

Géomorphologie de la France

Tout le catalogue sur
www.dunod.com



ÉDITEUR DE SAVOIRS

Sous la direction de

Denis Mercier

Géomorphologie de la France

 **brgm**éditions



DUNOD



Illustration de couverture :
Étretat © Beboy – Fotolia.com

<p>Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.</p> <p>Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements</p>	<p>d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.</p> <p>Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).</p>
--	--

© Dunod, Paris, 2013

ISBN 978-2-10-058804-6

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2^e et 3^e a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

LISTE DES AUTEURS



Ouvrage sous la direction de **Denis MERCIER**, professeur à l'université de Nantes, Directeur du laboratoire LETG-Nantes-Géolittomer (UMR 6554 CNRS) et membre de l'Institut universitaire de France.

Avec les contributions par ordre alphabétique de :

Martine AMBERT, maître de conférences à l'université Paul-Valéry, Montpellier 3, membre du laboratoire UMR GRED-UM3-IRD.

Marie-Françoise ANDRÉ, professeur à l'université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand 2, membre de Geolab (UMR 6042 CNRS) et de l'Institut universitaire de France.

Edward ANTHONY, professeur à l'université d'Aix-Marseille, membre du CEREGE (UMR 7330 CNRS) et de l'Institut universitaire de France.

François BÉTARD, maître de conférences à l'université Paris-Diderot (Paris VII), membre du laboratoire Prodig (UMR 8586 CNRS).

Clélia BILODEAU, maître de conférences à l'université Paris-Diderot (Paris VII), membre du Ladyss (UMR 7533).

Jeannine CORBONNOIS, professeur à l'université du Maine, membre du laboratoire ESO-Le Mans (UMR 6590 CNRS).

Dov CORENBLIT, maître de conférences à l'université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand 2, membre de Geolab (UMR 6042 CNRS).

Étienne COSSART, maître de conférences à l'université Paris I Panthéon-Sorbonne, membre du laboratoire Prodig (UMR 8586 CNRS).

Stéphane COSTA, professeur à l'université de Caen Basse-Normandie, membre du laboratoire LETG-Caen-Géophen (UMR 6554 CNRS).

Daniel DELAHAYE, professeur à l'université de Caen Basse-Normandie, membre du laboratoire LETG-Caen-Géophen (UMR 6554 CNRS).

Jean-Jacques DELANNOY, professeur à l'université de Savoie et directeur du laboratoire EDYTEM (UMR 5204 CNRS).

Johnny DOUVINET, maître de conférences à l'université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, membre du laboratoire ESPACE (UMR 7300 CNRS).

Samuel ÉTIENNE, directeur d'études à l'École Pratique des Hautes Études, directeur du Laboratoire de Géomorphologie et Environnement Littoral de Dinard (UMR 8586 CNRS).

Thierry FEUILLET, docteur de l'université de Nantes, chercheur associé au laboratoire LETG-Nantes-Géolittomer (UMR 6554 CNRS).

Liste des auteurs

Éric FOUACHE, professeur à l'université Paris IV-Sorbonne, membre du Laboratoire de Géographie Physique (UMR 8591 CNRS) et de l'Institut universitaire de France.

Mathieu FRESSARD, doctorant à l'université de Caen Basse-Normandie, membre du laboratoire LETG-Caen-Géophen (UMR 6554 CNRS).

Emmanuèle GAUTIER, professeur à l'université Paris 8, membre du Laboratoire de Géographie Physique (UMR 8591 CNRS).

Christian GIUSTI, maître de conférences à l'université Paris IV-Sorbonne, membre du Laboratoire de Géographie Physique (UMR 8591 CNRS).

Frédéric GOB, maître de conférences à l'université Paris I Panthéon-Sorbonne, membre du Laboratoire de Géographie Physique (UMR 8591 CNRS).

Jérôme GOSLIN, doctorant à l'université de Bretagne Occidentale, membre du laboratoire LETG-Brest-Géomer (UMR 6554 CNRS).

Arnaud HÉQUETTE, professeur à l'université du Littoral Côte d'Opale, membre du Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences (UMR 8187 CNRS).

Fabien HOBLÉA, maître de conférences à l'université de Savoie, membre du laboratoire EDYTEM (UMR 5204 CNRS).

Nicolas JACOB, maître de conférences à l'université Lumière Lyon 2, membre du laboratoire Archéorient (UMR 5133 CNRS).

Laurent LESPEZ, maître de conférences à l'université de Caen Basse-Normandie, membre du laboratoire LETG-Caen-Géophen (UMR 6554 CNRS).

Candide LISSAK, docteur de l'université de Caen Basse-Normandie, membre du laboratoire LETG-Caen-Géophen (UMR 6554 CNRS).

Olivier MAQUAIRE, professeur à l'université de Caen Basse-Normandie et directeur du laboratoire LETG-Caen-Géophen (UMR 6554 CNRS).

Alain MARRE, professeur émérite à l'université de Reims Champagne-Ardenne.

Christophe MORHANGE, professeur à l'université d'Aix-Marseille, membre du CEREGE (UMR 7330 CNRS) et de l'Institut universitaire de France.

Sébastien MONNIER, docteur de l'université Paris I Panthéon-Sorbonne et chercheur au *Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas* à La Serena au Chili.

Jean NICOD, professeur honoraire à l'université d'Aix-Marseille.

Jean-Pierre PEULVAST, professeur émérite à l'université Paris IV-Sorbonne, membre du Laboratoire de Géographie Physique (UMR 8591 CNRS).

Ludovic RAVANEL, docteur de l'université de Savoie, membre du laboratoire EDYTEM (UMR 5204 CNRS).

Hervé REGNAULD, professeur à l'université de Rennes 2, membre du laboratoire LETG-Rennes-Costel (UMR 6554 CNRS) et de l'Institut universitaire de France.

