



Table des matières

INTRODUCTION	XI	2.3 <i>Le cas des dorsales lentes : un magmatisme épisodique, une croûte discontinue</i>	31
		3. L'hydrothermalisme océanique : une interaction entre l'eau de mer et la croûte	32
		4. La sédimentation : une lithologie déterminée par la profondeur de dépôt	35
		5. Synthèse des caractéristiques d'une zone d'extension océanique	35
PARTIE 1			
LA DYNAMIQUE DE LA TERRE			
ET SES MARQUEURS			
CHAPITRE 1		II. LES MOTEURS DE L'EXTENSION OCÉANIQUE	36
TECTONIQUE DES PLAQUES		1. Le glissement gravitaire	36
ET GÉODYNAMIQUE INTERNE	3	2. La traction d'une plaque en subduction	37
I. UNE PLAQUE EST UNE PORTION DE LITHOSPHERE	4	CHAPITRE 3	
II. LE MOUVEMENT DES PLAQUES PEUT ÊTRE MESURÉ PAR DES OUTILS VARIÉS	5	LE PLONGEMENT DE LA LITHOSPHERE OCÉANIQUE : LES ZONES DE SUBDUCTION	41
1. L'étude des anomalies magnétiques : un accès indirect à l'âge des océans	5	I. LES MARQUEURS DE LA SUBDUCTION	43
2. Les mécanismes au foyer : la détermination, à distance, du jeu d'une faille	10	1. La fosse océanique	43
3. Le GPS : la preuve directe du déplacement des plaques	11	2. Le prisme d'accrétion	44
III. LES MODÈLES CINÉMATIQUES : UNE DESCRIPTION DES MOUVEMENTS DES PLAQUES	12	2.1 <i>Comment se forme un prisme d'accrétion ?</i>	44
IV. LES GRANDS CONTEXTES GÉODYNAMIQUES : DES MOYENS D'ACCOMMODER LES MOUVEMENTS DES PLAQUES	16	2.2 <i>Comment expliquer les variations d'épaisseur des prismes d'accrétion ?</i>	46
V. LA MOBILITÉ DES PLAQUES : UNE MANIFESTATION DE LA DISSIPATION DE LA CHALEUR INTERNE DE LA TERRE	17	3. L'arc et le bassin arrière-arc	48
1. La convection : des mouvements engendrés par des contrastes de densité	17	4. Le magmatisme calco-alcalin	50
2. Les origines de la convection mantellique	17	4.1 <i>Les roches magmatiques de subduction : des indices d'un magma hydraté</i>	50
2.1 <i>Chauffer le manteau par le bas et le refroidir par le haut</i>	18	4.2 <i>Le manteau à l'aplomb de l'arc : une roche source également hydratée</i>	51
2.2 <i>Chauffer le manteau dans sa masse et le refroidir par le haut</i>	18	5. L'hydratation du manteau	51
3. Le mouvement des plaques : un mouvement de convection particulier	20	II. LES MOTEURS DE LA SUBDUCTION	56
CHAPITRE 2		1. Le refroidissement et la rupture de la lithosphère océanique	56
LA DIVERGENCE LITHOSPHERIQUE EN DOMAINE OCÉANIQUE : LES DORSALES	23	2. L'éclogitisation de la plaque plongeante	57
I. LES MARQUEURS DE L'EXTENSION OCÉANIQUE	25	3. Le pendage du panneau plongeant	57
1. La dorsale : une morphologie liée à un bombement thermique	25	CHAPITRE 4	
2. Le magmatisme : une conséquence de la remontée du manteau	27	LA CONVERGENCE LITHOSPHERIQUE EN DOMAINE CONTINENTAL : LES ZONES DE COLLISION	61
2.1 <i>La croûte océanique : une enveloppe d'origine magmatique</i>	27	I. LA CHAÎNE DE COLLISION : LA PARTIE VISIBLE EN SURFACE D'UNE CROÛTE ÉPAISSIE	62
2.2 <i>Un magmatisme tholéïtique lié à la décompression du manteau</i>	28	1. La forte épaisseur de la croûte : une conséquence du raccourcissement horizontal	63
		2. La relation entre le relief et l'épaisseur crustale : une question d'équilibre	66
		II. LA CONVERGENCE CONTINENTALE : UN SEUL CONTEXTE, UNE GRANDE DIVERSITÉ DE DÉFORMATIONS	69

III. LES CHÂÎNES DE COLLISION : DES ZONES DE RECYCLAGE DE LA CROÛTE CONTINENTALE	73	2. Le principe du microscope polarisant.....	117
