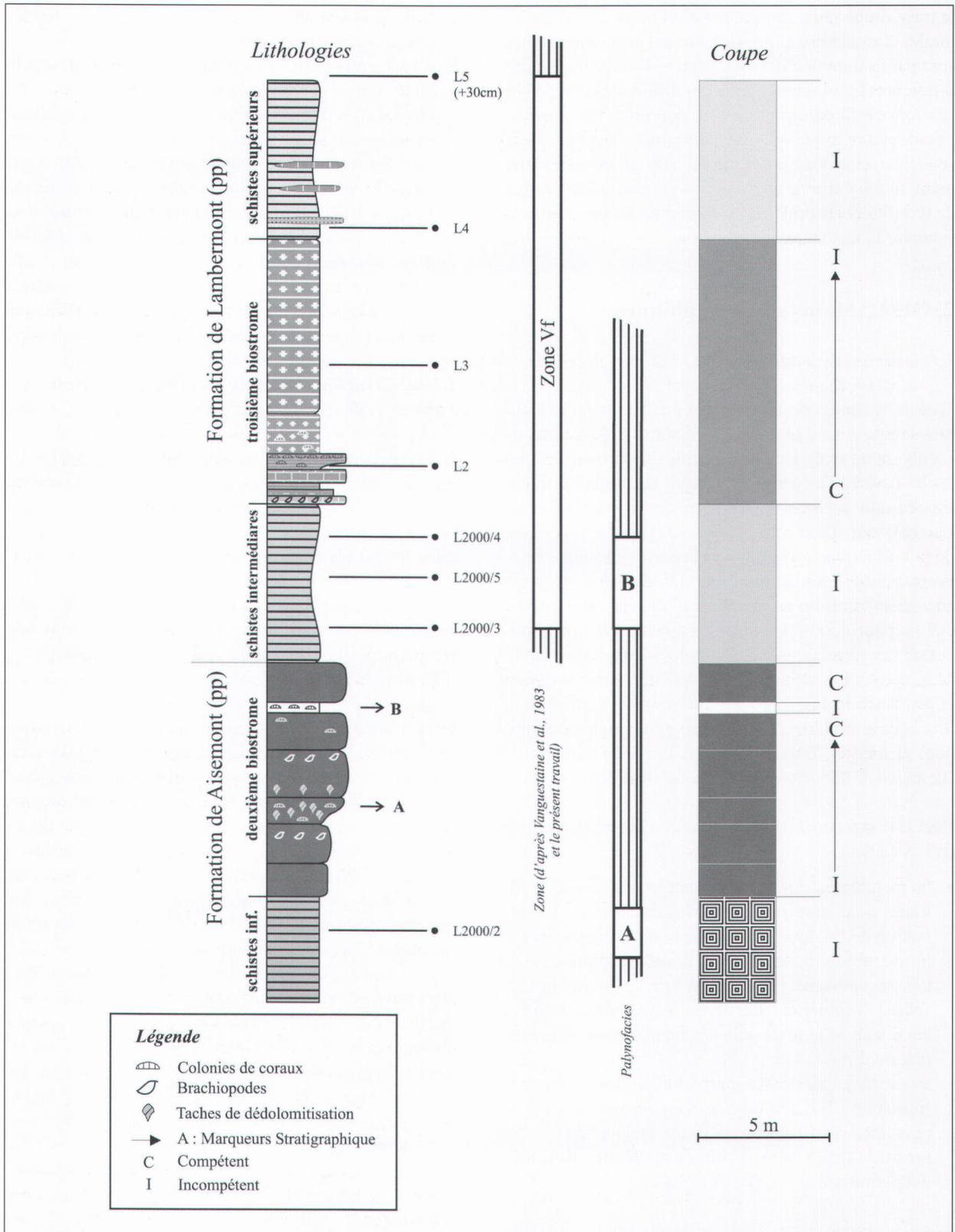
- d'un membre schisteux riche en nodules surtout à la base, parfois accompagné de quelques bancs de lumachelles à brachiopodes et d'une partie médiane riche en lingules. Cette unité est appelée: *schistes supérieurs*. Son épaisseur à Lambermont serait d'environ 33 m. Ce membre peut être également subdivisé en trois sous-unités selon leur composition lithologique et faunistique (pour plus de détails voir p.ex. Vanguetaine *et al.*, 1983 et Boulvain *et al.*, 1999). Le sommet des schistes supérieurs se situe à l'apparition d'un premier niveau d'hématite oolithique qui marque le passage vers la Formation de Hodimont.

### 2.2. Observations lithologiques effectuées dans le cadre de cette étude

A Lambermont, la partie supérieure de la Formation d'Aisemont est constituée par une épaisseur inconnue de schistes fins, gris, sans nodule. Dans la littérature, l'épaisseur de ces schistes est généralement estimée à une trentaine de mètres (Graulich & Vandenvén, 1973; Coen-Aubert, 1974). Cependant, il n'a pas été possible de mesurer cette épaisseur sur le site étudié, car le premier biostrome n'apparaît pas en surface. Il a toutefois été recoupé lors du sondage d'Ensival-Lambermont (Graulich & Vandenvén, 1973).

Le deuxième biostrome (Figure 2) apparaît par contre à l'affleurement en de nombreux endroits le long des coupes, permettant ainsi son analyse détaillée. Son épaisseur est d'environ 9 mètres. Les bancs sont plus massifs dans sa partie supérieure qu'à sa base, où il s'agit plutôt d'un calcschiste. Une schistosité est d'ailleurs très bien marquée dans cette partie. La partie médiane du biostrome présente de nombreuses tâches de dédolomitisations formant l'un des deux niveaux repères utilisés lors de cette étude (noté A sur la Figure 2). Vers le haut, ces fantômes tendent à disparaître de manière progressive vers un calcaire sombre et massif. Deux mètres en dessous du sommet du biostrome, le second niveau repère (B sur la Figure 2) est constitué d'un niveau schisteux très caractéristique contrastant avec les calcaires massifs qui l'encadrent. Ce banc repère est accompagné dans la partie Nord du site, par de nombreuses colonies de coraux; tandis que dans la partie Sud, les colonies sont très rares et seul le caractère argileux à parfois calcschisteux subsiste. L'épaisseur de ce banc varie selon les endroits d'observations: sur les flancs inverses des plis, il atteint environ 1 mètre; tandis que sur les flancs normaux son épaisseur se réduit à moins de 50 cm.

Les schistes intermédiaires, qui constituent la base de la Formation de Lambermont, affleurent sur une épaisseur de 6 mètres. Sur le terrain, ces schistes se confondent avec les schistes inférieurs par l'absence de nodules. Un



**Figure 2.** (de gauche à droite) log lithologique du sommet de la Formation d'Aisemont et de la base de la Formation de Lambermont + position des échantillons micropaléontologiques de référence; extension de la Zone Vf et répartition des palynofaciès A et B; log des compétences des différents membres et échelle des grisés utilisés dans les figures suivantes.

**Figure 2.** From left to right: lithologic log of the top of the Aisemont Formation and the bottom of the Lambermont Formation including location of the micropaleontologic reference samples; extension of the micropaleontologic Zone Vf and distribution of palynofacies A and B; competence log of the various members and grey scale used in the next figures.

des buts recherchés par l'étude micropaléontologique est justement d'établir des critères en vue de discriminer ces deux niveaux. Le passage au troisième biostrome se marque par un niveau massif de calcaire très riche en brachiopodes un mètre avant un niveau calcaire très riche en colonies. A la différence avec le deuxième biostrome qui montre globalement une diminution de l'aspect argileux vers le haut, le troisième biostrome se caractérise par une augmentation de la fraction argileuse vers le haut. La partie supérieure du membre, qui en constitue plus de la moitié de l'épaisseur, se compose de schistes extrêmement riches en nodules. La couleur à l'altération des roches est gris-vert entrecoupée par quelques niveaux rouges. Le passage vers les schistes supérieurs s'effectue de manière progressive avec la récurrence occasionnelle de niveaux noduleux.

Du point de vue des compétences mises en jeu lors du raccourcissement, on peut remarquer la grande alternance entre les niveaux schisteux incompetents et les membres calcaires compétents (Figure 2). Cependant, au sein même des membres carbonatés, des évolutions se marquent. Tout d'abord, le deuxième biostrome montre une partie inférieure incompetente par rapport à sa partie supérieure globalement plus compétente. Néanmoins, le niveau repère B forme quant à lui un horizon incompetent, dont le rôle sera détaillé par la suite. Enfin, notons la diminution de la compétence de la partie basale vers la partie sommitale du troisième biostrome. Comme nous le verrons par la suite, tous ces éléments de compétence revêtent une grande importance durant le développement des structures.

### 3. Analyse micropaléontologique

Tenter de caractériser les schistes inférieurs et les schistes intermédiaires (Figure 2) et de permettre ainsi le positionnement correct de deux niveaux schisteux (échantillons L1 et L2000/1 localisés ci-après) du site de Lambermont, constituent le but de cette étude micropaléontologique. Son intérêt réside dans l'importance que revêt cette discrimination pour l'interprétation tectonique du site de Lambermont.

#### 3.1. Echantillonnage

##### 3.1.1. Echantillons provenant d'une étude antérieure

A. Smeesters *in* Vanguetaine *et al.* (1983) avait effectué un échantillonnage de 23 prélèvements aux fins d'analyse palynologique dans la coupe à la sortie 4 de l'Autoute A42 en provenance de Dison (coupe D, Fig.3). Certains de ces échantillons notés L2 à L5 dans le présent travail sont positionnés d'un point de vue stratigraphique à la Figure 2. Les autres sont ou bien prélevés dans des niveaux plus récents (L6 à L23) que ceux qui font l'objet du présent travail ou bien, c'est le cas de

l'échantillon L1, relatif à un niveau stratigraphique que remet en question l'analyse structurale présentée dans cet article. Il était supposé (Vanguetaine *et al.*, 1983) appartenir aux schistes inférieurs, parce que prélevé dans le cœur schisteux d'un anticlinal développé dans le second biostrome (Fig. 9). L'analyse structurale (voir 4.4. ci-après) pose la question de l'appartenance de ces schistes aux schistes inférieurs et avance comme hypothèse leur attribution aux schistes intermédiaires. L1 est l'un des deux échantillons de ce travail à situer correctement d'un point de vue stratigraphique.

L'examen de la Figure 2 fait apparaître que hormis l'échantillon L1 de position stratigraphique à confirmer, aucun échantillon n'avait été prélevé précédemment dans les deux niveaux à discriminer. Cette situation a nécessité des prélèvements nouveaux dans des sites sans équivoque d'un point de vue stratigraphique. Une coupe complémentaire, celle des Surdents, a aussi été étudiée dans le cadre de ce travail de manière à ce que les informations palynologiques soient clairement établies.