Emmanuel REYNARD, professeur à l'Université de Lausanne, président du WG sur les Géomorphosites de l'Association internationale des Géomorphologues.

Marie-Hélène RUZ, professeur à l'université du Littoral Côte d'Opale, membre du Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences (UMR 8187 CNRS).

François SABATIER, maître de conférences à l'université d'Aix-Marseille, membre du CEREGE (UMR 7330 CNRS).

Pierre STÉPHAN, chargé de recherche au Laboratoire de Géographie Physique (UMR 8591 CNRS).

Serge SUANEZ, maître de conférences à l'université de Bretagne Occidentale, membre du laboratoire LETG-Brest-Géomer (UMR 6554 CNRS).

Yannick THIERY, docteur de l'université de Caen Basse-Normandie, chercheur associé au laboratoire LETG-Caen-Géophen (UMR 6554 CNRS).

Nathalie VANARA, maître de conférences à l'université Paris I Panthéon-Sorbonne, membre du Laboratoire de Géographie Physique (UMR 8591 CNRS).

Freddy VINET, professeur à l'université Paul-Valéry, Montpellier 3, membre du laboratoire UMR GRED-UM3-IRD.

L'ensemble des illustrations a été redessiné et harmonisé par **Laurence DAVID**, cartographe au laboratoire LETG-Brest-Géomer (UMR 6554 CNRS).

TABLE DES MATIÈRES



Liste des auteurs	V
Avant-propos	XV

PARTIE I

GÉOMORPHOLOGIE ET PAYSAGES RÉGIONAUX

Chapitre 1. Reliefs et géodynamique	3
1.1 Les grandes unités structurales du territoire européen de la France	3
1.2 Le domaine varisque et sa structuration : socle et bassins septentrionaux	4
1.2.1 L'orogénèse varisque	4
1.2.2 De la chaîne au socle varisque : évolution tardi-orogénique	6
1.2.3 Bassins et massifs varisques de l'avant-pays alpin	7
1.3 Le domaine alpin	11
1.3.1 Contexte géodynamique et zonation des Alpes occidentales	11
1.3.2 Mise en place des reliefs alpins et des piémonts	11
1.4 D'une marge à l'autre : de l'Atlantique aux Pyrénées et à la Provence	13
1.4.1 Les grands domaines structuraux	13
1.4.2 Les mouvements relatifs Ibérie-Europe et leurs conséquences : l'orogénèse pyrénéo-provençale	15
1.4.3 Le bassin du SE et l'ouverture sur la Méditerranée	16
Chapitre 2. Plaines, plateaux et moyennes montagnes	19
2.1 La France des horizons calmes : bas plateaux de socle et bassins sédimentaires	19
2.1.1 Des altitudes modestes mais des formes variées	19
2.1.2 Plaines et collines du nord : Flandre, Artois-Boulonnais	20
2.1.3 Les grands bassins septentrionaux et leurs bordures	21
2.1.4 La marge continentale atlantique : Armorique et Aquitaine	26
2.2 La France des hauts plateaux et des moyennes montagnes	31
2.2.1 Les Vosges	32
2.2.2 Le Massif central : un plateau cristallin basculé, faillé et volcanisé	32

Table des matières

Chapitre 3. Karsts de France	37
3.1 Types et répartition	37
3.1.1 Le karst « classique » : les Grands Causses	38
3.1.2 Les plateaux « semi-karstiques » des bassins sédimentaires	39
3.1.3 Les karsts de montagne	39
3.1.4 Les karsts péri-méditerranéens	41
3.2 Évolution des recherches	41
3.2.1 Émergence d'un nouveau concept : l'altération de type « fantôme de roche »	42
3.2.2 Karst épigène : réinterprétation du modèle vertical des réseaux karstiques	43
3.2.3 Les archives karstiques : nouvelle application	46
3.2.4 Émergence de nouvelles sensibilités : les ressources patrimoniales du karst	47
Chapitre 4. Géomorphologie des vallées françaises	49
4.1 L'inscription du réseau hydrographique dans les reliefs au cours du Quaternaire	49
4.1.1 L'étagement des terrasses alluviales entre déformation crustale et eustatisme	50
4.1.2 Les remblaiements alluviaux et les forçages climatiques	53
4.2 La dynamique holocène des fonds de vallée	56
4.2.1 Du Tardiglaciaire à l'Holocène (16 000-11 500 cal. BP)	56
4.2.2 Le temps de la Nature (11 500-4 000 cal. BP)	58
4.3 Le temps des métamorphoses (4 000-1 000 cal BP)	61
Chapitre 5. Géomorphologie des littoraux français	65
5.1 Les littoraux du Bassin parisien et du Nord	65
5.1.1 Le « haut et bas pays » boulonnais et du Calaisis-Flandre maritime	65
5.1.2 La plaine maritime picarde	66
5.1.3 Les plateaux sédimentaires normands taillés en falaises	67
5.2 Les littoraux du Massif ancien armoricain	68
5.2.1 L'extrême découpage du littoral breton	68
5.2.2 Les marges septentrionales et méridionales du Massif armoricain	70
5.3 Les littoraux du Bassin aquitain	71
5.3.1 Diversité du littoral Charentais	72
5.3.2 La côte sableuse rectiligne des Landes	72
5.3.3 Les falaises de la côte Basque	72
5.4 Les littoraux méditerranéens	73
5.4.1 Le littoral méditerranéen occidental : une côte d'accumulation	73
5.4.2 Le littoral méditerranéen oriental : une côte rocheuse	74
5.4.3 Les rivages de la Corse	75

