

# Un centenaire ambigu : le concept de relief appalachien en géomorphologie continentale

**Christian Giusti**

*Laboratoire de Géographie physique, UMR 8591 CNRS MEUDON et UPJV, Département de Géographie – Campus – Chemin du Thil, 80025 AMIENS CEDEX 1. Tél : 03.22.82.70.25. Email : [christian.giusti@u-picardie.fr](mailto:christian.giusti@u-picardie.fr)*

**RESUME.** *Deux ambiguïtés grèvent le centenaire du concept de relief appalachien : la théorie de l'évolution appalachienne (Davis, 1889) est antérieure de vingt ans à la définition du type appalachien (de Martonne, 1909), dont une première esquisse avait été proposée antérieurement (de Lapparent, 1896) ; surtout, « évolution appalachienne » et « type appalachien » dépendent du crédit scientifique accordé à la doctrine du « cycle d'érosion » (denudation cycle), discutée dès sa formulation, quasiment abandonnée depuis le milieu du 20<sup>e</sup> siècle, dont le statut demande cependant à être réexaminé (Phillips, 2002).*

**MOTS-CLÉS :** *Relief appalachien, hydrographie appalachienne, géomorphologie, Bretagne, Cévennes, Appalaches, Brésil.*

## 1 – Introduction

La ville de Laval abrite Place de Hercé un musée des sciences où sont rassemblées et conservées les collections minéralogiques et paléontologiques des géologues Daniel et Pauline Œhlert qui, les premiers, firent connaître par une cartographie détaillée la composition et l'agencement des terrains du fort complexe « synclinorium médian ». Sur la même rive de la Mayenne, mais au nord de la voie ferrée Rennes – Le Mans, le collège « Emmanuel de Martonne » rappelle que l'une des grandes figures de la géographie française du 20<sup>e</sup> siècle passa une partie de sa jeunesse à Laval, avant une carrière universitaire qui devait en quelques années le mener de Rennes à Lyon et à Paris. Les attaches bretonnes d'Emmanuel de Martonne ont été évoquées de façon circonstanciée dans le volume *Géographes en pratiques* (Baudelle *et al.*, 2001), paru à la suite du colloque tenu en 1999 pour commémorer le centenaire de la nomination à Rennes d'Emmanuel de Martonne. L'objet du présent article est de revenir plus en détail et de s'interroger sur un autre centenaire, celui du concept de « relief appalachien », conventionnellement associé à la parution de *La pénéplaine et les côtes bretonnes* dans les *Annales de Géographie* (de Martonne, 1906).

Dans son *Vocabulaire*, H. Baulig (1956a) attribue en effet le concept de relief appalachien à Emmanuel de Martonne. Pourtant – comme le note Baulig lui-même en 1932 dans le compte-rendu du livre de Johnson, *Stream sculpture on the Atlantic slope. A study in the evolution of appalachian rivers* – la théorie de l'évolution appalachienne avait été déjà développée par un autre Américain, W. M. Davis, dans deux articles parus en 1889 et 1890 : *The rivers and valleys*

of Pennsylvania et *The rivers of Northern New Jersey*. Et, en 1894-1895 étaient parues trois importantes monographies de nature géologique, géographique et géomorphologique : *Geomorphology of the Southern Appalachians* (Hayes *et al.*, 1894), *The Southern Appalachians* (Hayes, 1895), *The Northern Appalachians* (Willis, 1895), citées dans les *Leçons de Géographie physique* (de Lapparent, 1896, 1898, 1907) qui s'appuient aussi sur les travaux de W. J. McGee (1888a, 1888b), mais ne mentionnent qu'un seul article de Davis (1891).

Emmanuel de Martonne a été nommé en 1899 à l'Université de Rennes où il occupe en tant que chargé de cours la toute nouvelle chaire de géographie créée par le ministère, un poste qu'il conserve jusqu'à son départ pour Lyon en 1905 (Dresch, 1975. Baudelle, 2001). Auteur d'une thèse ès-lettres (1902) sur la géographie de la Valachie puis d'une thèse ès-sciences (1907) sur l'évolution morphologique des Alpes de Transylvanie dans les Carpathes méridionales, de Martonne a puisé en Bretagne la matière de nombreuses contributions relatives à la connaissance et à la compréhension de ce qu'il dénommera jusqu'à la fin le « relief du sol », objet géographique par excellence (de Martonne, 1909, 1955), par opposition au sous-sol et aux topographies souterraines, domaine d'élection de la géologie. Alors que Charles Barrois (1897), autre pionnier de l'analyse et de la cartographie des structures armoricaines, venait de donner aux *Annales de Géographie* un article traitant *Des divisions géographiques de la Bretagne* (l'armoricanologie reviendra sur le sujet en 1930 dans *Les grandes lignes de la Bretagne*), de Martonne amorce au cours de ses années rennaises la rédaction du *Traité de géographie physique* dont la première édition voit le jour en 1909 (Broc *et al.*, à paraître). Il entretient à cet effet une correspondance suivie avec W. M. Davis, publie en 1903 *Le développement des côtes bretonnes et leur étude morphologique* puis, en 1906, *La pénéplaine et les côtes bretonnes*, un article dont plusieurs illustrations figurent jusque dans la 3<sup>e</sup> édition de la *France physique* (1942-1955).

*La pénéplaine et les côtes bretonnes*, qui a contribué à asseoir la position scientifique d'Emmanuel de Martonne, a aussi exercé une grande influence sur la recherche géographique française en géomorphologie continentale et littorale (Musset, 1917 ; 1925 ; 1928. Guilcher, 1948 ; 1949. Vanney, 1969, 1977. Klein, 1975 ; 1990). Ce travail publié il y a cent ans reflète un dynamisme novateur qui puise une grande part de son inspiration aux sources de l'école géographique allemande (Broc, 1977). E. de Martonne connaît les œuvres d'A. de Humboldt et de C. Ritter, il a passé plusieurs années Outre-Rhin où il a suivi les cours de F. von Richthofen à Berlin, de F. Ratzel à Leipzig, d'A. Penck à Vienne : la fréquentation des universités allemandes le conforte dans l'idée « qu'il n'y a pas de géographie physique sans pratique du terrain, sans croquis, sans cartes » (Nicolas, 2001, p. 187). Une fois nommé, de Martonne institue donc l'excursion géographique inter-universitaire annuelle, faisant découvrir du 1<sup>er</sup> au 6 juin 1905 les « plateaux siluriens » entaillés en gorge par la vallée de la Vilaine au sud de Rennes. En 1905 aussi, rendant compte de l'excursion internationale de 1904 que W. M. Davis avait dirigé en personne au Mexique et à travers l'Ouest des États-Unis, il évoque (1905) « la zone appalachienne des Ouachita et du plateau Ozark », le second étant avec la première dans le même rapport que le Plateau de Cumberland avec les crêtes de la Grande Vallée de la chaîne des

Appalaches. En géomorphologie, de Martonne trouve donc une autre part de son inspiration dans les vues nouvelles professées aux Etats-Unis. Il est permis de soutenir que le géographe Emmanuel de Martonne s'est tenu à la rencontre de deux courants de pensée, l'un venu d'Outre-Rhin, l'autre venu d'Outre-Atlantique (Giusti, 2004).

De la fin du 19<sup>e</sup> siècle jusqu'au milieu du 20<sup>e</sup> siècle, les formes du relief des Appalaches sont étudiées et l'évolution appalachienne définie par rapport à un modèle dominant, un « paradigme » au sens de Kuhn (1962) : la théorie du *geographical cycle* (Davis, 1899a. Johnson, 1931). À partir des années 1950-1960, les Appalaches font l'objet de nombreux débats, relatifs à la genèse des grands volumes de relief, des formes associées, ainsi qu'à l'organisation et au développement du drainage. Comme l'ont récemment souligné J.-P. Peulvast et J.-R. Vanney (2001, p. 361), ces discussions remettent « en cause le concept de relief appalachien véhiculé par de nombreux manuels, surtout français, mais aussi brésiliens ». Simultanément, la définition du mode d'évolution acyclique au contact du Massif Armoricaïn et du Bassin de Paris (Klein, 1959, 1975), tout en levant nombre de difficultés liées à l'origine et à la rémanence des surfaces d'aplanissement étendues, se place résolument *a contrario* dans une logique de révision critique positive de la théorie davisienne (Klein, 1985, 1993, 1997).

La première partie de l'article précise dans quelles circonstances *le type de relief appalachien et le concept d'évolution appalachienne* ont été définis, d'autant que W. M. Davis semble avoir hésité dans le choix du géomorphotype entre Cévennes et Alleghanys. La deuxième partie étudie comment ces notions ont été peu à peu précisées, tant par les travaux de D. Johnson (1931) dans les Appalaches que par ceux d'E. de Martonne au Brésil (1940). La troisième partie (à paraître dans un prochain bulletin) discutera quelle acception il est encore possible de reconnaître à ces notions aujourd'hui, après un demi-siècle d'essor de la géomorphologie climatique, de la géomorphologie quantitative, et d'application de la théorie des systèmes à la géomorphologie.

## **2 – Davis et de Martonne : évolution appalachienne et type appalachien**

Les idées de W.M. Davis sur la genèse du relief des Appalaches ont été résumées par H. Baulig (1932). Pour le géographe américain, la formation de la chaîne a été suivie par une première phase de nivellement des reliefs. Au Trias, des terrains détritiques très épais intercalés de niveaux volcaniques sont venus combler des fossés d'effondrement ou des bassins formés par gauchissement. Un nouveau cycle d'érosion se développe pendant le Jurassique et une partie du Crétacé, aboutissant à une topographie peu différenciée d'échelle régionale, la *Schooley peneplain*, dont les vestiges forment encore, pour Davis, les crêtes culminantes des reliefs actuels (Figure 1a). Sur son bord sud-est, la pénéplaine de Schooley (du nom d'un massif montagneux du New Jersey) a été fossilisée par les terrains crétacés supérieurs de la Plaine côtière atlantique. Au Tertiaire, des mouvements différentiels de type soulèvement ou gauchissement séparés par des phases de repos déterminent la dissection de la *Schooley peneplain* et, dans les zones de moindre résistance, la formation de niveaux d'érosion étagés ou emboîtés : les pénéplaines de Harrisburg, de Somerville, les formes du cycle actuel. Au cours de ces rajeunissements successifs, l'hydrographie s'adapte :

allongement des rivières longitudinales qui, « établies dans les zones tendres, étendent leur domaine par captures au détriment des rivières transversales » ; transformation de cluses vives (*water gaps*) en cluses sèches (*wind gaps*) qui témoignent du passage de rivières ayant changé de cours (Davis, 1909, p. 413-513).

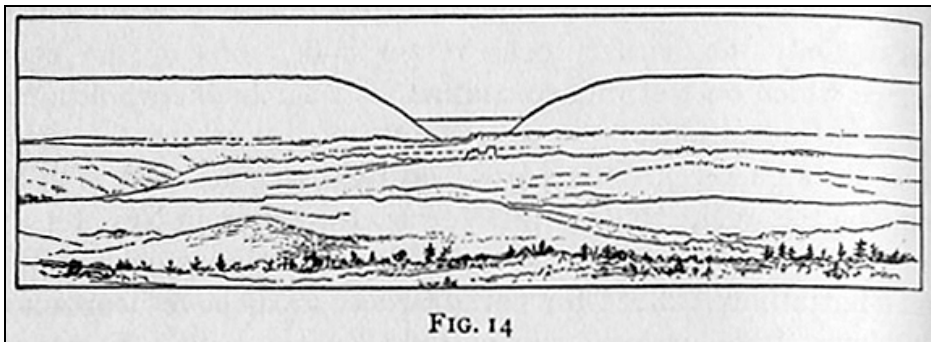


Figure 1a : « [figure 14] is a view from Jenny Jump mountain, on the north-western side of the New Jersey highlands, looking northwest across the Kittatinny valley lowland to Blue, or Kittatinny, mountain, where it is cut at the Delaware Gap. The extraordinarily level crest of the mountain preserves record of the Cretaceous base-level lowland; since the elevation of this ancient lowland, its softer rocks have, as it were, been etched out, leaving the harder ones in relief ;thus the present valley lowland is to be explained. In consequence of the still later elevation of less amount, the Delaware has cut a trench in the present lowland which is partly seen to the left in the sketch » (Davis, 1889, in : 1909, fig. 14, p. 428).

Trois dessins extraits de l'article de 1889 (Figure 1b) donnent un aperçu de l'analyse davisienne du terrain, les Appalaches étant en résumé un exemple de topographie composite (Chorley *et al.*, 1973, p. 198-233) qui juxtapose les vestiges d'une forme fossile (la surface pré-triasique), d'une topographie issue d'un cycle d'érosion (la *Schooley peneplain*), et de trois générations de niveaux d'érosion emboîtés et étagés en contrebas des crêtes culminantes (les formes post-Schooley).

En matière de morphogenèse appalachienne, les vues que Davis expose de façon détaillée en 1889 et 1890 (une centaine de pages imprimées !) sont en fait l'aboutissement d'études conduites pendant plus de dix ans (Davis, 1931) sur des thèmes variés mais complémentaires destinés à expliquer la formation de la *Schooley peneplain*, le développement de l'hydrographie et les formes associées. En 1894, Davis est en Europe occidentale : il applique la méthode mise au point dans les Appalaches aux réseaux hydrographiques des bassins sédimentaires et développe la théorie élémentaire de la *belted coastal plain* ou plaine côtière zonée (Davis, 1895, 1896, 1897). En 1899, un nouveau séjour en Europe à l'occasion d'un congé sabbatique lui permet de revenir sur le concept de pénéplaine : les observations faites en Écosse lors du voyage de 1894 sont complétées par une excursion en Auvergne qui fournit à Davis des arguments pour répondre aux critiques de R. S. Tarr (Rhoads *et al.*, 1996), ainsi que des

croquis de la vallée de la Tardes qui seront repris pour illustrer le cours que Davis donnera à Berlin en 1908-1909 (Doublie, 2005).