1. La racine crustale, lieu d'un recyclage profond.....	73	3. Les critères de reconnaissance utilisés au microscope polarisant.....	119
1.1 <i>Le métamorphisme moyenne pression/moyenne température : une conséquence thermique de l'épaississement crustal</i>	73	3.1 <i>En LPNA</i>	119
1.2 <i>Le magmatisme alumineux : résultat de la fusion crustale</i>	76	3.2 <i>En LPA</i>	121
2. Le relief d'une chaîne de montagnes, résultat de la compétition entre érosion et surrection.....	78		
3. La collision : une « machine » à rajeunir la croûte.....	82		
CHAPITRE 5			
LA DIVERGENCE LITHOSPHERIQUE EN DOMAINE CONTINENTAL : LES RIFTS			
85			
I. LES MARQUEURS DE L'EXTENSION CONTINENTALE	87		
1. La topographie : résultat d'un affaissement local et d'un soulèvement régional.....	87		
2. Le magmatisme : une conséquence de l'amincissement de la lithosphère.....	90		
3. La sédimentation : un apport contrôlé par la tectonique.....	90		
II. LES MODALITÉS DE L'EXTENSION CONTINENTALE	94		
1. L'initiation du rifting est-africain : « précécoupage » et panache profond.....	94		
2. Deux modalités d'extension dépendantes de l'épaisseur initiale de la croûte.....	96		
3. Des origines variées, toutes cohérentes avec la tectonique des plaques.....	97		
4. Le cas de l'extension post-orogénique : une croûte épaissie favorise l'extension.....	99		
5. Quelques caractéristiques communes aux zones d'extension continentale.....	100		
III. L'EXTENSION CONTINENTALE : LA NAISSANCE (POTENTIELLE) D'UN OCÉAN	101		
1. Du rift continental à la marge passive : d'une subsidence à l'autre.....	101		
2. Du rift continental à la dorsale océanique : d'un magmatisme à l'autre.....	103		
3. Le cas des rifts avortés : du rift au bassin intracratonique.....	104		

PARTIE 2**LES ROCHES : LES RECONNAÎTRE ET COMPRENDRE LEUR FORMATION**

CHAPITRE 6		CHAPITRE 7	
MINÉRALOGIE ET MICROSCOPIE	109	ROCHES MAGMATIQUES ET MAGMATISME	127
I. L'ORGANISATION INTIME DES MINÉRAUX : SOURCE D'UNE GRANDE DIVERSITÉ MORPHOLOGIQUE	110	I. DESCRIPTION ET IDENTIFICATION DES ROCHES MAGMATIQUES	128
1. Une structure ordonnée ou pas.....	110	1. Les différentes textures des roches magmatiques : un indice sur les conditions de refroidissement du magma... ..	128
2. Une structure tronquée ou pas.....	112	2. La composition minéralogique des roches magmatiques : le reflet d'une grande diversité chimique.....	131
3. Un habitus parfois absent.....	112	2.1 <i>L'analyse modale pour les roches plutoniques</i>	131
4. Une couleur variable en fonction de la chimie.....	112	2.2 <i>L'analyse normative pour les roches volcaniques</i>	132
5. Les critères de reconnaissance utilisables à l'œil nu.....	115	2.3 <i>La classification chimique des roches volcaniques</i>	134
II. MICROSCOPIE OPTIQUE ET CRITÈRES DE RECONNAISSANCE	116	II. L'ORIGINE DE LA DIVERSITÉ CHIMIQUE DES ROCHES MAGMATIQUES	135
1. Les propriétés optiques des minéraux : isotropie ou anisotropie.....	116	1. La fusion partielle : un processus exceptionnel sur Terre.....	135
		1.1 <i>La fusion partielle du manteau : le résultat d'une modification de pression, de température ou de chimie</i>	135
		1.2 <i>La fusion partielle : un processus qui fractionne les éléments chimiques</i>	137
		2. La différenciation magmatique : une nouvelle source de diversité chimique.....	139
		2.1 <i>La contamination ou l'assimilation crustale</i>	139
		2.2 <i>Le mélange magmatique</i>	139
		2.3 <i>La cristallisation fractionnée</i>	139