##### 3.1.2. Nouveaux échantillons dans le site de Lambermont

###### 3.1.2.1. Echantillons de référence

Les schistes inférieurs et les schistes intermédiaires ont fait l'objet de prélèvements dans deux coupes dont la succession stratigraphique ne paraît pas ambiguë. La première concerne les schistes inférieurs. Elle se situe à l'extrémité méridionale des affleurements visités sur le site de Lambermont, au Sud d'une coupe dont la partie septentrionale est décrite en détails dans le présent travail (coupe B, Figure 5). L'échantillon analysé (L2000/2) a été prélevé au Sud immédiat du pilier n°11 de l'autoroute qui surplombe directement la coupe en question. Plus de détails concernant l'emplacement de cet échantillon sont fournis en annexe.

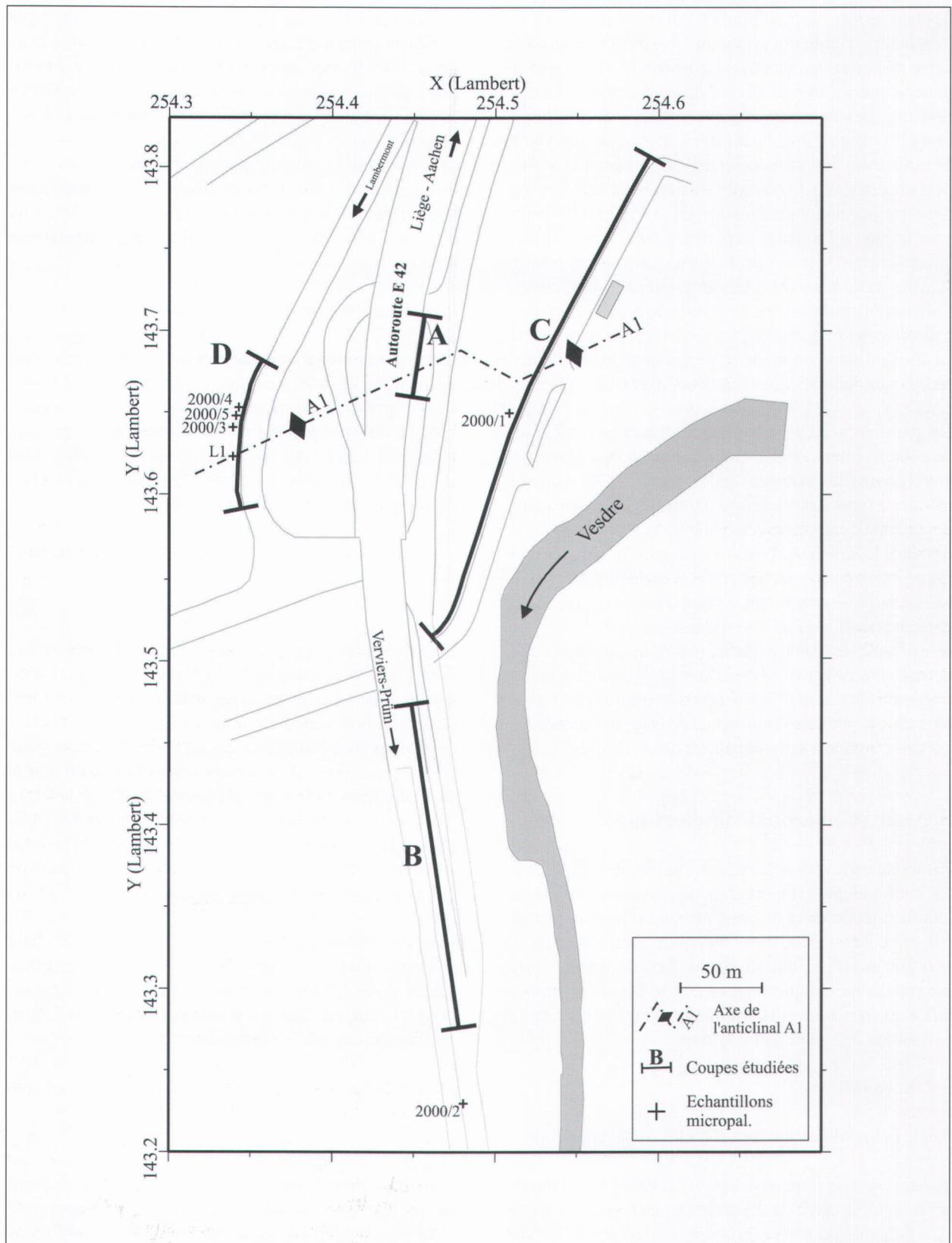
Les schistes intermédiaires affleurent de manière claire dans la coupe D. Il a été prélevé de ces schistes 3 échantillons, notés L2000/3, L2000/4 et L2000/5. La localisation de ces échantillons est portée aux figures 2 et 9. Leur positionnement précis se trouve en annexe.

###### 3.1.2.2. Echantillon L2000/1 de position stratigraphique incertaine.

Le schiste qui sépare les deux occurrences du second biostrome dans la partie inférieure de l'affleurement (coupe C, Fig.8) a fait l'objet d'un prélèvement noté L2000/1. Ce dernier constitue le second échantillon de ce travail à situer d'un point de vue stratigraphique.

###### 3.1.3. Echantillonnage dans la coupe des Surdents.

Coen-Aubert (1970,1974) a décrit à Bellevaux dans la région des Surdents une coupe du Frasnien qui présente



**Figure 3.** Carte de localisation des quatre coupes étudiées (A-D) le long de l'autoroute E42. Les différents échantillons micropaléotologiques sont également localisés sur la figure. Les axes X et Y représentent les coordonnées Lambert de la zone d'étude.

**Figure 3.** Location map of the four studied sections (A-D) along the E42-motorway. The various micropaleontologic samples are also represented. X- and Y-axes represent the Lambert co-ordinates of the study area.

en bordure de la Vesdre une succession assez continue des schistes inférieurs ou partie moyenne de la Formation d'Aisemont. Cette coupe a fait l'objet de cinq prélèvements (échantillons Bellevaux 3 à 7) représentatifs de l'ensemble de ces schistes. Plus de détails concernant leur localisation sont donnés en annexe.

### 3.2. Techniques de caractérisation des unités schisteuses

Deux techniques sont disponibles: la biostratigraphie classique et l'étude du palynofacies.

#### 3.2.1. Technique biostratigraphique

Vanguetaine *et al.* (1983) et Martin (1985) ont jeté les bases d'une biozotation par acritarches des couches aux confins de la limite Frasnien-Famennien. La Zone Vf in Vanguetaine *et al.* (1983) se caractérise par la présence simultanée des 4 espèces *Visbysphaera* (?) *fecunda*, *Baltisphaeridium* aff. *longispinosum*, *Baltisphaeridium* cf. *crebrum* et *Dilatisphaera* (?) sp A. L'abondance variable de ces espèces fait en sorte qu'elles ne sont pas toujours observées simultanément dans tous les niveaux de la zone. Vanguetaine *et al.* (1983) positionnaient la base de cette zone à Lambermont à l'échantillon L2 (Fig. 2), soit dans les niveaux qui surmontent immédiatement les schistes intermédiaires. *Visbysphaera* (?) *fecunda*, *Baltisphaeridium* aff. *longispinosum* et *Dilatisphaera* (?) sp A sont observés dans le cadre du présent travail dans les échantillons L2000/3 à L2000/5 des schistes intermédiaires. Ces derniers appartiennent dès lors aussi à la Zone Vf dont l'extension prolongée est indiquée à la Figure 2. Les échantillons de référence représentatifs des schistes inférieurs ne contiennent aucuns les espèces sus-mentionnées. *Visbysphaera* (?) *fecunda* par contre, est observée seule dans l'échantillon L2000/1 et en compagnie de *Dilatisphaera* (?) sp A dans L1. Ces occurrences isolées ne permettent pas une attribution biostratigraphique. Rappelons que ces deux échantillons (L2000/1 et L1) constituent les prélèvements d'attribution stratigraphique à contrôler.

#### 3.2.2. Etude du palynofacies.

Par palynofacies, on entend l'ensemble des caractéristiques qualitatives et quantitatives de la matière organique d'un échantillon donné dans des conditions standards d'étude (Combaz, 1964). D'un point de vue méthodologique, caractériser des unités lithologiques par une quantification de leur contenu organique est une technique courante en palynologie (voir par exemples Vanguetaine *et al.*, 1983; Strel *et al.*, 1989; Vanguetaine *et al.*, 1999; Strel *et al.*, 2001).

Nous avons, dans le cadre de ce travail, pour chacun des échantillons analysés, calculé la teneur en matière orga-

nique figurée, c'est-à-dire la teneur des divers microfossiles. Les résultats de cette évaluation sont consignés au Tableau 1. Le comptage a porté sur 7 unités, elles-mêmes regroupées en deux ensembles: les acritarches épineux et l'ensemble dénommé les sphaeromorphes et autres (*et al.*)

Les acritarches épineux (*sensu* Strel et Vanguetaine, 1989; Strel *et al.*, 2001) ont été décomposés en trois unités de comptage: celle des *Michrystidium* (*sensu* Strel *et al.*, 2001, p.276); celle de *Visbysphaera* (?) *fecunda* (*sensu* Vanguetaine *et al.*, 1999); celle des autres acritarches épineux non différenciés.

L'autre ensemble, les sphaeromorphes *et al.*, regroupe cinq unités de comptage: celle des sphaeromorphes proprement dits (= category 3 in Vanguetaine *et al.*, 1999); le groupe des *Gorgonisphaeridium* (*sensu* Strel *et al.*, 2001; = category 2 in Vanguetaine *et al.*, 1999); le groupe des spores non différenciées, reconnaissables soit par leur marque trilète, soit par leur taille et/ou l'épaisseur de leur membrane, lesquelles sont généralement plus grandes que chez les acritarches; le groupe des scolécodontes; le groupe des chitinozoaires. La raison du regroupement de ces cinq unités de comptage en un seul ensemble tient en des observations effectuées notamment dans le Frasnien de la tranchée de chemin de fer de Neuville, dans l'Anticlinorium de Philippeville, où ces cinq unités varient de manière parallèle (Vanguetaine *et al.*, 1997). Il importe de préciser la difficulté que représente l'évaluation quantitative des unités de ce second ensemble. Les échantillons dans lesquels cet ensemble est abondant présentent généralement une conservation assez mauvaise de la matière organique. Cette dernière y est pyritisée, fragmentée et possède les caractéristiques taphonomiques de celle trouvée dans les *black shales* (Dufka, 1990). Dans ces conditions, beaucoup de spécimens sont d'identification malaisée. C'est la raison pour laquelle, les comptages (Tableau 1) font apparaître deux valeurs. La première a trait aux spécimens identifiés de manière certaine; la seconde concerne des spécimens dont le classement est plus difficilement réalisable sur des bases objectives. Nous estimons cependant que la plupart de ces seconds spécimens sont placés dans la bonne catégorie tout en étant conscient du caractère subjectif de cette estimation.