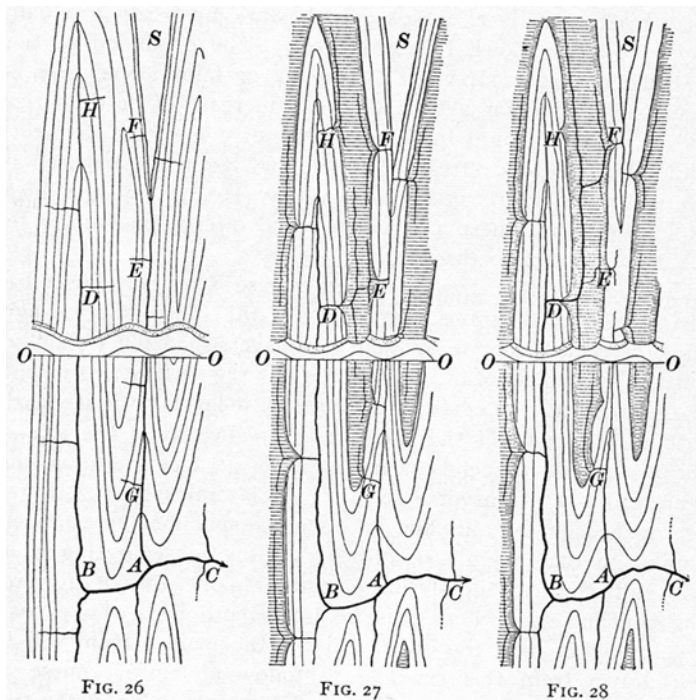


Figure 1b :  
Exemples d'ajustements du drainage au cours du développement de l'hydrographie appalachienne, ici dans le cas de deux rivières synclinales EA et HB tributaires d'une rivière transversale C, les deux synclinaux n'ayant pas la même géométrie (Davis, 1889, in : 1909, fig. 26-28, p. 439-440)

En particulier, la perfection du plateau qui s'étend entre Montluçon et la Creuse (Figure 2), où « the whole structure had been rubbed down by a great leveling machine », est pour Davis une preuve de l'efficacité de l'érosion subaérienne contre Tarr, pour qui les « peneplains are unreal, improbable, and unnecessary » (Davis, 1899b, in : 1909, p. 352 et p. 372). *Le concept d'évolution appalachienne du relief est donc indissociable du concept de pénéplaine*. Mais force est de remarquer que sous le vocable de « pénéplaine », Davis semble admettre deux types d'objets géomorphologiques différents (il ne donnera son dernier mot sur le sujet qu'en 1930, dans *Rock floors in arid and in humid climates*) : tantôt des surfaces topographiques faiblement onduleuses, des « broad swells of gentle convexity between wide valley floors », souvent dominées par des « monadnocks » ou reliefs résiduels (Figure 3), tantôt des surfaces topographiques beaucoup plus rigides, tels les plateaux péri-limousins cités plus haut, assimilables à de vraies « plaines d'érosion » (Baulig, 1956a, §§ 159-161).

Le lien entre *évolution appalachienne* et *pénéplaine* figure explicitement sous la plume d'A. de Lapparent qui, dans son « Essai de classification des montagnes » introduit dans la 2<sup>e</sup> édition des *Leçons de Géographie physique* (1898), repris en 1907 (p. 712), indique que : « Quand le gauchissement affecte un ancien district montagneux déjà réduit à la condition de pénéplaine, l'action

érosive, qu'il met en jeu, fait apparaître ce qu'on peut appeler des *montagnes revivifiées* ou *ressuscitées* ».

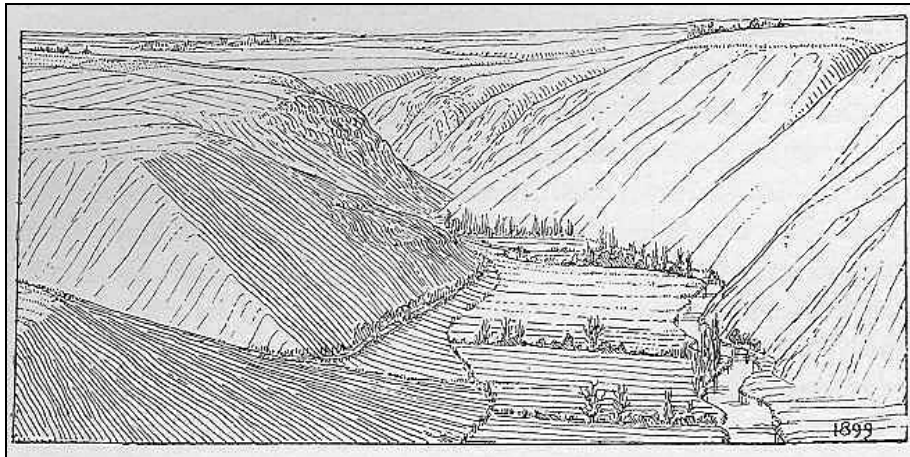


Figure 2 : Sections « mûre » (à fond plat, au premier plan) et « jeune » (en V aigu, au deuxième plan) d'un affluent de la Tardes, encaissées dans la « pénéplaine » des plateaux de la Creuse (dessin de 1899 in : Davis, 1912, fig. 53, p. 118).

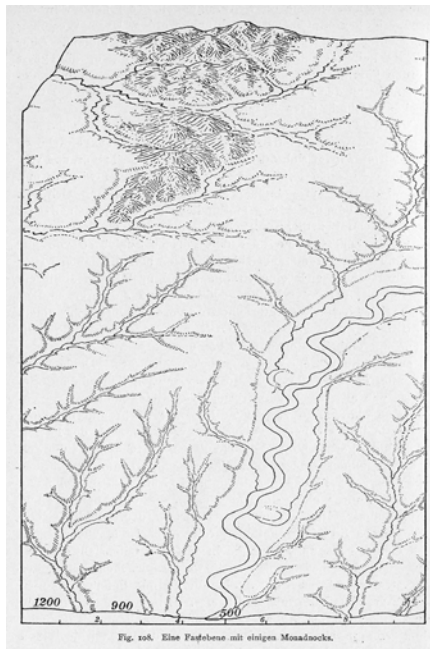


Figure 3 : Une pénéplaine avec quelques monadnocks (Davis, 1912, fig. 108, p. 250). Noter l'énergie du relief de la topographie onduleuse au premier plan : 700 m entre les points hauts et les points bas de la « pénéplaine ». Dans un autre manuel de géographie physique, il est précisé que dans le cas où une région donnée a été réduite « to a gently rolling lowland, a worn-down plain or plain of denudation », alors « a lowland of this kind may be called a 'peneplain' because it is an 'almost plain' surface » (Davis & Snyder, 1899, p. 152). Dans les milieux tempérés humides, si la plaine d'érosion est le stade ultime du cycle géomorphologique, la pénéplaine n'en est que le stade pénultième (Baulig, 1956b).

Dans ce cas, trois possibilités se présentent : i) « si le terrain présentait une structure rubanée (Figure 4), où les différences de dureté pouvaient se manifester en bandes parallèles, la résurrection donnera lieu à des crêtes alignées, avec vallées longitudinales et cluses », définissant le type

*appalachien* proprement dit (Appalaches, Oural) ; ii) mais, « dans le cas où la pénéplaine revivifiée était dépourvue d'ordonnance stratigraphique, et comportait seulement des massifs de dureté inégale », alors « la dislocation tardive, aidée par l'érosion, fait naître un territoire accidenté (...) dans le genre des montagnes des Highlands » (type *écossais*) ; iii) enfin « entre les deux se place la condition d'un massif tel que celui de la Montagne Noire (type *languedocien*), où il existe à la fois de l'archéen et des terrains primaires plus ou moins disloqués... Là aussi, il y a des structures revivifiées » (Vivarais, Beaujolais) (de Lapparent, 1907, p. 712). Quant aux « monts de la Bretagne », ils entreraient dans un autre type, qui se distingue du type *appalachien* par le fait que le travail de l'érosion a été impulsé non par un mouvement tectonique (« gauchissement »), mais seulement « par un déplacement négatif du niveau de base » : ainsi, pour A. de Lapparent (*ibid.*, p. 711-713), le type *armoricain* entrerait dans la catégorie des « montagnes de simple érosion ».

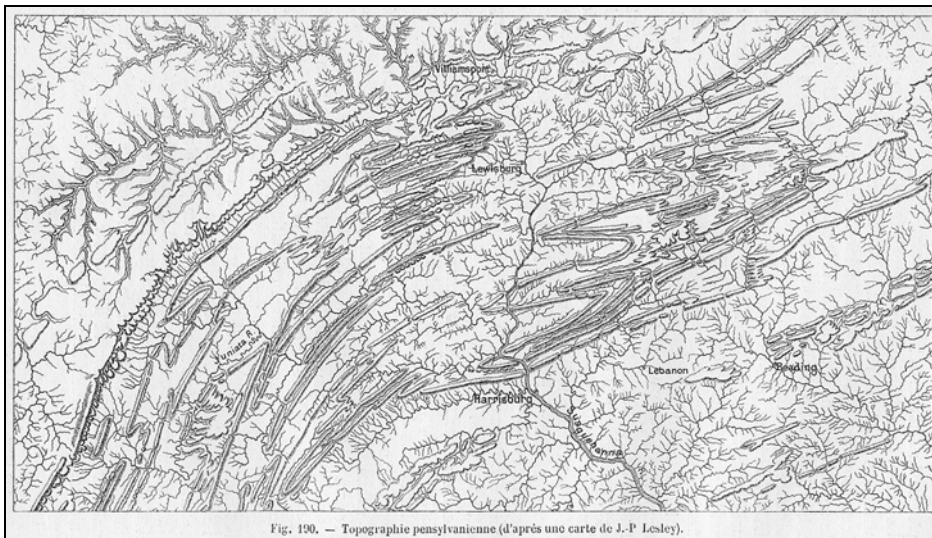


Fig. 190. — Topographie pennsylvanienne (d'après une carte de J. P. Lesley).

Figure 4 : « Topographie pennsylvanienne, d'après une carte de J.P. Lesley » (*in* : de Lapparent, 1907, fig. 190, p. 613).

Tout au contraire, pour E. de Martonne (qui se réfère dans son article de 1906 à la 2<sup>ème</sup> édition des *Leçons* d'A. de Lapparent) « le relief de l'Armorique est le résultat d'une évolution inachevée » (p. 234), la Bretagne « une presqu'île récemment formée aux dépens d'une région appalachienne peu différenciée » (p. 328). Les grandes étapes du scénario génétique aboutissant au relief actuel sont *le plissement hercynien et la formation de la pénéplaine, le gauchissement tertiaire et la reprise d'érosion post-tectonique, le mouvement positif récent de la mer et l'ennoyage des formes issues de la phase précédente* (de Martonne, 1906). Ces trois étapes font l'objet d'une démonstration conduite en 55 pages imprimées, illustrées de 13 figures et 15 photographies (en 8 planches). Elles

sont résumée dans la conclusion générale de l'article (section XVII), dont nous donnons ici l'essentiel : i) « après un plissement intense à l'époque primaire, les montagnes armoricaines (...) sont progressivement démolies par l'érosion et réduites à l'état de pénéplaine (...) encore bien conservée dans la région de Bain au Sud de Rennes, et dans tout le plateau breton septentrional, (...) une mosaïque de bandes de consistance variable » ; ii) « ... à l'époque tertiaire, le gauchissement général des massifs hercyniens ranime l'érosion, ... le rajeunissement du relief se traduit par l'excavation des zones de roches tendres et la mise en saillie des bancs résistants sous forme de crêtes et de plateaux » ; iii) toutefois, « l'évolution vers la structure » [ou disposition] « appalachienne reste incomplète, (...) arrêtée par la formation de la Manche et le mouvement positif (...) qui font de la Bretagne une presqu'île. Les eaux marines, envahissant un relief continental encore jeune, créent ce littoral aux formes si curieusement ciselées : (...) la côte à rias », un littoral dont « la régularisation est encore peu accentuée, sauf sur la côte Sud et dans les angles rentrants comme la Baie du Mont-Saint-Michel » (de Martonne, 1906, p. 326-27) (Figure 5).

Et l'auteur de pointer les questions (pour lui) restées en suspens : date du gauchissement tertiaire ; nature, âge et origine des « Sables rouges » ; lambeaux tertiaires de la région de Rennes ; date et cause tectonique ou eustatique des changements de rivage fini-tertiaires (*ibid.*, p. 327-28). À quoi nous ajouterions, avec C. Klein, la signification du long silence séparant les temps post-hercyniens des temps tertiaires. Du moins de Martonne met-il très clairement en évidence une notion fondamentale qui, entre autres types de reliefs, intéresse le type appalachien : *la fréquente indépendance de l'âge du relief par rapport à l'âge des roches ou à l'âge des structures*. En Bretagne, les roches sont vieilles (paléozoïques), voire très vieilles (protérozoïques), les structures majeures aussi (cadomiennes ou varisques). Mais la plupart des formes du relief observables aujourd'hui sont le produit de phénomènes de différenciation récents à l'échelle du temps profond, le temps géologique (même si quelques volumes hérités d'époques encore plus reculées – Mésozoïque, Éogène – persistent toujours dans le paysage).

Certaines pages de *La pénéplaine et les côtes bretonnes* (par exemple la 229 où figure un développement important consacré à la géographie botanique) montrent que la rédaction de l'article est contemporaine de celle du *Traité de Géographie physique*. Le type de relief appalachien aurait-il pu être appelé type « armoricain », voire « cévenol » ? Une lettre d'E. de Martonne à W. M. Davis (Chorley *et al.*, 1973), sans date mais venant du Laboratoire de Géographie de Rennes fondé en 1902, montre que les deux hommes sont en contact par voie épistolaire. Dans cette lettre, de Martonne évoque la rédaction du *Traité*, dont le chapitre *Les enseignements de la topographie* paraît en 1904 dans les *Annales de Géographie*. La même année, de Martonne et Davis s'écrivent à nouveau, se revoient à Washington et pendant l'excursion du VIII<sup>e</sup> Congrès international de Géographie.



