

DISSERTATION

présentée à

L'UNIVERSITE CATHOLIQUE DE LOUVAIN

Laboratoire de Géologie et Minéralogie

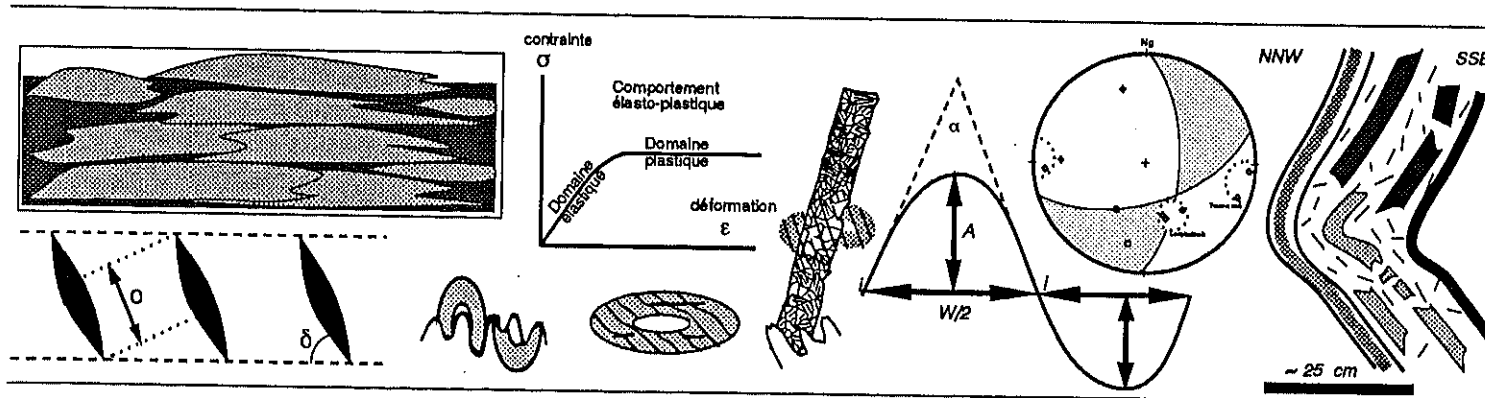
pour l'obtention du grade de
DOCTEUR EN SCIENCES

par

BRODKOM FREDERIC

**LES ROLES ET COMPORTEMENTS TECTONIQUES DE MUDMOUNDS
WAULSORTIENS AU SEIN DE SERIES CALCARO-SCHISTEUSES
DINANTIENNES LORS DES DEFORMATIONS VARISQUES.**

ETUDE DES DEFORMATIONS DE LITHOFACIES STRUCTURAUX EN DIVERS DOMAINES WAULSORTIENS
DU SYNCLINORIUM DE DINANT, DU SYNCLINORIUM DE LAVAL ET DU SUD DE L'IRLANDE.



A la mémoire de mes parents dont

le dur voyage se termina trop tôt

AVANT-PROPOS

Au terme de mes années de recherche à l'U.C.L. dont cette thèse est l'aboutissement, je tiens à remercier toutes les personnes qui ont fait la richesse de cette période de ma vie. Ce sont d'abord D. Laduron et A. Lees qui, comme promoteurs de ce doctorat et enseignants dont j'avais les exercices en charge, ont tout deux apporté, dans leur domaine propre, les conseils qui me furent indispensables. Ils savent la sympathie que j'ai pour eux et me l'ont toujours rendue sans faillir.

Pour leur accueil et les visites de terrain dans le Bassin de Laval (Bretagne), nous présentons également toute notre gratitude à A. Pelhâte (Université du Maine) et à F. Meilliez (Université des Sciences et Techniques de Lille). Également pour leur accueil et leur guidance lors de nos levés, cette fois dans le Sud de l'Irlande, nous remercions R. Heselden (University College Cork), G. Sevastopulo (Trinity College, Dublin) et A. Sleeman (Geological Survey of Ireland). Enfin, pour avoir accepté de juger mon travail, je remercie, outre mes promoteurs, Mrs. J. Moreau, J. Verkaeren et M. Coen de l'Université Catholique de Louvain, ainsi que Mrs. F. Meilliez (U.S.T.-Lille) et W. Fiehlitz (Geologisches Institut, Karlsruhe).

Parmi les enseignants et chercheurs qui m'ont beaucoup appris, j'ai d'abord une pensée émue pour feu R. Conil dont l'enthousiasme, la gentillesse et le savoir ne furent que rarement égalés à Louvain. C'est à sa mémoire, et car il aurait sûrement aimé faire partie de mon jury, que j'aimerais aussi dédicacer cette thèse.

S'il est des personnes parmi les membres, ou les ex-membres, de l'U.C.L. qui ont pu contribuer à ce que mon passage à Louvain soit une expérience agréable, ce sont elles que je tiens à remercier le plus chaleureusement. Ce sont d'abord mes amis de longue date comme D. Michiels et P. Francus avec lesquels j'ai fait mes études et qui comme moi sont devenus assistant à l'U.C.L. En temps qu'assistants et chercheurs, d'autres personnes ont contribué d'une manière judicieuse à ma formation ou m'ont aidé durant cette thèse ou mes tâches d'encadrement. Il me plaît donc aussi de les en remercier : Ph. Roselle, qui m'a enseigné le levé de terrain, D. Hilbo, pour sa disponibilité sans pareil, B. Malengreau, A.-C. Van Overbeke, A. Bocquet, S. Labiaux, et bien d'autres, comme ceux qui ont travaillé à Furfooz tels J.-L. Pingot, B. Delcambre, M. Delogne et J. Chaboteaux.

Puisque leur collaboration technique et administrative est devenue avec le temps une véritable participation ou une réelle amitié, j'aimerais aussi faire part de ma reconnaissance

à M. Tempère, J. Wautier, M. Bravin et B. Capelle. En tant qu'assistant, j'ai également eu beaucoup de plaisir à faire part de mes modestes connaissances à plusieurs générations d'étudiants qui, tant sur le terrain que lors des exercices en salles ou à l'occasion de mémoires en géologie structurale, ont eu parfois à supporter mes humeurs et exigences. Malgré cela, beaucoup d'entre eux m'ont toujours montré leur sympathie et ont permis que ces années deviennent pour moi inoubliables, je les en remercie vivement.

Enfin, il est une personne, ou même trois, qui ont eu à subir cette thèse et qui malgré les périodes sombres ont toujours su ensoleiller ma vie : ce sont mon épouse Pascale et nos filles Coraline et Valérianne. Les excuses que je pourrais leur donner ne seraient jamais assez suffisantes que pour me racheter complètement des années difficiles qui furent les nôtres et qui le seront encore probablement. Elles m'aiment pourtant et pour ce fait qui n'a finalement de simple que les apparences, je les remercie plus que jamais.

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE 1. INTRODUCTION.	1
Section 1.1.	
LES PRELIMINAIRES.	2
§ 1.1.a. Les objectifs et la méthode de travail.	2
§ 1.1.b. La structure et le contenu des chapitres.	3
Section 1.2.	
LE CONCEPT DU WAULSORTIEN ET SA DEFORMATION SPECIFIQUE.	9
§ 1.2.a. La définition actuelle du Waulsortien.	9
§ 1.2.b. L'état des connaissances structurales.	13
Les études régionales.	
Les études stratigraphiques et sédimentologiques	
Les études structurales.	
CHAPITRE 2. LE CADRE GEOLOGIQUE.	17
Section 2.1.	
LE WAULSORTIEN DU BASSIN DE DINANT ET SON CADRE TECTONIQUE.	19
§ 2.1.a. Historique et définition du Waulsortien en Belgique.	19
§ 2.1.b. Le cadre tectonique du Synclinorium de Dinant.	23
Section 2.2.	
LE DOMAINE WAULSORTIEN DE FURFOOZ.	29
§ 2.2.a. La lithostratigraphie des formations de Furfooz.	29
Les formations subwaulsortiennes.	
Le récif waulsortien.	
Les faciès pérwaulsortiens.	
§ 2.2.b. Les structures tectoniques majeures de Furfooz.	31
Les plis du secteur nord et ouest de Furfooz.	31
Les plis du secteur est de Furfooz.	32
Section 2.3.	
LE WAULSORTIEN DU BASSIN DE LAVAL ET SON CADRE TECTONIQUE.	35
§ 2.3.a. Historique et définition du Waulsortien de Bretagne.	35
§ 2.3.b. Le cadre tectonique du Synclinorium de Laval.	38
Section 2.4.	
LE WAULSORTIEN DE BOUERE ET ST-PIERRE.	41
§ 2.4.a. La lithostratigraphie du Synclinal de Bouère.	41
La Formation de Grez-en-Bouère.	
Les Calcaires de Bouère.	
La Formation de Bouessay.	
§ 2.4.b. La carrière du Jars à Bouère.	42
§ 2.4.c. Les formations du graben de St-Pierre.	44
§ 2.4.d. La carrière de Feux-Vilaine à St-Pierre.	44
Section 2.5.	
LE WAULSORTIEN DU SUD DE L'IRLANDE ET SON CADRE TECTONIQUE.	49
§ 2.5.a. Historique et définition du Waulsortien d'Irlande.	49
§ 2.5.b. Les structures tectoniques des Variscides Irlandaises.	52

La paléogéographie du Munster Basin.
La zonation structurale et le front varisque Irlandais.

Section 2.6.