PARTIE II

GÉOMORPHOLOGIE ET CHANGEMENTS GLOBAUX

Chapitre 6. Les outre-mer	81
6.1 Les temps longs de la tectonique des plaques et du volcanisme associé	81
6.1.1 L'île de la Réunion : construction vs destruction d'un volcan bouclier	81
6.1.2 Les îles australes : points chauds et dorsale est-indienne	83
6.1.3 L'archipel des Marquises : volcans-boucliers et formes de déchaussement	83
6.2 Les temps intermédiaires : des îles sentinelles des changements climatiques	85
6.2.1 La Nouvelle-Calédonie : morphologie récifale et fluctuations climatiques quaternaires	85
6.2.2 Les îles de l'océan Indien austral et les héritages glaciaires	87
6.2.3 Les îles du Pacifique Sud	88
6.3 Les temps courts des transferts sédimentaires	90
6.3.1 Dynamique du littoral de la Guyane	90
6.3.2 Transferts sédimentaires en Martinique	90
6.4 Les temps instantanés : impacts des phénomènes extrêmes ou de haute énergie	91
6.4.1 Cyclones tropicaux et géomorphologie corallienne	91
6.4.2 Tsunamis et géomorphologie littorale	93
6.5 Le temps de l'exploration géomorphologique	93
6.5.1 Les îles Éparses	93
6.5.2 Un atoll dans l'océan Pacifique Nord : Clipperton	94
Chapitre 7. La cryosphère	97
7.1 État actuel de la cryosphère	97
7.1.1 L'état actuel de l'englacement	97
7.1.2 L'étage périglaciaire actuel	101
7.2 Héritages géomorphologiques, reconstitutions paléo-environnementales	103
7.2.1 Le Dernier Maximum Glaciaire (DMG)	103
7.2.2 La transition DMG-Tardiglaciaire-Holocène	105
7.2.3 Le Petit Âge Glaciaire (PAG)	107
7.3 Les déséquilibres actuels de la cryosphère	109
7.3.1 Retrait glaciaire et géomorphologie paraglaciaire	109
7.3.2 Conséquences géomorphologiques de la dégradation du pergélisol	110
Chapitre 8. Stocks et flux sédimentaires dans la France Alpine	113
8.1 La production sédimentaire	113
8.1.1 La mesure de l'érosion dans les systèmes morphogéniques alpins	114
8.1.2 Les têtes de bassins, englacées au PAG	115

Table des matières

8.2	Les transferts sédimentaires dans les grandes vallées	118
8.2.1	Flux sédimentaires holocènes	118
8.2.2	Flux sédimentaires historiques et actuels	122
8.3	Quels impacts de l'anthropisation ?	124
8.3.1	Pratiques agricoles, déforestations et reboisements	124
8.3.2	Les impacts des grands barrages	125
8.3.3	Quels impacts des stations de ski ?	125
Chapitre 9. Les dynamiques fluviales actuelles		129
9.1	Les ajustements historiques des cours d'eau : réponses des hydrosystèmes aux changements environnementaux	131
9.1.1	Le Petit Âge Glaciaire (PAG) : une période de forte activité hydrodynamique et sédimentaire des cours d'eau	131
9.1.2	Les impacts de la fin du PAG et de la multiplication des aménagements : une dynamique fluviale ralentie	132
9.2	Deux exemples morphodynamiques régionaux contrastés	135
9.2.1	Les rivières de faible énergie de l'ouest français	135
9.2.2	Les rivières à forte énergie du sud et de l'est français	138
9.3	La prise en compte de l'hydromorphologie pour la restauration des hydrosystèmes	140
Chapitre 10. Les littoraux et l'élévation du niveau des mers		143
10.1	Variation eustatique : phénomènes explicatifs	143
10.2	La transgression marine holocène sur le littoral français métropolitain	144
10.2.1	Dans le Nord de la France	145
10.2.2	En Bretagne	146
10.2.3	En Méditerranée	148
10.3	Élévation contemporaine du niveau moyen de la mer : ampleur et conséquences sur la dynamique côtière	150
10.3.1	Évolution actuelle du niveau de la mer	150
10.3.2	Impact théorique de l'élévation contemporaine du niveau moyen de la mer sur la dynamique côtière	151
10.3.3	Impact mesuré de l'élévation contemporaine du niveau moyen de la mer sur la dynamique côtière : le cas de plages de la Méditerranée française et du Nord de la France	153
Chapitre 11. Biogéomorphologie de la France		157
11.1	Biogéomorphologie des montagnes françaises	158
11.2	Biogéomorphologie des cours d'eau français	162
11.3	Biogéomorphologie des littoraux français	166

PARTIE III

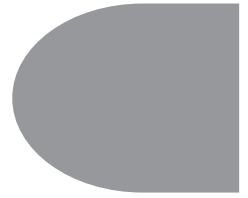
GÉOMORPHOLOGIE APPLIQUÉE

Chapitre 12. Géomorphologie et risques naturels	173
12.1 L'aléa mouvement de versant	174
12.1.1 Répartition spatiale des mouvements de versants	174
12.1.2 L'approche géomorphologique de cartographie de l'aléa mouvements de versants	176
12.1.3 Vers la modélisation de l'aléa mouvements de versants	177
12.2 L'approche hydrogéomorphologique de l'aléa inondation	178
12.2.1 L'aléa inondation en France métropolitaine	178
12.2.2 La méthode hydrogéomorphologique	179
12.3 L'aléa submersion marine	181
12.3.1 Processus hydrodynamiques à l'origine de la submersion marine	182
12.3.2 Les différents processus de submersion marine	183
12.3.3 La gestion des risques de submersion marine	183
Chapitre 13. Géomorphologie et vignobles de France	187
13.1 Les méga-terroirs : le rôle de la géomorphologie structurale	188
13.1.1 Vignobles et cuestas	188
13.1.2 Vignobles et escarpements de ligne de faille	190
13.1.3 Vignobles et structures plissées	190
13.1.4 Les structures volcaniques	192
13.1.5 Une variété de localisation des terroirs viticoles	193
13.2 Les mésoterroirs : le rôle des héritages du Quaternaire	193
13.2.1 Les formes de terrain : les versants en pentes fortes	194
13.2.2 Les formations superficielles	194
13.3 Les microterroirs : le rôle de la géomorphologie dynamique	196
13.3.1 Les mouvements de terrain	196
13.3.2 L'érosion hydrique	197
Chapitre 14. Géomorphologie et patrimoine	201
14.1 La place des géomorphosites dans le patrimoine paysager français et européen	201
14.2 Gros plan sur quelques géomorphosites français	203
14.2.1 Le cirque de Navacelles (Causse du Larzac) : un site majeur précocement investi par les géomorphologues	203
14.2.2 La grotte Chauvet : les plus anciennes peintures connues de l'Humanité	205
14.2.3 Le Rocher du Château (Haute-Maurienne), un géomorphosite alpin méconnu	207
14.2.4 Les Pierres Jaumâtres (Limousin) : des modelés granitiques à forte charge culturelle	209