De la lecture du Tableau 1, il ressort que sur la base de leur contenu fossilifère, les échantillons analysés se répartissent en deux groupes. Le premier se compose des échantillons L2000/3, L2000/4 et L2000/5. Il se caractérise par l'abondance et la diversité des acritarches épineux qui totalisent 73 à 83% de l'assemblage. L'espèce *Visbysphaera* (?) *fecunda*, très commune, est représentée à elle seule par 6 à 14% de spécimens. L'échantillon L1 totalise 70% d'acritarches épineux et 17% de *Visbysphaera* (?) *fecunda*. Il s'apparente dès lors au pre-

	<i>Michrhystridium</i>	<i>Visbysphaera</i>	Autres Acritarches épineux	Total Acritarches épineux	Sphaeromorphes	<i>Gorgonisphaeridium</i>	Spores	Scolécodontes	Chitinozoaires	Total Sphaerom. et al.	Indéterminés	Palynofacies
L1	43	17	10	70	12	12	4			28	2	<b>B</b>
L2000/4	59	6	8	73	11+9	4	2			26	1	
L2000/5	69	8	4	81	9+3	1+2	1	1	1	18	1	
L2000/3	61	14	8	83	8	3	4	1	1	17		
L2000/1	20	4		24	30+36	3	4	2		75	1	<b>A</b>
L2000/2	21		2	23	15+38	5	5	6	1	70	7	
Bellevaux/7	4		3	7	15+54	0+1	5+11	-	1+2	89	4	
Bellevaux/3	1		1	2	9+58	2	3+6	5	1+13	97	1	

**Tableau 1.** Pourcentages de diverses unités de comptage de microfossiles dans les échantillons d'attribution stratigraphique à contrôler (L1 et L2000/1) ainsi que dans les échantillons de référence de Lambermont et de Bellevaux. Définition des palynofaciès A et B.

**Table 1.** Proportion of different microfossils counted in the samples of unknown stratigraphic position (L1 et L2000/1) and in the reference samples of Lambermont and Bellevaux, which define Palynofacies A and B.

mier groupe d'échantillons dont la matière organique constitue le palynofaciès B.

Le second groupe se compose des échantillons L2000/2, Bellevaux/3 et Bellevaux/7. Les échantillons Bellevaux/4 à /6 présentent un contenu très faible en matières organiques. Leur teneur en microfossiles ne peut être évaluée sur des bases statistiquement fiables. Nous n'en tenons pas compte dans le présent travail bien que le palynofaciès y soit d'aspect très comparable à celui de Bellevaux/3 et /7. La caractéristique de ces deux derniers échantillons, ainsi que de L2000/2, est de contenir un pourcentage très élevé de sphaeromorphes et dès lors de l'ensemble sphaeromorphes *et al.* qui totalise 70 à 97% (palynofaciès A). Les spores, scolécodontes et chitinozoaires sont localement plus abondants que dans le palynofaciès B. Par contre, les *Gorgonisphaeridium* ne montrent guère de différence nette entre les deux types de palynofaciès. Le contenu fossilifère de l'échantillon L2000/1, avec ses 75% de sphaeromorphes *et al.*, s'apparente à ce palynofaciès A. Notons toutefois que, contrairement aux 3 autres

échantillons, *Visbysphaera (?) fecunda* apparaît dans L2000/1 à concurrence de 4% et que ni les spores, ni les scolécodontes ne sont ici significativement plus abondants. Par contre, le contenu en *Michrhystridium* est bien conforme aux teneurs de cette unité de comptage dans le palynofaciès A. Cette dernière observation nous paraît significative. En outre, la forte teneur en sphaeromorphes nous permet d'associer l'échantillon L2000/1 à ceux dont le contenu en matière organique est défini comme étant le palynofaciès A.

### 3.3. Conclusion de l'étude micropaléontologique.

Le problème de l'attribution stratigraphique des schistes dans lesquels ont été prélevés les échantillons L2000/1 (coupe C, Fig. 8) et L1 (coupe D, Fig. 9) trouve ici une réponse satisfaisante. Le premier présente un contenu en matière organique comparable à celui des échantillons de référence dont la matière organique est dénommée palynofaciès A. Le second s'apparente aux échantillons du type palynofaciès B. Or, le palynofaciès A est décrit

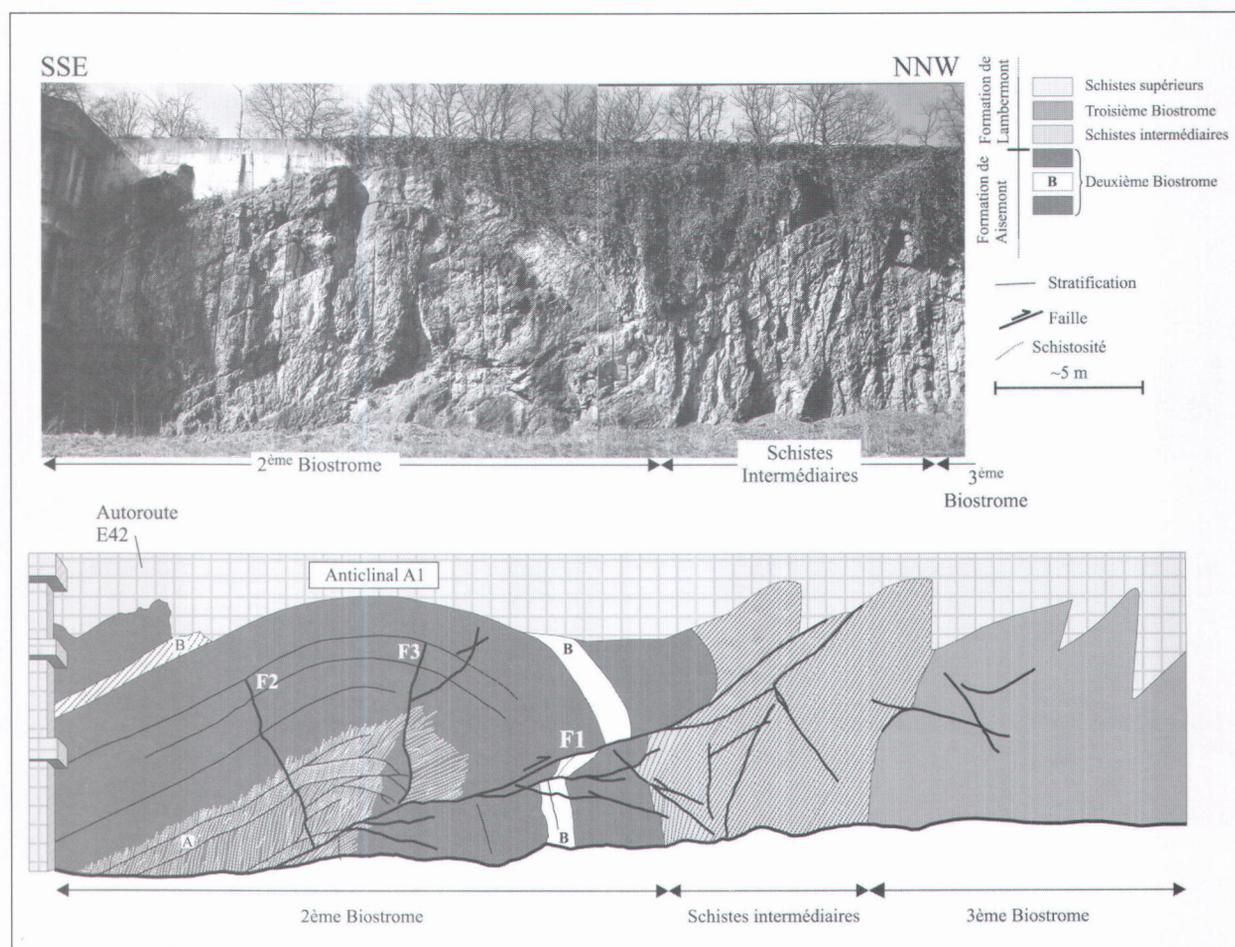
dans les schistes inférieurs; le palynofaciès B, dans les schistes intermédiaires. Il ressort par conséquent que L2000/1 représente un niveau des schistes inférieurs et que L1 appartient aux schistes intermédiaires. Cette dernière attribution lithostratigraphique est contraire à celle de Vanguetaine *et al.* (1983). Ce nouveau résultat a été acquis sur la base de l'étude du palynofaciès des échantillons analysés. L'autre technique mise en œuvre, l'étude biostratigraphique, s'est avérée infructueuse. Elle ne permet pas d'attribuer avec certitude l'échantillon L1 de palynofaciès B à la Zone Vf, alors que les échantillons de référence de palynofaciès B font clairement partie de cette Zone. De plus, aucun échantillon de palynofaciès A ne peut être caractérisé biostratigraphiquement. Cette situation tient aux faibles teneurs en acritarches épineux qui caractérisent ces échantillons de palynofaciès A. C'est sur ces acritarches épineux que repose justement la biostratigraphie.

## 4. Observations structurales

Quatre coupes ont été étudiées en détail uniquement à partir d'observations de terrain. La localisation de ces sections est présentée à la Figure 3. Dans la partie Sud de la zone d'étude, affleure la coupe B; tandis que dans la partie Nord, on trouve d'Ouest en Est les coupes D, A et C.

### 4.1. Coupe A (Figure 4)

Une grande partie du log stratigraphique exposé à la Figure 2 a été établie le long de cette coupe qui s'étend sur une cinquantaine de mètres de long. Le choix s'est porté sur cet affleurement, car il présente une structure relativement simple. Comme nous le verrons par la suite (coupes C et D), le prolongement de cette structure aux coupes avoisinantes revêt par contre un caractère plus complexe.



**Figure 4.** Lambermont: coupe A (cf. Figure 3 pour localisation). La structure principale est l'anticlinal A1 qui est recoupé sur son flanc Nord par la faille F1 et ses satellites.

**Figure 4.** Lambermont: section A (see Figure 3 for location). The main structure consists of the A1 anticline, of which the northern limb is cut by fault F1 and its associated faults.