LES DOMAINES WAULSORTIENS D'ARDMORE, LOUGHBEG ET MUCKROSS.	59
§ 2.6.a. Les formations et structures d'Ardmore.	59
La Ballysteen Formation.	
Les Waulsortian Limestones.	
§ 2.6.b. Les formations et structures de Loughbeg (Cork Harbour).	61
La Loughbeg Formation.	
Les Waulsortian Limestones.	
§ 2.6.c. Le Dinantien de Muckcross.	65

CHAPITRE 3. LES LITHOFACIES STRUCTURAUX. **69**

Section 3.1.

LE CONCEPT DU LITHOFACIES EN TERME DE MECANIQUE DES ROCHES.	70
§ 3.1.a. Définitions de base en mécanique des roches.	70
§ 3.1.b. La texture et la composition des roches.	73
§ 3.1.c. Les formes et discontinuités des corps.	76
§ 3.1.d. La définition du lithofaciès structural.	77

Section 3.2.

LES SERIES STRATIFIEES ET ALTERNEES.	82
§ 3.2.a. Les séries stratifiées des domaines waulsortiens.	82
L'enveloppe stratifiée du Waulsortien de Furfooz.	
Les faciès E, F de Bouère.	
La série stratifiée de 0 à 60 m à St-Pierre.	
Le Waulsortien final et la Loughbeg Formation à Loughbeg.	
§ 3.2.b. Les caractères mécaniques des séries calcaires stratifiées.	83
§ 3.2.c. Les séries alternées calcaires-schistes.	84
Les Calcschistes de Maurenne à Furfooz.	
Les faciès calcschisteux A, C et D de Bouère.	
La partie supérieure de la Ballysteen Formation d'Ardmore.	
§ 3.2.d. Les caractères mécaniques des séries alternées calcaires-schistes.	85

Section 3.3.

LES AGREGATS TABULAIRES ET LENTICULAIRES.	87
§ 3.3.a. Les agrégats tabulaires du Sud de l'Irlande et de St-Pierre.	87
Les Waulsortian Limestones du Sud de l'Irlande.	
L'agrégat tabulaire de St-Pierre.	
§ 3.3.b. Les caractères mécaniques de l'agrégat tabulaire.	88
§ 3.3.c. Les agrégats lenticulaires de Furfooz et Muckcross.	89
Le récif waulsortien de Furfooz.	
Les calcaires massifs de Muckcross.	
§ 3.3.d. Les caractères mécaniques des agrégats lenticulaires.	90

Section 3.4.

LES INTERCALATIONS CRINOÏDIQUES, LENTILLES ISOLEES ET NOYAUX DOLOMITIQUES.	91
§ 3.4.a. Les intercalations crinoïdiques des domaines waulsortiens.	91
Le Faciès de Bayard et le Faciès crinoïdique à Furfooz.	
Le faciès crinoïdique G à Bouère.	
Les fins bancs crinoïdiques à St-Pierre.	
Les intercalations crinoïdiques du Waulsortien d'Ardmore.	
§ 3.4.b. Les caractères mécaniques des intercalations crinoïdiques.	92

§ 3.4.c. Les lentilles isolées des domaines waulsortiens. Les lentilles à veines bleues de Furfooz. La lentille précoce du faciès B de Bouère. La lentille isolée de St-Pierre.	93
§ 3.4.d. Les caractères mécaniques des lentilles isolées.	94
§ 3.4.e. Les noyaux dolomitiques à Furfooz.	95
§ 3.4.f. Les caractères mécaniques des noyaux dolomitiques.	97
CHAPITRE 4. L'INVENTAIRE DES STRUCTURES.	99
Section 4.1.	
LES FIGURES DE CHARGE ET SLUMPS.	100
§ 4.1.a. Les structures synsédimentaires de la série stratifiée de Furfooz.	100
§ 4.1.b. Le slump de la série stratifiée de Loughbeg.	101
Section 4.2.	
LES JOINTS DE DISSOLUTION.	103
§ 4.2.a. Les joints stylolithiques de Furfooz. Les intercalations crinoïdiques et la série stratifiée. Les autres lithofaciès structuraux de Furfooz. Conclusions sur les stylolithes et leur rôle tectonique.	105
§ 4.2.b. Les joints stylolithiques des domaines de Laval. Les joints stylolithiques de Bouère. Les joints stylolithiques de St-Pierre.	107
§ 4.2.c. Les joints stylolithiques des domaines d'Irlande. Le domaine waulsortien d'Ardmore. Le domaine waulsortien de Loughbeg. L'agrégat tabulaire de Muckcross.	109
Section 4.3.	
LES VEINES DE CALCITE - DIAGENESE OU TECTONIQUE ?	111
§ 4.3.a. Les veines de dilatation et les critères de distinction.	111
§ 4.3.b. Les occurrences possibles de veines tectoniques.	114
Section 4.4.	
LES PLIS ET STRUCTURES ASSOCIEES.	115
§ 4.4.a. Les plis et structures associées de Furfooz. Présentation générale des plis de Furfooz. Le Synclinal de Vletchamp. L'Anticlinal de Molemout.	115
§ 4.4.b. Le pli majeur et les microplis de Bouère. Le pli dissymétrique déversé du Jars. Les microplis du niveau calcschisteux.	129
§ 4.4.c. Les plis du domaine waulsortien d'Ardmore. Les plis et la stratification. La relation du clivage au pli.	134
§ 4.4.d. Le pli du domaine waulsortien de Loughbeg.	137
Section 4.5.	
LE CLIVAGE TECTONIQUE.	141
§ 4.5.a. Le clivage tectonique des calcschistes de Furfooz.	141
§ 4.5.b. Le clivage tectonique des calcschistes de Bouère.	142
§ 4.5.c. Le clivage tectonique des domaines d'Irlande. Le domaine waulsortien d'Ardmore. Le domaine waulsortien de Loughbeg.	143

Section 4.6.	
LES STRUCTURES DE BOUDINAGE.	145
§ 4.6.a. Le boudinage d'un banc crinoïdique à St-Pierre.	145
Section 4.7.	
LES SYSTEMES DE DIACLASES ORTHOGONALES ET DIAGONALES.	149
§ 4.7.a. Les systèmes de diaclasses à Furfooz.	149
Les intercalations crinoïdiques.	
Les séries stratifiées.	
§ 4.7.b. Les systèmes de diaclasses des domaines de Laval.	159
Les paraclases du niveau calcschlsteux de Bouère.	
La différence de fracturation à St-Pierre.	
§ 4.7.c. Les diaclasses des domaines d'Irlande.	163
Les Waulsortian Limestones d'Ardmore.	
La série stratifiée de Loughbeg.	
L'agrégat tabulaire de Muckcross.	
Section 4.8.	
LES FAILLES INVERSES ET STRUCTURES ASSOCIEES.	167
§ 4.8.a. La question du charriage à Furfooz.	168
§ 4.8.b. Les mésofailles inverses du domaine de Bouère.	169
§ 4.8.c. Les charriages varisques du Sud de l'Irlande.	171
Le domaine d'Ardmore limité par une back-thrust.	
Les failles inverses dans la région de Loughbeg.	
Le front varisque du domaine de Muckcross.	
Section 4.9.	
LES DECROCHEMENTS ET STRUCTURES ASSOCIEES.	175
§ 4.9.a. La question des décrochements à Furfooz.	175
§ 4.9.b. Les décrochements dans le Bassin de Laval.	177
Les failles obliques de la carrière du Jars.	
§ 4.9.c. Les cross-faults du Sud de l'Irlande.	178
Les fractures NNW-SSE d'Ardmore.	
La question des structures NNW-SSE de Loughbeg.	
Les structures transverses de la région de Muckcross.	180
Section 4.10.	
LES FAILLES NORMALES.	183
§ 4.10.a. La faille normale de l'anticlinal AA 6 de Furfooz.	183
§ 4.10.b. Les failles normales du Bassin de Laval.	184
La faille normale du palier - 40 de St-Pierre.	
Les autres structures d'extension à St-Pierre.	
§ 4.10.c. Les failles transverses normales de Loughbeg.	188
Section 4.11.	
LES ZONES DE CISAILLEMENT.	191
§ 4.11.a. La méthodologie d'analyse de l'étiement.	192
L'étude qualitative de l'étiement des calcaires.	
Les crinoïdes comme marqueurs de la déformation et la méthode Rf/ϕ' .	
L'exemple des calcaires étirés de Cannington Park.	
§ 4.11.b. Les zones ductiles de cisaillement à Furfooz.	200
Les zones ductiles de cisaillement en relais.	
La zone de cisaillement du pli AA 8.	
Les zones de cisaillement par interaction des dolomies et lentilles.	