		3. Les séries magmatiques : une conséquence de la différenciation.....	141
		III. LE MAGMATISME DANS SON CONTEXTE GÉODYNAMIQUE	143
		1. Les analyses chimiques permettent de tracer la source.....	143
		1.1 <i>Une fusion de la croûte oulet du manteau</i>	143
		1.2 <i>Une fusion du manteau supérieur oulet du manteau inférieur</i>	144
		2. Le type de série magmatique permet de connaître les conditions de fusion.....	145
		3. Les grands contextes géodynamiques : des zones de perturbation thermique et chimique entraînant la fusion des roches.....	146
		CHAPITRE 8	
		ROCHES SÉDIMENTAIRES, SÉDIMENTOLOGIE ET STRATIGRAPHIE	149
		I. LES ROCHES SÉDIMENTAIRES ENREGISTRENT UNE HISTOIRE RICHE	150
		1. L'origine des particules : un critère de classification des roches sédimentaires.....	150
		2. Le transport des particules : des modalités variées, dépendantes des conditions environnementales.....	155
		2.1 <i>Le transport par l'eau</i>	155
		2.2 <i>Le transport par la glace</i>	157
		2.3 <i>Le transport par le vent</i>	159
		2.4 <i>Le transport gravitaire</i>	159
		3. La diagenèse : un ensemble de transformations affectant le sédiment.....	159
		3.1 <i>La dégradation de la matière organique</i>	160
		3.2 <i>Les transformations minéralogiques</i>	160
		3.3 <i>La formation de nouveaux minéraux (authigénèse)</i>	160
		3.4 <i>La compaction</i>	160
		3.5 <i>La cimentation</i>	160

II. LA SÉDIMENTOLOGIE DE FACIÈS : DE LA DESCRIPTION DES ROCHES À LA SIGNIFICATION ENVIRONNEMENTALE	161	2. La zone Briançonnaise	190
1. Les roches terrigènes : une nomenclature basée sur la granulométrie	161	3. La zone liguro-piémontaise	190
2. Les roches biogènes carbonatées : une nomenclature basée sur la nature de la phase de liaison	162	4. Les zones auto-alpine et sud-alpine	190
3. Le faciès sédimentaire : une description complète de la roche	162	II. LES INDICES DE RACCOURCISSEMENT SONT OMNIPRÉSENTS DANS LES ALPES OCCIDENTALES ...	192
III. LA STRATIGRAPHIE : DE LA SÉRIE SÉDIMENTAIRE À LA DYNAMIQUE DU BASSIN	162	1. Des indices essentiellement structuraux	192
1. Les variations du niveau marin : échelle locale ou globale ?	162	2. Le col du Lautaret : un empilement tectonique majeur	193
2. Les bassins sédimentaires : des marqueurs géodynamiques	167	3. Le col d'Izoard : une couche de décollement à la semelle d'un chevauchement	193
CHAPITRE 9		4. Synthèse des observations	195
ROCHES MÉTAMORPHIQUES ET MÉTAMORPHISME 169		III. LA RÉGION DE BOURG D'OISANS : LES INDICES D'UNE EXTENSION CONTINENTALE	195
I. DESCRIPTION DES ROCHES MÉTAMORPHIQUES ET RECONSTITUTION DES TRANSFORMATIONS	170	1. La Paute : sédimentation marine et plissement	196
1. Les transformations structurales : une accommodation des contraintes	170	2. Le col d'Ornon : le rejeu inverse d'une faille normale	198
1.1 <i>La déformation de la roche : une orientation préférentielle de la matière</i>	170	3. Synthèse des observations	200
1.2 <i>L'interprétation de la déformation : une entreprise délicate</i>	173	3.1 <i>Du Trias au Lias inférieur</i>	200
2. Les transformations minéralogiques : des réactions chimiques permettant une minimisation de l'enthalpie libre de la roche	176	3.2 <i>À partir du Lias supérieur</i>	200
2.1 <i>Comment reconstituer les transformations minéralogiques ?</i>	176	3.3 <i>À la fin de l'Oligocène lors de la convergence alpine</i>	202