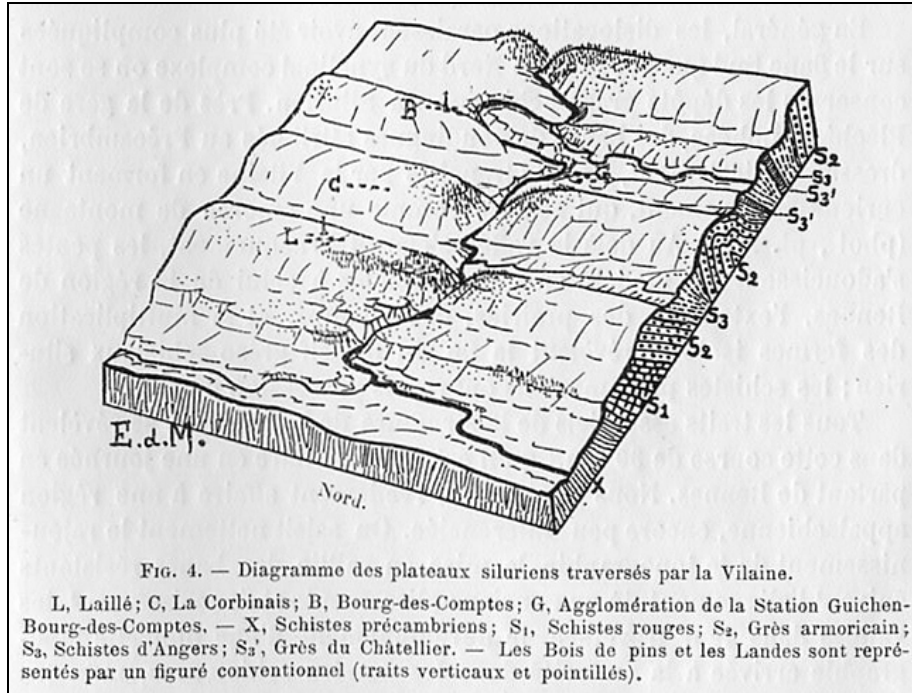


Figure 5a : « Diagramme des plateaux siluriens traversés par la Vilaine » (de Martonne, 1906, fig. 4, p. 221). La figure entre dans le *Traité de Géographie physique* en 1909 sous le numéro 265, p. 567, accompagnée d'une légende indiquant que l'exemple régional a été érigé en type : « Diagramme des plateaux siluriens au Sud de Rennes, montrant la sculpture de type appalachien de la Bretagne ». Dans la *Géographie universelle*, la légende deviendra « Diagramme des crêtes appalachiennes en voie de dégagement par l'érosion au Sud de Rennes » (de Martonne, 1942, fig. 33, p. 88).

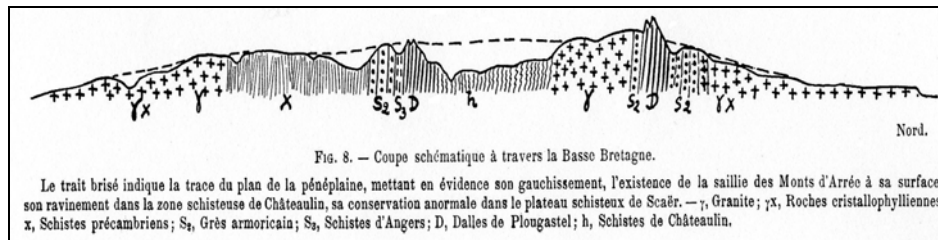


Figure 5b : « Coupe schématique à travers la Basse Bretagne » (de Martonne, 1906, fig. 8, p. 233), illustrant le « gauchissement » de la pénéplaine, « son ravinement dans la zone schisteuse de Châteaulin » et sa « conservation anormale dans le plateau schisteux de Scaër », la différence entre les Monts d'Arrée et les Montagnes Noires, qui « ne formaient pas une saillie à la surface de l'ancienne pénéplaine » (*ibid.*, p. 231 ; voir aussi p. 226-227).

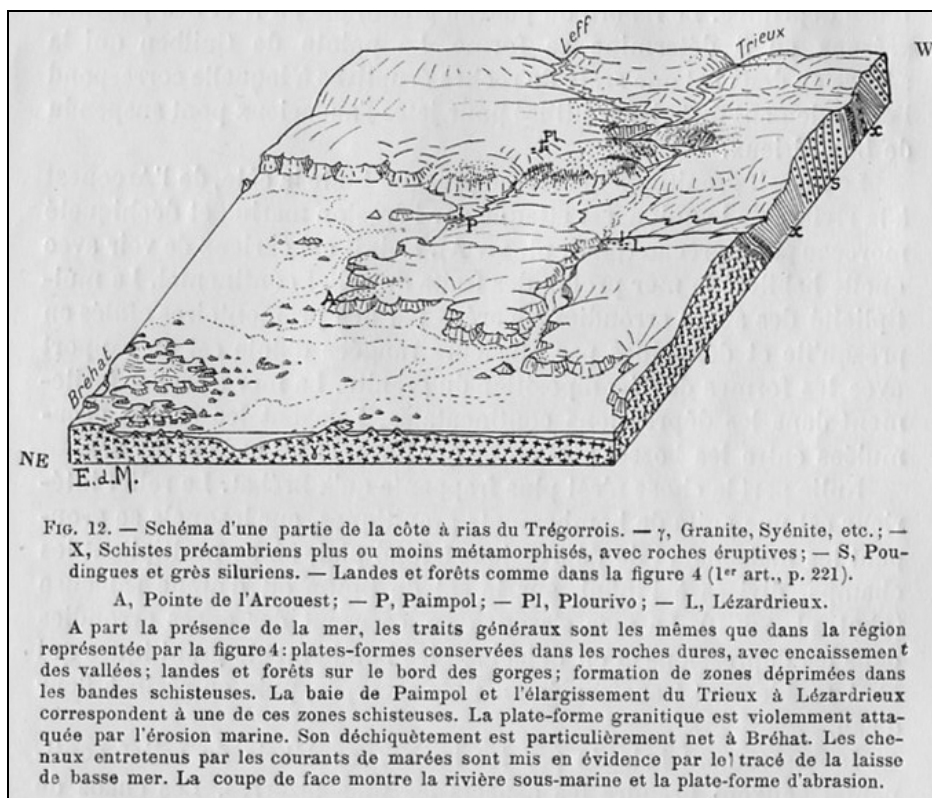


Figure 5c : « Schéma d'une partie de la côte à rias du Trégorrois » (de Martonne, 1906, fig. 12, p. 311. Voir aussi 1909, fig. 332, p. 700, et 1942, fig. 96, p. 269).

NB : la « figure 4 » citée dans la légende ci-dessus est reproduite ci-dessus, Figure 5a.

En 1905, au retour d'un périple en Afrique du Sud, Davis profite d'une belle journée d'octobre pour examiner le relief de la haute vallée de la Borne dans les Cévennes (Giusti, 2005a). Ces lieux contrastés seront revus avec les participants du voyage de 1908 en Italie et en France (Chorley *et al.*, 1973, p. 326-333), au nombre desquels de Martonne, dont une photographie datée de juillet 1908 et un dessin au trait (Figure 6a) sont repris pour illustrer une des planches de l'*Atlas photographique des formes du relief terrestre* (Giusti, 2005b), ainsi que dans le fascicule « Cévennes et Causses » des *Grandes régions de la France*, puis dans la *France physique* (de Martonne, 1925, 1942). Entre temps, l'année 1909 aura été celle de la mise en circulation du manuscrit anglais du cours professé par Davis à Berlin pendant le semestre d'hiver de 1908-1909 (Davis, 1912), de la publication des *Geographical Essays* (Davis, 1909) et, simultanément, de la 1<sup>ère</sup> édition du *Traité de Géographie physique* (de Martonne, 1909).

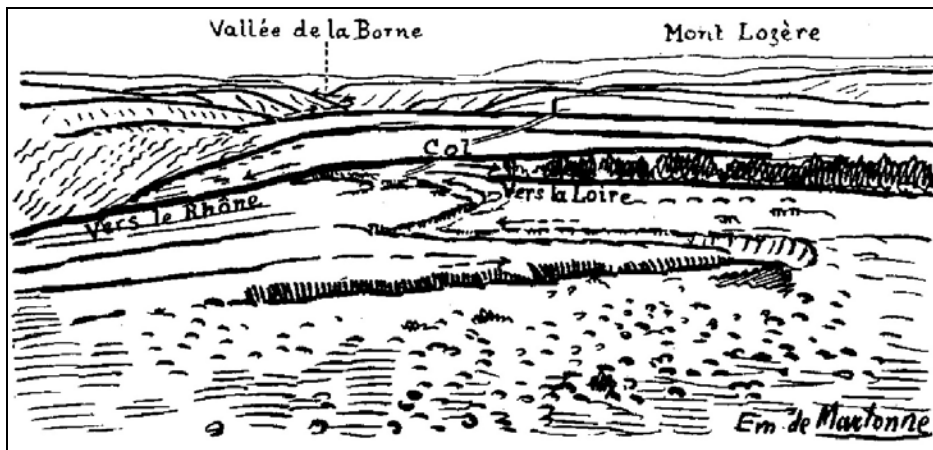


Figure 6a : « Le Plateau Cévenol sur la ligne de partage entre l'Allier et la Borne. Formes séniles d'érosion fluviale (pénéplaine), avec commencement de rajeunissement » (de Martonne, d'après photo de 1908, in : Brunhes, Chaix et de Martonne, 1911).

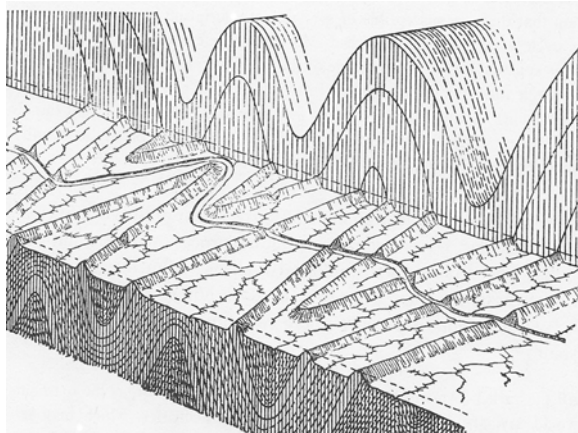


Figure 6b : « Diagram of the Allegheny Mountains, Pennsylvania » (in : W.M. Davis & W.H. Snyder, 1899, fig. 118, p. 190). La figure résume l'évolution appalachienne telle que la conçoit Davis : plissement, surimposition fluviale sur une surface d'aplanissement, reprise d'érosion, nouvelle différenciation du relief (*rejuvenation*) par encaissement du drain principal transversal (*consequent stream*) avec mise en saillie des crêtes de

roches « dures » et évidemment des sillons dans les roches « tendres » du fait du développement des drains secondaires (*subsequent streams*) à partir du drain conséquent, lui-même ré-incisé dans les formes du cycle précédent.

Si Davis est l'inventeur de la théorie de *l'évolution appalachienne*, et de Lapparent l'auteur d'une esquisse de typologie, c'est de Martonne qui a défini *le type appalachien*. Davis estime que, dans les Cévennes, « in a few cases [...] the renewed dissection of the highland was carried to the point of undercutting all traces of the gently modulated highland surface, [...] replacing it with ragged pinnacles and serrated ridges in a new generation of mountain forms », et qu'il n'a « never seen so find an exemple of this kind of transformation », sauf (mais il estime le cas moins démonstratif) là « where the short Atlantic rivers in North Carolina are undercutting the escarpment of the Blue Ridge, which ascends rather abruptly to the rolling highland that is drained by longer rivers which flow to the Mississippi » (Davis, 1905, p. 112). Et, nous l'avons rappelé plus haut, de

Martonne n'a pas manqué de souligner à son tour la valeur démonstrative des paysages cévenols. Toutefois, c'est à partir des exemples armoricains et nord-américains que de Martonne définit *le type appalachien*. Mais pourquoi donc les Appalaches plus que le Massif armoricain, et non pas les Cévennes ? Parce qu'ériger en type cette unité morphostructurale de première grandeur qu'est la chaîne appalachienne était tout autant un choix judicieux sur le plan scientifique (en Bretagne, au contraire des Appalaches, la différenciation du relief n'est qu'à peine amorcée car « l'évolution reste incomplète », et les Cévennes sont trop monotones du point de vue de la nature des terrains) qu'un hommage rendu à Davis au plan scientifique (Figure 6b). Dans le *Traité (Relief du sol)*, la section « Rajeunissement des montagnes arasées » est illustrée par les Appalaches et la Bretagne, *Ar C'hoat* (« pays des bois » : Figures 5a-b et 7) et *Ar Mor* (« pays de la mer ») (Figure 5c). Plus tard, le Massif armoricain oriental (Campagnes de Caen, d'Alençon, vallée de la Sarthe) fournira le modèle d'évolution des vallées dites « épigéniques » (parce qu'associées non à une surface d'aplanissement mais à une « pénéplaine recouverte de sédiments ») (Figure 8), puis un autre exemple de relief appalachien : celui des Coëvrons (Figure 9).