§ 4.11.c. Le broyage par interaction à St-Pierre.	207
§ 4.11.d. Les zones de cisaillement du Sud de l'Irlande. La zone étirée et clivée de Loughbeg. Le cisaillement en transpression à Muckcross.	208
Section 4.12.	
LES SYSTEMES DE VEINES EN ECHELON.	213
§ 4.12.a. L'absence de veines en échelon par cisaillement à Furfooz.	213
§ 4.12.b. Les veines en échelon des domaines de Laval. Les veines en échelon par cisaillement à Bouère. Les systèmes de veines en échelon en extension à St-Pierre.	215
§ 4.12.c. Les veines en échelon des domaines d'Irlande. Les veines en échelon du cisaillement majeur d'Ardmore. Les veines en échelon de Loughbeg.	217
Section 4.13.	
LES KINK BANDS.	223
§ 4.13.a. Les kinks du niveau calcschisteux de Bouère.	223
CHAPITRE 5. LES ROLES ET COMPORTEMENTS TECTONIQUES.	225
Section 5.1.	
LA DEFORMATION DES LITHOFACIES STRUCTURAUX.	226
§ 5.1.a. La déformation des séries stratifiées. Les structures propres aux séries stratifiées. L'implication des séries stratifiées dans le style tectonique.	226
§ 5.1.b. La déformation des séries alternées. Les structures propres aux séries alternées. L'implication des séries alternées dans les structures locales.	227
§ 5.1.c. La déformation des agrégats tabulaires. Les structures propres aux agrégats tabulaires. L'implication des agrégats tabulaires dans le style tectonique.	229
§ 5.1.d. La déformation des agrégats lenticulaires. Les structures propres à l'agrégat lenticulaire. L'implication des agrégats lenticulaires dans le style tectonique.	230
§ 5.1.e. La déformation des intercalations crinoïdiques. Les structures propres aux intercalations crinoïdiques. L'implication des intercalations crinoïdiques dans les structures locales.	231
§ 5.1.f. La déformation des lentilles isolées. L'implication des lentilles isolées dans les structures locales.	233
§ 5.1.g. La déformation des noyaux dolomitiques. Les structures propres aux noyaux dolomitiques. L'implication structurale des noyaux dolomitiques.	234
Section 5.2.	
LA REPONSE MECANIQUE DES ASSEMBLAGES DE LITHOFACIES.	237
§ 5.2.a. Les cinq principes de relations et rôles mécaniques.	237
§ 5.2.b. La similarité de comportement de corps non adjacents. La similarité des lentilles isolées et noyaux dolomitiques à Furfooz. La similarité des intercalations crinoïdiques et séries stratifiées à Furfooz.	238
§ 5.2.c. L'accordance des corps massifs aux plissements. L'accordance au plissement de lentilles isolées et noyaux dolomitiques à Furfooz. L'accordance au plissement de la lentille isolée de Bouère.	239
§ 5.2.d. La solidarité des lithofaciès adjacents lors de leur structuration. La solidarité de l'agrégat tabulaire avec les séries stratifiées et alternées (Irlande).	240

La solidarité de l'agrégat tabulaire avec la série stratifiée à St-Pierre. La solidarité tardive de la lentille isolée de Bouère avec les calcschisteux.	243
§ 5.2.e. La dysharmonie entre lithofaciès adjacents. La dysharmonie de plissement de l'agrégat lenticulaire à Furfooz. La dysharmonie au plissement des calcschistes à Furfooz. Les dysharmonies à Bouère.	245
§ 5.2.f. L'interaction des corps massifs du Waulsortien. Les interactions par mobilité tectonique à Furfooz. L'interaction de la lentille isolée de St-Pierre. L'interaction de la lentille isolée de Bouère. L'interaction des masses au cisaillement de Muckross.	249
Section 5.3.	
LA DEFORMATION DU WAULSORTIEN : CHRONOLOGIE ET TYPOLOGIE.	249
§ 5.3.a. Les bases d'une modélisation du Waulsortien.	249
§ 5.3.b. Le Type I de comportement et structuration du Waulsortien. La structuration du récif waulsortien de Furfooz : chronologie & principes. La structuration de la lentille waulsortienne à Bouère : chronologie & principes. La structuration du Waulsortien de Muckross : chronologie & principes.	251
§ 5.3.c. Le Type II de comportement et structuration du Waulsortien. La structuration des Waulsortian Limestones à Loughbeg : chronologie & principes. La structuration des Waulsortian Limestones à Ardmore : chronologie & principes. La structuration du Waulsortien de St-Pierre : chronologie & principes.	255
CHAPITRE 6. LES PERSPECTIVES ET CONCLUSIONS.	259
Section 6.1.	
LA COMPARAISON DES MODELES WAULSORTIENS AUX AUTRES RECIFS.	260
§ 6.1.a. Les domaines waulsortiens d'Europe occidentale. La région de Waulsort-Falmignoul (Synclinorium de Dinant). La région de Sosoye-Maredsous (Synclinorium de Dinant). Le sondage de Cannington Park (Mendips, Somerset). La côte de Ballybunion (West Midlands, Irlande). La carrière de Limont-Fontaine (Nord de l'Avesnois).	261
§ 6.1.b. Les récifs dévonien d'Allemagne et Belgique. Le Complexe carbonaté de Warstein (Massif Rhénan). Le récif frasien de Rome (Ride anticlinale de Durbuy).	264
Section 6.2.	
L'ETUDE TECTONIQUE DES DOMAINES RECIFAIRES, QUESTION DE METHODE ?	266
§ 6.2.a. L'analyse fondamentale.	266
§ 6.2.b. L'analyse structurale.	267
§ 6.2.c. L'analyse comportementale.	268
Section 6.3.	
CONCLUSIONS.	269
BIBLIOGRAPHIE	271
PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES	
CARTES STRUCTURALES & COUPES	

LISTE DES FIGURES

1. INTRODUCTION.

- Figure 1.1. page 8
Colonne stratigraphique du Dinantien et schéma de définition du Waulsortien.
- Figure 1.2. page 10
Modèles bathymétriques d'évolution du Waulsortien et distribution des allochems.
- Figure 1.3. page 12
Modes d'agrégation et de croissance des faciès waulsortiens.

2. LE CADRE GEOLOGIQUE.

- Figure 2.1 page 18
Les Variscides en Europe occidentale.

Le Waulsortien du Bassin de Dinant et son cadre tectonique.

- Figure 2.2 page 20
Carte géologique de Dréhance à Hulsonnniaux et toponymie de la région de Dinant.
- Figure 2.3 page 21
Les faciès du Waulsortien et ses équivalents latéraux suivant de Dorlodot.
- Figure 2.4 page 22
Les faciès du Waulsortien et ses équivalents latéraux suivant le modèle de Furfooz.
- Figure 2.5 page 25
Carte des grandes entités tectoniques de Belgique et coupe à travers l'allochtone ardennais.
- Figure 2.6 page 26
Les cinq ensembles de déformation des assises paléozoïques de Belgique.

- Figure 2.7 page 27
Présentation des coupes de Furfooz et carte toponymique.

- Figure 2.8 page 28
Dessins de la coupe de la Gare de Gendron-Celles à Furfooz.

Le Waulsortien du Bassin de Laval et son cadre tectonique.

- Figure 2.9 page 34
Cartes du Massif armoricain et des structures majeures du Bassin de Laval.

Figure 2.10	page 36
Stratigraphie du Carbonifère de Laval d'après Milon.	
Figure 2.11	page 37
Les "blohermes" waulsortiens du Calcaire de Laval d'après Pelhâte.	
Figure 2.12	page 37
Schémas de l'évolution géodynamique du Bassin de Laval au Carbonifère Inférieur.	
Figure 2.13	page 40
Carte géologique au sud du Synclinal de Bouère et localisation de la carrière du Jars.	
Figure 2.14	page 43
Coupe de la carrière du Jars à Bouère avec les faciès (A à G) et les structures majeures.	
Figure 2.15	page 45
Carte géologique du graben de St-Pierre et localisation de la carrière de Feux-Villaine.	
Figure 2.16	page 46
Coupe composite (So et diaclases) de la coupe NE-SW du paller - 80 m à Feux-Villaine.	
<u>Le Waulsortien du Sud de l'Irlande et son cadre tectonique.</u>	
Figure 2.17	page 48
Carte géologique des Variscides Irlandaises avec localisation des sections étudiées.	
Figure 2.18	page 51
Reconstitution paléogéographique du développement waulsortien et carte isopaque.	
Figure 2.19	page 54
La position stratigraphique du Waulsortien dans le Dinantien du Munster d'Irlande.	
Figure 2.20	page 55
Zonation structurale des Variscides Irlandaises et coupe structurale N-S dans ces zones.	
Figure 2.21	page 58
Carte géologique d'Ardmore et colonne d'échantillonnage dans le domaine waulsortien.	
Figure 2.22	page 62
Cartes géologiques au sud de Cork Harbour-Ringaskiddy.	
Figure 2.23	page 64
Colonnes d'échantillonnage dans le domaine waulsortien de Loughbeg et Golden Rock.	
Figure 2.24	page 66
Carte géologique de la péninsule de Muckross et carte schématique des échantillons.	

3. LES LITHOFACIES STRUCTURAUX.

Figure 3.1 page 71
 Courbes contrainte-déformation des comportements plastique et fragile des matériaux.

Figure 3.2 page 72
 Les compétences par rapport aux profondeurs et l'enfouissement atteint par le Waulsortien.

Figure 3.3 page 75
 Dessin des déformations intra- et intergranulaires.

Figure 3.4 page 80
 Présentation schématique des lithofaciès structuraux.

Figure 3.5 page 81
 Les correspondances des lithofaciès structuraux aux formations des domaines waulsortiens.

Figure 3.6 page 86
 Les changements de la fabrique d'un calcschiste-type lors du développement d'un clivage.

Figure 3.7 page 97
 Description hiérarchique pour la classification des faciès dolomitiques.

4. L'INVENTAIRE DES STRUCTURES.

Les structures de déformation synsédimentaire et d'enfouissement.

Figure 4.1 page 102
 Dessins pour la reconstitution du *slump* de Loughbeg.