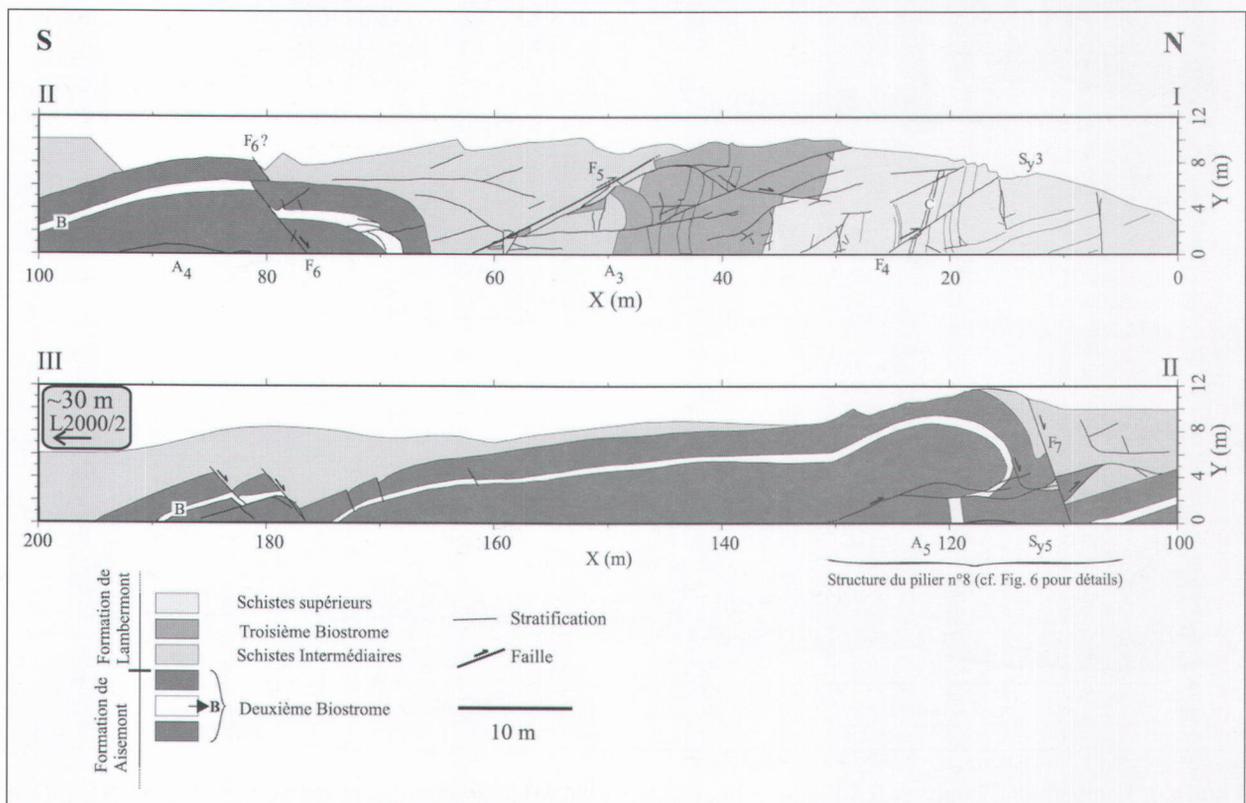
Du Sud au Nord (Figure 4), on trouve successivement le deuxième biostrome, les schistes intermédiaires, le troisième biostrome et finalement la base des schistes supérieurs (non représentés sur la figure). Un anticlinal arrondi, de direction N69°E et d'ennoyage 3° vers l'Est, affecte les calcaires du deuxième biostrome. Ce pli est également recoupé par un grand nombre de petites failles d'orientations diverses. La structure observée est assez classique pour la région. Il s'agit d'un pli déjeté à déversé vers le Nord et recoupé sur son flanc inverse par des failles inverses. De l'ensemble des fractures observées le long de la coupe A, la faille F1 présente le rejet apparent le plus important (entre 1.5 à 2.0 m). Un peu plus au Nord, lorsque F1 recoupe les schistes intermédiaires, celle-ci se sépare en deux branches. Au Sud, cette faille recoupe le plan axial du pli et devient parallèle à la stratification dans la partie plus argileuse de la base du deuxième biostrome. Cette faille constitue probablement l'un des derniers épisodes de la déformation puisqu'elle recoupe le plan axial du pli et que toutes les autres petites failles se connectent ou sont recoupées par elle.

Une schistosité est clairement marquée dans les calcschistes de la partie inférieure de l'affleurement. Les plans d'aplatissement présentent une distribution en éventail: pendage élevé (~70° vers le Sud) sur le flanc nor-

mal, et faible (20-30° vers le Sud) le long du flanc inverse. A l'affleurement, la schistosité tend à disparaître progressivement vers les niveaux médians et le niveau repère A. Dans ces mêmes niveaux, le développement de la stratification varie également entre les flancs du pli: elle est très bien marquée sur le flanc normal par des joints de calcite, dont l'épaisseur est de l'ordre du centimètre; tandis que le long du flanc inverse, elle tend à disparaître ou à séparer en une série de branches. Finalement, notons que le niveau argileux repère B voit son épaisseur diminuée de moitié entre le flanc inverse et le flanc normal. Le long de ce dernier, une schistosité de faible pendage (estimé à 30° Sud) est également bien développée dans ce niveau, alors qu'elle disparaît le long du flanc inverse.

#### 4.2. Coupe B (Figure 5)

Sous le viaduc de l'autoroute affleure une coupe de près de 500 mètres de long. Cependant seuls les 200 premiers mètres septentrionaux sont présentés ici, car plus au Sud la qualité d'affleurement se dégrade fortement. La description de la coupe commence à 20 m au Nord d'un pilier (n°3) situé en face du synclinal Sy3 très clairement exposé dans les schistes supérieurs. La section étudiée se situe majoritairement à l'Ouest de cette ancienne ligne de chemin de fer, néanmoins quelques af-



**Figure 5.** Lambermont: coupe B, située sous l'autoroute E42 (cf. Figure 3 pour localisation).

**Figure 5.** Lambermont: section B, underneath the E42-motorway (see Figure 3 for location).

fleurements fortement altérés sont aussi visibles sur la partie Est. Du Nord au Sud, on trouve successivement: le synclinal Sy3 clairement exposé dans les schistes supérieurs. A 50 m, un anticlinal A3 affecte la limite entre le troisième biostrome et les schistes intermédiaires. Ce pli a été recoupé sur son flanc Sud par une faille inverse F5 à pendage Sud. Cette dernière doit être considérée comme une faille hors-séquence, puisqu'elle recoupe le plan axial du Sy4, lequel n'est guère visible à l'affleurement, car développé dans les schistes intermédiaires. Cette même faille recoupe également le flanc Sud de l'anticlinal A3. Notons à 47 m, la présence d'une structure en rampe plissée affectant la partie inférieure compétente du troisième biostrome. Nous verrons par la suite qu'il ne s'agit pas là de la seule structure de ce type. A environ 80 m du début de la coupe, un anticlinal A4 se marque clairement dans les calcaires du deuxième biostrome. Si l'on suit le niveau repère B, qui est toujours argileux mais sans colonies, on remarque que celui-ci est décalé au sommet du pli par une faille normale (F6) à pendage Nord. Cette dernière constitue un élément structural tardif, puisque F6 recoupe la charnière anticlinale A4.

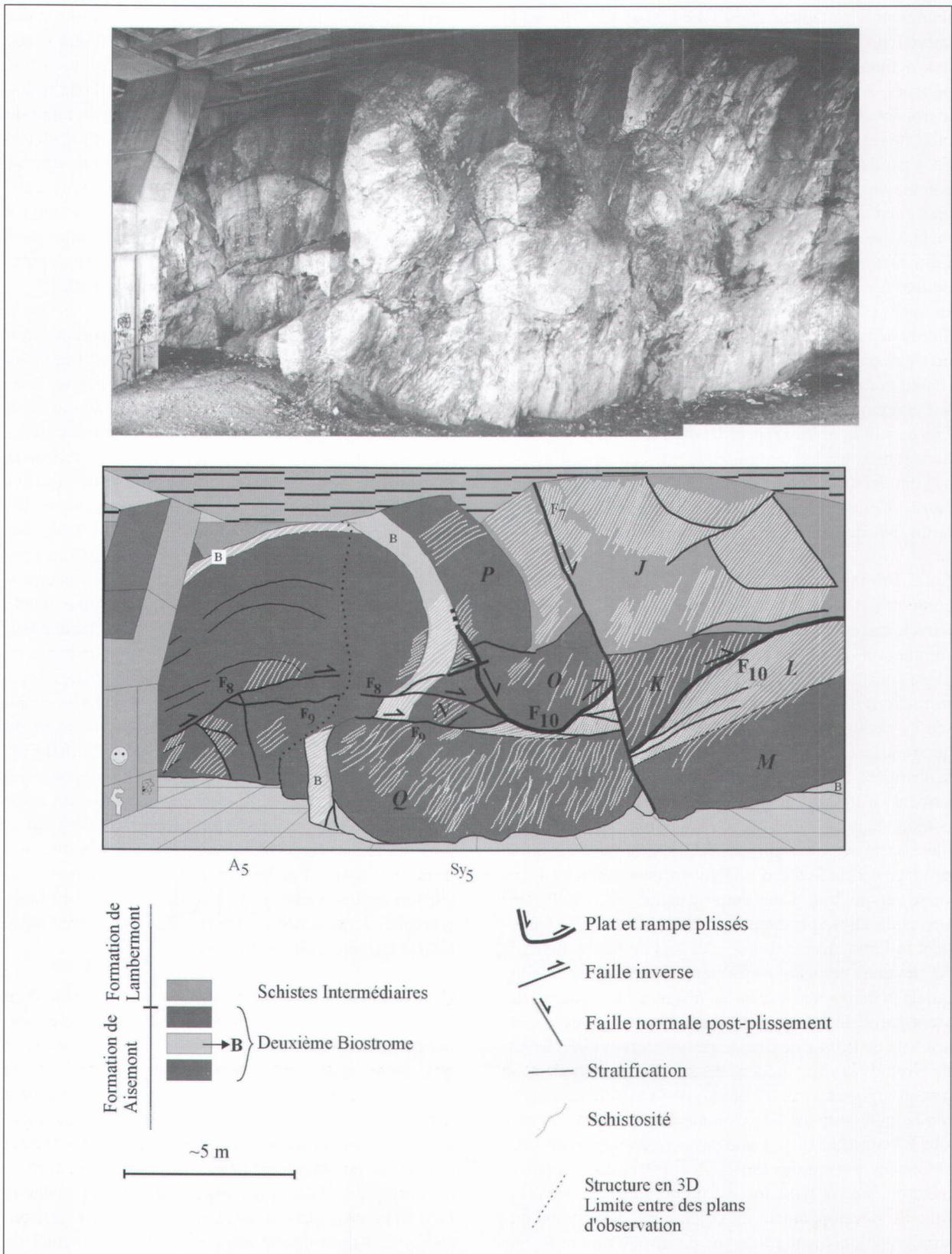
Entre 100 m et 130 m, la coupe présente une structure composée d'un synclinal Sy5 et d'un anticlinal A5, affectant respectivement les schistes intermédiaires et le sommet du deuxième biostrome. Cette structure complexe constitue en fait un résumé de la séquence des déformations de la zone et pour cette raison, elle est analysée ici plus en détail (Figure 6). Tout d'abord, remarquons qu'une faille normale (F7) à pendage Nord recoupe la charnière de Sy5. Cet accident constitue donc un événement tardif dans la séquence des déformations. Tout comme dans la coupe A (cf. Paragraphe 4.1), le plissement se marque ici par des flancs (normaux) à faible pendage vers le Sud et d'un flanc inverse par endroit renversé vers le Sud. Dans cette structure, deux failles inverses de faible pendage vers le Sud (F8 et F9) recoupent le flanc inverse du pli. Au Sud de la charnière de A5, les deux branches ne forment plus qu'une seule faille, qui de la même manière qu'au niveau de la coupe A, devient parallèle à la stratification dans les niveaux plus argileux de la base du deuxième biostrome. Dans la partie Nord de la structure, ces deux failles passent dans un niveau argileux sous un bloc noté O et sont recoupées par la faille normale F7. Comme déjà interprété ci-dessus, F7 constitue donc l'une des dernières structures développées, puisque les failles F8 et F9 ont fort probablement recoupé le flanc inverse du pli dans une phase ultime du développement de ce dernier. Rappelons que stratigraphiquement au-dessus du niveau repère B, une couche d'environ deux mètres d'épaisseur forme le sommet de deuxième biostrome. On observe ce niveau réparti en une série de blocs (K, M, N, O). Les blocs K, N et O chevauchent en tout ou en partie un niveau schisteux attribué aux schistes intermédiaires. Dans le cas du bloc N, le chevauchement des schistes est d° au mouve-