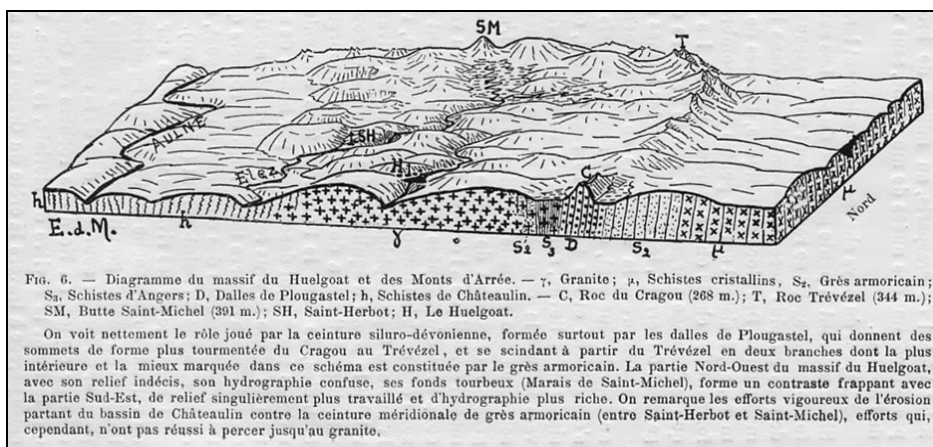


Figure 7 : « Diagramme du massif du Huelgoat et des Monts d'Arrée » (de Martonne, 1906, fig. 12, p. 311). Figure non reproduite dans le *Traité de Géographie physique*.

Compte tenu de l'impact du *Traité*, en France et dans le monde (Broc et al., 2007), et du fait que, dès 1933, de Martonne reprendra le thème du relief appalachien à travers l'étude des formes du relief du Brésil tropical atlantique (voir 3.3 *infra*), il n'est pas surprenant que le concept de « relief appalachien » – type de relief et scénario d'évolution – ait connu la large diffusion signalée plus haut (Peulvast et al., 2001, p. 361). Il est possible, aussi, que *La pénéplaine et les côtes bretonnes* ait permis l'émergence du point de vue « ultra-davisien » des initiateurs du « polycyclisme à la française » (Klein, 1986 ; 1990, p. 47-62 ; 1997, p. 159-164) : A. Demangeon (1910), A. Briquet (1911), H. Baulig (1928a). Pour E. de Martonne, en effet, « les formes arrondies des sommets dominant la pénéplaine (Monts d'Arrée) ne semblent guère pouvoir s'expliquer qu'en les

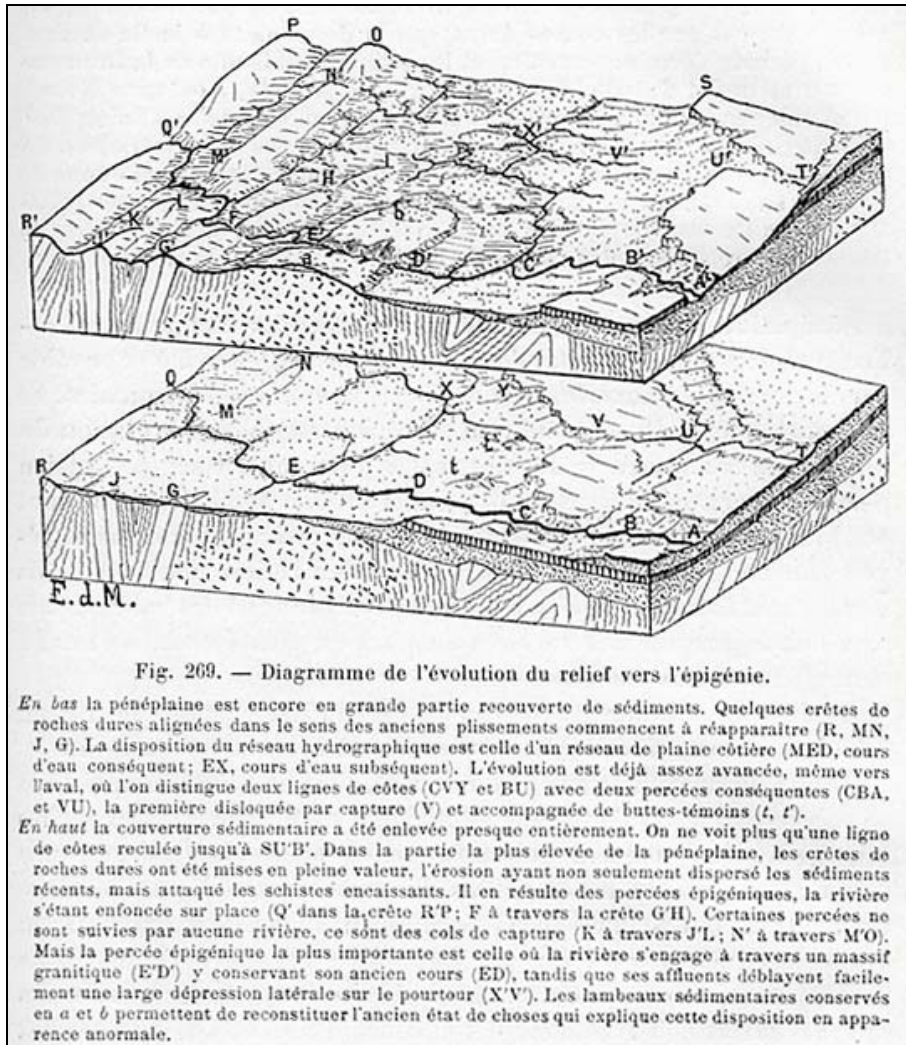


Figure 8 : « Diagramme de l'évolution du relief vers l'épigénie » (de Martonne, 1909, fig. 266, p. 569).

envisageant comme des témoins d'une pénéplaine plus ancienne, auquel cas il y aurait à envisager plusieurs cycles d'érosion pendant la période secondaire et plusieurs phases de déformation » (1906, p. 327).

Au plan régional, c'est sur des exemples bretons et armoricains qu'E. de Martonne définit au cours de la première décennie du 20<sup>e</sup> siècle des types de reliefs continentaux (crêtes appalachiennes des Monts d'Arrée, des Montagnes Noires, des plateaux au Sud de Rennes), des types de reliefs littoraux (côte à rias du Trégorrois, côte à anses du Finistère, côte à marais du golfe normand-breton), des types d'évolution géomorphologique enfin : la surimposition fluviale sur une couverture sédimentaire discordante, ou épigénie (confins Normandie-Maine).





Figure 9 : « Diagramme perspectif de la région des Coëvrons (forêt de Sillé-le-Guillaume), type de relief appalachien avec boucles de crêts elliptiques » (de Martonne, 1942, 1955, fig. 30, p. 84).

La dette est cependant immense à l'égard de Davis, qui avait exposé dès 1889-1890 les différentes modalités de *l'évolution appalachienne* et qui, à Berlin en 1908-1909 évoque non pas le *type appalachien* mais la « disposition alleghanique » (*Alleghanische Anordnung* : Davis, 1912, p. 299 : trad. Doublier, *in litt.*, et Figure 6b). Au lendemain de la disparition d'E. de Martonne, l'éminent davisien H. Baulig rappelle avec précision les apports du maître américain et de son disciple français (1956a, § 502) : « Si une structure alternée-plissée a été aplanie, et, éventuellement fossilisée (cette condition n'est pas nécessaire), et qu'un soulèvement d'ensemble ranime l'érosion, celle-ci, au cours d'un ou de plusieurs cycles, développera un type de relief qui est bien caractérisé dans les Appalaches sédimentaires ; relief appalachien, *appalachian relief*, *appalachian topography* ».

### **3 – Johnson, Baulig et de Martonne, ou les continuations de la *denudation chronology***

Dans la décennie qui précède le commencement de la Seconde Guerre mondiale, trois publications d'essence davisienne précisent le concept de relief appalachien : *Stream sculpture on the Atlantic slope. A study in the evolution of appalachian rivers* (Johnson, 1931), les volumes *Amérique septentrionale de la « Géographie Universelle »* (Baulig, 1935-36), et un important article sur les *Problèmes morphologiques du Brésil tropical atlantique* (de Martonne, 1940).

#### **3.1 – Johnson et l'hypothèse de la surimposition régionale**

Le livre de D. Johnson est consacré à la discussion de l'hypothèse de la « regional superposition » ou surimposition régionale (ou *générale* pour Baulig, 1932), « nothing less than a physiographic masterpiece » (Davis, 1931, p. ix), un modèle de « denudation chronology » (Summerfield, 1991, p. 471), dont les figures 1 à 9 et 15 ont été souvent reprises. L'ouvrage comporte trois parties : un historique des travaux antérieurs suivi d'un exposé succinct de la théorie de la surimposition régionale (1), puis une discussion plus poussée des arguments en faveur de la surimposition fluviale (2) et de ses implications morphologiques en matière de développement de l'hydrographie appalachienne (3).

Là où Davis suppose l'existence d'une pénéplaine régionale, Johnson fait intervenir deux « surfaces d'aplanissement » se recoupant sous un angle assez ouvert : 1) la *Fall Zone peneplane* (FZP), en cours d'exhumation des formations sédimentaires de la plaine côtière atlantique, et 2), la *Schooley peneplane* (SP), forme plus récente qui, « ayant tronqué à la fois les terrains de la plaine côtière et ceux des Appalaches, n'est plus représentée aujourd'hui que par les crêtes culminantes » (Baulig, 1932, 504) (Figure 10). Comme le montre la figure citée, le point-clé de l'hypothèse est que la transgression crétacée se serait étendue en direction de l'Ouest à 200-320 km « au delà de la limite actuelle de la plaine côtière, en couvrant la totalité de la zone appalachienne » (Baulig, *ibid.*). Pour D. Johnson, le point de départ de l'évolution appalachienne est une topographie différenciée (d'âge jurassique ?) (Figure 11-1 : « Post-Newark Time ») réduite à l'état de surface d'aplanissement nivelant toutes les structures, la FZP (Figure 11-2), fossilisée sous les formations sédimentaires crétacées (Figure 11-3). Le réseau hydrographique se constitue dans le plan de la *coastal plain* crétacée émergée qui, déformée en même temps que la FZP par un mouvement à grand rayon de courbure de style épirogénique (Figure 11-4) est remplacée par la SP (Figure 11-5). Un nouveau bombement d'ensemble détermine la dissection de la SP, et, avec l'inscription du réseau hydrographique (Figure 11-6), la sculpture du niveau d'érosion de Harrisburg (NEH) dans les zones de moindre résistance au plan lithologique (Figure 11-7). Un soulèvement entraîne alors la dissection du NEH et l'emboîtement du niveau d'érosion de Somerville (NES) aux dépens des roches les moins résistantes (Figure 11-8), un dernier mouvement positif de l'écorce aboutissant aux conditions actuelles (Figure 11-9).

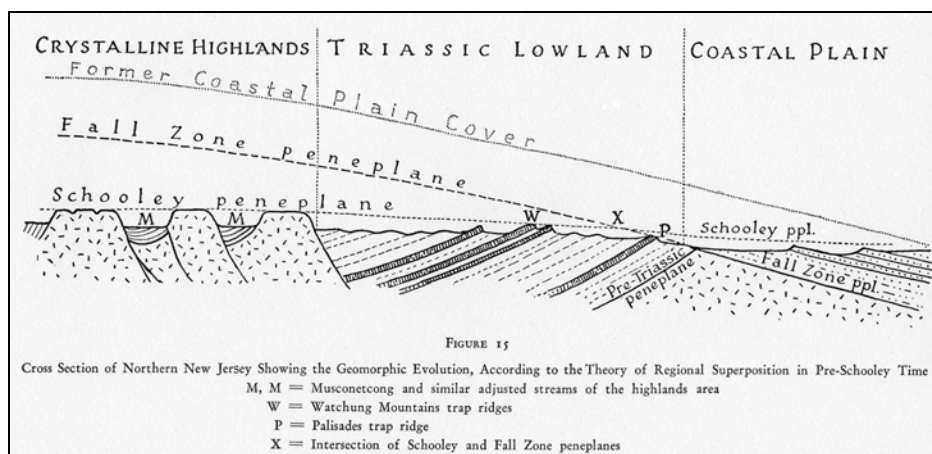


Figure 10 : Coupe à travers le nord du New Jersey montrant l'évolution géomorphologique dans l'hypothèse d'une surimposition régionale antérieure au cycle de Schooley (Johnson, 1931, fig. 15 ; voir aussi Baulig, 1932, 503-504).

Noter l'emploi du mot « peneplane », « a perfectly plane surface of ultimate erosion » (Johnson, 1916), en lieu et place de « peneplain » : à quoi Davis répondit (1922) que « a surface of ultimate degradation » serait non « a plane » mais « a plain » (Baulig, 1956, § 160).