Figure 4.2 page 104
 Classification des joints stylolithiques et stylolithes tectoniques.

Figure 4.3 page 105
 Tableau de distribution de 50 stylolithes étudiés à Furfooz (diagénétiques et tectoniques).

Figure 4.4 page 113
 Classification des types majeurs de veines dans les roches carbonatées.

Les structures de déformation ductile.

Figure 4.5 page 116
 Tableaux des structures plissées de Furfooz.

Figure 4.6 page 117
 Présentation théorique des structures plissées et classification pour Furfooz.

Figure 4.7	page 119
Stéréogrammes pour l'analyse des plis isolés et structures de AA 1, AS 2, AS 5 à Furfooz.	
Figure 4.8	pages 121-123
Stéréogrammes pour l'analyse du Synclinal de Vletchamp à Furfooz.	
Figure 4.9	page 127
Stéréogrammes pour l'analyse de l'Anticlinal de Molemont à Furfooz.	
Figure 4.10	page 130
Stéréogrammes pour l'analyse de la carrière du Jars à Bouère.	
Figure 4.11	page 131
Coupes dans la partie orientale du Synclinal de Bouère.	
Figure 4.12	page 133
Détails de la lentille waulsortienne du Jars à Bouère et des mésostructures tectoniques.	
Figure 4.13	page 134
La formation de microplis dans les systèmes multicouches à compétences contrastées.	
Figure 4.14	page 136
Stéréogrammes pour l'analyse des structures du domaine waulsortien d'Ardmore.	
Figure 4.15	page 137
Graphique pour l'analyse de la divergence et de la réfraction du clivage à Ardmore.	
Figure 4.16	pages 138-139
Stéréogrammes pour l'analyse des structures du domaine waulsortien de Loughbeg.	
Figure 4.17	page 140
Les domaines de clivages discontinus et classification des calcschistes de Furfooz et Ardmore.	
Figure 4.18	page 142
Formation progressive d'un clivage plan-axial précoce et principe de sa réfraction.	
Figure 4.19	page 146
Représentation théorique et mode de formation des boudins.	
Figure 4.20	page 147
Dessin des occurrences de bancs crinoïdiques boudinés ou non à St-Pierre.	

Les structures de déformation cassante.

Figure 4.21	page 150
Tableaux des paramètres des analyses qualitatives et quantitatives des diaclases.	

Figure 4.22	page 151
La géométrie des diaclases et les régimes de fracturation (diagramme F_d v F_c).	
Figure 4.23	page 152
Stéréogrammes des surfaces de la coupe de l'Escarpeement des Cavernes à Furfooz.	
Figure 4.24	page 154
Tableaux pour l'analyse des diaclases des secteurs 6 à 8 et 3, 9, 12 de Furfooz et régimes.	
Figure 4.25	page 155
Cartes des rosaces d'orientation pour les diaclases longitudinales et transversales à Furfooz.	
Figure 4.26	page 156
Diagramme du régime de fracturation des secteurs subwaulsortiens (7 & 8).	
Figure 4.27	page 157
Diagramme du régime de fracturation des secteurs périwaulsortiens (3, 9 & 12).	
Figure 4.28	pages 161-162
Stéréogrammes pour l'analyse du domaine waulsortien de St-Pierre.	
Figure 4.29	page 166
Classification des failles et bloc-diagramme des failles liées aux charriages.	
Figure 4.30	page 170
Croquis des mésofailles Inverses de la carrière du Jars à Bouère.	
Figure 4.31	page 173
Reconstitution des structures liées à la faille Inverse de Loughbeg.	
Figure 4.32	page 176
Les structures d'accompagnement des décrochements.	
Figure 4.33	page 182
Types particuliers de failles normales en régime de plissement et de décrochement.	
Figure 4.34	page 189
Dessin des stries de glissement du paller - 80 m de Feux-Villaine à St-Pierre.	
<u>Les structures de déformation par cisaillement.</u>	
Figure 4.35	page 192
Classification et exemples des différents types de zones de cisaillement.	
Figure 4.36	page 193
Exemple de log pour l'analyse de l'étiement à Furfooz (Montagne de Chalet).	

Figure 4.37	page 198
Présentation de la méthode Rf/ϕ' d'analyse quantitative de la déformation.	
Figure 4.38	page 202
Classification de Flinn pour l'ellipsoïde de déformation appliquée à des analyses de Furfooz.	
Figure 4.39	page 210
Stéréogrammes pour l'analyse des structures du domaine de Muckcross.	
Figure 4.40	page 214
Géométrie et classification des zones de veines en échelon.	
Figure 4.41	page 216
Dessin d'un set conjugué de veines en échelon du palier - 80 m de Feux-Vilaine à St-Pierre.	
Figure 4.42	page 218
Tableau de calcul pour l'analyse et la classification des veines en échelon d'Ardmore.	
Figure 4.43	page 222
Morphologie et mécanique de formation des <i>kinks</i> avec l'exemple de ceux de Bouère.	

5. LES ROLES ET COMPORTEMENTS TECTONIQUES.

Figure 5.1	page 236
Les principes de relations mécaniques entre lithofaciès structuraux.	
Figure 5.2	page 250
Les deux modèles de rôles et comportements tectoniques du Waulsortien.	

6. LES PERSPECTIVES ET CONCLUSIONS.

Figure 6.1	page 260
Les comparaisons avec d'autres développements waulsortiens ou dévoniens.	

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

CHAPITRE 1. INTRODUCTION

Dans une première section de cette introduction, nous tenons d'abord à spécifier les buts et l'esprit du travail ainsi que la manière dont notre recherche et sa synthèse ont été réalisées. Nous présenterons enfin en quelques pages, et cela pour guider le lecteur, le contenu plus ou moins détaillé des six chapitres qui constituent ce volume.

En deuxième partie de l'introduction, nous présenterons une description moderne du concept "**waulsortien**" que nous devons surtout aux très récents travaux de Lees et de ses collaborateurs. Nous montrerons ensuite, par quelques exemples extraits de la littérature, où en était, au début de nos travaux, l'état des connaissances sur la déformation et le rôle tectonique des faciès calcaires du Waulsortien.

*

*

*

Section 1.1.

LES PRELIMINAIRES.

§ 1.1.a. Les objectifs et la méthode de travail.

L'objet de notre travail est l'étude structurale de domaines waulsortiens. Ce terme regroupe une série de faciès carbonatés et schisteux du Dinantien moyen qui constitue le corps et l'enveloppe d'agrégats waulsortiens ou du type waulsortien comme certains développements d'âge équivalent du type *mudmounds* à bryozoaires et crinoïdes (définitions Sect. 1.2). Ces récifs waulsortiens sont de formes et de tailles variées suivant leur mode de croissance et d'aggrégation et donc, on peut penser que leurs relations structurales avec leur enveloppe stratifiée seront plus complexes que celles d'une simple série stratifiée. Les domaines waulsortiens étudiés sont **(1) Furfooz** dans le Synclinorium de Dinant (Belgique), **(2) Bouère et St-Pierre-la-Cour** dans le Bassin de Laval (Bretagne, France) et **(3) Ardmore, Loughbeg et Muckross** dans le Sud de l'Irlande. Ce choix varié, en divers secteurs du segment orogénique varisque d'Europe occidentale, répond à la nécessité que nous ayons d'étudier un éventail le plus large possible de déformations des agrégats waulsortiens. Ceux-ci sont les mieux connus dans ces régions où leurs affleurements sont localisés dans les vallées de la Meuse et de la Lesse pour le Synclinorium de Dinant, dans diverses carrières exploitées, ou anciennement exploitées, dans le Bassin de Laval, et en sections côtières dans le Sud de l'Irlande. Cette diversité, ces qualités d'affleurements et la possibilité que nous avons eu d'avoir des contacts scientifiques à l'étranger, furent les critères majeurs de notre choix.

Les buts de notre recherche sont, en deux points, **(1)** la mise en évidence de la déformation spécifique des récifs waulsortiens en regard de leur contexte structural et **(2)** la modélisation du comportement et du rôle mécanique de ces récifs au sein de la séquence lithostratigraphique et en regard des régimes locaux de la déformation. Nous verrons plus loin que si les problèmes stratigraphiques et sédimentologiques du Waulsortien sont assez bien maîtrisés, bien des questions et incertitudes sont encore le fait d'une méconnaissance de leur comportement mécanique à la déformation. Les diverses formes de croissance des faciès waulsortiens et leurs agrégations, parfois en tas de petites lentilles tabulaires et interstratifiées ou en lentilles plus monticulaires à rapide agrégation verticale, confèrent aux agrégats waulsortiens la qualité de corps sédimentaires propres à se déformer de manière particulière en regard des séries calcaires et schisteuses bien stratifiées qui les entourent. Dès lors, c'est

avec un regard focalisé sur ce problème particulier qu'une étude structurale la plus exhaustive possible devait être réalisée.

Les méthodes utilisées durant cette étude sont (1) la subdivision du domaine waulsortien en lithofaciès structuraux définis par leur lithologie et géométrie propre et dont on peut soupçonner qu'ils ont eu un comportement tectonique spécifique, (2) la réalisation d'un inventaire expliqué des structures à toutes les échelles dans chaque domaine étudié, (3) la corrélation des lithofaciès aux structures, d'abord dans chaque domaine, ensuite globalement, et (4) l'établissement de principes qui régissent les relations mécaniques d'assemblages de lithofaciès structuraux. Ces étapes du travail auront pour but final de présenter, en plus des classiques chronologies d'événements tectoniques, des modèles de comportement rhéologique et de structuration du Waulsortien. C'est un long décryptage structural des informations de terrain qui, en fin de compte, nous amènera à envisager sept lithofaciès structuraux, presque tous ou en partie présents dans les six domaines waulsortiens. Dans ce contexte, ce sont les effets et causes des 13 familles de structures inventoriées que nous comptons développer dans ce travail.