ment le long de la faille F9. Par contre, la position des blocs K et O provient d'un mouvement le long d'une faille notée F10. Celle-ci se caractérise par une forme circulaire due à son plissement. Par ailleurs, la faille disparaît dans le niveau schisteux repère B au sommet du bloc N. La trajectoire de cette faille est donc parallèle à la stratification dans le niveau schisteux et recoupe les calcaires des blocs N et K avec un angle d'environ 30° par rapport à la stratification. Ce type de trajectoire est caractéristique d'un système en plat et rampe, mais cette structure a été clairement affectée par le plissement comme l'indique la trajectoire circulaire de F10.

Toutes ces observations ont permis de déduire un modèle de mise en place de cette structure (Figure 7). Au premier stade du raccourcissement, la faille F10 se développe en plat dans le niveau incompetent repère B et en rampe dans le banc massif du sommet du deuxième biostrome (Etape 1). Cependant, la faille ne redevient pas parallèle à la stratification au sommet des calcaires comme dans un modèle classique en plat-rampe-plat, mais elle recoupe en partie les schistes intermédiaires en formant ainsi sous la faille une écaïlle notée L. Dans l'extrémité Nord de la structure, la faille rejoint finalement le sommet des calcaires du deuxième biostrome. Cette trajectoire particulière peut s'expliquer assez facilement, si l'on considère que le mouvement le long de la rampe s'est produit dans l'amorce du plissement. Dans ce cas, la faille a suivi une trajectoire horizontale dans les schistes et rejoint finalement le sommet des calcaires du deuxième biostrome sur le flanc Nord du Synclinal Sy5. Par la suite (Etape 2), le développement du pli provoque le plissement de la structure de rampe. Dans un stade ultime du développement du pli (Etape 3 et 4), les failles F8 et F9 recoupent le flanc inverse du pli et la structure de rampe plissée. Finalement (Etape 5), une phase d'extension tardive conduit au développement de la faille normale F7, qui recoupe l'ensemble des structures antérieures (structure de rampe, plis, failles F9).

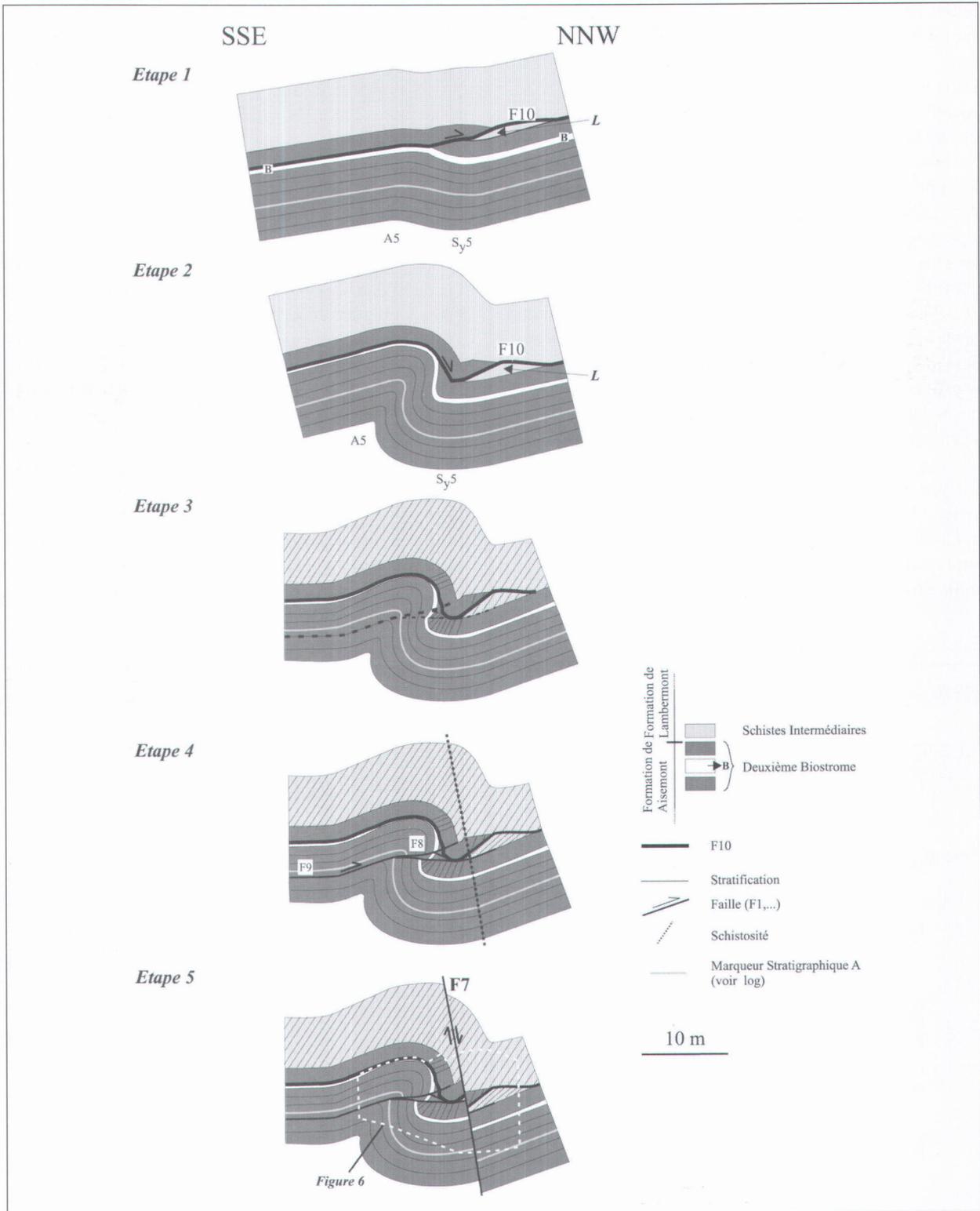
Cette structure est exceptionnelle, puisqu'elle réunit au sein d'un petit affleurement un grand nombre d'événements tectoniques que les roches des formations d'Aisemont et de Lambermont ont subis. Cette structure permet également d'établir une chronologie en partie déjà déduite des structures précédentes comme par exemple le développement tardif des failles normales. Un certain nombre de points restent néanmoins à éclaircir, comme par exemple la chronologie exacte du développement de la faille F9 par rapport à la schistosité ou bien le moment précis de l'arrêt du développement de la structure de rampe lors de la formation des deux plis A5 et Sy5.

Remarquons que l'âge tardif des failles normales (post-plissement) contredit l'hypothèse émise par J.-M. Graulich (données inédites du Service géologique) lors de son étude du site de Lambermont, qui considérait ces



**Figure 6.** Lambermont coupe B: détail de la structure du pilier n°8 (cf. Figure 5 pour localisation). La structure est principalement composée de deux plis (Sy 5 et A5), d'une rampe plissée (F10), de failles inverses (F8 et F9) et d'une faille normale postérieure au plissement (F7).

**Figure 6.** Lambermont section B: detailed pillar number 8 structure (see Figure 5 for location). The structure is mainly composed of two folds (Sy5 and A5), a folded ramp (F10), reverse faults (F8 and F9) and a post-folding normal fault (F7).



**Figure 7.** Lambermont coupe B: modèle géométrique de mise en place de la structure du pilier n°8 (cf. Figure 6). Etape 1: amorce des plis A5 et Sy5 et répétition de la dernière couche du deuxième biostrome le long d'une structure de rampe. Etape 2: plissement de la rampe. Etape 3: blocage du pli. Etape 4: le flanc inverse de A5 est recoupé par les failles F8 et F9. Etape 5: apparition de la faille normale F7.

**Figure 7.** Lambermont section B: geometrical model of the development of the structure at pillar number 8 (see Figure 6). Stage 1: beginning of folds A5 and Sy5 and repetition of the top layer of the second biostrome member along a ramp. Stage 2: folding of the ramp. Stage 3: fold lockup. Stage 4: the northern limb of fold A5 is cut by the reverse faults F8 and F9. Stage 5: development of normal fault F7.

failles comme des failles liées au tassement différentiel sur les bords d'un bioherme.

Dans le restant de la coupe (cf. Figure 5), les structures sont d'un aspect plus simple puisque les couches du sommet de la Formation d'Aisemont et celles de la base de la Formation de Lambermont sont tout d'abord horizontales, puis vers la fin de la coupe pendent d'une trentaine de degrés vers le Sud. Quelques petites failles normales les plus importantes du point de vue du rejet sont situées entre 175 et 185 m du début de la coupe. La faille observée entre 180 et 185 m se présente en relais au niveau du niveau argileux repère B. La branche inférieure semble également recoupée par un décalage bancs sur bancs, constituant un événement encore plus tardif que les failles normales. Cependant, la qualité de l'affleurement devient à cet endroit médiocre.