2.2 <i>Pourquoi les transformations minéralogiques ont lieu ?</i>	176	IV. LE MASSIF OPHIOLITIQUE DU CHENAILLET : LES INDICES D'UNE OCÉANISATION	202
3. Les transformations minéralogiques sont guidées par la chimie du protolithe et les conditions P-T	177	1. Les radiolarites et les calcschistes du replat du Gondran : une sédimentation profonde	203
II. DES TRANSFORMATIONS MINÉRALOGIQUES AUX CONDITIONS P-T	181	2. L'albite de la cabane des douaniers : un magmatisme acide tholéiitique	204
1. L'analyse d'un échantillon permet de reconstituer son trajet P-T	181	3. Les serpentinites : l'hydratation d'un manteau lherzolitique	204
2. La notion de faciès métamorphique permet de s'affranchir des variations chimiques du protolithe	182	4. Les gabbros et les dolérites : déformation syn-magmatique et hydrothermalisme	205
3. L'analyse de plusieurs échantillons co-génétiques permet de reconstituer un gradient métamorphique	184	5. Les basaltes en coussins : un volcanisme sous-aquatique	207
III. DES CONDITIONS P-T AUX CONTEXTES GÉODYNAMIQUES	184	6. Les ophicalcites : un détritisme sous-marin	207
1. Les gradients métamorphiques : l'enregistrement d'une perturbation du géotherme	184	7. Synthèse des observations	207
2. Chaque contexte géodynamique est le lieu d'une perturbation thermique spécifique	184	V. LE QUEYRAS ET LE MONT VISO : LES INDICES D'UNE SUBDUCTION OCÉANIQUE	210
PARTIE 3		1. Le Queyras : un ancien prisme d'accrétion océanique	210
ÉTUDES DE TERRAIN ET RECONSTITUTIONS D'HISTOIRES GÉOLOGIQUES		1.1 <i>Ville-Vieille : des sédiments océaniques métamorphisés</i>	211
CHAPITRE 10		1.2 <i>Le col de Saint-Véran : des lambeaux de lithosphère océanique métamorphisés</i>	214
EXCURSION DANS UNE CHAÎNE DE MONTAGNES RÉCENTE : LES ALPES OCCIDENTALES	189	2. Le Mont Viso : l'accès aux profondeurs de la subduction alpine	215
I. LES ALPES OCCIDENTALES SONT DÉCOUPÉES EN CINQ GRANDES ZONES	190	3. Synthèse des observations	216
1. La zone dauphinoise	190	VI. LA ZONE BRIANÇONNAISE : LES INDICES D'UNE SÉDIMENTATION DE HAUT-FOND ET D'UNE SUBDUCTION CONTINENTALE	219
		1. Saint-Crépin : une sédimentation lacunaire	219
		2. La zone Briançonnaise : un haut-fond au sein de la marge européenne	221
		3. La zone Briançonnaise : un métamorphisme de haute pression	222
		3.1 <i>La zone houillère</i>	222
		3.2 <i>Le massif de la Vanoise</i>	222
		3.3 <i>Le massif de Dora-Maira</i>	222
		4. Synthèse des observations	222
		VII. HISTOIRE GÉOLOGIQUE ET PARTICULARITÉS DES ALPES OCCIDENTALES	224
		1. L'histoire des Alpes occidentales : de la naissance à la mort de l'océan alpin	224

2. Une histoire liée à la fracturation de la Pangée... en deux temps	224	3. Synthèse des observations.....	261
2.1 <i>Du Jurassique supérieur au Crétacé inférieur</i>	224	VII. L'OROGENÈSE VARISQUE DANS LE MASSIF ARMORICAIN ET AILLEURS EN EUROPE 263	
2.2 <i>À partir du Crétacé supérieur</i>	227	1. Les grandes étapes de l'orogénèse varisque dans le Massif armoricain.....	263
3. Les Alpes occidentales : une exception dans l'arc alpin ?.....	227	2. L'orogénèse varisque en Europe : une orogénèse majeure impliquant trois blocs continentaux.....	265
4. La tectonique alpine des 20 derniers millions d'années : de la collision à l'effondrement gravitaire ?.....	229	3. L'orogénèse varisque : une histoire liée à la formation de la Pangée	267
4.1 <i>La dynamique actuelle : les zones internes en extension</i>	229	4. Les orogénèses varisque et alpine : une comparaison	268
