



**HAL**  
open science

## Deux cent ans de géologie à travers les paysages languedociens autour du Pic Saint Loup

Michel Séranne

► **To cite this version:**

Michel Séranne. Deux cent ans de géologie à travers les paysages languedociens autour du Pic Saint Loup. Annales de la Société d'Horticulture et d'Histoire Naturelle de l'Hérault, 2013, 153, pp.4-19. hal-00933871

**HAL Id: hal-00933871**

**<https://hal.science/hal-00933871>**

Submitted on 21 Jan 2014

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Deux cent ans de géologie à travers les paysages languedociens autour du Pic Saint Loup

**Michel Séranne**

*Géosciences Montpellier, CNRS / Université Montpellier 2, 34095 Montpellier cedex 05*

*seranne@gm.univ-montp2.fr*

soumis à : *Annales de la Société d'Horticulture et d'Histoire Naturelle de l'Hérault*

**Résumé :** La géologie a beaucoup évolué au cours des deux derniers siècles. On analyse l'histoire des géosciences autour du pôle universitaire montpellierain, à travers l'évolution de la perception des paysages (illustré par l'exemple de la région du Pic Saint Loup) et de la connaissance géologique qui en découle. Les précurseurs ont d'abord établi la succession stratigraphique des roches, puis ils ont commencé de reporter les observations de surface sur des cartes. Les géologues ont ensuite tenté de comprendre les structures du sous-sol, d'abord à l'aide de coupes et plus récemment grâce à des représentations tridimensionnelles.

**mots-clés :** géologie, paysage, stratigraphie, structure du sous-sol, coupe géologique, modèle 3D, histoire des sciences, Université de Montpellier

**Abstract :** Geology has greatly evolved in the last two centuries. We analyse local geosciences history, driven by Montpellier University, through the evolving perception of landscapes and the derived geological knowledge. We focus on the example of the Pic Saint Loup landscape. Forerunner geologists have first established the stratigraphic succession and then initiated mapping. Later, geologists have addressed the underground structure, with cross-sections, and more recently with 3D representations.

**key words :** geology, landscapes, stratigraphy, underground structure, geological section, 3D model, science history, Montpellier University

## Introduction : une lecture subjective des paysages

Les garrigues, lardées d'escarpement rocheux et de petites plaines cultivées, caractérisent les paysages languedociens, entre Cévennes et Méditerranée. La perception des paysages dépend fortement de l'observateur : le paysan notera les parcelles étriquées de vigne et l'aridité du terrain, le regard du promeneur anticipera son chemin au pied des falaises, l'artiste s'inspirera des jeux d'ombre et de lumières sur les reliefs acérés... Parmi toutes ces visions subjectives, le géologue dessinera mentalement la continuité des strates, tant sous la surface que vers le ciel ; il relèvera aussi la distribution des différentes lithologies, plus ou moins facilement érodées, plus ou moins favorables à la croissance des chênes kermès.

Une telle perception « géologique » du paysage a accompagné le développement de cette science depuis le début du XIXe siècle et constitue encore la base de l'observation pour les géologues d'aujourd'hui.

Nous évoquerons les progrès de la géologie autour du pôle scientifique montpelliérain, à travers l'exemple de la région du Pic Saint Loup qui a reçu l'attention soutenue de nombreuses générations de géologues.



*Fig. 1 : Paysage classique du Pic Saint Loup (Photo M. Séranne)*

Les premiers naturalistes s'intéressent -entre autres choses- à la géologie en décrivant les terrains de différentes contrées qu'ils visitent. Les naturalistes sont également artistes et sortent leur chevalet pour peindre les paysages d'après nature. Les gravures de Jean-Marie Amelin réalisées au début du XIXe siècle montrent une grande évolution par rapport aux classiques peintures de paysages qui idéalisent les sujets, typiques du XVIIIe siècle. Elle sont devenues réalistes : les paysages représentés par cet infatigable arpenteur du département sont parfaitement identifiables (**Fig. 2**). Cependant, ces gravures et aquarelles sont empreintes de romantisme, avec des formes dramatiques, des topographies accentuées et des premiers plans bucoliques. On ne distingue pas les strates dans l'escarpement et les

terrains rocheux ou marneux ne sont pas différenciés : ce n'est pas encore une observation de géologue !