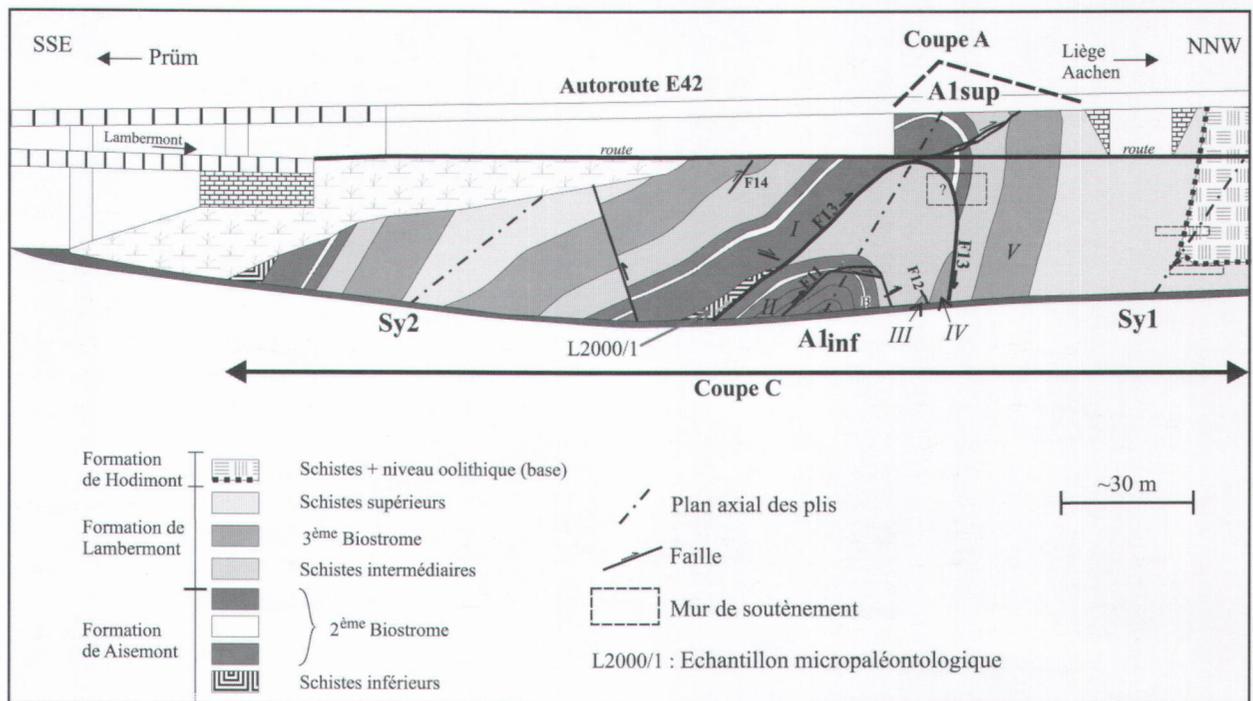
Ce type de décalage tardif de failles normales par un glissement banc sur banc est peut-être également à envisager à 80 m du début de la coupe. En effet, dans la partie supérieure de l'affleurement, un léger déplacement de la faille F6 est possible, mais dans ce cas l'aspect irrégulier

de l'affleurement et sa qualité altèrent l'observation. Finalement, remarquons que la faille inverse F5 recoupe une série de petites failles normales de rejet centimétrique. Ces dernières sont observées dans les schistes intermédiaires entre les anticlinaux A3 et A4 (entre 50 et 60 m du début de la coupe).

#### 4.3. Coupe C (Figure 8)

Cette coupe se situe dans la partie Nord de la zone d'étude (cf. Figure 3), en contrebas de la coupe A. Cette dernière n'est pas directement visible depuis le pied de l'affleurement. La Figure 8 reprend une coupe perpendiculaire aux structures observées dans les deux sections A et C. Deux synclinaux (Sy1 et Sy2) et un anticlinal (A1) forment l'allure générale de la coupe. Tous les plis sont déversés vers le Nord et ont une direction N~65°E. Les deux synclinaux présentent un aspect conventionnel avec un flanc Sud vertical ou renversé et un flanc Nord pendant à 45° vers le Sud pour Sy2 et presque horizontal pour Sy1.

Entre les deux charnières synclinales, les couches qui forment l'anticlinal se présentent comme suit (cf. base de la coupe C):



**Figure 8.** Lambermont coupes C et A. La structure est composée par deux synclinaux Sy1 et Sy2 séparés par l'anticlinal A1. Celui-ci peut être subdivisé en deux parties: l'une inférieure (A1inf) et l'autre supérieure (A1sup). Ce profil permet l'observation d'un niveau de détachement plissé (F13) avec la répétition tectonique du deuxième biostrome. Le point de prélèvement de l'échantillon micropaléontologique L2000/1 est également représenté.

**Figure 8.** Lambermont sections C and A. The structure is composed of two synclines, Sy1 and Sy2, separated by the A1 anticline. The latter can be divided into two superimposed parts: the lower one (A1inf) and the upper one (A1sup). This section exhibits a folded detachment level (F13), which induces the tectonic repetition of the second biostrome. The sampling point of the micropaleontologic specimen L2000/1 is also represented.

*Flanc Sud:*

- tout d'abord, les schistes supérieurs forment le cœur du synclinal Sy2, suivis au Nord par le troisième biostrome et les schistes intermédiaires;
- ensuite, on observe le deuxième biostrome décalé par une petite faille inverse à pendage Nord (rejet ~2 m)
- un niveau schisteux correspondant, comme l'a montré l'analyse micropaléontologique, aux schistes inférieurs. Ce niveau diminue vers le haut.

*Au niveau de la charnière anticlinale (partie inférieure de l'affleurement):*

- les calcaires du deuxième biostrome réapparaissent et sous la forme d'un pli coffré. Une faille inverse, notée F11, recoupe la partie Sud de la charnière, puis au niveau argileux repère B, elle se scinde en deux branches: l'une recoupe le dernier banc du biostrome; tandis que l'autre suit sur deux mètres le niveau repère B pour finalement recouper le dernier banc du biostrome. La trace des deux branches disparaît dans les schistes intermédiaires du flanc Nord. Néanmoins, dans les calcaires, les deux branches sont clairement affectées par le plissement. Elles se sont donc développées avant ce dernier. Cette observation avait déjà été effectuée par J.-M. Graulich lors de son étude inédite de l'affleurement.

*Flanc Nord (partie inférieure de l'affleurement):*

- tout d'abord, des schistes intermédiaires sont intercalés avec deux petites écaillés du troisième biostrome. Chacune d'elles est recoupée au Nord par une faille;
- finalement, la succession sédimentaire (schistes intermédiaires, troisième biostrome, ...) affleure en position renversée jusqu'au synclinal Sy1.

Toute la difficulté de cet affleurement réside dans la présence au flanc Sud du pli en la répétition du deuxième biostrome; tandis qu'au Nord, le troisième biostrome affleure trois fois. Lors de son étude de l'affleurement, J.-M. Graulich en a déduit que l'unité notée I constituait un bioherme situé stratigraphiquement au-dessus du deuxième biostrome. Cependant, les observations de terrain réalisées lors de notre étude ont montré, qu'il s'agit en fait d'une répétition du deuxième biostrome, puisque l'on retrouve sur la même épaisseur exactement la même succession sédimentaire. Rappelons que cette dernière se caractérise par: une base très argileuse avec une schistosité clairement développée; ensuite, des tâches de dédolomitisation (niveau repère A) affectant le milieu de la colonne stratigraphique; enfin, un niveau argileux riche en colonies se trouve à deux mètres sous le sommet du deuxième biostrome.

Cette répétition tectonique ne peut s'expliquer que par la présence d'une faille entre les deux unités du deuxième biostrome. Cependant, comme nous l'avons observé lors

de l'étude de la coupe A, aucune faille majeure, pouvant expliquer cette répétition, n'est observée. De plus, dans la partie supérieure de la coupe C, on peut contrôler sur le flanc Nord de l'anticlinal la diminution, puis la disparition des calcaires du deuxième biostrome. Ce changement est en partie masqué par un mur de soutènement. Dans la partie inférieure de la coupe C, la faille recoupant la partie Nord de l'écaillé notée IV.

Pour pouvoir expliquer ces observations, nous sommes donc contraint d'envisager la présence d'une grande faille plissée (F13). Le rejet apparent de celle-ci est estimé à plus de 130 m. Celle-ci a recoupé la succession sédimentaire selon la compétence des roches: plat ou faiblement inclinée dans les niveaux schisteux et sous la forme d'une rampe dans la partie supérieure du deuxième biostrome et la partie inférieure du troisième.

A l'affleurement, la faille suit tout d'abord parallèlement à la stratification le sommet des calcaires de l'unité II. Ensuite, elle recoupe sur une très faible épaisseur des schistes, qui dans le toit correspondent aux schistes inférieurs et dans le mur aux schistes intermédiaires. Puis, la faille rejoint et suit la base du deuxième biostrome (unité I). Au niveau de la charnière, les calcaires sont recoupés sous la forme d'une rampe, expliquant leur diminution très rapide dans la partie Nord de la charnière. Enfin, la faille plonge vers le bas de l'affleurement en recoupant selon un angle faible par rapport à la stratification au sein des schistes intermédiaires et légèrement plus élevé pour la partie inférieure du troisième biostrome.

La position stratigraphique détaillée des schistes situés entre les deux répétitions du deuxième biostrome est par contre peu aisée suite à leur ressemblance au-dessus et en dessous du deuxième biostrome. Par ailleurs, on peut remarquer que l'épaisseur de ces schistes varie selon les endroits du pli. Dans le flanc Sud, la puissance des schistes diminue vers le haut, pour devenir presque nulle au niveau de la charnière Sud du pli coffré. Au niveau de la charnière, l'épaisseur augmente brusquement, pour finalement se réduire à nouveau au niveau du flanc Nord du pli. La présence de failles plissées au sein du deuxième biostrome (base de l'affleurement de la coupe C), ainsi que d'au moins deux écaillés du troisième biostrome sous la faille F13, conduit à penser qu'un réseau de failles plissées affectent les schistes intermédiaires de la charnière de l'anticlinal. Cependant, ces failles se seraient développées avant la formation de la schistosité planaxial. Il est donc difficile de pouvoir suivre ces failles dans les schistes. Pour pouvoir expliquer le surépaississement des schistes par répétition tectonique, il est nécessaire d'introduire entre les deux unités du deuxième biostrome la présence d'un duplex au sein des schistes intermédiaires. Les failles formant celui-ci auraient été par la suite plissées et recoupées par le développement de la schistosité.