§ 1.1.b. La structure et le contenu des chapitres.

Dans les lignes qui suivent nous décrivons le contenu des divers chapitres. Ces descriptions devraient permettre de comprendre la logique d'ensemble qui porte les fondements de ce travail.

LE CADRE WAULSORTIEN DE L'ANALYSE.

Chap. 1. Introduction.

Chap. 2. Le cadre géologique.

Chap. 3. Les lithofaciès structuraux.

LA DEFORMATION DES DOMAINES WAULSORTIENS.

Chap. 4. L'inventaire des structures.

Chap. 5. Les rôles et comportements tectoniques.

Chap. 6. Les perspectives et conclusions.

Nous énoncerons d'abord dans la section qui suit l'actuelle définition du concept waulsortien selon Lees & Miller (*In press*). Les usages du terme "Waulsortien" étant ce qu'ils sont, nous nous sommes permis d'ajouter à cette définition récente un glossaire des termes relatifs au mot "Waulsortien" tel que nous les avons utilisés dans notre étude.

Sans trop déborder sur les chapitres ultérieurs, nous présenterons aussi dans la Sect. 1.2. les travaux marquants sur la déformation du Waulsortien afin d'établir les pré-requis que nous disposons au début de notre recherche. Nous nous permettrons là d'intégrer les résultats, très partiels en leur temps, de notre mémoire de fin d'études (Brodtkom 1985) tandis que les articles publiés en cours de thèse seront intégrés dans le présent travail (Brodtkom 1988 ; 1991).

Chap. 2 - Le cadre géologique.

Dans ce deuxième chapitre, nous établirons le cadre géologique de notre analyse structurale et cela dans chaque région où nous ont menés nos investigations : le Bassin de Dinant, le Bassin de Laval et le Sud de l'Irlande.

Les premières sections consacrées à chacune de ces régions (*sections 2.1., 2.3., 2.5.*) nous permettront d'abord d'établir l'état des connaissances géologiques du Waulsortien. Par la suite, nous présenterons les structures tectoniques majeures qui font le contexte structural et régional des domaines waulsortiens étudiés. Les déformations sont celles engendrées durant l'orogénèse varisque et ce sont bien ses effets régionaux qui devront être clairement exprimés avec toutes leurs particularités : proximité du front varisque et charriages à Muckross, déversement de plis majeurs et secondaires dans la région de Furfooz, failles normales du graben de St-Pierre, etc.

Enfin, et surtout, nous présenterons les grands traits de la cartographie structurale des domaines waulsortiens étudiés (*sections 2.2., 2.4., 2.6.*). Nous rappellerons donc d'abord les formations sédimentaires et les caractéristiques locales de la stratigraphie. Nous verrons ensuite les cartes et coupes structurales qui constituent une part majeure de notre contribution et nous présenterons les structures tectoniques principales. C'est en référence à ces sections que sera fait plus tard l'inventaire des structures tectoniques où plus de détails et d'interprétations seront donnés.

Chap. 3 - Les lithofaciès structuraux.

Le troisième chapitre aura pour but de définir l'unité d'étude de la déformation, ici nommée le "lithofaciès structural". C'est un ensemble de roches ayant des propriétés rhéologiques spécifiques en fonction de leur lithologie (texture, composition) et de leur géométrie (mode de glissement, discontinuités). Cette définition est l'aboutissement de l'analyse théorique des comportements mécaniques des carbonates et schistes en milieu calcaire (*section 3.1.*).

Suivant cette définition et les roches rencontrées dans les domaines waulsortiens étudiés, sept lithofaciès structuraux ont été décrits. Ce sont les séries stratifiées calcaires et alternées calcaires-schistes, les agrégats tabulaires et lenticulaires, et les corps individualisés comme les intercalations crinoïdiques, les lentilles isolées et les noyaux dolomitiques (**sections 3.2. à 3.4.**). Chacun des lithofaciès structuraux fera l'objet (1) d'une description des faciès sédimentaires correspondants dans les domaines waulsortiens étudiés, et (2) d'une description de ses caractéristiques mécaniques.

Chap. 4 - L'inventaire des structures.

La diversité des structures rencontrées dans les domaines waulsortiens fut telle que l'âme de ce travail, qui consistait à les présenter, a progressivement pris l'allure, parfois rébarbative, d'un inventaire. C'est souvent le cas dans l'analyse structurale et, pour en éviter la monotonie, nous avons cherché, dans l'illustration et l'interprétation, les notes de musique qui pourraient mettre en forme cette difficile partition. Les 13 sections où sont présentées chacune des familles de structures ont été regroupées suivant les modes majeurs de déformation, à savoir (1) de déformation synsédimentaire et d'enfouissement, (2) de déformation ductile, (3) de déformation cassante et (4) de déformation cisailante. Pour chacune des structures, une recherche des mécanismes de déformation a donc été faite.

Avant toute chose, on ne pouvait passer sous silence les structures synsédimentaires de déformation et surtout les microstructures intimes dues à l'enfouissement et la diagenèse (**sections 4.1. à 4.3.**). Ces présentations relèvent du fait de l'importance qu'auront dans la définition des fabriques pré-tectoniques, des structures tel les *slumps*, les joints stylolithiques et les veines diagénétiques. C'est par ailleurs dans ces sections que nous établirons les critères de reconnaissance de structures héritées du même processus de pression-dissolution mais afférent soit à la compaction soit aux pressions tectoniques.

Les effets de la déformation ductile se marquent surtout par la présence de structures plissées, synschisteuses dans ces secteurs de l'orogénèse varisque, auxquelles participent avec plus ou moins de dysharmonie les divers lithofaciès structuraux (**sections 4.4. à 4.6.**). Le clivage tectonique, lié aux structures plissées et des formes de boudinage seront également inventoriés dans ces sections.

La diversité des modes de déformation cassante des roches rend compte de l'importance de cette partie de l'inventaire (**sections 4.7. à 4.10.**). Les diaclases d'abord, structures très communes liées aux strates et à leur flexion, les charriages ensuite, avec leur cortège de structures d'accompagnement assez bien exprimées à proximité des fronts

varisques. Les autres structures comme les décrochements transverses ou failles normales et obliques sont également présentes, plus particulièrement dans le Bassin de Laval.

Les structures de cisaillement sont plus difficiles à classifier étant donné leur disparité de mode de formation (*sections 4.11. à 4.13.*). Nous présenterons ici des structures aussi diverses que des zones de cisaillement par étirement ductile, des veines en échelon et des *kink bands*. La plupart de ces structures seront génétiquement associées à d'autres structures plus typiquement ductiles ou cassantes.

Chap. 5 - Les rôles et comportements tectoniques.

En conclusion de l'inventaire, nous synthétiserons d'abord les données acquises sur la déformation en répertoriant l'ensemble des structures tectoniques pour chacun des lithofaciès structuraux (*section 5.1.*). Nous dégagerons ensuite ce qui est à la base de l'établissement des modèles de structuration des agrégats waulsortiens, à savoir les cinq principes qui régissent les rôles et relations mécaniques des lithofaciès structuraux dans une approche globale (*section 5.2.*).

La typologie des comportements rhéologiques des agrégats waulsortiens sera ainsi progressivement mise en évidence. Deux types majeurs constitueront les modèles de structuration qui englobent toutes les formes possibles de comportement tectonique (*section 5.3.*). Chacun des six domaines étudiés a ainsi été structuré, en fonction des régimes de déformation, suivant l'un de ces deux types : le **Type I** (suivant les principes d'accordance, interaction et dysharmonie) est caractéristique de Furfooz et Bouère surtout et applicable à Muckcross, et le **Type II** (basé sur le principe de solidarité) est celui d'Ardmore, Loughbeg et St-Pierre. C'est conjointement à la présentation de ces modes de structuration tectonique que nous établirons, pour chaque domaine waulsortien, la séquence chronologique de leur déformation.

Chap. 6 - Les perspectives.

Malgré une littérature assez pauvre sur la tectonique des complexes récifaux et assimilés, nous tenterons de comparer, en fin de travail, les deux types de comportement et structuration des agrégats waulsortiens étudiés avec les modes de déformation d'autres domaines waulsortiens européens et d'autres types de complexes carbonatés du dévonien (*section 6.1.*).

Dans une deuxième section de ces perspectives, nous résumerons la démarche et les principes méthodologiques qui permettent, à notre sens, la meilleure approche des

comportements rhéologiques des complexes récifaux (**section 6.2.**). Cette méthodologie est importante à rappeler si l'on tient compte du fait que trop souvent le comportement et le rôle des récifs anciens sont négligés dans les analyses structurales et interprétations régionales de la déformation. Nous présenterons enfin les conclusions finales de notre travail et quelques réflexions sur ses perspectives (**section 6.3.**).