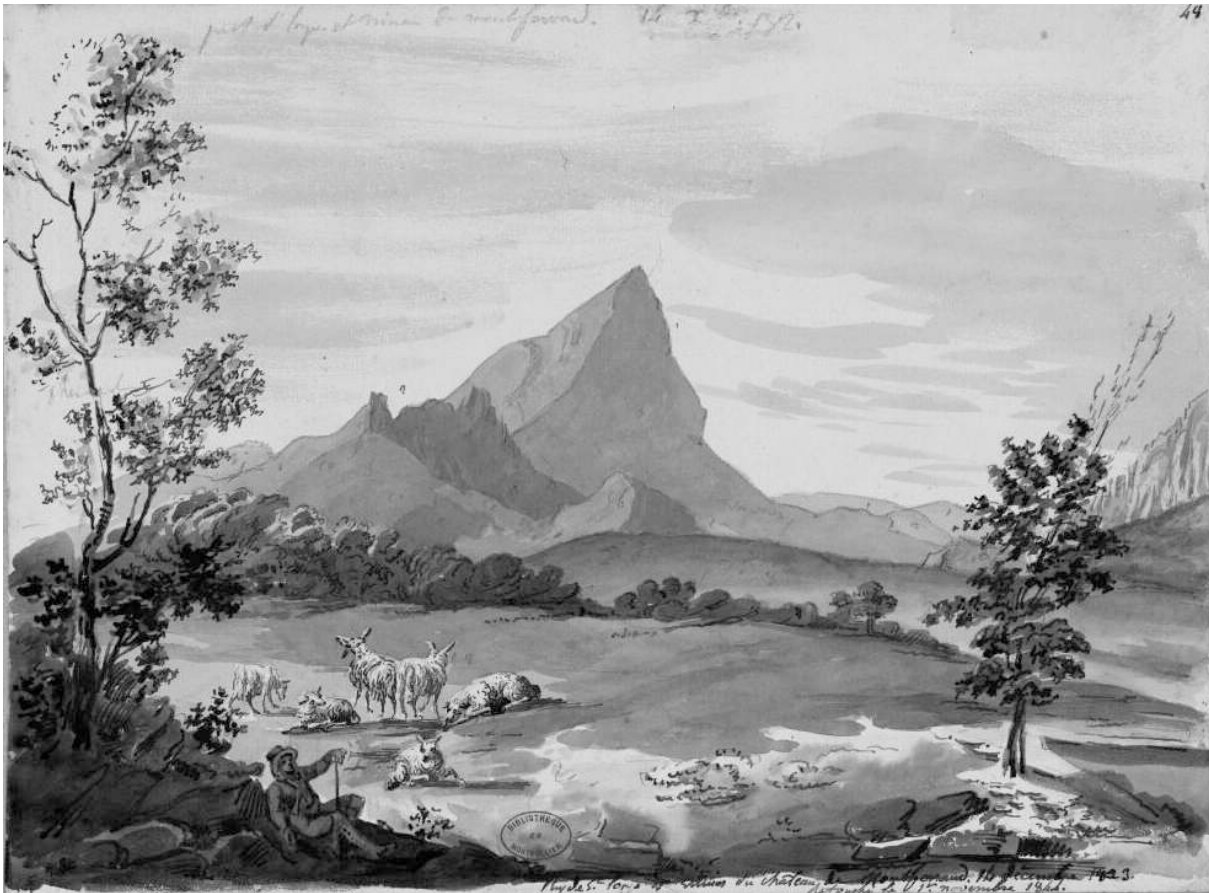


Fig. 2 : Vue du Pic Saint Loup par Jean-Marie Amelin datée de 1823 (Original à la Médiathèque de Montpellier, Bibliothèque numérique).

## Etablir la succession stratigraphique

Les naturalistes du XIXe siècle s'attellent d'abord à déterminer l'ordre chronologique des dépôts des couches sédimentaires qu'ils rencontrent sur le terrain.