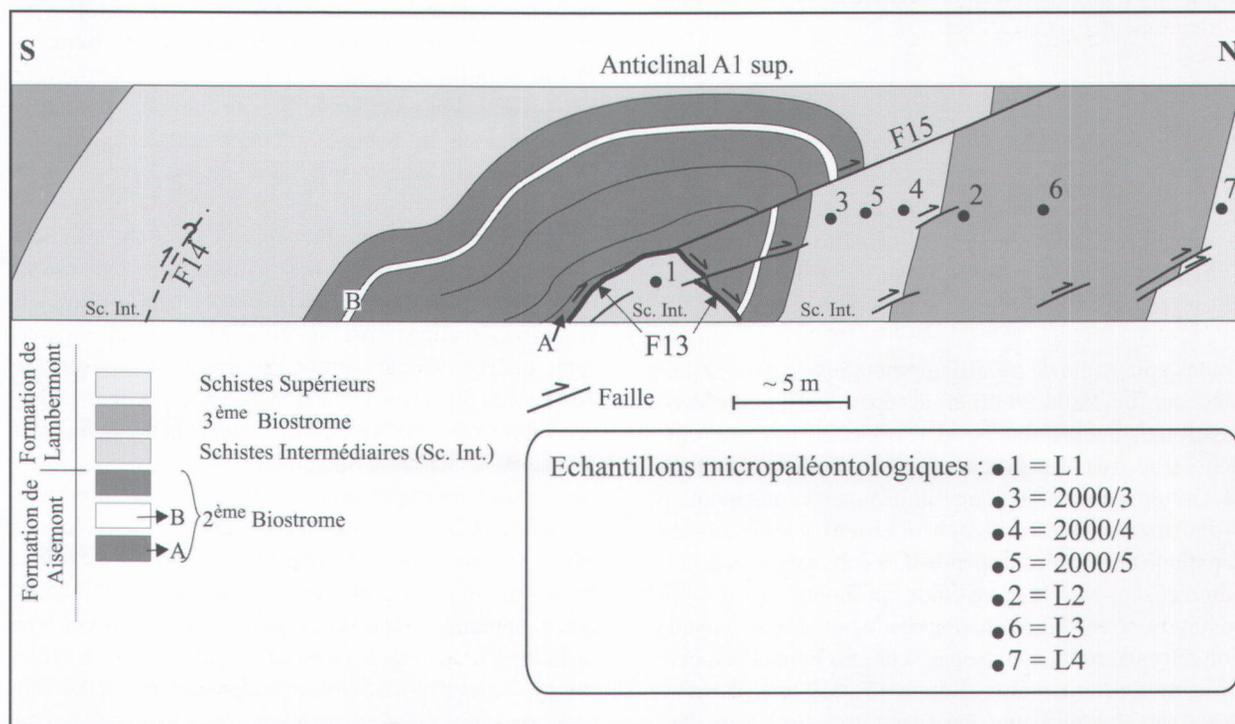
#### 4.4. Coupe D (Figure 9)

L'anticlinal analysé au niveau des coupes A et C, peut être également observé plus à l'Ouest au niveau de la sortie n°4 de l'autoroute E42 en provenance de Dison. Dans la partie Sud de la coupe, la charnière anticlinale est marquée à l'affleurement par les calcaires du deuxième biostrome surmontant un cœur schisteux. Sur chacun des flancs du pli, la séquence sédimentaire normale (schistes intermédiaires, troisième biostrome) est observée. Cependant, l'épaisseur des schistes intermédiaires double au niveau du flanc Sud. Cette modification est peut-être due à la présence d'une faille inverse répétant les schistes intermédiaires sur eux-mêmes. Cette hypothèse est supportée par l'observation d'une faille inverse au sommet de la coupe C (cf. F14 Figure 9), dont la position structurale correspond à son prolongement supposé dans la coupe D. Au niveau de la coupe C, la faille provoque cependant un chevauchement d'une partie des schistes intermédiaires sur la base de troisième biostrome. Ce contraste de lithologies permet donc l'observation de la faille, par contre au niveau de la coupe D, si cette faille est bien responsable d'une répétition tectonique des schis-

tes intermédiaires, l'absence de contraste lithologique empêche son observation.

L'intérêt structural de cette coupe se situe principalement au niveau du deuxième biostrome. En effet, lorsque l'on suit les bancs d'un flanc à l'autre du pli, on remarque que les calcaires diminuent d'épaisseur: sur le flanc Sud, seule la base du biostrome manque; tandis que, à la base de l'affleurement sur le flanc Nord, il ne reste plus que le niveau schisteux repère B et le dernier banc du sommet du membre. Cette diminution est attribuée à la présence de la faille plissée (cf. F13) déduite des coupes A et C. Au niveau de la coupe D, cette faille passe du flanc Sud du pli d'une trajectoire faiblement inclinée dans les termes les plus argileux de la base du biostrome, via un plat sous les calcaires du flanc Sud de la charnière, à une rampe au niveau de la charnière et sur le flanc Nord dans les niveaux les plus carbonatés.

Les schistes situés dans le cœur de l'anticlinal se situent donc sous la faille plissée. Leur position stratigraphique a fait l'objet d'un échantillon micropaléontologique. L'étude des acritarches conduit à attribuer ces roches aux



**Figure 9.** Lambermont coupe D. Les schistes intermédiaires affleurent sur les flancs et dans le cœur de l'anticlinal. Cette dernière position est due au plissement du niveau de détachement F13 qui provoque l'apparition d'une fenêtre tectonique de petites dimensions. Les points de prélèvements des échantillons micropaléontologiques L1, L2000/3, L2000/4 et L2000/5 sont également représentés.

**Figure 9.** Lambermont section D. The intermediate shale member outcrops along both limbs and within the hinge of the anticline. The latter location is due to the folding of the detachment level F13, which induced the development of a small-scale tectonic window. The sampling points of the micropaleontologic specimens L1, L2000/3, L2000/4 and L2000/5 are also represented.

schistes intermédiaires et non aux schistes inférieurs, comme on pourrait s'y attendre dans le cœur d'un anticlinal. On peut donc considérer cet affleurement, comme un exemple de fenêtre tectonique par plissement d'une faille. Finalement, remarquons que lors de la formation du pli et de la déformation de F13, l'anticlinal a été recoupé sur son flanc inverse par au moins une faille inverse, notée F15. Comme nous l'avons déjà fait remarquer lors de la description des coupes A et B, les failles qui recoupent le flanc Nord des plis dans les calcaires s'enracinent plus ou moins parallèlement à la stratification le long du flanc Sud dans les termes les plus argileux de la base du deuxième biostrome. Dans ce cas, la faille F15 se connecte à la faille F13, qui a donc rejoué, mais uniquement le long de la partie de sa trajectoire située sur le flanc Sud de l'anticlinal.

## 5. Discussion et conclusions

Le site de Lambermont est étudié principalement du point de vue structural, mais les techniques de la micropaléontologie sont également utilisées. La stratigraphie des membres schisto-calcaireux de la partie supérieure de la Formation d'Aisemont et la partie inférieure de la Formation de Lambermont est par ailleurs précisée. Les observations structurales sont concentrées principalement sur la déformation progressive et sur le rôle des contrastes de compétence lors du raccourcissement varisque. Les analyses micropaléontologiques ont quant à elles porté sur la discrimination sur base de critères de palynofacies de deux niveaux schisteux lithologiquement proches, mais appartenant à des formations différentes: en l'occurrence, les schistes inférieurs (Formation d'Aisemont) et les schistes intermédiaires (Formation de Lambermont). Cette étude de Palynofacies a permis de mieux contraindre la trace d'une faille plissée dont les marqueurs sur le terrain sont faibles surtout dans les niveaux schisteux, puisque la schistosité s'est surimposée à cet accident précocé.

L'étude structurale des affleurements du site de Lambermont permet une analyse précise de la déformation progressive dans cette zone fortement tectonisée, bien que située dans la partie externe du fold-and-thrust rhénohercynien. La première phase se marque par l'apparition de niveaux de détachement formés de plats dans les membres incompétents (schistes) et de rampes dans les membres compétents (calcaires). Bien que le rejet de ces niveaux en plats et rampes soit souvent de l'ordre du mètre, un détachement principal a pu néanmoins être mis en évidence. Le rejet apparent de ce dernier est estimé actuellement à au moins 138 m. L'existence même de ces niveaux au sein de la Nappe de la Vesdre indique qu'il n'existe pas de particularisme local qui conduirait à une exception de comportement mécanique des roches

du Dévono-Carbonifère de la Nappe de la Vesdre. Sur ce point, les observations de terrain effectuées à Lambermont se rapproche quelque peu de l'hypothèse de Hollmann et Walter (1995), qui utilisent un modèle en plats et rampes pour équilibrer une coupe passant à travers la Nappe de la Vesdre. Cependant, à la différence de leur interprétation, la déformation a continué à se concentrer et à provoquer le plissement des rampes et du niveau de détachement principal, ainsi que le développement d'une faille hors-séquence (cf. Paragraphe 4.2). Cette dernière est donc à rattacher plutôt au modèle proposé par Hance *et al.* (1999) qui estiment qu'une déformation hors-séquence rend mieux compte de leurs observations de terrain.

Le plissement du niveau de détachement principal est à rattacher aux niveaux de 'plats-craîns' fréquemment observés lors des travaux miniers du bassin houiller de Liège (p.ex. Humblet, 1941). A Lambermont, le plissement de ces structures précoces a deux implications importantes. Premièrement, il rend difficile l'observation des niveaux de détachement puisque ceux-ci sont fortement déformés par plissement et parfois oblitérés par le développement d'une schistosité dans les niveaux incompétents. La mise en évidence de ce type de structures est donc difficile à mettre en œuvre et seul l'établissement d'une stratigraphie fine combinée éventuellement avec des analyses micropaléontologiques sont nécessaires. Deuxièmement, il est extrêmement risqué de prolonger les coupes à plus de quelques mètres sous la surface du sol; puisqu'un niveau de détachement a priori non-prévisible peut être rencontré. L'analyse de la coupe A illustre bien ce problème, puisque sans la présence de la coupe C sous-jacente, l'auteur d'une coupe serait tenté de simplement prolonger vers le bas la stratigraphie locale, c'est-à-dire les schistes inférieurs, le premier biostrome, ... ; tandis que l'analyse de la coupe C montre une répétition des couches sous le deuxième biostrome (Formation d'Aisemont), avec la présence confirmée par les analyses micropaléontologiques des schistes intermédiaires (Formation de Lambermont) surmontant de nouveau le deuxième biostrome. Cette répétition conduit à la présence d'une fenêtre tectonique qui peut être observée par exemple le long de la coupe D (cf. Paragraphe 4.4). A la différence des interprétations traditionnelles, qui considèrent la formation des fenêtres tectoniques observées dans la Nappe de la Vesdre comme étant liées au bombement tardif d'une faille, la fenêtre de Lambermont est elle liée au plissement d'une faille précocé. Il est donc important que pour chacune des fenêtres tectoniques de clairement analyser les structures pour savoir si elles se sont formées suite au plissement d'une structure précocé comme à Lambermont ou par le bombement d'une faille tardive (pour le moment autres fenêtres). Insistons sur le fait que les deux mécanismes peuvent néanmoins coexister. Remarquons par ailleurs que la présence d'un niveau de détachement plissé à Lamber-

mont, ne constitue probablement pas un accident local, mais qu'il s'agit probablement d'un phénomène courant par analogie avec le bassin houiller de Liège. A cet endroit, en plus du grand nombre d'observations, l'établissement d'une stratigraphie fine a conduit à la mise en évidence de ce type de structures. Dans d'autres formations, moins bien connues du point de vue stratigraphique (p.ex. Dévonien inférieur; Famennien supérieur), il est peu probable que ces failles plissées pourraient être aisément mises en évidence et une interprétation en termes de variations locales d'épaisseur et de faciès risqueraient le plus souvent d'être évoquées.