4.2 <i>L'évolution tectonique récente : une modification du champ de contraintes</i>	230	CHAPITRE 12	
CHAPITRE 11		EXCURSION DANS UN GRAND BASSIN SÉDIMENTAIRE : LE BASSIN DE PARIS 271	
EXCURSION DANS UN MASSIF ANCIEN : LE MASSIF ARMORICAIN 231		I. L'ALSACE-LORRAINE : LA NAISSANCE DU BASSIN DE PARIS AU TRIAS 272	
I. LE MASSIF ARMORICAIN EST DIVISÉ EN TROIS GRANDS DOMAINES 232		1. Le Haut-Barr : des dépôts fluviatiles dans un système en tresse.....	272
II. LES INDICES D'UN RACCOURCISSEMENT VARISQUE SONT VISIBLES DANS L'ENSEMBLE DU MASSIF 234		1.1 <i>Les grès vosgiens</i>	275
1. Les sables d'Olonne : un métamorphisme moyenne pression-moyenne température.....	234	1.2 <i>Le poudingue de Saint-Odile</i>	275
1.1 <i>Les séricito-schistes de Sauveterre</i>	234	2. La carrière de Lhor : des dépôts fluviatiles dans un système anastomosé.....	277
1.2 <i>Les micaschistes de Sauveterre</i>	234	3. Héming et Mangonville : une influence marine puis lagunaire.....	278
1.3 <i>Les micaschistes des Grands Chevaux</i>	234	3.1 <i>La carrière de Héming</i>	278
1.4 <i>Les micaschistes de l'anse de Chaillé</i>	234	3.2 <i>La carrière de Mangonville</i>	280
2. Le complexe de Champtoceaux : un empilement de nappes.....	237	4. Synthèse des observations : de l'affleurement au bassin	282
3. La vallée de la Laize : un plissement à grande échelle.....	237	4.1 <i>Le Trias en Alsace-Lorraine</i>	282
3.1 <i>Jacob-Mesnil : l'enregistrement de deux basculements</i>	237	4.2 <i>Le Trias dans le bassin de Paris</i>	282
3.2 <i>La carrière de la Roche-Blain : des flyschs briovériens plissés</i>	239	II. LA VALLÉE DE L'YONNE : L'ENREGISTREMENT D'UN CLIMAT CHAUD AU JURASSIQUE 283	
3.3 <i>Laize-la-Ville : le flanc nord d'un grand anticlinal</i>	241	1. La carrière de Vermenton : les traces d'un milieu marin calme.....	284
3.4 <i>La vallée de la Laize : les traces des orogénèses cadomienne et varisque</i>	242	2. Mailly-le-Château : les traces d'un milieu marin agité.....	284
4. Synthèse : des déformations varisques de plus en plus intenses vers le sud du massif.....	242	3. Le rocher du Bois-du-Parc : les traces d'une barrière récifale.....	286
II. LE PAYS DE REDON : LES INDICES D'UNE EXTRUSION CONTINENTALE 244		4. La roche aux Poulets : les traces d'un environnement lagunaire	286
1. Tréal : un conglomérat étiré.....	244	5. Synthèse des observations : de l'affleurement au bassin	287
2. La carrière de Lescastel : un leucogranite à structures C-S.....	245	5.1 <i>L'Oxfordien dans la Vallée de l'Yonne</i>	287
3. Synthèse des observations.....	247	5.2 <i>L'Oxfordien et le Jurassique dans le bassin de Paris</i>	287
III. L'ÎLE DE GROIX : LES INDICES D'UNE SUBDUCTION 247		III. LA CÔTE D'ALBÂTRE : L'ENREGISTREMENT D'UNE GRANDE TRANSGRESSION MARINE AU CRÉTACÉ SUPÉRIEUR 288	
1. La côte sud-est : un métamorphisme de haute pression	249	1. Le cap de la Hève : les traces d'un faciès marin puis côtier..	290
1.1 <i>Les micaschistes : des sédiments métamorphisés</i>	249	2. Saint-Jouin-Bruneval : les traces d'un approfondissement croissant.....	294
1.2 <i>Les metabasites : des basaltes métamorphisés</i>	249	3. Synthèse des observations : de l'affleurement au bassin	295
2. L'île de Groix : un ancien prisme d'accrétion.....	253	3.1 <i>Le Crétacé de la Côte d'Albâtre</i>	295
3. L'île de Groix : deux unités superposées.....	253	3.2 <i>Le Crétacé supérieur dans le bassin de Paris</i>	295