Dès 1669, le danois Nicolas Sténon (ou Niels Stensen) énonce dans son ouvrage « *De solido intra solidum naturaliter contento dissertationis prodromus* » le principe de superposition des couches géologiques : les plus anciennes strates sont surmontées par les plus récentes. Ce principe est bien en avance sur son temps puisqu'au XVIIIe siècle, la vision biblique de l'histoire de la Terre domine les esprits.

Il faut attendre les travaux des britanniques James Hutton (1788) et William Smith (1790) sur les transformations successives des roches, les empilements de strates et l'immensité du temps géologique qui en découle, pour percevoir l'utilité du principe de superposition. On peut alors commencer d'ordonner chronologiquement les étapes de l'histoire de la Terre en lisant les couches de sédiment déposées successivement, comme les pages d'un livre. Presque en même temps (au tout début du XIXe), Georges Cuvier et Alexandre Brongniart mettent au point la stratigraphie basée sur les fossiles contenus dans les successions géologiques du Bassin de Paris, qui est ensuite reprise par les travaux géologiques partout en France.

Certains naturalistes languedociens moins célèbres avaient mis à profit le principe de superposition pour interpréter les paysages géologiques. Ainsi, [*Gensanne*, 1776], un ancien ingénieur chargé de

l'exploitation minière en Alsace, nommé Commissaire des Etats du Languedoc, inventorie les ressources agricoles et naturelles, dans ce qui reste comme le premier guide géologique régional. Au sud du Pic St Loup, il note dans la combe de Mortiers: « *Nous avons trouvé dans ce vallon de grandes couches de terres noires alumineuses ... (qui) s'inclinent sensiblement vers l'intérieur de la montagne de St. Loup, dont elles paraissent former la base, au dessous de la roche calcaire.* » On note cependant qu'il s'agit d'une observation sommaire, sans souci de datation, ni de questionnement sur les causes de la déformation des couches qui "s'inclinent sensiblement".

Les travaux de Marcel de Serres au cours du premier quart du XIXe siècle s'inscrivent dans la révolution scientifique et naturaliste européenne. Marcel de Serres de Mesplès, né en 1780 dans une riche famille montpelliéraine est envoyé, adolescent, à Paris où il assiste à l'émergence de la géologie, notamment au Museum. Protégé du montpelliérain général d'Empire Daru, il a l'occasion de se faire remarquer par Napoléon lui-même qui le nomme le 25 juillet 1809 à la première chaire de géologie de la nouvelle Faculté des Sciences de Montpellier, mais l'envoie aussitôt en mission d'étude en Autriche, en Bavière et sur les rivages de la Mer Baltique, pendant deux ans ! Au cours de cette riche période d'apprentissage, il établira de nombreux contacts scientifiques (dont Cuvier et Brongniart) qu'il conservera une fois rentré à Montpellier.

A l'instar des naturalistes européens, Marcel de Serres et ses collaborateurs et élèves parcourent la région, en décrivant l'aspect, la lithologie, la disposition des couches sédimentaires et recherchent les fossiles qu'elles contiennent. Marcel de Serres s'intéresse plus spécialement aux terrains récents de la plaine littorale [Serres, 1829], alors que son élève Paul de Rouville se spécialise dans les terrains plus anciens, au nord de Montpellier et autour du Pic Saint Loup. Ce dernier résume l'objet des recherches géologiques dans son discours inaugural à la chaire de géologie de Montpellier en 1862: "*A ces deux grands faits — d'une part, l'existence de masses superposées, et de l'autre, la permanence de leur ordre de succession — vient s'en joindre un troisième : l'observation a constaté que chaque terrain recèle un ensemble de débris organiques animaux et végétaux pouvant servir de signe distinctif, et comme de numéro, au feuillet qui les contient.*" [de Rouville, 1862].