Un des stades ultimes de la déformation observé à Lambermont est marqué par le développement de failles normales longitudinales aux structures. L'âge relatif de ces failles a pu être précisé grâce à l'analyse détaillée d'une petite structure (cf. Paragraphe 4.2). En effet, celle-ci montre que ces failles se sont développées après le plissement et même après les petites failles inverses qui recoupent les flancs inverses des anticlinaux. La distribution géographique de ces failles n'est pas uniquement localisée au site de Lambermont, mais Graulich & Vandeven (1973) ont déduit la présence d'une des ces failles normales un peu plus au Sud lors du sondage d'Ensival-Lambermont. De plus, des observations de terrain inédites (Vanbrabant, 2001) ont montré que l'on peut également retrouver ces failles normales plus vers l'Ouest dans la carrière de Trooz et à Prayon. L'âge relatif de ces failles par rapport aux failles hors-séquence qui affectent la région n'est pas encore très claire. En effet, à Lambermont, les failles normales pourraient être antérieures à une faille hors-séquence (cf. début de la coupe B: Paragraphe 4.2), alors que dans la carrière de Trooz, des observations (Vanbrabant, 2001) montrent clairement que les failles normales sont postérieures à une faille hors-séquence importante décrite par Laloux *et al.* (1997). Le mécanisme exact de formation des ces failles normales reste à élucider, néanmoins une hypothèse de tassement de la Nappe de la Vesdre sous son propre poids lors de son mouvement le long de la faille Theux-Tunnel semble pour le moment vraisemblable.

Finalement, remarquons qu'au sein de la Nappe de la Vesdre et le bassin houiller de Herve des failles transversales aux structures ont été abondamment décrites dans la littérature (p.ex. Fourmarier, 1954; Ancion & Evrard, 1957; Laloux *et al.*, 1997). L'âge du développement de ces failles est également un événement très tardif dans la séquence des déformations, puisqu'elles recoupent toutes les structures préexistantes. Par ailleurs, un activité néotectonique le long de certaines de ces failles transversales semble plausible (Demoulin, 1989). De plus, remarquons que le site de Lambermont se trouve dans le prolongement direct de la zone d'activité sismique de Hockay (Camelbeek, 1994).

## 6. Remerciements

Ce travail de recherches a pu être réalisé grâce au mandat d'Aspirant du FNRS dont YV a profité lors de son doctorat. Les auteurs tiennent à remercier Jacques Verniers et Timothy Debacker pour leurs commentaires constructifs lors de la review de cet article. Nous tenons également à remercier Madame Marcela Giraldo pour le traitement des échantillons palynologiques et Messieurs Martin Laloux et Pierre Ghysel du Service géologique de Belgique pour avoir permis la consultation des données inédites de Jean-Marie Graulich.

## 7. Références bibliographiques

- ANCION, C. & EVRARD, E., 1957. Contribution à l'étude des failles Monty, Mouhy et d'Ostende dans la partie orientale du massif de Herve. *Annales de la Société géologique de Belgique*, 80: B477-B488.
- BOULVAIN, F., BULTYNCK, P., COEN, M., COEN-AUBERT, M., LACROIX, D., LALOUX, M., CASIER, J.-G., DEJONGHE, L., DUMOULIN, V., GHYSEL, P., GODEFROID, J., HELSEN, S., MOURAVIEFF, N. A., SARTENAER, P., TOURNEUR, F. & VANGUESTAINE, M., 1999. Les formations du Frasnien de la Belgique. *Memoirs of the Geological Survey of Belgium*, 44: 125 p.
- CAMELBEECK, T., 1994. Mécanisme au foyer des tremblements de terre et contrainte tectoniques: le cas de la zone intraplaque belge. *Thèse de l'Observatoire royal de Belgique, Série Géophysique (Hors-Série)*: 344 p.
- COEN-AUBERT, M., 1970. Le Frasnien dans la région des Surdents (Massif de la Vesdre, Belgique). *Annales de la Société Géologique de Belgique*, 93: 383-395.
- COEN-AUBERT, M., 1974. Le Givétien et le Frasnien du Massif de la Vesdre. Stratigraphie et Paléogéographie. *Mémoires in quarto de la Classe des Sciences de l'Académie royale de Belgique*, 2<sup>e</sup> série, 18 (2): 146 p.
- COMBAZ, A., 1964. Les palynofacies. *Revue de Micropaléontologie*, 7: 205-218.
- DEJONGHE, L., 1987. Lithogéochimie des sédiments de plate-forme déposés au Sud du Massif de Brabant (Belgique) pendant le Mésodévonien et le Frasnien. Mémoire pour l'Explication des Cartes géologiques et minières de Belgique, 23: 147 p.
- DEJONGHE, L., LADEUZE, F. & JANS, D., 1993. Atlas des gisements plombo-zincifères du Synclinorium de Verriers (Est de la Belgique). *Mémoire pour l'explication des cartes géologiques et minières de Belgique*, 33: 483 p.

- DEMOULIN, A., 1989. Quaternary tectonics in the northern Ardennes, Belgium. *Tectonophysics*, 163: 315-321.
- DUFKA, P., 1990. Palynomorphs in the Llandovery black shale sequence of the Prague Basin (Barrandian area, Bohemia). *Casopis pro mineralogii a geologii*, 35: 15-31.
- FOURMARIER, P., 1928. Observations sur la nappe de Soiron du massif de la Vesdre. *Annales de la Société géologique de Belgique*, 51: B343-B347.
- FOURMARIER, P., 1954. Observations sur la tectonique des environs de Chaudfontaine (massif de la Vesdre). Les déchirures frontales de la nappe du Condroz. *Annales de la Société géologique de Belgique*, 78: B27-B60.
- GRAULICH, J.-M. & VANDENVEN, G., 1973. Le sondage d'Ensival-Lambermont. *Service géologique de Belgique, Professional Paper*, 7: 31 p.
- HANCE, L., DEJONGHE, L., GRAULICH, J.-M. & STEEMANS, P., 1989. Géologie de l'autoroute E42 Verviers Saint-Vith à Heusy et à Ensival. *Service géologique de Belgique, Professional Paper*, 1989/2: 56 p.
- HANCE, L., DEJONGHE, L., GHYSEL, P., LALOUX, M. & MANSY, J.L., 1999. Influence of heterogeneous lithostructural layering on orogenic deformation in the Variscan Front Zone (eastern Belgium). *Tectonophysics*, 309: 161-177.
- HOLLMANN, G. & WALTER, R., 1995. The Variscan deformation front between Stavelot-Venn Anticline and Brabant Massif – a balanced cross section along the Liège-Theux traverse. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Monatshefte*, H2: 92-104.
- HUMBLET, E., 1941. Le bassin houiller de Liège. *Revue universelle des mines*, 12: 21 p.
- LALOUX, M., DEJONGHE, L., GHYSEL, P. & HANCE, L., 1996. Fléron-Verviers. Carte géologique de Wallonie (échelle 1/25000) et notice explicative. *Ministère de la Région Wallone*, Namur: 150 p.
- LALOUX, M., DEJONGHE, L., GHYSEL, P., HANCE, L. & MANSY, J.L., 1997. Nouveaux concepts tectoniques dans le Synclinorium de Verviers (Est de la Belgique). *Annales de la Société géologique du Nord*, 5: 23-46.
- MARTIN, F., 1985. Acritarches du Frasnien supérieur et du Famennien inférieur du bord méridional du Bassin de Dinant (Ardenne belge). *Bulletin de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, Sciences de la Terre*, 55 (7):1-57.
- STREEL, M. & VANGUESTAINE, M., 1989. Palynomorph distribution in a siliciclastic layer near the Frasnian/Famennian boundary at two shelf facies localities in Belgium. *Bulletin de la Société belge de Géologie*, 98: 109-114.
- STREEL, M., VANGUESTAINE, M., PARDO-TRUJILLO, A. & THOMALLA, E., 2001. The Frasnian-Famennian boundary sections at Hony and Sinsin (Ardenne, Belgium): new interpretation based on quantitative analysis of palynomorphs, sequence stratigraphy and climatic interpretation. *Geologica Belgica*, 3 (2000) (3-4): 271-283.
- VANBRABANT, Y., 2001. Evolution géodynamique de la partie orientale de l'Allochtonne de l'Ardenne. *Thèse de l'Université de Liège, Belgique*: 350 p.
- VANGUESTAINE, M., DECLAIRFAYT, T., ROUHART, A. & SMEESTERS, A., 1983. Zonation par acritarches du Frasnien supérieur-Famennien inférieur dans les bassins de Dinant, Namur, Herve et Campine (Dévonien supérieur de Belgique). *Annales de la Société géologique de Belgique*, 106/1: 121-171.
- VANGUESTAINE, M., BOULVAIN, F., COEN-AUBERT, M., ROCHE, M. & OUDOIRE, T., 1997. Palynofacies in three near-to off-reef shaly deposits from late Middle to Late Frasnian age (upper Devonian) at Neuville and Frasnes (Dinant Synclinorium, Belgium). *Acta Universitatis Carolinae Geologica*, 40: 681-682.
- VANGUESTAINE, M., PARDO-TRUJILLO, A., COEN-AUBERT, M., ROCHE, M. & BOULVAIN, F., 1999. Evolution of organic debris and palynomorph preservation in two late middle Frasnian sections, southern Dinant Synclinorium border, Belgium. *Bolletino della Società Paleontologica Italiana*, 38 (2-3): 317-330.

## 8. Annexe: Localisation des échantillons analysés dans le cadre de ce travail

### A. Echantillons de référence.

A1: schistes intermédiaires dans la coupe de Bellevaux, région des Surdents

La coupe échantillonnée constitue une partie de la coupe localisée à la fig.17 de Coen-Aubert, (1974) et décrite par Coen-Aubert (1970, p. 390-391). Elle montre, dans les berges de la Vesdre, une épaisseur de schistes gris sur plus de 60m, encadrés à la base et au sommet par des calcaires peu épais à coraux, parallélisés aux premier et second biostrome. Cinq échantillons, dénommés Bellevaux/3 à /7, se situent respectivement à -1.6, 14, 26.6, 42.6. et 59.1 m. d'un muret repère.

A2: schiste inférieur dans le site de Lambermont.

L'échantillon L2000/2 provient d'un affleurement dans la prolongation de la coupe B sous l'autoroute (Fig. 5). Il a été prélevé à 300 cm au sud du pilier n°11 de l'autoroute et à 150 cm au-dessus du niveau de sol dans des schistes sous-jacents au second biostrome.

A3: schistes intermédiaires dans le site de Lambermont.

Trois échantillons ont été pris dans les 6 m de schistes qui affleurent dans la coupe de la sortie 4 de l'autoroute (coupe D, Fig.9). Ils sont dénommés L2000/3, L2000/4 et L2000/5 et se localisent respectivement à 120, 440 et 270 cm au-dessus de second biostrome.

B: échantillons de position lithostratigraphique incertaine

B1: échantillon L1 in Vanguestaine *et al.*, 1983 (Coupe D, Fig. 9), dans le cœur de l'anticlinal à flancs constitués par des calcaires du second biostrome, à 90 cm sous la base des calcaires.

B2: échantillon L2000/1

Coupe C, Figure 8, dans le schiste de la partie inférieure de l'affleurement, schiste qui sépare les deux occurrences du second biostrome, à 100 cm sous la base du biostrome noté I à la Fig. 8.