Table des matières

14.3 Contribution de la géomorphologie à l'étude de la détérioration du patrimoine monumental français	210
14.3.1 Moteurs et vitesses de détérioration de l'épiderme des églises médiévales du Massif central	211
Chapitre 15. Géoarchéologie	215
15.1 Géomorphologie et géoarchéologie	215
15.2 Paysages, ressources, risques pour les sociétés anciennes	217
15.2.1 Géoarchéologie alluviale	217
15.2.2 Géoarchéologie littorale	220
15.2.3 L'érosion hydrique des sols cultivés et ses conséquences environnementales	224
Chapitre 16. Les bases de données géomorphologiques	229
16.1 Des bases de données contextuelles...	229
16.1.1 ... aux échelles nationales	229
16.1.2 ... aux échelles régionales	230
16.2 Des bases spécifiques	233
16.2.1 Les caractères hydrogéomorphologiques	233
16.2.2 Les mouvements de masse	238
16.2.3 Les avalanches	240
Chapitre 17. De la morphométrie à la géo-simulation	245
17.1 Morphométrie et hydrologie	246
17.1.1 Des indices de caractérisation des formes	246
17.1.2 Des indices de volume pour le relief	246
17.1.3 Des indices de hiérarchisation des réseaux	247
17.1.4 Les limites de la morphométrie pour le géomorphologue	247
17.2 Le cheminement vers la géo-simulation...	248
17.2.1 L'émergence et l'auto-organisation : deux notions-clés	249
17.2.2 Une approche ascendante, descendante, voire les deux ?	249
17.2.3 Une transposition nécessaire : de la théorie à la pratique	251
17.3 Un champ de recherche encore récent	251
17.3.1 Des outils encore peu investis par les géomorphologues	251
17.3.2 Des problématiques très diversifiées	253
17.3.3 Un exemple d'investigation morphologique : <i>RuiCells</i>	253
17.4 Enjeux et Perspectives	257
17.4.1 Opportunités offertes par la géo-simulation	257
17.4.2 De nouveaux outils d'investigation géomorphologique	257
17.4.3 Un autre regard sur les liens morphométrie/hydrologie	258
Bibliographie	260
Index	269

AVANT-PROPOS



La géomorphologie est la science qui étudie les formes du relief terrestre, décrit les éléments constitutifs de l'architecture d'un territoire, explique leur genèse et leur évolution dans le temps et dans l'espace. L'un des premiers objectifs de la discipline est donc d'identifier, cartographier, classer, l'ensemble des marqueurs corrélatifs de l'évolution du relief. Les formes et formations superficielles sont ainsi des objets d'étude privilégiés. Ces marqueurs sont intégrés dans une dimension spatiale, au sein de laquelle la cartographie géomorphologique (et plus récemment les Systèmes d'Information Géographique) a une importance singulière. Il s'agit de faire émerger des structures d'organisation spatiale de ces marqueurs, pour ensuite comprendre les modalités de leur mise en place. Enfin, ces marqueurs sont intégrés dans des séquences évolutives, grâce notamment à l'amélioration permanente des techniques de datation. Les rythmes d'évolution du relief, en lien avec des événements géologiques, des perturbations climatiques et/ou anthropiques, en sont ainsi mieux connus. Ces points sont abordés ici, en se focalisant sur la France, caractérisée par la variété de ses paysages géomorphologiques.

L'isthme européen de la France couvre un territoire de plus de 550 000 km², auxquels s'ajoutent les 125 000 km² occupés par les territoires ultramarins répartis dans les océans Atlantique, Indien, Pacifique. Le linéaire côtier est d'environ 7 000 km et l'altitude maximale du pays atteint 4 810 m au Mont-Blanc. Soit une extension, une diversité et une répartition géographiques qui permettent à une large part de la gamme des types géodynamiques et bioclimatiques planétaires d'y être représentée. Dans la mesure où les reliefs sont le fruit des actions antagonistes de facteurs de construction des volumes (tectogenèse, magmatisme, etc.) et de destruction (morphogenèse, dépendante de la lithologie et du climat, auxquels s'ajoutent éventuellement les effets de la biosphère et les pratiques anthropiques) arbitrés par le temps (durée d'évolution, rythmes, vitesses des processus, temps de réponse, etc.), les études géomorphologiques consacrées au territoire français peuvent donc porter sur la plupart des cas de figure et des types de contrôle. La plupart des grands domaines morphostructuraux sont représentés (marges passives, zones de subduction, zones de collision, volcanisme actif, etc.). Presque tous les types climatiques se retrouvent (du climat tempéré océanique, avec ses variantes continentales et altitudinales, aux climats tropicaux, subpolaires et polaires pour les territoires ultramarins). À cette vision actuelle du climat se surimpose le poids des héritages des climats passés, qui ajoute une trame plus complexe encore sur le fonctionnement des systèmes géomorphologiques. Parmi les facteurs de la morphogenèse, l'homme participe de plus en plus à l'évolution des systèmes de pente et des milieux, dont certains sont très sensibles (littoraux, etc.). Là encore, la France offre un cadre privilégié pour l'analyse du rôle joué par l'homme, puisqu'à son territoire européen très anciennement occupé et « anthropisé » s'ajoutent des territoires d'outre-mer beaucoup plus récemment occupés ou même situés aux limites de l'oekoumène qui offrent de larges possibilités à l'étude comparée des impacts de l'anthropisation.