Un autre grand précurseur, Emilien Dumas « de Sommières » (comme ses contemporains aimaient à l'appeler) définit en 1846 devant la Société Géologique de France le cadre stratigraphique de l'ère Secondaire en Languedoc (publié beaucoup plus tard [Dumas, 1872]). Il produit une coupe stratigraphique à travers la bordure sud cévenole, aux environs de Saint Hippolyte du Fort qui représente la succession stratigraphique de la zone au nord du Pic Saint Loup.

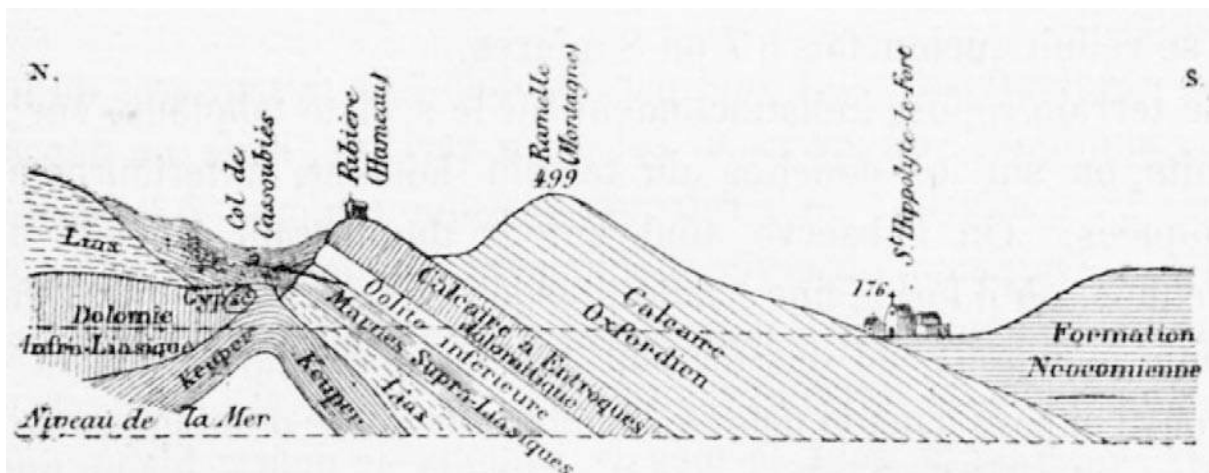


Fig. 3 : Coupe stratigraphique du Jurassique de la zone nord du Pic Saint Loup, Montagne des Cagnasses, selon [Dumas, 1872]. Source : BnF Gallica.

Les couches sédimentaires sont nommées avec une terminologie hétéroclite. Les noms relèvent parfois de caractéristiques lithologiques identifiées par les carriers: *Keuper* provient du jargon allemand signifiant « marnes » ; *Lias* est une probable déformation du mot anglais « layers ». Dans d'autres cas, la lithologie est associée à une position stratigraphique : les « *Marnes supra liasiques* » et les « *Dolomies infra-liasiques* » signifie les intervalles encadrant le Lias. Des fossiles ou textures caractéristiques de cette

formation comme l'« *Oolithe inférieure* » font référence au calcaire constitué de minuscules concrétions sphériques et concentriques. Les *calcaires à entroques* tirent leur nom de l'abondance des segments qui constituent la tige d'échinoderme fixés (les « lys de mer »). Enfin, des intervalles se réfèrent à des noms de lieu (sites éponymes) comme le *calcaire Oxfordien* (initialement observé et défini près de la ville de Oxford) ou la « *Formation Néocomienne* » décrite initialement près de Neuchâtel (Neocomum). Cette dernière manière de définir les étages géologiques à partir d'un site éponyme s'imposera progressivement au cours du développement de la stratigraphie.

Vingt ans plus tard, Alfred-Léopold Torcapel de la Vigne donne, dans l'Atlas édité par [de Rouville, 1894b], une coupe stratigraphique plus détaillée de la même zone. Torcapel, ingénieur des chemins de fer PLM, a levé de nombreuses coupes dans le cadre de l'implantation des nouvelles voies de communication ; il devient un spécialiste du Crétacé.