Malgré la similitude de leur démarche, des différences sensibles existent entre le point de vue de Davis et l'interprétation de Johnson. Premièrement, la « peneplane » de Johnson n'est pas la « peneplain » de Davis. Johnson établit en effet une distinction entre la topographie « almost-plane » qui caractérise « the penultimate stages of the several erosion cycles », et les « perfectly plane surfaces of ultimate erosion » désignées par le terme de « peneplane » (1916). Davis (1922) eut beau faire observer que « a surface of ultimate degradation » serait non pas « a plane » mais « a plain » (Baulig, 1956a, § 160, note 2), il reste que, dans l'esprit de Johnson (ses figures en témoignent, et Baulig le souligne), des « peneplane » comme celles de la Fall Zone et de Schooley sont moins des « pénéplaines » au sens davisien que des surfaces d'aplanissement favorables au va-et-vient des transgressions et des régressions marines. Deuxièmement, Davis admettait la surimposition du réseau hydrographique non sur le revers de la couverture sédimentaire discordante d'une plaine côtière émergée au relief uniforme, mais donc sur une topographie différenciée, probablement accidentée de reliefs au niveau des zones de roches dures, la « pénéplaine de Schooley ». Or, pour expliquer le renversement du drainage, qui se serait fait à l'origine du Sud-Est (Appalaches cristallines) au Nord-Ouest (Appalaches sédimentaires), Davis avait recours « à une série d'événements compliquée et indémontrable » (Baulig, 1932, 506). En matière d'évolution appalachienne, l'hypothèse « d'une couverture crétacée-éogène sur la totalité des Appalaches » apporte une réelle simplification en ce qui concerne le développement de l'hydrographie régionale (Johnson, 1931). Mais, comme le souligne H. Baulig (1932, 504 et 510), cette hypothèse « ne comporte aucune preuve géologique » d'ordre stratigraphique,



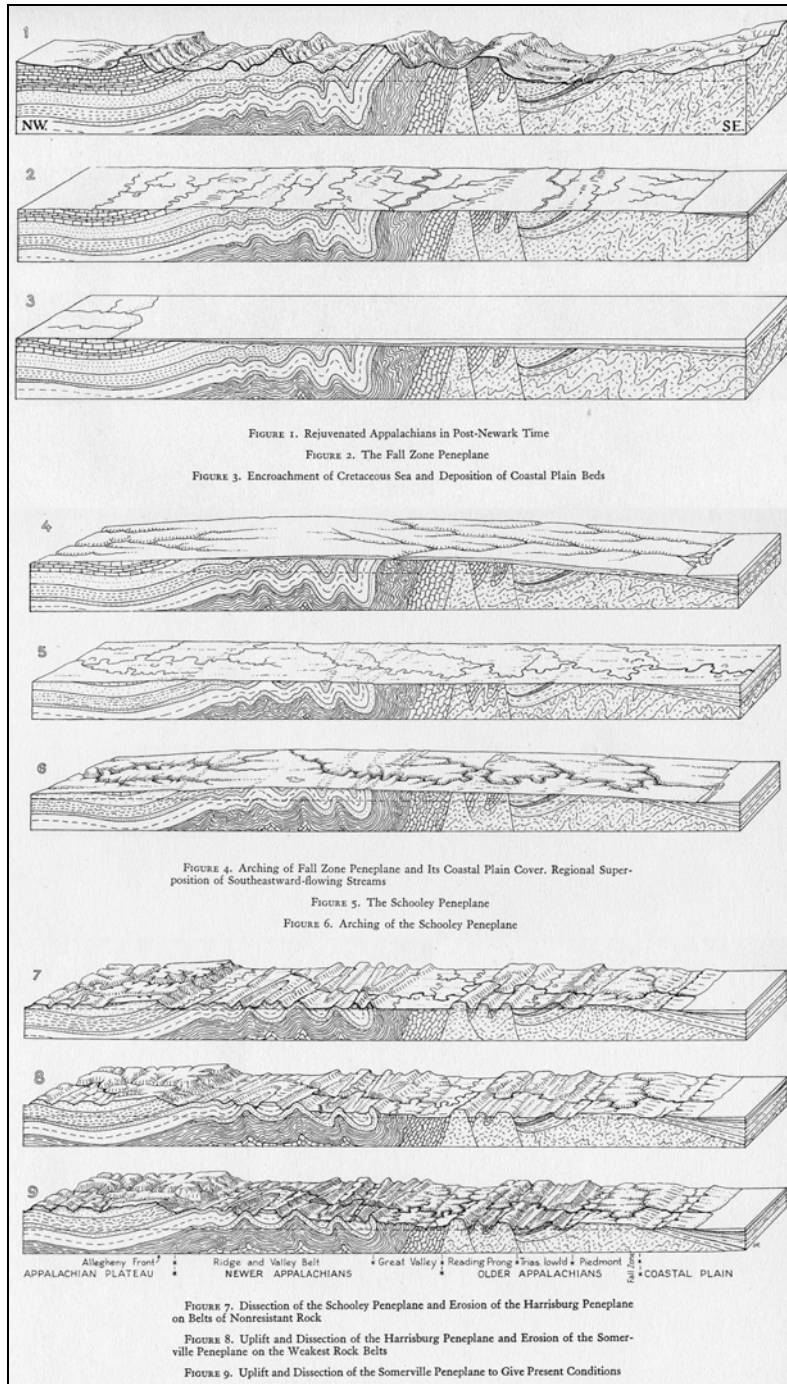


Figure 11 : Les neuf étapes de l'évolution appalachienne selon Douglas Johnson (1931). Voir aussi H. Baulig (1932, 1936) et C. Klein (1993, fig. 8B, p. 69).

« n'admet aucune démonstration directe » : aux termes mêmes de l'hypothèse, « cette couverture a complètement disparu de l'intérieur de la chaîne, avec une bonne épaisseur du substratum paléozoïque ». Le fait qui, compte tenu de la grande épaisseur de sédiments supposée par Johnson (Figure 10), ne manque pas de surprendre, serait plus compréhensible dans le cas d'une terminaison en biseau vers le continent du prisme sédimentaire d'âge « crétacé-éogène » (voir *infra*, 4.3). Troisièmement, la *Fall Line*, ou *Fall Zone*, est une très continue et très « remarquable zone de chutes et de rapides qui, sur le cours des rivières atlantiques » comme le Potomac (Figure 12) « marque le passage des terrains cristallins du Piedmont aux sédiments peu consolidés de la Plaine Côtière » (Baulig, 1932). L'interprétation que donne Johnson de ce trait de la topographie d'après Renner, une facette liée au recoupement de la surface infra-crétacée (FZP) par une surface plus récente (SP), est infiniment plus plausible que celle de la flexuration d'une surface unique (Baulig, 1932, 504-505). Pour H. Baulig, il est même permis d'aller plus loin que G.T. Renner (1927), dans la mesure où les ruptures de pente de la *Fall Zone* seraient de nature cyclique (Figure 13). Là où Renner estime que « la pente en long des rivières » est « en relation étroite avec le profil du pays », Baulig pense que « la vallée du Piedmont correspond à un premier cycle d'érosion ; celle de la *Fall Zone* et de la plaine côtière, à un deuxième cycle », et que si « la rupture de pente cyclique se trouve aujourd'hui, invariablement, sur la *Fall Zone* », c'est parce qu'ayant « remonté très vite dans les terrains tendres de la plaine côtière, elle stationne longtemps à la rencontre de l'obstacle résistant » (Baulig, 1932, p. 505). Ce qui revenait à dire que, dans certains cas, une forme structurale peut avoir aussi une signification cyclique.



Figure 12 : Les grandes chutes du Potomac. Photo de Stan Pustylnick, Washington DC.

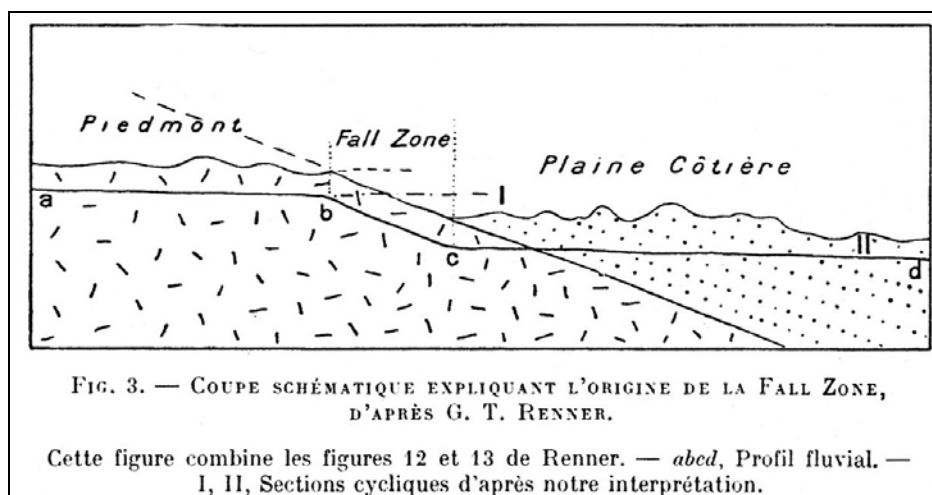


Figure 13 : « Coupe schématique expliquant l'origine de la Fall Zone » (H. Baulig, 1932, fig. 3, p. 505).

### 3.2 – Baulig et l'hypothèse du polycyclisme eustatique

Tant chez Davis que chez Johnson, la part des déformations propres du sol dans la morphogenèse (mouvements tectoniques) est, sinon exclusive, du moins prédominante, comparativement à la part laissée aux variations propres du niveau de la mer (mouvements eustatiques). Or, H. Baulig était très attaché à l'hypothèse eustatique, introduite par Ed. Suess à la fin du 19<sup>e</sup> siècle (Klein, 1999) : il venait de s'en faire l'avocat par écrit dans le « Plateau Central de la France et sa bordure méditerranéenne » (Baulig, 1928a), il la défend oralement devant l'Université de Londres en novembre 1933 au cours d'un cycle de quatre conférences publiées en 1935 sous le titre symbolique de « The changing sea-level », un recueil dont l'influence fut déterminante pour toute une génération de géomorphologues britanniques jusque dans le milieu des années 1960 (Baulig, 1935. Beckinsale *et al.*, 1991, p. 269-277).

Dans le compte-rendu du livre de son ami Johnson, Baulig est amené à discuter les idées non-davisiennes exprimées par le géologue Joseph Barrell (qui publia en 1917 un, sinon le premier essai de calibration absolue des temps géologiques) à propos de gradins étagés en Nouvelle-Angleterre et à l'Ouest de l'Hudson, interprétés comme des plateformes d'abrasion marine (Barrell, 1920). Après Johnson, Baulig écarte l'hypothèse de la planation marine, puis discute l'interprétation tectonique en notant qu'il est « à craindre que les déformations du sol liées à l'avancée et au recul des glaciers quaternaires n'embrouillent les choses » (1932, p. 502). Baulig expose ensuite l'hypothèse selon laquelle les « terrasses marines » seraient des « gradins fluviaux », emboîtés et étagés en liaison avec le *développement simultané* de plusieurs cycles d'érosion *introduits successivement* au fil du temps (Figure 14a) : « les aplanissements fluviaux, rapidement et largement étalés dans la couverture tendre, seraient arrêtés par le soubassement dur [...]. Après décapage de la couverture meuble, le profil

général présenterait une série de paliers cycliques, plus ou moins nets, plus ou moins continus, interrompant le plongement de la surface fossile, exhumée, ou même la supprimant complètement » (Baulig, 1932, 502-503). Ici, Baulig ne se prononce pas sur la cause de l'origine de chacun des cycles : soulèvement des terres par épirogenèse (mouvement tectonique à grand rayon de courbure) ou abaissement du niveau de la mer (mouvement eustatique). Mais peu de temps auparavant, Baulig (1928) avait soutenu l'hypothèse eustatique : on trouve dans l'article sur les hauts niveaux d'érosion eustatique du Bassin de Paris une figure très proche de la précédente (Figure 14b), elle même dérivée de la canonique figure 1 du Plateau Central (Figure 14c). Or, entre 1928 et 1932 étaient parus les compte-rendus d'E. de Martonne (1929) et de D. Johnson (1929), très critiques vis à vis de l'eustatisme intégral défendu par H. Baulig (Beckinsale *et al.*, 1991, p. 278-282. Klein, 1999, p. 37-54). L'absence d'allusion à l'eustatisme dans l'analyse de *Stream Sculpture on the Atlantic slope* est donc peut-être une concession momentanée de Baulig, dans l'attente d'une réponse circonstanciée (Baulig, 1935), et l'indication que le schéma polycyclique pourrait s'appliquer au Massif Armoricain l'accord sur l'avis exprimé par de Martonne (1906, p. 327).

« Quand, au contraire, les deux versants des vallées sont partiellement conservés, les formes appartenant aux cycles successifs ne sont plus seulement *étagées*, mais encore *emboîtées* les unes dans les autres. Le développement théorique de ces formes est assez connu : il peut être utile cependant de le rappeler, en y mettant toute la précision possible. »

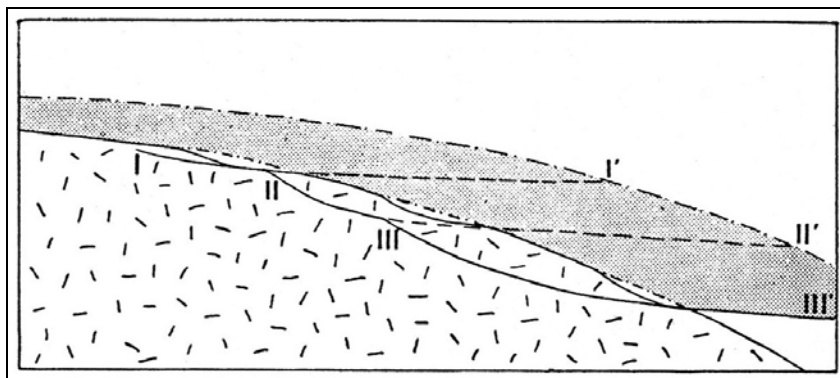


Figure 14a : « Développement de gradins fluviaux sur le bord d'un massif de roches résistantes, nivelé, fossilisé, gauchi, attaqué par l'érosion cyclique et exhumé » (H. Baulig, 1932, fig. 1, p. 502).

Les idées de Baulig n'ont pas rencontré d'écho notable aux États-Unis, sinon de la part de Johnson, qui en souligne les implications pour la théorie de l'évolution appalachienne : « If successive cycles are propagated into a still-standing mass as 'waves of erosion' in such manner that today a Pliocene cycle of erosion may yet be in full swing at high levels and there attacking deposits of late glacial age, with cycles of various later dates simultaneously following it inland at lower levels, so as to give erosion planes of different altitudes and different

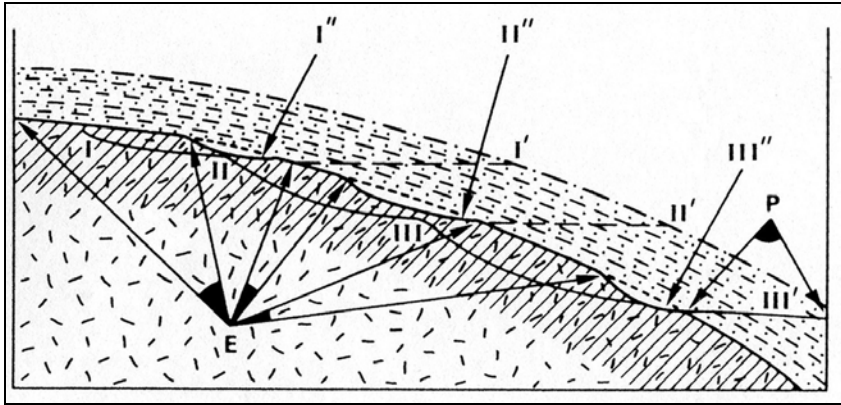


Figure 14b : « Paysage composé d'un dôme disséqué par trois cycles d'érosion fluviale sous le contrôle d'un abaissement eustatique intermittent du niveau de base général » (H. Baulig, 1928b, fig. 10, p. 40).