Avant-propos

Résumer la diversité de la géomorphologie de la France en trois cents pages représente donc un véritable défi, ce qui explique que peu d'ouvrages traitent de ce sujet. Une « géographie physique de la France » existe depuis sa publication en 1942 par Emmanuel de Martonne ; une autre, où la géomorphologie structurale domine, a été publiée par Gérard Mottet en 1993. Des coupes et des croquis géomorphologiques de la France figurent dans un manuel de 1993 rédigé par Yvonne Battiau-Queney. Or, depuis quelques décennies, la géomorphologie a beaucoup évolué et des objets de recherche nouveaux sont apparus. La période récente a été en effet marquée par l'essor de la géomorphologie dynamique, les avancées réalisées en matière de géomorphologie quantitative et de modélisation, et l'implication croissante des géomorphologues français dans la prévention des risques « naturels », la gestion des milieux et la valorisation du patrimoine.

L'ouvrage, qui ne prétend nullement à l'exhaustivité, est donc construit comme un triptyque, faisant se succéder un portrait des paysages géomorphologiques de la France dans leur diversité (partie 1), une analyse des réponses géoenvironnementales au changement global (partie 2), et une évocation des applications concrètes de la géomorphologie (partie 3).



La présence du signe @ indique un paragraphe pour lequel des informations complémentaires sont disponibles dans un fichier PDF que vous pourrez télécharger gratuitement sur le site dunod.com (sur la page dédiée de l'ouvrage).

PARTIE I

Géomorphologie et paysages régionaux

Une approche régionale de la géomorphologie de la France nécessite le recours aux données géologiques et géodynamiques, même si celles-ci ne suffisent pas à rendre compte de l'extraordinaire diversité des paysages et des milieux, qui portent autant la marque du travail des générations humaines que celle des facteurs biophysiques. Ces facteurs conditionnent par exemple les caractéristiques de nombreux sites urbains et exercent de fortes contraintes sur l'organisation territoriale ou les activités rurales, en pesant sur d'autres caractères du milieu (sols, hydrogéologie, répartition des processus morphogéniques, etc.) et de la vie quotidienne (aménagement, patrimoine, risques, etc.). Parmi ces facteurs, on citera la disposition des cours d'eau par rapport aux structures et aux reliefs régionaux (sites de cluse, par exemple).

Aux échelles continentales et régionales, la distribution et les caractères des grandes unités morphostructurales jouent un rôle évident. En France, les travaux d'E. Reclus, P. Vidal de la Blache, E. de Martonne, A. Demangeon, J. Brunhes et R. Dion ont depuis longtemps montré que les articulations entre les grands ensembles physiographiques, directement liées à l'histoire géologique, ont joué un grand rôle dans la structuration progressive du territoire, en des temps où la technique ne procurait pas aux sociétés le même degré d'impression de liberté qu'aujourd'hui. Ayant facilité, entre autres, l'établissement des grandes voies de communication, donc du commerce autant que des invasions, ces articulations figurent au même titre que les facteurs historiques, politiques ou économiques, parmi les facteurs de l'implantation des villes, du développement de tel ou tel axe d'échanges ou de l'aménagement du territoire. On sait depuis longtemps que la logique du relief, reflet d'une longue histoire, n'apparaît qu'au prix de l'analyse morphostructurale. Sa connaissance est aussi utile à l'échelle du pays qu'elle l'est pour la compréhension d'unités plus petites comme les paysages de *cuestas* de Lorraine. Une belle illustration en est fournie par les cartes géomorphologiques de la France à 1/2 500 000 et à 1/1 000 000. À ces échelles, la plupart des lignes directrices du relief y apparaissent d'origine structurale, qu'il s'agisse des limites des massifs montagneux, essentiellement liées

à la tectonique, ou des crêtes et des talus d'érosion différentielle du Massif armoricain ou du Bassin parisien (Figure A-CC et Figure B-CC*).

Aux échelles moyennes, celles des aires de quelques dizaines de kilomètres de côté représentées sur les cartes à 1/50 000 ou à 1/100 000, le rôle des données morphostructurales dans l'organisation de l'espace est plus évident encore, y compris dans les régions de relief modéré. Il suffit pour s'en convaincre de se reporter aux exemples classiques tirés du « commentaire de cartes » où la compréhension du relief est conçue comme le point de départ de celle des paysages (Archambault *et al.*, 1965).

Cette distinction et la délimitation correspondante serviront ici de base à l'organisation de l'analyse régionale de la morphologie. Elle n'est pas la seule possible. Plus ou moins étroitement associée à la géologie (France hercynienne, France pyrénéo-alpine : Pinchemel, 1992), elle traduit une logique morphostructurale qui préside aussi à la distinction que fait Y. Battiau-Queney (1993), à la suite de bien d'autres, entre les « massifs anciens », les bassins sédimentaires et les chaînes plissées au Tertiaire, regroupées avec leur avant-pays et la bordure méditerranéenne. Cette logique est délaissée par certains auteurs au profit des facteurs altimétrique et paysager, pour opposer une France occidentale, atlantique, privée de la partie orientale du Bassin parisien, à une France de l'est, celle des contrastes orographiques et climatiques, des plateaux, des hautes terres et des montagnes aux grandes dénivelées (Mottet, 1993). En réalité, aucun de ces découpages n'est totalement satisfaisant.