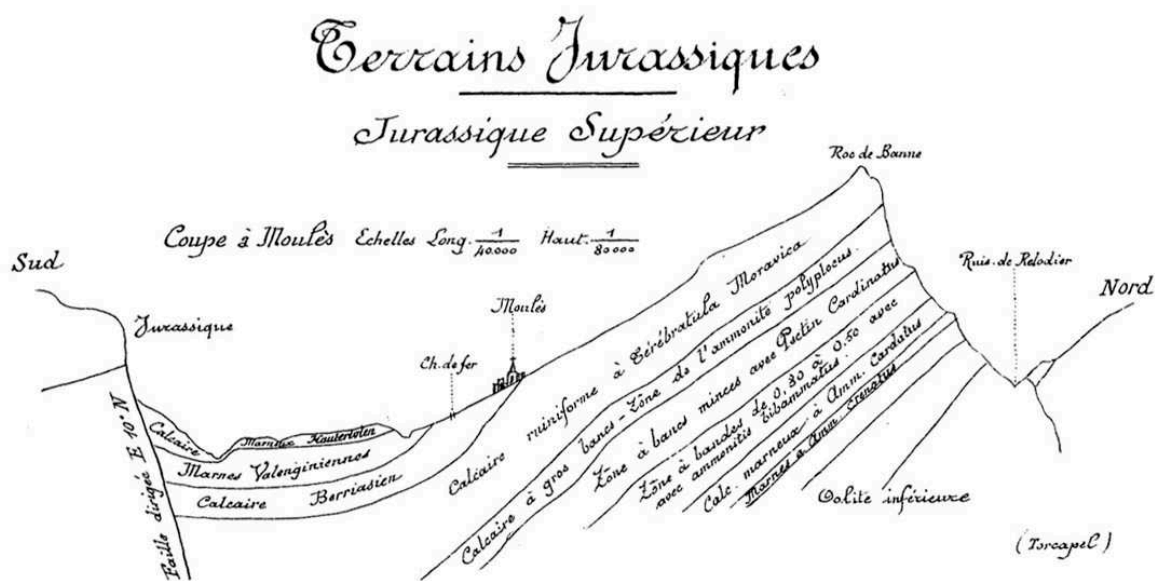


Fig. 4 : Coupe stratigraphique du Jurassique de la zone nord du Pic Saint Loup, selon Alfred Torcapel in [de Rouville, 1894b].

Les calcaires à Entroques et Oxfordien de Dumas se distinguent ici en une succession de 5 intervalles, alors que le Néocomien se subdivise en 3 étages. Malgré ce gain de précision, la terminologie reste très descriptive.

Le souci principal des géologues de cette époque restait la description de la succession stratigraphique, en conséquence, leurs analyses ignoraient les structures. Les géologues étaient confrontés au dilemme suivant : soit ils étudiaient l'empilement des couches dans une zone non déformée pour s'assurer du bon ordre chronologique de la succession stratigraphique ; mais alors ils ne pouvaient accéder qu'aux intervalles superficiels, exposés dans flancs des canyons incisés au maximum de quelques centaines de mètres dans les des séries tabulaires (comme les gorges de la Vis). Soit ils cherchaient des zones où la déformation avait basculé les sédiments et l'érosion exposé des séries plus épaisses ; dans ce cas, ils devaient comprendre la structure pour s'assurer que les déformations n'avaient pas perturbé la succession stratigraphique. On comprend ainsi tout l'intérêt du lever de ces coupes stratigraphiques sur la bordure sud-cévenole, où le pendage régulier des couches vers le sud permet d'observer l'ensemble de la série sédimentaire reposant sur le socle ancien, en cheminant le long de la rivière Rieutord. Le problème est bien plus complexe dans la région du Pic Saint Loup.



nord et sud : l'«oolithe inférieure» n'existe pas sur le flanc nord. En effet, les observations plus récentes démontrent qu'une faille inverse supprime une grande partie du Dogger du flanc nord.