*

*

*

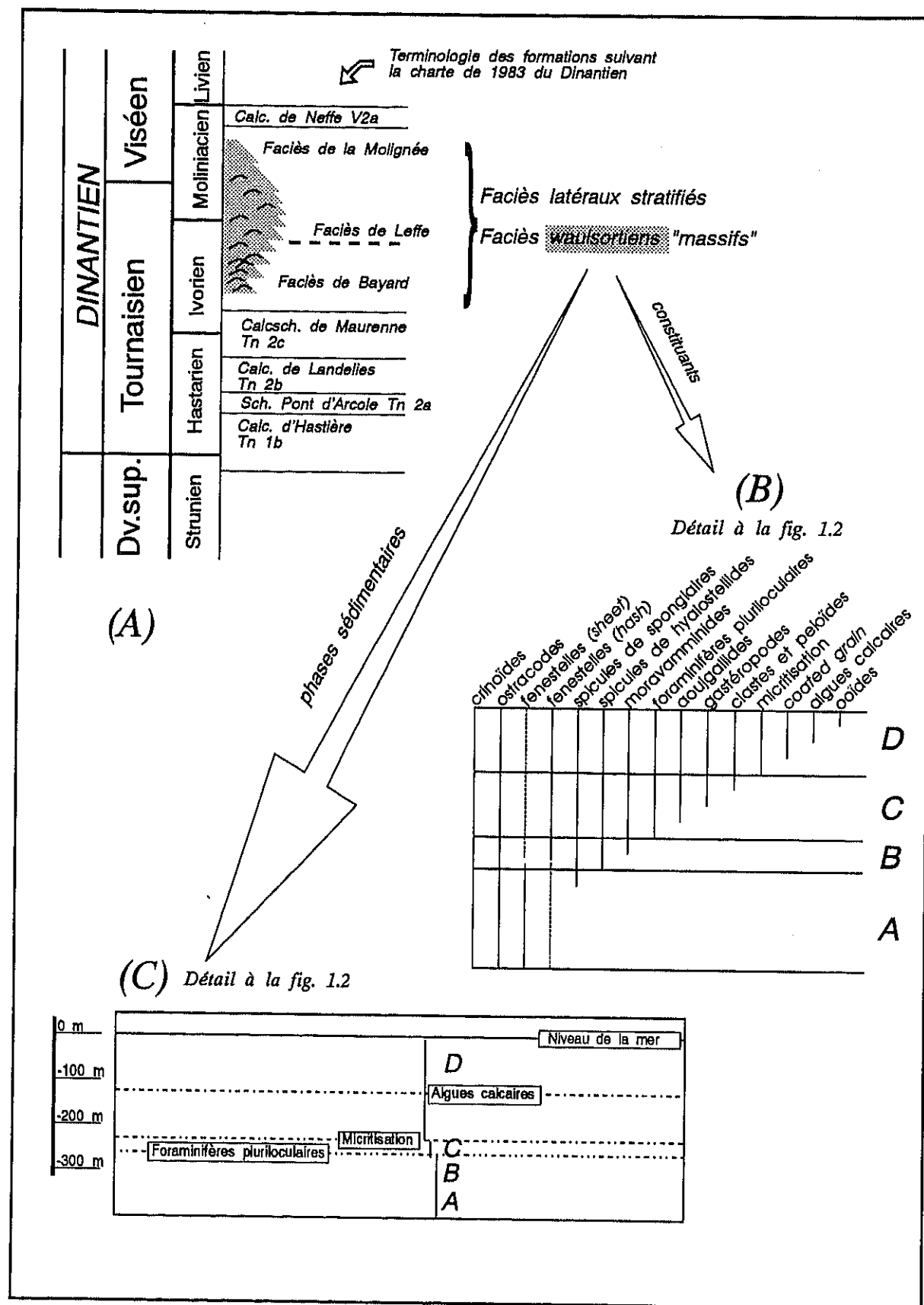


Figure 1.1

(A) stratigraphie sommaire et formations du Dinantien de l'Auge dinantaise, (B) définition des phases du Waulsortien par ses constituants et (C) interprétation de ces phases en terme de la profondeur à laquelle les "récifs" se sont formés (d'après Lees, Hallet & Hibo 1985 et Lees & Miller 1985).

Section 1.2.

LE CONCEPT DU WAULSORTIEN ET SA DEFORMATION SPECIFIQUE.

§ 1.2.a. La définition actuelle du Waulsortien.

Au début de chacune des sections consacrées à la présentation des domaines waulsortiens étudiés dans les régions de Dinant, Laval ou dans le Sud de l'Irlande, nous présenterons un rapide aperçu historique du concept waulsortien tel qu'il fut compris depuis de longues décennies. Pour un grand nombre de géologues qui se sont attachés à son étude, le terme "Waulsortien", comme le signale Lees & Miller (*In press*), évoque la notion de "récif" calcaire du Dinantien riche en frondes de fenestelles associées à des masses de ciments sparitiques et noyées dans une boue carbonatée. A l'étude pétrographique détaillée des composantes qui constituent ce Waulsortien, comme les autres lithofaciès qui lui sont attachés, cette notion devint obsolète et trop restrictive. Lees & Miller (*In press*) ont donc redéfini le *Waulsortian bank* (p. 49) : "**as one dominated by an association of polymuds with at least one of the grain-type assemblages A to D (and the accompanying macrofaunas) and lying in the Upper Tournaisian or lowermost Viséan**" (fig. 1.1).

Si la position stratigraphique du Waulsortien au Dinantien moyen est depuis de longue date un fait admis, la diversité des boues qui le constituent et ses assemblages de composants en sont deux des caractéristiques fondamentales. Pour Lees & Miller (1985 et *In press*) la diversité des textures des générations successives de boues est caractéristique du Waulsortien *sensu stricto*. Le terme "*polymuds*" (ou *multi-component mudstones* de Lees 1964) exprime cette structuration successive, en relations géopétales, des générations de boues (M1_{a-b-c}, M2, M3 et seq.). Quant aux assemblages A à D des composants, ils sont caractérisés par l'apparition d'allochems marqueurs (Lees, Hallet & Hilbo 1985) :

- (A) Bryozoaires fenestellidés + crinoïdes + ostracodes
- (B) = (A) + Spicules d'hyalostellidés
- (C) = (B) + Foraminifères pluriloculaires
- (D) = (C) + *Cryptalgal coating* + micritisation + algues calcaires

Lees & Miller (1985) ont complété cette analyse par une étude bathymétrique et comparative afin de reconstituer l'évolution du milieu de vie de ces associations d'organismes en quatre Phases waulsortiennes (fig. 1.2) : de A (à des profondeurs de près de 300 m sous le niveau de la mer) à D (dans la zone photique peu profonde).

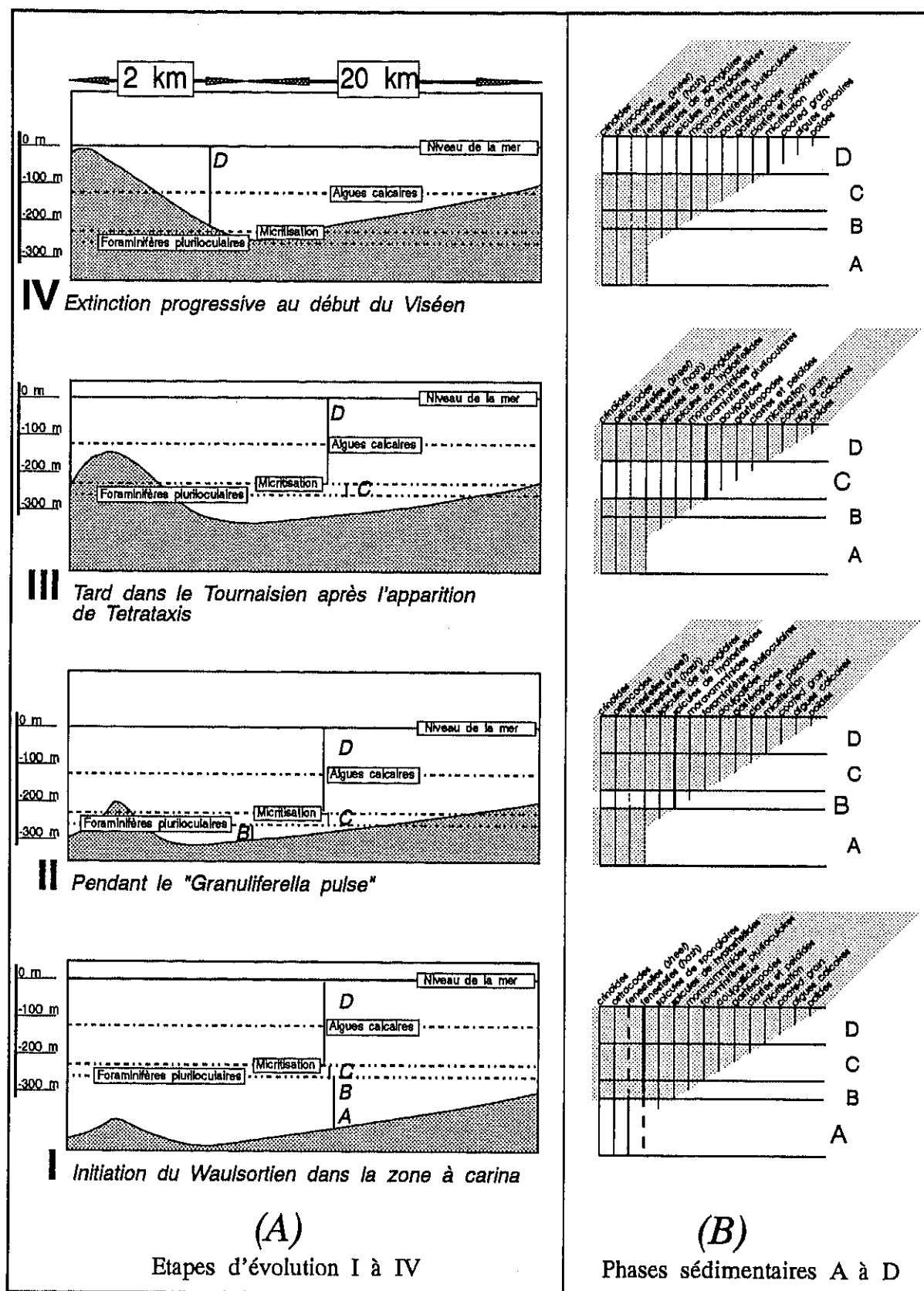


Figure 1.2

(A) modèles bathymétriques d'évolution des agrégations waulsortiennes et (B) distribution des allochems suivant les phases sédimentaires (d'après Lees, Hallet & Hibo 1985 et Lees & Miller 1985). En (B), les zones claires marquent les constituants typiques de chacune des phases, et les traits gras, les allochems dont l'apparition marque le début de la phase.