L'approche géodynamique présentée dans le chapitre 1 apporte cependant les éléments d'une logique qui tend à conforter celle qui est choisie ici. Le chapitre 2 est consacré à la France des plaines, des plateaux et des moyennes montagnes. Le chapitre 3 présente la répartition et la variété des karsts de France. L'incision des vallées dans les volumes de relief est l'objet du chapitre 4. Le chapitre 5, quant à lui, offre un tour de France des côtes de la Manche, de l'Atlantique et de la Méditerranée et permet de compléter un premier tableau géomorphologique de la France.

* Les figures suivies des initiales CC sont présentes dans le cahier couleur de l'ouvrage.

RELIEFS ET GÉODYNAMIQUE

1

J.-P. Peulvast, F. Bétard et C. Giusti

OBJECTIFS

- Comprendre les relations entre géologie et géomorphologie.
- Comprendre les étapes de formation des grandes unités du relief de la France.

1.1 LES GRANDES UNITÉS STRUCTURALES DU TERRITOIRE EUROPÉEN DE LA FRANCE

De superficie moyenne (551 000 km²), le territoire européen de la France rassemble pourtant une exceptionnelle diversité de reliefs et de substrats. C'est le résultat d'une histoire longue et complexe, à l'articulation entre les anciens continents Gondwana et Laurussia, entre le domaine alpin et celui des socles et plates-formes de l'Europe du nord-ouest, entre la mer Méditerranée et l'océan Atlantique. Ce territoire fait partie de l'ancienne chaîne de collision varisque (ou hercynienne), élaborée au cours du processus d'agglutination de la Pangée puis arasée à la fin des temps paléozoïques (Peulvast et Vanney, 2002). Son organisation actuelle, marquée par la juxtaposition et l'imbrication d'unités jadis réparties très différemment, reflète la diversité des évolutions ultérieures des différentes parties de la chaîne. Certaines des parties incluses dans le large domaine de transition qui relie l'avant-pays alpin à la marge atlantique et aux plates-formes d'Europe du nord-ouest (principalement l'ancienne chaîne calédonienne) sont restées en relief ou se sont modérément soulevées (« massifs anciens »), surtout en relation avec la formation du système européen de rifts cénozoïques à la périphérie de l'arc alpin (*European Cenozoic Rift System*, ECRIS : Ziegler et Dèzes, 2007).

Massifs anciens

Les massifs qualifiés d'« anciens » ne le sont que du fait de l'âge de leurs matériaux et de leur structuration, malgré leur soulèvement récent et l'âge essentiellement néogène de leurs formes de relief (Ardennes, Massif armoricain, Massif central, Vosges).

D'autres secteurs ont subi une subsidence plus ou moins régulière et continue depuis le Permian-Trias, devenant des bassins sédimentaires (Bassin parisien, Bassin aquitain) d'abord ouverts sur le domaine téthysien au SE puis sur la façade atlantique au sens large, formée à partir du Crétacé (mer du Nord, Manche, golfe de Gascogne). Leurs couches n'ont subi que des déformations modestes (ex : Pays de Bray), sauf dans le sud du Bassin aquitain, inclus dans l'avant-pays

pyrénéen. Au sud et au sud-est, le socle varisque a été intégré au domaine orogénique alpin né de la collision entre Eurasie et domaine gondwanien (Afrique et microplaques attenantes) ; il y est fortement déformé. Il affleure au sein de structures complexes incorporant d'épaisses séries sédimentaires plus récentes, autochtones ou allochtones, dans les chaînes alpines (Alpes, Pyrénées, Provence, Corse), au-delà d'une zone d'avant-pays plissé (domaine sous-pyrénéen, Jura) ou hachée par les prolongements des structures distensives de l'ECRIS (pourtour du golfe du Lion, ouvert sur l'océan Algéro-Provençal entre les blocs Corse-Sardaigne et Ibérie).

1.2 LE DOMAINE VARISQUE ET SA STRUCTURATION : SOCLE ET BASSINS SEPTENTRIONAUX

Comme la chaîne varisque a été presque entièrement arasée au Permo-Trias, ses structures parviennent surtout à s'exprimer dans les paysages actuels là où elles n'ont pas été complètement remobilisées — donc hors des zones internes de l'édifice alpin — et où l'érosion différentielle liée aux mouvements verticaux ultérieurs a pu exploiter la diversité de sa lithologie et ses zones de faiblesse tectoniques. Cependant, dans les régions de plates-formes, de nombreuses structures liées aux phases successives de l'évolution de la chaîne ont aussi pu guider les déformations ultérieures. La compréhension du relief actuel nécessite donc un aperçu de l'organisation structurale de la chaîne et des grandes étapes de sa formation.

1.2.1 L'orogénèse varisque

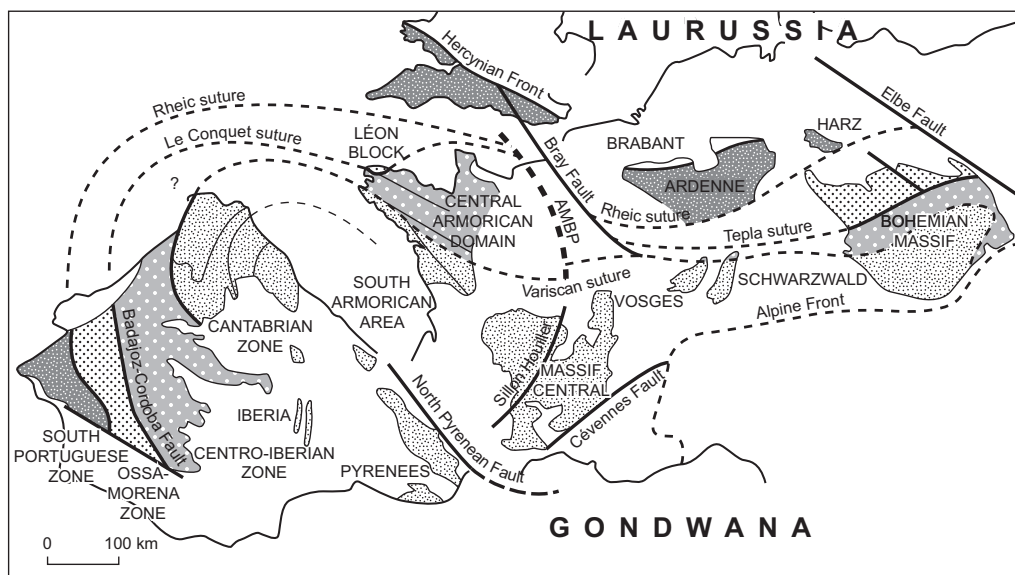
Bien que partiellement masquées par de vastes bassins sédimentaires, les structures du socle sont bien reconnaissables dans le centre, l'ouest, le nord et le nord-est de la France (Figure 1.1-CC). Sur 700 km de largeur, elles comportent « deux chaînes qui se tournent le dos, séparées par un bloc cratonique déformé » (Dercourt, 2002). L'ensemble doit son unité structurale à une tectonique cassante distensive tardi-orogénique également impliquée dans la mise en place des bassins.