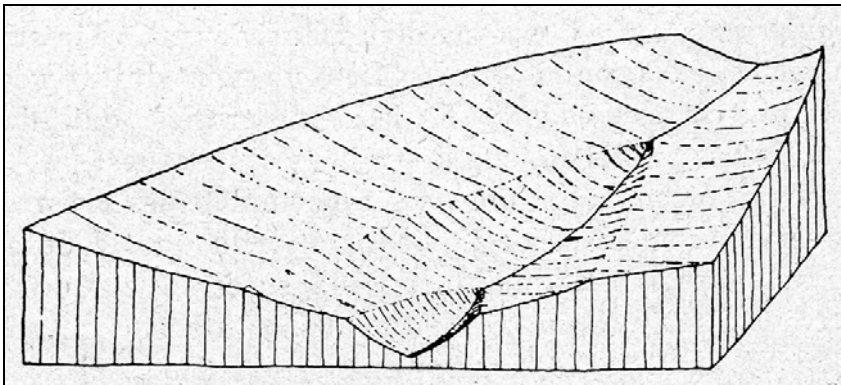


Figure 14c : « Emboîtement de formes cycliques dans une vallée » (H. Baulig, 1928a, fig. 1, p. 47).

geological dates of origin, literally produced at the same time, it is highly important that this history be fully established and that we reexamine Appalachian and other topography with the possibilities of this theory in mind » (Johnson, 1929, p. 665). Bien qu'étant une extension de la théorie du « cycle of denudation », le polycyclisme eustatique de Baulig invitait cependant à regarder avec plus de prudence certaines « preuves » géologiques des raisonnements géomorphologiques, rompait avec l'approche monocyclique classique, enfin (et surtout) demandait d'accepter la possibilité d'amples et rapides mouvements positifs ou négatifs du niveau propre de l'océan global. Mais, étant donné que Baulig ne proposait dans sa thèse aucune carte des trois plateformes d'érosion étagées de la bordure méditerranéenne du Plateau Central (180, 280 et 380 m), l'hypothèse eustatique ne pouvait guère entraîner l'adhésion de la communauté scientifique de l'Entre-deux-guerres, à l'exception de la « school of platforms » de S. W. Wooldridge et D. L. Linton.

Ces discussions se retrouvent en filigrane dans les deux volumes de la « Géographie Universelle » vidalienne consacrés à l'Amérique septentrionale (Baulig, 1935-36). Ainsi, dans la présentation de la « Zone appalachienne », le rôle des mouvements épirogéniques est cité *avant* celui des mouvements eustatiques : « Sans que les plis anciens aient rejoué, des déformations d'ensemble (« broad uparching » au sens de Johnson, 1929) et probablement aussi des variations du niveau marin ont ranimé l'érosion fluviale à plusieurs reprises au cours du Tertiaire » (Baulig, 1935-36, p. 10). En ce qui concerne le développement de l'hydrographie, « les grandes rivières se montrent souvent indifférentes aux affleurements de roches dures et tendres, qu'elles coupent obliquement » (Figure 15) : leur cours est donc « antérieur au dégagement des différences structurales », soit parce que « les différences de structure avaient été complètement abolies par une planation totale », soit parce que – « plus probablement » – le réseau fluvial s'est fixé « sur une couverture crétacée ou tertiaire qui masquait le substratum primaire » (*ibid.*, p. 11). Mais le principal apport réside dans la mise en évidence de la diversité régionale (Figure 16), à travers un texte soutenu par des cartes très suggestives qui précisent les limites des « grandes régions naturelles » (Plaine Côtière atlantique, Piedmont cristallin, Blue Ridge et équivalents méridionaux, zone des crêtes et sillons ou « Grande Vallée », Plateau appalachien), ainsi que de remarquables photos, souvent prises d'avion (Baulig, 1935-1936, pp. 10-15, 319-322, 343-355, 359-360, 376-378, 389-390, 438-440, 453-457 ; figures. 3, 4, 65, 69, 71, 73, 74, 99 ; planches IV, V, LVIII, LXXIV, LXXV, LXXVI). Les Appalaches du Sud diffèrent de celles du Nord, notamment dans la Blue Ridge qui, en Caroline du Nord, « devient un large massif montagneux dont les points culminants dépassent 2 000 mètres dans les Black Mountains » (Baulig, 1935-36, p. 453-454). En sorte que les raisonnements développés ici ne sont sans doute pas entièrement transposables là.

### **3.3 – de Martonne et les échelles du modelé des continents**

L'intérêt d'Emmanuel de Martonne pour les volumes du Brésil atlantique tropical s'était déjà marqué dans une note (1933) destinée à comparer la Serra do Mar en arrière de Sao Paulo et de Rio de Janeiro, et l'Espinouse dans le sud du Massif Central (Giusti, 2002, p. 211-212, fig. 3.14a). En 1940 paraît dans les *Annales de Géographie* un article de 50 pages, évoqué par P. Birot (1960) dans *Le cycle d'érosion sous différents climats*, et cité par L.C. King (1962) dans la bibliographie de sa monumentale *Morphology of the Earth*.

photographique de 62 calques à 1/100 000) : ces précisions, compte tenu des circonstances (guerre, invasion, restrictions), donnent une idée de la position prééminente de l'auteur aux plans scientifique et institutionnel. Dans toute l'étendue du domaine cartographié – les États de Sao Paulo, Rio de Janeiro et Minas Gerais – de Martonne propose de substituer au schéma d'une série de blocs alternativement soulevés (horst de la Serra do Mar et de la Serra de Mantiqueira) ou effondrés (fossé du Paraíba) la vision d'un relief appalachien résultant d'une évolution plus complexe, dont les formes du terrain portent encore les traces (Figure 17), scandée par le développement de quatre

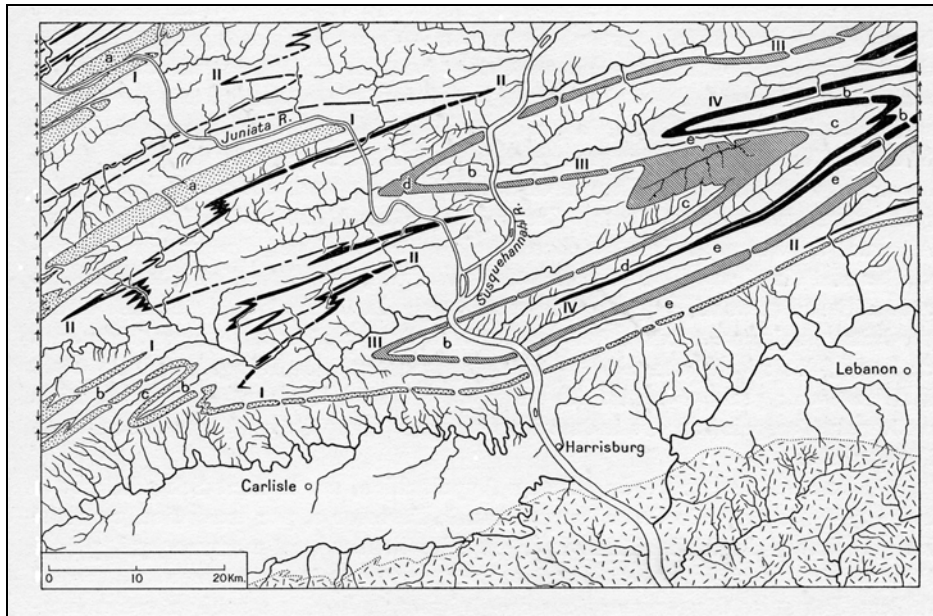


FIG. 71. — Crêtes et sillons dans le centre de la Pennsylvanie. — Échelle, 1 : 750 000.

On a figuré, outre les terrains cristallins du Piedmont (bâtonnets), les affleurements de terrains durs, savoir : I, grès de Medina et d'Onesida (Silurien) ; II, grès d'Oriskany (Dévonien inférieur) : cet étage a une épaisseur très variable, et manque même dans le Sud ; III, grès de Pocono (Carbonifère inférieur) ; IV, conglomérat de Pottsville (Carbonifère supérieur). Les horizons intermédiaires, tendres, sont soit des schistes argileux, imperméables, au drainage touffu, soit des calcaires perméables, presque dépourvus d'hydrographie superficielle (voir la zone Carlisle-Lebanon, correspondant à la Grande Vallée). Les plissements (voir en marge les flèches de pendage), combinés avec un plongement général des axes vers le Nord-Est, ont donné, sous l'attaque de l'érosion, des crêtes et des sillons en zigzags, où l'on peut distinguer : a, crêtes anticlinales ; b, vallées synclinales ; c, vallées anticlinales ; d, crêtes synclinales ; e, vallées monoclinales. Les grandes rivières sont à peu près indifférentes à la structure ; les petites coupent encore parfois les crêtes étroites, faites de terrains assez peu résistants (II, plus rarement IV) ; mais elles ne traversent plus les crêtes larges et dures (I, III) : leurs anciens passages y sont marqués par des cluses sèches (wind gaps).

Figure 15 : « Crêtes et sillons dans le centre de la Pennsylvanie » (H. Baulig, 1935-36, fig. 71, p. 349). Comparer avec la Figure 4, *supra*.

« surfaces d'érosion » : une haute surface dite « des Campos », d'âge énigmatique ; une surface fossile « pré-permienne » en cours d'exhumation érosive sur une bande de 10 à 20 km de large au pied de l'abrupt formé par le bord de la couverture sédimentaire détritique sub-horizontale (grès de Botucatu, de Bauru) ; la surface « des collines mamelonnées », rapportée à un cycle d'érosion récent (Néogène ?) ; et la surface « des crêtes moyennes », rapportée à un cycle d'érosion plus ancien (Éocène – Paléogène ?) (Figure 18). Plus tard, L. C. King (1962, p. 302-323) évoquera à son tour les rares vestiges des pédiplaines « Gondwana » ou « Post-Gondwana », dominant la « surface sud-américaine » symétrique de la « surface africaine », une « master surface » presque partout entamée par la « later polycyclic stream incision » (Figure 19). Par conséquent, comme dans les Appalaches nord-américaines, l'évolution des formes du relief du bouclier brésilien serait aussi de type polycyclique. Mais cet essai de géomorphologie régionale est aussi un jalon original (quoique quelque peu méconnu) dans l'exploration des rapports très complexes de la structure, des climats et des échelles spatio-temporelles en géomorphologie générale.

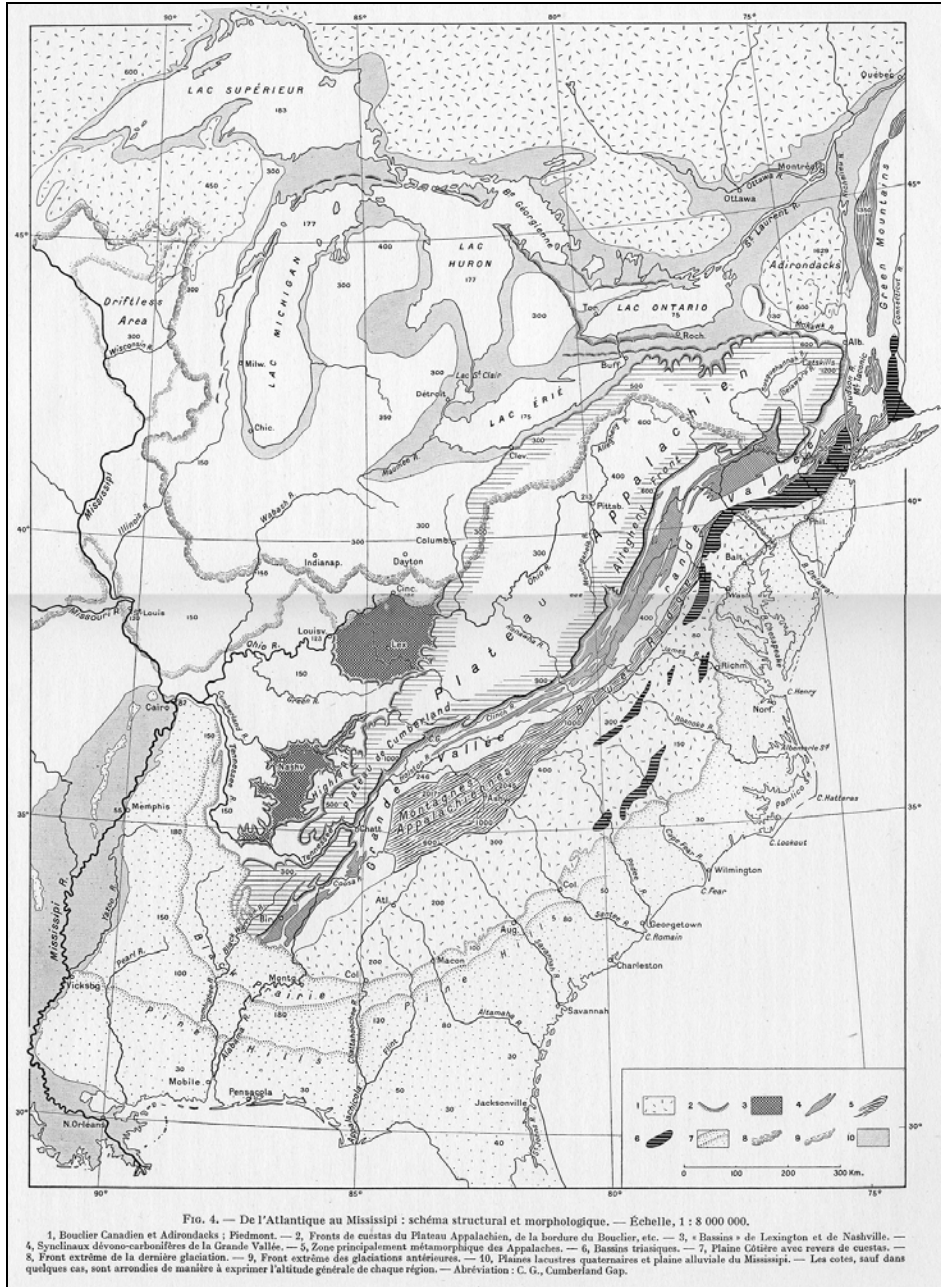


Figure 16 : « De l'Atlantique au Mississippi : schéma structural et morphologique » (H. Baulig, 1935-36, fig. 4, p. 12-13). La *Fall Zone* (ou *Fall Line*) est associée à la ligne de cuestas la plus interne du figuré 7.