La lecture des ouvrages révèle le souci des auteurs à comparer les terrains observés localement avec les descriptions issues d'autres territoires, parfois distants de quelques kilomètres (de Saint Hippolyte à la combe de Mortières et Murviel) parfois aussi lointains que l'Allemagne ou l'Angleterre (voir l'« *Etude comparative des formations géologiques des environs de Montpellier, et de leurs analogues hors de notre horizon* » dans la thèse de [de Rouville, 1853a]). Les corrélations étaient basées sur 3 composantes: la lithologie, le contenu fossile et la succession stratigraphique ; elles permettaient de conforter l'attribution d'âge aux formations, alors que les différences d'épaisseurs ou les variations lithologiques alimentaient d'interminables discussions. Ainsi, grâce aux observations locales et aux corrélations, l'échelle stratigraphique s'est progressivement établie et consolidée au cours du XIXe siècle.

<i>Succession stratigraphique de la région de Montpellier - Pic St Loup (de Rouville, 1853)</i>			Chronostratigraphie (2013)
<i>Terrain Moderne</i>	<i>Eaux ou vapeur thermales, Alluvions</i>		Holocène
	<i>Travertin, dunes, grès coquillier</i>		
<i>Terrain Quaternaire</i>	<i>Diluvium alpin</i>		Pleistocène
	<i>Dépôt de travertin</i>		
<i>Terrain Tertiaire</i>	<i>Deuxième formation lacustre</i>		Pliocène (continental)
	<i>Deuxième formation marine</i>	<i>Sables jaunes</i>	Pliocène (marin)
	<i>Première formation marine</i>	<i>Calcaire moellon</i>	Burdigalien (calcaire)
		<i>Marnes bleues</i>	Burdigalien (marneux)
<i>Première formation lacustre</i>		Paléocène à Eocène	
<i>Terrain Crétacé</i>	<i>Etage Néocomien</i>		Berriasien à Hauterivien
<i>Terrain Jurassique</i>	<i>Système de l'Oolite</i>	<i>Coralien</i>	Kimméridgien à Portlandien
		<i>Oxfordien</i>	Oxfordien
		<i>Oolite inférieure</i>	Bajocien à Callovien
	<i>Système du Lias</i>	<i>Marnes supra-liasiques</i>	Pliensbachien à Aalénien
		<i>Lias proprement dit ou Calcaire à Gryphées</i>	Hettangien à Sinémurien

**Fig. 6 :** Inventaire des terrains dans la succession stratigraphique de la région du Pic Saint Loup, telle qu'elle était connue au milieu du XIXe siècle [de Rouville, 1853a].

Le raffinement de la stratigraphie du Jurassique inférieur et moyen de la région du Pic Saint Loup se poursuit tout au long du XXe siècle, avec –entre autres- les travaux paléontologiques de [Roman and Gennevaux, 1912], jusqu'aux études de [Mattei, 1986], dans lesquelles, la précision apportée par la biostratigraphie, permet de contraindre la géométrie et la disposition des structures tectoniques (voir plus loin). La boucle est bouclée : les premiers géologues se sont d'abord intéressés aux zones non déformées pour établir précisément et sans équivoque la succession stratigraphique ; leurs héritiers utilisent l'outil ainsi élaboré et progressivement affiné pour aller dénouer l'écheveau des structures tectoniques complexes.

## Dresser les cartes

Très rapidement, les naturalistes du début du XIXe siècle reportèrent leurs observations sur des cartes. Les attributions stratigraphiques à des ensembles d'affleurement permettaient d'élaborer