Au sud, toutes les unités sont déversées vers le sud-ouest. Correspondant à la marge nord du Gondwana, elles comportent des zones internes cristallines constituées de nappes de charriage métamorphiques à schistosité horizontale (gneiss et micaschistes), largement granitisées (Limousin, Margeride, arc du Morvan...), affleurant du sud du Massif armoricain aux Vosges en passant par le Massif central, et des zones externes plus largement sédimentaires affleurant au sud du Massif central (unités paraautochtones des Cévennes et de l'Albigeois, plis couchés de la Montagne Noire) et dans les Pyrénées (Figure 1.1-CC). L'empilement de cinq grands ensembles aboutit à la superposition d'unités dont le métamorphisme augmente du bas vers le haut et du sud vers le nord : le bassin d'avant-pays, la zone externe, l'unité para-autochtone (PA), l'unité inférieure des gneiss (UIG), et l'unité supérieure des gneiss (USG). Des plutons granitiques se sont mis en place vers 360-350 Ma (type Guéret) et vers 325-305 Ma (Aigoual, Mont Lozère, Margeride, Millevaches, massif de la Brame). Trois épisodes de fusion partielle ont entraîné la genèse de migmatites et de granites d'anatexie : au Dévonien moyen dans l'UIG et l'USG (vers 380 Ma) ; au Carbonifère inférieur principalement au nord des Cévennes (Villefort) et en Montagne Noire ; au Carbonifère supérieur en Velay, alors que l'essentiel du raccourcissement est achevé et la compression terminée.

Entre les deux, un bloc constitué de fragments de craton précambrien se retrouve surtout à l'ouest (Massif armoricain) et au centre, sous le sud du Bassin parisien (Figure 1.1-CC). Des vestiges d'un socle daté du Protérozoïque inférieur (socle icartien, 2 Ga) y sont identifiés, dans

le Trégor, les îles anglo-normandes et le nord du Cotentin. Mais dans les domaines centre et nord-armoricain, ce craton apparaît principalement constitué de roches plissées lors de l'orogénèse cadomienne (séries schisteuses briovériennes, 650-550 Ma) et largement pénétrées de plutons granitiques tardi-orogéniques. Formée en régime de subduction à la marge nord du Gondwana, l'ancienne chaîne est partiellement couverte de sédiments d'âge cambrien à dévonien supérieur déposés dans les rifts formés avec la dislocation de la marge du Gondwana (détachement des micro-continent Avalonia et Armorica) puis dans de plus larges bassins subsidents (Ordovicien : Grès armoricains, tillites de la glaciation hirnantiennne, pélites siluriennes). On retrouve ces sédiments plissés et conservés dans les structures compressives (synclinaux) et les bassins distensifs formés au Carbonifère, lors des phases successives de l'orogénèse varisque, après une longue période de sédimentation de plate-forme poursuivie jusqu'au Dévonien.

Au total, l'ensemble se présente comme une chaîne à double déversement @.







-  Avant-pays nord-varisque : marge sud de la Laurussia
North Variscan foreland : South margin of Laurussia
-  Marge nord du Gondwana
North Gondwana margin
-  Blocs intermédiaires : Léon, Bohême nord, Ossa-Morena.
Intermediate blocks : Leon, North Bohemia, Ossa-Morena.
-  Micro-continent Armorica : domaine centre-armoricain, Ibérie centrale, Bohême centrale
Armorica microcontinent : Central Armorican domain, Central Iberia, Central Bohemia.

Figure 1.2 - Distribution des domaines varisques européens (non représentés dans les Alpes, le SE de la France et en Corse).

D'après Faure *et al.*, 2008, modifié.

Figure 1.2 - Distribution of the European Variscan domains (not represented in the Alps, in southeast France and in Corsica).

From Faure *et al.*, 2008, modified.

1.2.2 De la chaîne au socle varisque : évolution tardi-orogénique

Les dernières phases de cette évolution sont déterminantes pour l'évolution ultérieure du relief. Elles voient d'abord la destruction de hautes montagnes qui ont pu atteindre au Carbonifère, sous des latitudes équatoriales, des altitudes himalayennes. Caractérisées par une extension perpendiculaire à la chaîne de l'ordre de 50 %, au Stéphanien et au Permien, ces phases tardi-orogéniques correspondent à l'effondrement gravitaire du domaine initialement épaissi (Pochat et Van den Driessche, 2011). Le remplissage rapide des fossés traduit une érosion puissante, prolongeant celle déjà active en contexte synorogénique depuis le Viséen (flysch du sud de la Montagne Noire). L'évolution est ensuite caractérisée par le dépôt de grands volumes de débris dans des cuvettes subsidentes restées peu marquées. L'ablation et la pédimentation ont été favorisées par les climats rubéfiants du Permien, puis par une profonde altération dans les conditions chaudes du Trias. Dès le Saxonien, de vastes parties du Massif armoricain, du Massif central et du futur Bassin parisien formaient une surface d'équilibre mobile juxtaposant des pédiments et des formes de remblaiement, les piémonts subhercyniens, passant à des playas. Dans le Rouergue, des horsts et demi-horsts soulevés à des rythmes décroissants portent les restes de surfaces disposées en facettes. Celles-ci se sont entretenues par regradation avant d'être finalement ennoyées et perfectionnées par abrasion marine lors des transgressions mésozoïques.