L'article est illustré de 11 figures, 7 planches photographiques, ainsi que d'une carte hors-texte en 2 feuilles à 1/1 500 000 (issues de la réduction histoire La structure et le relief du Brésil tropical atlantique sont d'un autre style et à une autre échelle que ce qui affleure et s'observe dans le Massif Armoricain. Toutes proportions gardées, les terrains cristallins (corps granitiques, intrusions syénitiques) s'y montrent plus développés que les terrains métasédimentaires (gneiss, micaschistes, cipolins, quartzites, itabirite, itacolumite). Dans les Serras littorales, les granites intensément décomposés en profondeur ou les gneiss à biotite sont en creux par rapport aux gneiss clairs porphyroïdes et aux syénites qui arment les crêtes (culmination de l'Itatiaya). Dans les régions de l'intérieur, où se trouvent « les reliefs appalachiens les plus caractérisés » (de Martonne, 1940, p. 12), les séries dites « de San Roque » et « de Minas » offrent de nets contrastes de résistance : les divers niveaux de quartzites forment là des crêtes plus ou moins massives et continues (plis aigus à flancs laminés), en relief par rapport aux ensembles de micaschistes. C'est, en puissance, toute l'opposition entre relief appalachien : « à trame fine » ou « à trame grossière » (Biro, 1958, p. 216) ; finement ou grossièrement « rubané » (Coque, 1977, p. 26 et 70-71) ; ou encore entre les formes « ortho-appalachiennes » des socles sédimentaires et « para-appalachiennes » des socles cristallins (Klein, 1986 et 1990, p. 139). Mais, en matière de relief appalachien, les nuances régionales dépendent aussi de l'ampleur et du style (du ou) des mouvements verticaux. De ce point de vue, la monotone et « vaste étendue de relief ondulé » du haut Rio Grande autour de l'aire de stabilité de São João del Rey, ou la « topographie appalachienne encore imparfaitement élaborée » de la vallée du Rio de las Velhas au sud de Belo Horizonte, s'opposent aux gradins des serras littorales, lieu des grandes dénivellations « dues à un jeu de blocs disloqués par des failles ou flexures » (de Martonne, 1940, p. 12-15 et 24-25). À travers ces exemples est posé le cas des formes appalachiennes « composites », pour partie résiduelles au-dessus du plan de référence de la surface support, pour partie rafraîchies par la (ou les) reprise(s) d'érosion entraînant la dissection plus ou moins poussée de la surface support : ainsi dans tout le sud-ouest de la Meseta ibérique, mais aussi dans le Massif Armoricain et le Massif Schisteux Rhéan, dans les Appalaches et l'Oural (Biro, 1958, p. 217-219 et p. 226-242). Par rapport aux travaux de la période 1890-1910, l'approfondissement des notions de *relief appalachien* et d'*évolution appalachienne* est manifeste. Mais l'article de 1940 ne se limite pas à revenir sur la problématique de la « pénéplaine ». Comme Davis qui, dans ses ultimes recherches (1930 ; 1938), a repris le problème de la genèse des pédiments (glacis rocheux, *rock floors*), de Martonne renoue par l'étude du « modelé tropical » avec le questionnement exposé dans *Le climat facteur du relief*, à savoir « que le relief dépend du climat au moins autant que du sous-sol » (1913, p. 339). Même en laissant de côté le débat sur le rôle et la part du *downwearing*, du *backwearing*, du *etching* (Büdel, 1957. Thomas, 1974 ; 1994. Godard *et al.*, 1994. Klein, 1997. Petit, 1998), dont l'évocation sortirait du cadre de notre sujet, il est manifeste que de Martonne a tenté – du domaine des serras littorales à climat chaud et humide, aux régions chaudes de l'intérieur à plus ou moins longue saison sèche, et aux régions de montagne à contrastes

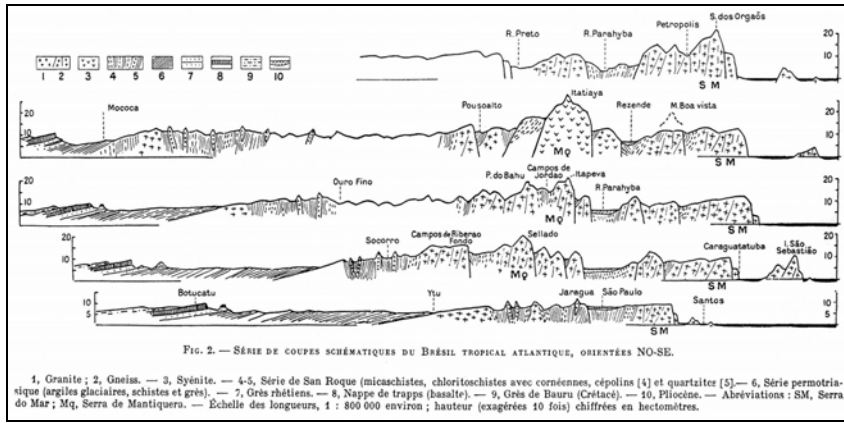


Figure 17a : « Série de coupes schématiques du Brésil tropical atlantique, orientées NO-SE » (E. de Martonne, 1940, fig. 2, p. 5).

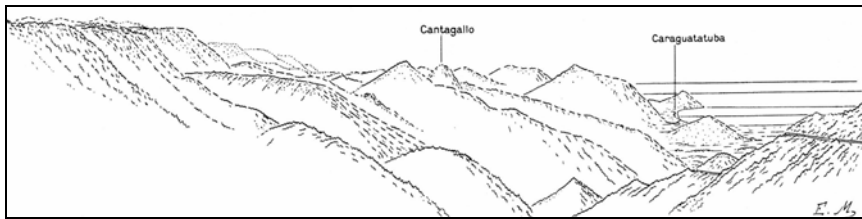


Figure 17b : « Serra do Mar, vue vers le NE, de la descente à Caraguatatuba. L'Océan est au pied, à droite. Noter l'existence de deux gradins, le gradin inférieur étant le plus disséqué » (E. de Martonne, 1940, fig. 4, p. 11).

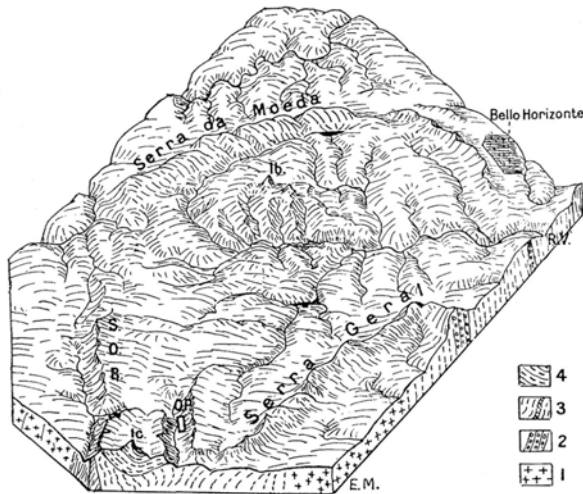


FIG. 6. — BLOC-DIAGRAMME DES SIERRAS DE L'ÉTAT DE MINAS GERAES, AU SUD DE BELLO HORIZONTE.

Abréviations : Ib., pic d'Itabira; R. V., Rio de las Velhas; O. P., ville d'Ouro Preto; Ic., pic d'Itacolumi; S. O. B., Serra de Ouro Branco. — Géologie : 1, Gneiss; 2, Quartzites; 3, Micaschistes; 4, Série d'Itacolumi (chloritoschistes, schistes à sericite, calcaire cristallin).

Figure 17c : « Bloc-diagramme des Sierras de l'État de Minas Gerais, au Sud du Bello Horizonte » (E. de Martonne, 1940, fig. 6, p. 15).

pluvio-thermiques saisonniers marqués – de cerner sur le terrain *l'articulation des différents niveaux d'organisation des formes* (1940, p. 106-129). Autrement dit, de comprendre (notamment en insistant sur « la vie du sol » dans la définition d'un « cycle d'érosion tropical humide ») comment se fait aujourd'hui (et a pu se faire hier) la transition des formes dites élémentaires (rigoles, vallons, versants) aux formes du relief de grande dimension (vallées, collines mamelonnées, crêtes appalachiennes), et de celles-ci aux mégaformes d'échelle continentale comme les plateaux de l'intérieur ou les serras littorales, dont l'auteur a perçu dix ans avant O. Jessen (1943) la profonde originalité (de Martonne, 1933). Du bourrelet marginal à la côte de Botucatu et de la « mar do mauros » à la genèse des « pains de sucre », de Martonne embrasse *les trois échelles du modelé de la surface des continents* (modelés de surface, volumes de relief, mégaformes) tout en se préoccupant de *l'implication morphogénétique des variations climatiques dans l'espace et dans le temps*. Ce souci de dominer l'ensemble du raisonnement géomorphologique est sans aucun doute un legs scientifique d'une rare modernité. L'approche analytique de la dynamique des processus (ici le modelé tropical) couplée à l'approche synthétique de l'étude des formes et de leur propre dynamique (ici le relief appalachien), est en effet la réponse la plus pertinente aux questions posées par la loi de complexification des systèmes morphogéniques. En France, H. Baulig (1952a ; 1952b ; 1956b ; 1959) et P. Birot (1955 ; 1959 ; 1960) puis C. Klein (1960 ; 1993 ; 1997 ; 2001) assumeront la dimension géographique (*i.e.* spatiale) d'un paradigme peu à peu abandonné, celui de la *denudation chronology*.

#### Bibliographie

- Barrell J. (1917) « Rhythms and the measurement of geological time », Geological Society of America Bulletin, 28, p. 745-904.
- Barrell J. (1920) « The Piedmont terraces of the Northern Appalachians », American Journal of Science, 4, 14, pp. 227-258, 327-362, 407-428.
- Barrois C. (1897) « Des divisions géographiques de la Bretagne », Annales de Géographie, 6, pp. 23-44 et 103-122.
- Barrois C. (1930) « Les grandes lignes de la Bretagne », Livre Jubilaire de la Société Géologique de France, t. I, p. 83-100.
- Baudelle G. (2001) « L'assise bretonne. Emmanuel de Martonne et la formation du Laboratoire de géographie de Rennes (1899-1905) », in : Géographes en pratiques (1870-1945)... PUR, Rennes, p. 37-53.
- Baudelle G., Ozouf-Marignier M.-V., Robic M.-C. (2001) « Géographes en pratiques (1870-1945). Le terrain, le livre, la Cité », PUR, Rennes, 390 p.
- Baulig H. (1928a) « Le Plateau Central de la France et sa bordure méditerranéenne. Étude morphologique », Thèse, Armand Colin, Paris, 591 p.
- Baulig H. (1928b) « Les hauts niveaux d'érosion eustatique dans le Bassin de Paris », Annales de Géographie, 37, pp. 289-305 et 385-406.
- Baulig H. (1932) « La genèse du relief appalachien, d'après Douglas Johnson », Annales de Géographie, 41, p. 500-511.