4. Locmaria : les indices d'une extension tardive.....	256	IV. PARIS : VARIATIONS DU NIVEAU MARIN ET DÉFORMATIONS À GRANDE ÉCHELLE AU TERTIAIRE 297	
5. Synthèse des observations.....	256	1. La carrière des Capucins : les traces d'une mer chaude	297
IV. LE PAYS RENNAIS : LES INDICES D'UN RIFTING INITIAL 256		2. Le parc des Buttes-Chaumont : les traces d'un lac salé.....	297
1. La carrière de la Marette.....	257	3. Synthèse des observations : de l'affleurement au bassin	299
2. Le rocher d'Uzel.....	257	3.1 <i>L'Éocène de Paris</i>	299
3. Synthèse des observations.....	258	3.2 <i>L'Éocène et le Tertiaire dans le bassin de Paris</i>	299
V. LE GOLFE DU MORBIHAN : LES INDICES D'UN EFFONDREMENT GRAVITAIRE 259			
1. Port-Navalo : un massif migmatitique.....	259		
2. Quiberon : un détachement ductile.....	261		

V. LE BASSIN PARISIEN : L'ENREGISTREMENT DE 230 MILLIONS D'ANNÉES DE L'HISTOIRE DE FRANCE	300	III. LE SUBSTRATUM PRÉ-VOLCANIQUE : OROGENÈSE PUIS EXTENSION CONTINENTALE	316
1. De l'histoire sédimentaire à l'histoire de la subsidence du bassin	300	1. Le socle paléozoïque : les vestiges de l'orogénèse varisque ..	316
2. La subsidence : une conséquence du contexte tectonique régional.....	300	1.1 <i>Saulzet-le-Chaud : un socle granitique altéré</i>	316
CHAPITRE 13		1.2 <i>La carrière de Roure : socle gneissique et coulée basaltique</i>	316
EXCURSION DANS UNE RÉGION VOLCANIQUE : LA CHAÎNE DES PUYs	303	2. Le bassin de la Limagne : un fossé d'effondrement	320
I. LA RÉGION DE CLERMONT-FERRAND : TROIS GRANDES UNITÉS GÉOLOGIQUES	304	2.1 <i>Jussat : sédimentation en bordure d'un grand lac</i>	320
II. LES VOLCANS DE LA CHAÎNE DES PUYs : DES DYNAMISMES ÉRUPTIFS VARIÉS	304	2.2 <i>La carrière de Gandaillat : sédimentation de particules fines et tectonique extensive</i>	321
1. Le puy de la Vache : un volcan strombolien.....	304	V. L'HISTOIRE GÉOLOGIQUE DE LA RÉGION DE CLERMONT-FERRAND	321
1.1 <i>La carrière du puy de la Vache</i>	304	1. Histoire géologique de la région de Clermont-Ferrand et géomorphologie.....	321
1.2 <i>Le sommet du puy de la Vache</i>	307	1.1 <i>Une histoire géologique en trois temps</i>	321
1.3 <i>Synthèse des observations</i>	308	1.2 <i>Le paysage de la région de Clermont-Ferrand : quand l'érosion souligne les contrastes lithologiques</i>	322
2. Le puy de Dôme : un volcan péleén	308	2. Le cadre géodynamique de la France à l'Oligocène : collision alpine et rifting en même temps.....	324
2.1 <i>La forme de l'édifice : un dôme</i>	308	VI. QUELLE ORIGINE POUR LE VOLCANISME DE LA CHAÎNE DES PUYs ?	324
2.2 <i>Le puy de Dôme : un édifice constitué de trachyte massif</i>	309	1. Le volcanisme tertiaire et quaternaire dans le Massif central	324
2.3 <i>La carrière du bois de Charmes : des dépôts de nuée ardente</i>	309	2. Les deux modèles classiques : rifting passif et rifting actif ..	325
2.4 <i>Synthèse des observations</i>	310	3. Les modèles à l'épreuve des faits.....	326
3. Le gour de Tazenat : un maar phréatomagmatique	312	4. Bilan : une remontée mantellique dont l'origine est encore discutée	327
4. Origine de la diversité des dynamismes éruptifs dans la chaîne des Puy's	313	BIBLIOGRAPHIE	329
4.1 <i>La viscosité de la lave</i>	313	ANNEXE – ÉCHELLE DES TEMPS	331
4.2 <i>La quantité de gaz libérés</i>	315	INDEX	333
5. La diversité des laves de la chaîne des Puy's : résultat de la différenciation magmatique.....	315		