Les relations géométriques entre les faciès waulsortiens entre eux et avec leurs faciès latéraux équivalents sont contrôlées par (1) le mode de croissance des *Waulsortian banks* (faciès waulsortiens s.s.) et (2) l'importance des faciès de flanc (*flank faciès* ou intra"réclifaux") situés entre les faciès waulsortiens et les faciès périwaulsortiens (*off-bank*).

Lees & Miller (*In press*) ont décrit les trois formes de croissance du lithosome waulsortien pour lesquelles il peut y avoir des intermédiaires (fig. 1.3). La forme tabulaire est constituée de la superposition de *bank beds* lenticulaires, plats et fins à grande extension latérale. Les *banks* tabulaires peuvent ou non se marquer de leurs équivalents latéraux par un relief de déposition. Les knoll-form banks constituent des empilements de lentilles, grossièrement interstratifiées, qui progradent depuis le centre de l'ensemble le plus souvent d'une manière asymétrique. Cet arrangement leur confère des dimensions souvent importantes et un relief marqué par rapport à leurs équivalents latéraux. Les sheet-forms sont enfin des formes plus rares, tabulaires extérieurement, mais où chaque *bank* est constitué de niveaux inclinés, progradant dans une même direction.

Le passage aux faciès latéraux périwaulsortiens peut se faire depuis les *Waulsortian banks* soit par le biais de faciès de transition (*flank faciès*) bien développés et en diminution latérale progressive soit sans, ou avec peu, de ces faciès de flancs (fig. 1.3). Les grandes accumulations waulsortiennes sont des agrégations de ces formes de *Waulsortian banks*. Soit elles sont restreintes latéralement mais à fort empilement vertical avec développement de faciès de flancs, soit elles sont beaucoup plus étendues en grands complexes au sein des faciès périwaulsortiens stratifiés sans faciès de transition.

Pour accorder la terminologie d'usage, en français, aux définitions récemment proposées par Lees & Miller (*In press*), nous proposons ci-dessous quelques termes qui reviendront souvent dans les pages qui suivent :

Faciès waulsortiens : Terme utilisé pour parler des faciès sédimentaires définis comme les *Waulsortian banks* (*sensu* Lees & Miller *In press*) qui s'utilise souvent par opposition aux *flank faciès* (transitions intrawaulsortiennes) et aux *off-bank* (périwaulsortiens).

Agrégat waulsortien : Terme définissant une accumulation de *Waulsortian banks* (ou faciès waulsortiens) soit exclusivement, soit interstratifiés avec des faciès de flancs réduits ou importants (faciès pouvant dès lors être qualifiés d'intrawaulsortiens).

"Waulsortian-type" : Label proposé par Lees & Miller (*In press*) pour des *banks* semblables à ceux du faciès waulsortien s'ils possèdent une série de caractères équivalents, "*but not just for a muddy bulldup with some fenestrate hash*" (*op. cit.* p. 49).

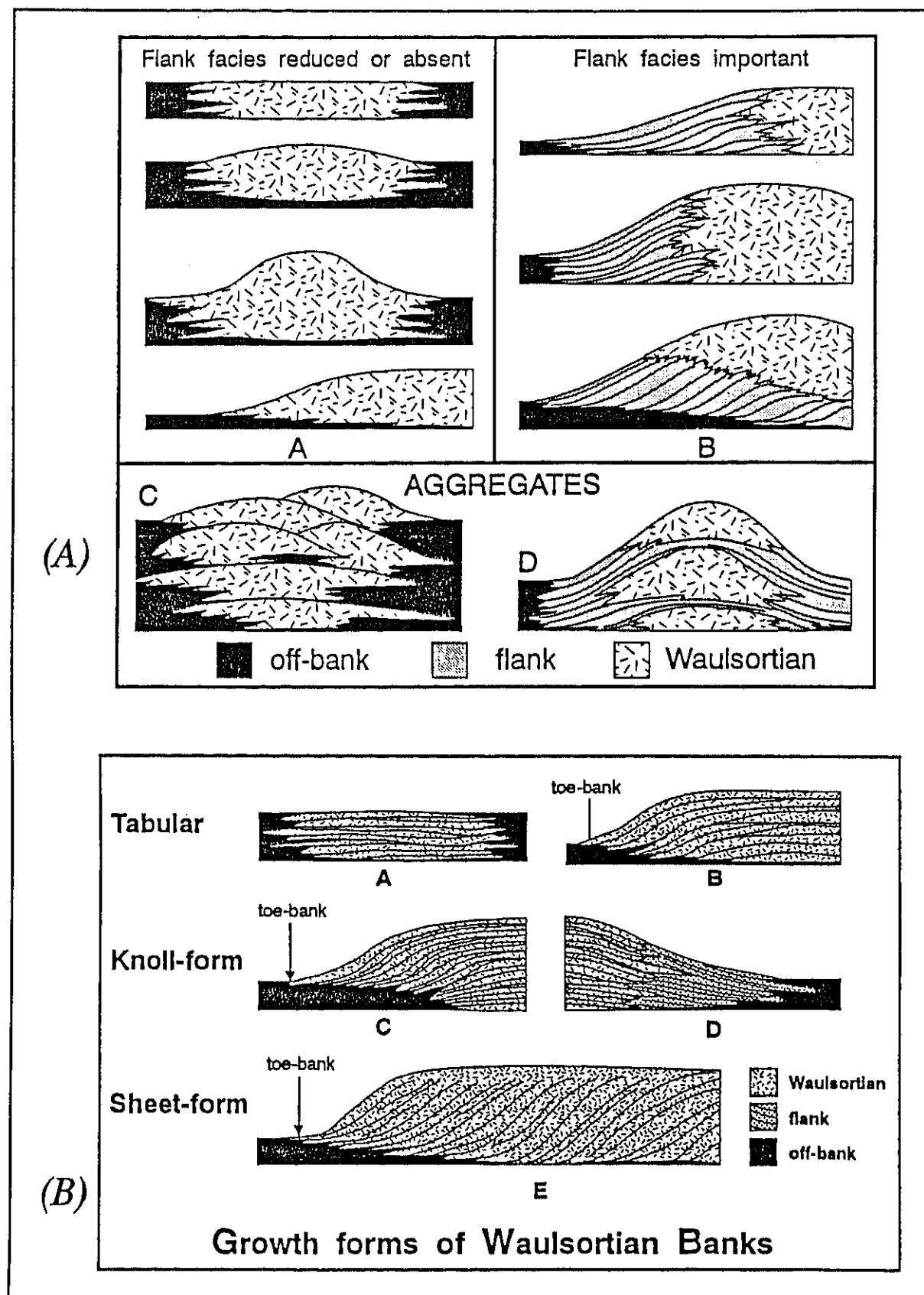


Figure 1.3

(A) les relations du Waulsortien avec ses équivalents latéraux (les agrégats sont dessinés à une échelle inférieure à celle des bancs individuels) et (B) formes de croissance des 'Waulsortian banks' avec les structures internes et 'toe bank facies' (extraits de Lees & Miller (in press), Fig. 3 et 4).

Type waulsortien (faciès ou agrégats du -) : Extension, du label "*Waulsortian-type*", que nous utiliserons ici en français pour parler d'accumulations semblables quant à leur position stratigraphique et la présence d'un des assemblages A à D sans que des certitudes soient établies sur la caractérisation spécifique des *polymuds*.

Waulsortien (le) : Nom propre qui, par usage, fait non seulement référence à la position stratigraphique des agrégats waulsortiens ou du type waulsortien au Dinantien moyen mais qui, par extension, les désigne sans autre précision.

Lentille waulsortienne : Corps lenticulaire restreint, constitué d'un matériel waulsortien et individualisé au sein d'un faciès distinct (aussi qualifié selon l'usage de "lentilles à veines bleues").

Récif waulsortien : Terme très courant, suivant un usage ancien par référence aux récifs dévonien de Belgique, qui est utilisé pour dénommer les agrégats waulsortiens (*bank + flank faciès*) ou du type waulsortien.

Domaine waulsortien : Terme regroupant une série de faciès carbonatés et schisteux du Dinantien moyen qui constitue le corps et l'enveloppe d'agrégats waulsortiens, ou du type waulsortien.