- Baulig H. (1935) « The changing sea-level. Four lectures given at the University of London », Institute of British Geographers, 3, 46 p.
- Baulig H. (1935-1936) « Amérique septentrionale », Armand Colin, Paris, Géographie Universelle, t. XIII, 2 volumes, 640 p.
- Baulig H. (1952a) « Cycle et climat en géomorphologie », 50<sup>e</sup> anniversaire Laboratoire Géographie Rennes, volume jubilaire (1902-1952), p. 215-239.
- Baulig H. (1952b) « Surfaces d'aplanissement », Annales de Géographie, 61, pp. 161-183 et 245-262.
- Baulig H. (1956a) « Vocabulaire franco-anglo-allemand de géomorphologie », Publication Faculté Lettres Université Strasbourg, fasc. 130, 230 p.
- Baulig H. (1956b) « Pénéplaines et pédiplaines », Bulletin de la Société belge d'études géographiques, 25, p. 25-58.
- Baulig H. (1959) « Morphométrie », Annales de Géographie, 68, p. 385-408.
- Beckinsale R. P., Chorley R. J. (1991) « The History of the Study of Landforms or the Development of Geomorphology. 3. Historical and Regional Geomorphology, 1890-1950, Methuen, Londres, 496 p.
- Birot P. (1958) « Morphologie structurale », Orbis, PUF, Paris, 2 vol., 464 p.
- Birot P. (1959) « Précis de Géographie physique générale », Armand Colin, Paris, 403 p.
- Birot P. (1960) « Le cycle d'érosion sous différents climats », Rio de Janeiro (« The cycle of erosion in different climates », 1968, Batsford, London, 114 p.).
- Briquet A. (1911) « Sur la morphologie de la partie médiane et orientale du Massif Central », Annales de Géographie, 20, pp. 30-43 et 122-142.
- Broc N. (1977) « La géographie française face à la science allemande (1870-1914) », Annales de Géographie, 86, p. 71-94.
- Broc N., Giusti C. (2007) « Autour du *Traité de Géographie physique* d'Emmanuel de Martonne : des mots aux théories », Géomorphologie (à paraître).
- Brunhes J., Chaix E., Martonne E. de (1911) « Atlas photographique des formes du relief terrestre », Boissonnas, Genève.
- Büdel J. (1957) « Die *Doppelten Einebnungsflächen* in den feuchten Tropen », Zeitschrift für Geomorphologie, N.F., I, p. 201-228.
- Chorley R. J., Beckinsale R. P., Dunn A. J. (1973) « The History of the Study of Landforms or the Development of Geomorphology. 2. The life and work of William Morris Davis », Methuen, Londres, 874 p.
- Coque R. (1977) « Géomorphologie », Armand Colin, Paris, 430 p. (5<sup>ème</sup> éd., 1993, 503 p.).
- Davis W. M. (1889) « The rivers and valleys of Pennsylvania », National Geographic Magazine, 1, p. 183-253 (réimprimé *in* : Geographical Essays, 1909, p. 413-484).
- Davis W. M. (1890) « The rivers of Northern New Jersey with notes on the classification of rivers in general », National Geographic Magazine, 2, p. 81-110 (réimprimé *in* : Geographical Essays, 1909, p. 485-573).

- Davis W. M. (1895) « The development of certain English rivers », *Geographical Journal*, 5, p. 127-146.
- Davis W. M. (1896) « Plains of marine and subaerial denudation », *Bulletin of the Geological Society of America*, 7, p. 377-398.
- Davis W. M. (1897) « The coastal plain of Maine », *Report of the British Association for the Advancement of Science*, p. 719-729.
- Davis W. M. (1899a) « The geographical cycle », *Geographical Journal*, 14, p. 481-504 (réimprimé *in* : *Geographical Essays*, 1909, p. 249-278).
- Davis W. M. (1899b) « The peneplain », *American Geologist*, 23, p. 207-239 (réimprimé *in* : *Geographical Essays*, 1909, p. 350-380). Voir aussi « La pénéplaine », *Annales de Géographie*, 7, pp. 289-303 et 385-404.
- Davis W. M. (1905) « A day in the Cévennes », *Appalachia*, 11, p. 110-114.
- Davis W. M. (1909) « *Geographical Essays* », édités par D. W. Johnson, Dover Publications, New York, IV + 777 p. (1954).
- Davis W. M. (1912) « *Die erklärende Beschreibung der Landformen* », Teubner, Leipzig, 565 p.
- Davis W. M. (1922) « Peneplains and the geographical cycle », *Bulletin of the Geological Society of America*, 33, p. 587-598.
- Davis W. M. (1930) « Rock floors in arid and in humid climates », *Journal of Geology*, 38, pp. 1-27 et 136-158.
- Davis W. M. (1931) « Foreword », *in* : D. Johnson (1931), p. vii-xi.
- Davis W. M. (1938) « Sheetfloods and streamfloods », *Bulletin of the Geological Society of America*, 49, p. 1 337-1 416.
- Davis W. M., Loper S. W. (1891) « Two belts of fossiliferous black shale in the Triassic Formation of Connecticut », *Bulletin Geological Society America*, 2, p. 415-430.
- Davis W. M., Snyder W. H. (1899) « *Physical Geography* », Ginn & Company, Boston, 428 p.
- Demangeon A. (1910) « Le relief du Limousin », *Annales de Géographie*, 19, p. 120-149.
- Doublier C. (2005) « Images de voyages : les dessins et croquis de William Morris Davis dans *Die erklärende Beschreibung der Landformen* », 130<sup>e</sup> Congrès CTHS, Voyages et Voyageurs, La Rochelle, p. 94-95.
- Dresch J. (1975) « Emmanuel de Martonne (1873-1955) », *in* : *Les géographes français*, CTHS, Bulletin de la Section de Géographie, 81, p. 35-48.
- Giusti C. (2004) « Géologues et géographes français face à la théorie davisienne (1896-1909) : retour sur « l'intrusion » de la géomorphologie dans la géographie », *Géomorphologie*, p. 241-254.
- Giusti C. (2005a) « De Robert Louis Stevenson à William Morris Davis : regards croisés de l'artiste et du scientifique sur le relief des Cévennes », 130<sup>e</sup> Congrès CTHS, Voyages et Voyageurs, La Rochelle, p. 53.
- Giusti C. (2005b) « Pour une archéologie du discours géomorphologique » Table-Ronde en l'honneur du Professeur René Neboit-Guilhot. Géolab, UMR 6042 CNRS, Clermont-Ferrand, p. 109-114.

- Godard A., Lagasquie J.-J., Lageat Y. (1994) « Les régions de socle. Apports d'une école française de Géomorphologie ». Clermont-Ferrand, Publication Faculté Lettres & Sc. humaines, Université Blaise-Pascal, N.S., 43, 324 p.
- Guilcher A. (1948) « Le relief de la Bretagne méridionale, de la baie de Douarnenez à la Vilaine », *Thèse*, H. Potier, La-Roche-sur-Yon, 682 p.
- Guilcher A. (1949a) « Le relief des Monts d'Arrée », *Annales de Bretagne*, 56, p. 233-248.
- Guilcher A. (1949b) « Aspects et problèmes morphologiques du massif de Devon-Cornwall comparés à ceux d'Armorique », *Revue de Géographie Alpine*, 37, p. 689-717.
- Hayes C. W. (1895) « The Southern Appalachians », *National Geographic Monographs*, 1, 10, p. 305-336.
- Hayes C. W., Campbell M. C. (1894) « Geomorphology of the Southern Appalachians », *National Geographic Magazine*, 6, p. 62-126.
- Jessen O. (1943) « Die Randschwellen der Kontinente », *Petermanns Geogr. Mitteilungen*, 241, Justus Perthes, Gotha, 205 p.
- Johnson D. (1916) « Plains, Planes and Peneplanes », *Geographical Review*, 1, p. 443-447.
- Johnson D. (1929) « The Central Plateau of France: A review », *Geographical Review*, 19, p. 662-667.
- Johnson D. (1931) « Stream sculpture on the Atlantic slope. A study in the evolution of Appalachian rivers », New York, Columbia Univ. Press, XXII + 142 p.
- King L. C. (1962) « The Morphology of the Earth », Oliver and Boyd, Edinburgh and London, 699 p.
- Klein C. (1959a) « Surfaces polygéniques et surfaces polycycliques », *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, n°282-283, p. 51-58.
- Klein C. (1959b) « Surfaces de regradation et surfaces d'aggradation », *Annales de Géographie*, 68, p. 292-317.
- Klein C. (1960) « La notion de rythme en morphologie », *Norois*, 28, p. 373-387.
- Klein C. (1975) « Massif Armoricaïn et Bassin Parisien. Contribution à l'étude géologique et géomorphologique d'un massif ancien et de ses enveloppes sédimentaires », *Thèse*, Ophrys, Gap, 882 p.
- Klein C. (1986) « Le relief du Limousin. Les avatars d'un géomorphotype », *Norois*, 33, p. 23-49 et p. 228.
- Klein C. (1990) « L'évolution géomorphologique de l'Europe hercynienne occidentale et centrale. Aspects régionaux et essai de synthèse », Éditions du CNRS, Paris, Mémoires et Documents de Géographie, 178 p.
- Klein C. (1993) « Du dynamisme des processus à la dynamique des formes en géomorphologie », Ophrys, Gap, 188 p.
- Klein C. (1997) « Du polycyclisme à l'acyclisme en géomorphologie », Ophrys, Gap, 300 p.
- Klein C. (1999) « Henri Baulig (1877-1962). Sa contribution à l'enrichissement de la géomorphologie générale », Ophrys, Gap, 176 p.

- Klein C. (2001) « De la mésogéomorphologie à la microgéomorphologie et à la mégagéomorphologie », Ophrys, Gap, 112 p.
- Kuhn T. S. (1962) « The structure of scientific revolutions », The University of Chicago Press, Chicago, (3<sup>rd</sup> ed., 1996,
- Lapparent A. de (1907) « Leçons de géographie physique », Paris, Masson, 3<sup>ème</sup> éd., XVI + 728 p. (1<sup>ère</sup> éd., 1896 ; 2<sup>ème</sup> éd., 1898).
- Martonne E. de (1902) « La Valachie. Essai de monographie géographique », *Thèse Lettres*, Armand Colin, Paris, 387 p.
- Martonne E. de (1903) « Le développement des côtes bretonnes et leur étude morphologique », *Bulletin de la Société Scientifique et Médicale de l'Ouest*, 1, 17 p.
- Martonne E. de (1904) « Les enseignements de la topographie », *Annales de Géographie*,
- Martonne E. de (1905) « Le VIII<sup>e</sup> Congrès international de géographie (Washington, 1904) et sa grande excursion dans l'Ouest du Mexique », *Annales de Géographie*, 14, p. 1-22.
- Martonne E. de (1906) « La péninsule et les côtes bretonnes », *Annales de Géographie*, 15, pp. 213-236 et 299-328. Voir aussi p. 70-71 une brève note sur la première excursion géographique inter-universitaire, en Bretagne.
- Martonne E. de (1907) « Recherches sur l'évolution morphologique des Alpes de Transylvanie (Karpates méridionales) », *Thèse Sciences*, Delagrave, Paris, 287 p.
- Martonne E. de (1909) « Traité de Géographie physique », Armand Colin, Paris, 1<sup>ère</sup> éd., 910 p. (2<sup>ème</sup> éd., XII + 924 p.).
- Martonne E. de (1913) « Le climat facteur du relief », *Scientia*, Bologne, 13, p. 338-355.
- Martonne E. de (1925) « Les grandes régions de la France. Description photographique avec notices géographiques. Cévennes et Causses », Payot, Paris, 31 p., 60 pl., 3 cartes.
- Martonne E. de (1929) « La morphologie du Plateau Central de la France et l'hypothèse eustatique », *Annales de Géographie*, 38, p. 113-132.
- Martonne E. de (1933) « Abrupts de faille et captures récentes. La Serra do Mar de Santos et l'Espinouse », *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, 94, p. 138-145.
- Martonne E. de (1940) « Problèmes morphologiques du Brésil tropical atlantique », *Annales de Géographie*, 49, pp. 1-27 et 106-129, carte h.-t.
- Martonne E. de (1942) « La France, 1<sup>ère</sup> partie : France physique », Armand Colin, Paris, *Géographie Universelle*, t. VI, 1<sup>ère</sup> éd., 463 p. (3<sup>ème</sup> éd., 1955).
- McGee W. J. (1888a) « The geology of the head of Chesapeake Bay », U. S. Geological Survey, 7th Ann. Report (1885-1886), p. 537-646.
- McGee W. J. (1888b) « Three formations of the middle Atlantic slope », *American Journal of Science*, 35, pp. 120-143, 328-330, 367-388, 448-466.
- Musset R. (1917) « Le Bas-Maine. Étude géographique », *Thèse*, Armand Colin, Paris, 496 p.

- Musset R. (1925) « Le relief des environs de Bagnoles-de-l'Orne », Bulletin de la Société Géologique et Minéralogique de Bretagne, 1, 6, p. 91-112.
- Musset R. (1928) « Le relief de la Bretagne occidentale », Annales de Géographie, 37, p. 209-223.
- Nicolas G. (2001) « Le modèle d'Outre-Rhin ? Emmanuel de Martonne et les universités allemandes à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle », *in*: Géographes en pratiques (1870-1945)... PUR, Rennes, p. 175-187.
- Petit M. (1998) « Présentation physique de la grande île Madagascar », ACCT-FTM, 192 p.
- Peulvast J.-P., Vanney J.-R. (2001) « Géomorphologie structurale. Terre, corps planétaires solides. Tome 1, Relief et structure », SGF Gordon and Breach, Paris – BRGM, Orléans, 505 p.
- Peulvast J.-P., Vanney J.-R. (2002) « Géomorphologie structurale. Terre, corps planétaires solides. Tome 2, Relief et géodynamiques », SGF Gordon and Breach, Paris – BRGM, Orléans, 524 p.
- Phillips J. D. (2002) « Erosion, isostatic response, and the missing peneplains », Geomorphology, 45, p. 225-241.
- Renner G. T. (1927) « The physiographic interpretation of the Fall Line », Geographical Review, 17, p. 278-286.
- Rhoads B. L., Thorn C. E. (1996). « Observation in Geomorphology », *in*: The Scientific Nature of Geomorphology. Proceedings of the 27th Binghampton Symposium in Geomorphology. Chichester, John Wiley & Sons, p. 21-56.
- Summerfield M. A. (1991) « Global Geomorphology. An introduction to the study of landforms », Prentice Hall, Pearson Education, Harlow, 537 p.
- Thomas M. F. (1974) « Tropical Geomorphology. A Study of Weathering and Landform Development in Warm Climates », Macmillan, London, 332 p.
- Thomas M. F. (1994) « Geomorphology in the Tropics. A Study of Weathering and Denudation in Low Latitudes », Wiley, 482 p.
- Vanney J.-R. (1969) « Le Précontinent du Centre du Golfe de Gascogne. Recherches géomorphologiques », Thèse, Laboratoire de Géomorphologie de l'E.P.H.E, mém. N° 16, 365 p.
- Vanney J.-R. (1977) « Géomorphologie de la marge continentale sud-armoricaine », SEDES, Paris, 473 p.
- Willis B. (1895) « The Northern Appalachians », National Geographic Monographs, 1, 6, p. 169-202.