Figure 1.3 - Plis hercyniens arasés : la carrière de Villedieu-lès-Bailleul (N d'Argentan, Normandie, France).

Le déblaiement partiel de calcaires marins du Jurassique moyen fait affleurer la surface infra-jurassique, dite aussi post-hercynienne, tronquant de façon imparfaite les conglomérats, les schistes et les Grès armoricains du Paléozoïque inférieur conservés dans un synclinal. Participation probable de l'abrasion marine au nivellement avant l'enfouissement de la surface. Photo J.P. Peulvast.

Figure 1.3 - Beveled Variscan folds: Villedieu-lès-Bailleul quarry (north of Argentan, Normandy, France).

Truncating the Paleozoic conglomerates, shales and Armorican sandstones preserved in tight synclines of the Variscan orogen, the sub-Jurassic planation surface, also known as Post-Hercynian surface, is exposed here after partial denudation of overlying marine limestones of Middle Jurassic age. Wave-cutting was probably involved in the planation process before the burying of the surface. Photo J.P. Peulvast.

L'extension et l'amincissement crustal fini-orogéniques, liés au rééquilibrage gravitaire et à un passage rapide de la convergence à la divergence de plaques (début de dislocation de la Pangée), ont pu faciliter l'aplanissement final et conditionner l'affleurement des niveaux métamorphiques et intrusifs qui constitueront le bâti affleurant du socle ainsi formé. Le désépaississement crustal s'est accompagné ou suivi d'un affaissement marqué dans les zones les plus étirées et fracturées (Bassin parisien à partir du Trias), tandis que des noyaux moins amincis jouent en soulèvement chronique (Massif armoricain, Massif central, Vosges). Renforcé par la détumescence thermique finale, cet affaissement a autorisé les transgressions marines qui sont venues perfectionner les aplanissements et les intégrer dans de vastes surfaces avant de provoquer éventuellement leur enfouissement (Figure 1.2 ; Cloetingh et Ziegler, 2007).

1.2.3 Bassins et massifs varisques de l'avant-pays alpin

L'histoire des bassins et des massifs qui les encadrent correspond à la succession de trois phases géodynamiques (Dercourt, 2002). Après la distension tardi-orogénique du Carbonifère supérieur et du Permien, et l'aplanissement consécutif, la subsidence thermique continue d'affecter toute la région au Mésozoïque. Elle permet des transgressions marines étendues (notamment au Crétacé supérieur), d'autant plus que les topographies aplanies restent basses et que la dislocation de la Pangée et l'ouverture de la Téthys multiplient les aires océaniques et les marges amincies à partir desquelles la mer peut s'avancer (océans Atlantique, Ligurien, Gascon). Au Cénozoïque, une redistribution des contraintes sous l'effet des collisions amorcées dès le Crétacé supérieur, entre les plaques Eurasie et Apulie d'une part, et Eurasie et Ibérie d'autre part, incorpore l'ensemble à un vaste avant-pays alpin et induit des rejeux verticaux ou latéraux de failles anciennes.

Le long de ces structures, des ondulations, amorcées dès le Lias pour certaines ou la fin du Crétacé pour d'autres, interfèrent avec la subsidence générale pour contrôler la sédimentation commencée au Trias ainsi que les épisodes d'érosion et de morphogénèse qui l'entrecoupent (antiformes Ardennes-Brabant-Artois-Boulonnais, Morvan-Vosges, Manche occidentale, puis Picardie — cette dernière entre centre du Bassin parisien et Manche orientale). En relation avec le jeu de l'antiforme picarde au Miocène, la synforme d'Île-de-France migre vers le sud (Sologne, Touraine). Interférant avec de nombreuses variations eustatiques, ces déformations liées aux phases d'accrétion océanique et aux collisions des domaines voisins ont permis au total l'accumulation de 2 500 m de couches secondaires et tertiaires au cœur du Bassin parisien, au rythme moyen de $0,10 \text{ mm.an}^{-1}$. Mais le processus a comporté quelques oscillations positives responsables de phases d'érosion et de discordances (fin du Jurassique, fin du Crétacé). À partir de l'Aptien-Albien, la mer a pu pénétrer depuis le domaine atlantique. Les incursions issues du domaine ligurien-alpin ont cessé à la fin du Crétacé et finalement, celles venues de l'Atlantique, au Miocène (faluns de la gouillère ligérienne).

Les massifs périphériques (Figure 1.3) appartiennent surtout aux zones internes de la chaîne varisque (Massifs armoricain et central, Vosges) mais au nord-est, les Ardennes et le Massif schisteux rhénan exposent les nappes de la zone externe. Plus ou moins couverts par des sédiments de plateforme au Mésozoïque, ils se sont pour la plupart soulevés en relation avec la formation du système européen de rifts cénozoïques (ECRIS), un ensemble de grabens ou demi-grabens en *pull-apart* reliés entre eux par des failles de transfert (Dercourt, 2002 ; Ziegler et Dèzes, 2007) et disposés concentriquement autour de l'arc alpin (Figure 1.4). Amorcé à la fin du Crétacé et au Paléocène, leur soulèvement s'est accéléré au Miocène et s'est poursuivi au Quaternaire. Quant à l'extension, qui semble paradoxale en avant d'une zone