§ 1.2.b. L'état des connaissances structurales.

Nous présenterons ici quelques travaux ayant trait à des études régionales, stratigraphiques ou sédimentologiques, et structurales, dont une part a été consacrée à la tectonique du Waulsortien. Notre but est d'établir l'état des connaissances préliminaires sur leur structuration.

Les études régionales.

Les études régionales sur les déformations varisques dans le Carbonifère, à l'échelle des bassins, nous ont surtout permis d'établir le contexte structural de nos travaux. Le Waulsortien et son enveloppe, qui ne représentent qu'une partie des séries incluses dans les bouleversements orogéniques, sont à peine cités dans ces travaux quand ils ne sont pas ignorés. Le rôle du Waulsortien dans le style tectonique régional est ainsi encore à démontrer d'une manière proprement argumentée et détaillée. Citons, parmi de nombreuses autres études, Raoult & Meilliez (1987) qui utilisèrent des sections balancées pour exprimer le charriage varisque de l'allochtone ardennais. Afin d'établir les coupes, ils ont choisi comme une des unités compétentes au plissement, sans autres distinctions, l'ensemble des carbonates dinantiens - les déformations internes ayant été négligées. Il en est de même dans la remarquable synthèse de Cooper *et al.* (1986) sur la structure et la zonation des

Variscides Irlandaises qui considèrent l'ensemble du *Carboniferous Limestone* comme un paquet distinct, en regard des séquences clastiques. Pour le Bassin carbonifère de Laval, dans des travaux récents comme celui de Houlgatte, Le Hérissé, Pelhâte & Rolet (1988), le Waulsortien intervient dans la reconstitution paléogéographique mais est inclus dans le Calcaire de Laval dès qu'il est question de structures tectoniques.

Les études stratigraphiques et sédimentologiques.

Les études stratigraphiques et/ou sédimentologiques d'une région contenant des faciès waulsortiens ou du type waulsortien sont assez nombreuses. Leur apport est indéniable pour un structuraliste car indispensable à la connaissance des âges, des textures et générations de ciments, de la nature de la stratification, des structures sédimentaires, des épaisseurs de faciès et de leur géométrie, toutes choses utiles si l'on veut comprendre le comportement rhéologique des matériaux waulsortiens. Cependant, le matériel fossile devenant inutilisable dans les zones fort déformées, nombres d'auteurs ont le plus souvent soigneusement évité ces zones lors des échantillonnages. Le simple signalement de leur existence fut néanmoins les points de départ de nos recherches de zones déformées comme par exemple dans Sleeman (1987, p.72) pour la région de Ringaskiddy - Cork Harbour "(...) *Intense cleavage accompanied by extensive recrystallisation and calcite veins occur in places within the Waulsortian Limestones.*"

Souvent aussi, les informations tectoniques que l'on peut glaner dans ces études se réduisent à la position structurale du récif. Les études biostratigraphiques contribuent, dans ce sens, à une meilleure définition des structures plissées ou failées. Ce sont elles qui permettent la mise en évidence des répétitions d'assemblages de foraminifères et/ou conodontes qui marquent la limite Tournaisien-Viséen dans les domaines waulsortiens. Dans cet ordre d'idée, nous verrons plus loin que, pour le Bassin carbonifère de Laval, c'est au Prof. A. Pelhâte (1971) que nous devons la meilleure synthèse paléogéographique du Carbonifère inférieur de cette région. Pour le Synclinorium de Dinant, nous citerons ici feu le Prof. R. Conil qui publia de nombreux travaux de référence sur les foraminifères du Dinantien (dont Conil & Dupont 1965 ; Groessens, Conil & Lees 1973 ; Conil *et al.* 1990). C'est en partie grâce à ses datations précises à Furfooz que des pils ont pu être mis en évidence (Bouw 1971 ; Hallet 1982) et confirmés par notre analyse structurale de l'enveloppe du récif (Brodtkom 1985).

Les études structurales.

Les études où une part importante est consacrée à l'analyse de la déformation dans les faciès waulsortiens et environnants, par un inventaire complet des structures, sont

relativement rares, à l'opposé des précédentes. Nous citerons ici quelques unes des analyses structurales les plus marquantes sur la question.

Deux travaux d'abord, qui en leur temps furent à l'origine de nos recherches, ont mis en évidence des zones déformées dans les récifs waulsortiens : la publication sur le sondage de *Cannington Park* (SW de l'Angleterre) de Lees & Hennebert (1982) et le travail de fin d'études de Swennen (1982) à Furfooz, motivé par les découvertes des premiers. Lees & Hennebert (1982) ont donc étudié des calcaires biocritiques et sparitiques extrêmement étirés dans des niveaux massifs du Waulsortien, entourant des masses de dolomies pré-déformation relativement inertes ou affectées de déformations cassantes (§ 4.11.a). Ces auteurs ont démontré (*op. cit.* p. 24) *"that in the relatively massive reef body the movement took places along the only existing anisotropic elements, namely those of the sedimentary grain, and that the arrangement of the depositional dips was such that relatively slight tectonic tilt was required to align them with the dip of the envelope."* Ce que nous qualifierons plus loin de mobilité syntectonique fut donc décrit par ces auteurs comme un phénomène d'alignement de talus primaires au pendage de l'enveloppe stratifiée. Les mouvements qui ont résulté de ces basculements légers - le long d'anisotropies primaires ou les masses de dolomies - se sont traduits par des étirements ductiles du calcaire. Pour une première fois, le rôle tectonique des structures internes primaires du récif, par les dysharmonies internes qu'elles engendrent durant la déformation, a donc été clairement décrit. A la suite de ces travaux, Swennen (1982) a recherché de semblables relations à Furfooz où il a mis en évidence des déformations de degrés variables dans la Montagne de Chalet. Nous verrons au § 4.11.a que ces travaux furent à la base de nos recherches sur l'étirement dans le Waulsortien.

Un autre thème abordé sur la déformation du Waulsortien est celui de l'article de Dolan (1984) sur le domaine waulsortien de la région de Ballybunion (Co. Kerry), au nord du front varisque irlandais. L'auteur y a examiné le contrôle lithostratigraphique sur le style tectonique du secteur. Il compara ainsi les pils en boîte affectant les *Supra-reef Limestones* - constitués à leur base, près du Waulsortien, de brèches sédimentaires contenant un niveau de *striped limestones* - avec les variations modérées de pendage dans le Waulsortien très compétent et pauvrement stratifié. Il en conclut (*op. cit.* p. 106) *"in the case of Supra-reef Limestones, it is probable that the Waulsortian Limestones (reef) have acted as a décollement in the formation of the overlying box-folds."* Nous avons là une comparaison précise avec Furfooz où nous concluons, pour expliquer la différence de style des pils, *"que si les récifs waulsortiens subissent bien un basculement (...), les roches de leur enveloppe subissent par contre un degré de déformation beaucoup plus accentué probablement dû à un jeu sur ces masses*

rigides" (Brodikom 1985 p. 75) L'idée, presque triviale, d'une différence rhéologique entre le récif globalement massif et son enveloppe nettement litée sera un fait particulier qui devra être argumenté lors de l'inventaire.

Citons aussi, mais avec beaucoup de réserve, le travail de fin d'étude d'ingénieur géologue présenté par Tazieff (1944), alors agronome et élève de Fourmarier. Sorti récemment des oubliettes, ce travail conclut (p. 42 & 43) : *"L'assise de Celles à faciès waulsortiens, avec son armature de lentilles, a donc joué le rôle de masse rigide, à rigidité proportionnelle à la puissance des lentilles massives, et a généralement opéré en rôles résistants, soit en accentuant l'intensité des efforts exercés par la serre méridionale du synclinorium, soit en contrecarrant ceux-ci (...) Il n'y pas d'indépendance d'allure entre la lentille et les sédiments qui la contiennent ; la plasticité de ces derniers n'étant pas assez différente de celle de la masse."* Puisque les sédiments encaissants associent ainsi la masse waulsortienne à leurs déformations, l'auteur a envisagé son rôle sur le style tectonique du Synclinorium de Dinant (op. cit. p. 48) : *"la bande waulsortienne (...) reste stable, et ce sont les plis environnants (...) qui sont affectés par les conséquences de cette stabilité."* Si les conclusions de Tazieff sont séduisantes et proches de celles de Brodikom (1985), nous formulerons tout de même quelques réserves quant aux arguments précis, sans critiquer bien sûr un travail réalisé sous l'occupation. Dans ses conclusions, l'auteur exclut toute discussion sur les caractères réels des lithologies (texture, dolomie, géométrie) et leur contrôle relatif sur leur mode de déformation et sur tout autre structure de déformation que les plis supposés. Il ne fait ainsi pas mention de clivages, d'étirements dans le Waulsortien, de déformations cassantes ou de charriages possibles.

Nous concluons, que les agrégats waulsortiens ont un comportement mécanique particulier qui pourrait contrôler le style tectonique des domaines qui les contiennent. Loin d'être une masse homogène, ces agrégats sont constitués de faciès à compositions et géométries variables qui leur confèrent une mécanique propre qui pourrait influencer le type et la répartition des structures tectoniques dans l'agrégat. Nous comptons dans ce travail pousser plus loin ces concepts de la déformation du Waulsortien et argumenter ces prérequis en recherchant des cas exemplaires en chacun des domaines. C'est par cette voie que nous nous permettrons, en fin de travail, de proposer des modèles de comportement rhéologique pour les agrégats waulsortiens.