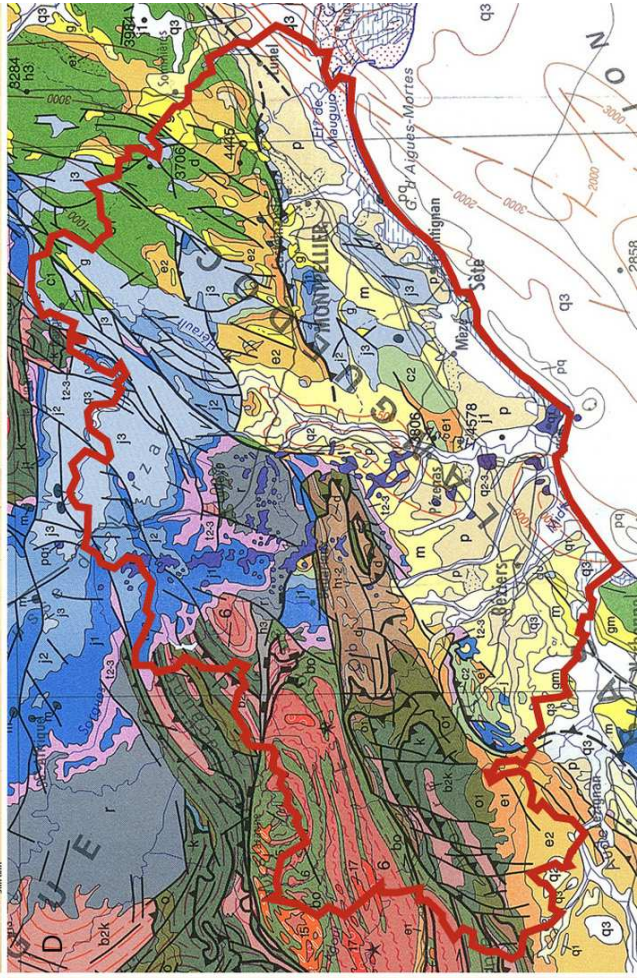
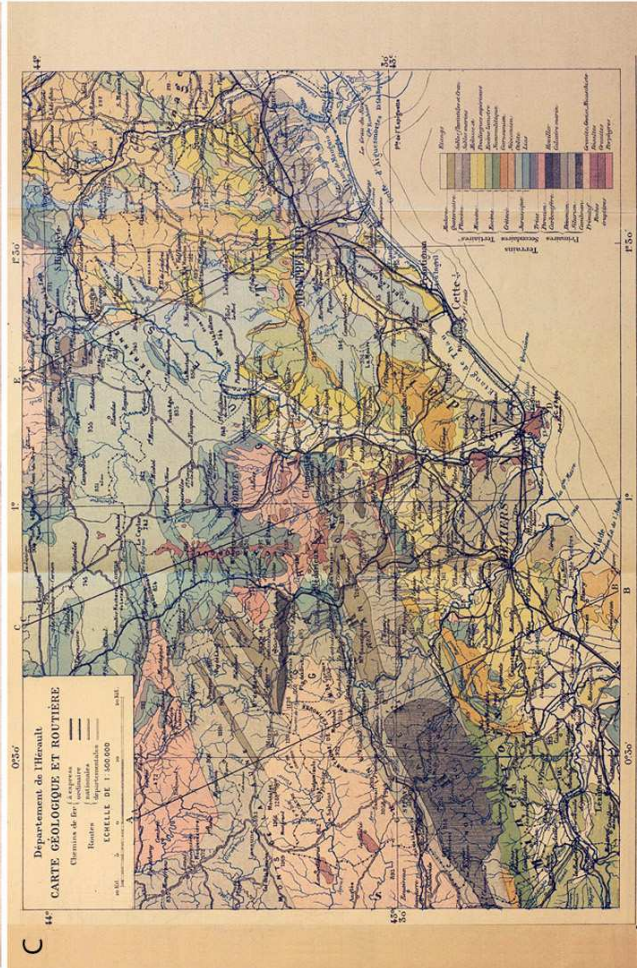
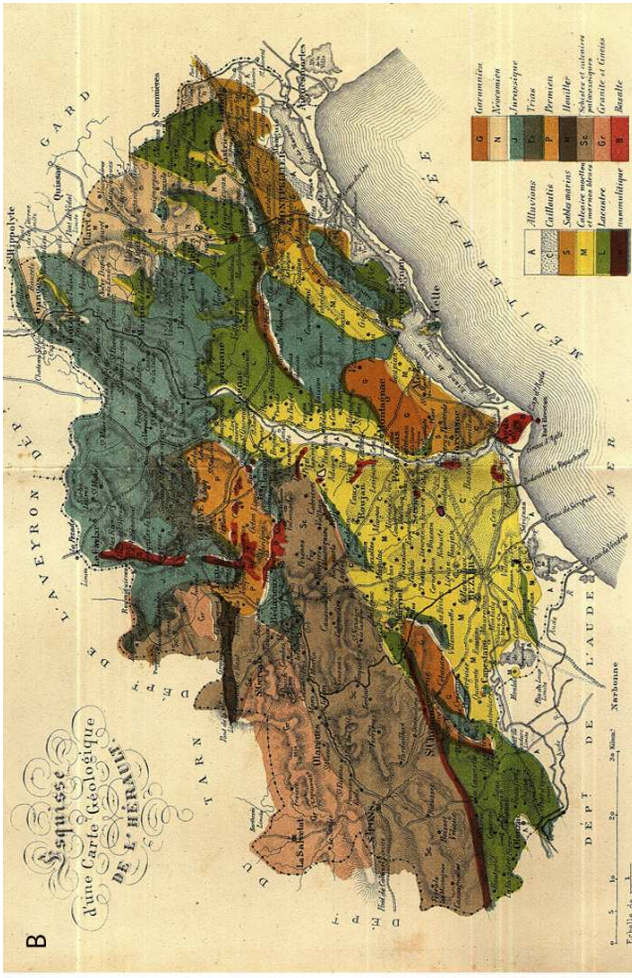
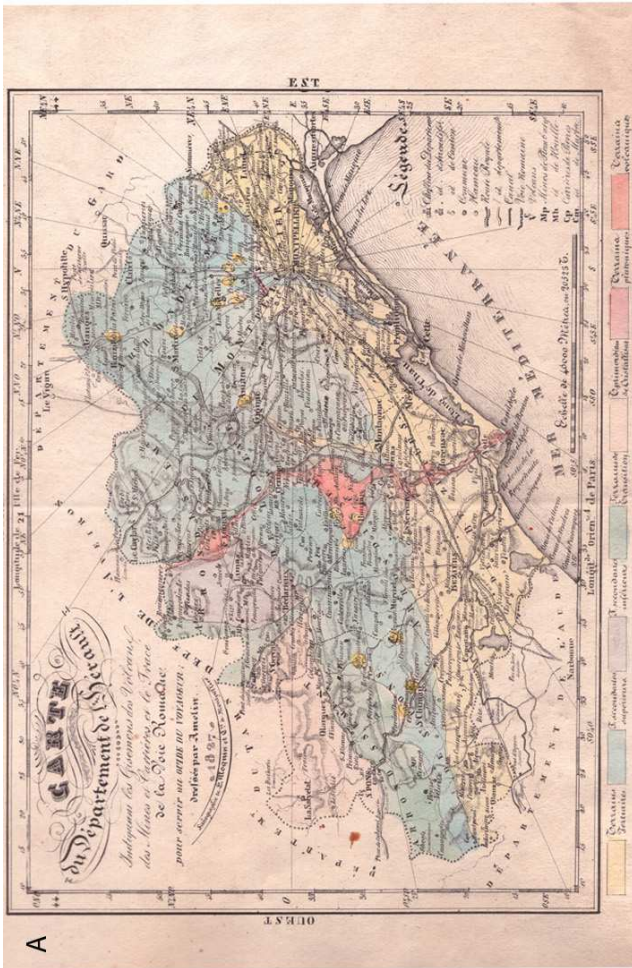
progressivement une vision cartographique en deux dimensions de la géologie des territoires. Dans la région de Montpellier et du Pic Saint Loup, c'est évidemment la remarquable carte accompagnant la thèse de [de Rouville, 1853a]) qui étonne encore aujourd'hui, tant par l'étendue du travail de lever que par la qualité esthétique du document peint à la main !



**Fig. 7 :** Première carte géologique détaillée (original à l'échelle du 1/43000°) de la zone du Pic Saint Loup. Extrait de la carte accompagnant la thèse [De Rouville, 1853b] – Source : Bibliothèque Géosciences Montpellier.

Notons que pour dresser une carte géologique, il faut d'abord disposer d'un fond topographique. La carte d'Etat Major au 1/80000° ne sera levée qu'après 1850 dans le sud du pays. Il n'existe alors que la fameuse carte de Cassini –dressée en 1770- qui présente une échelle suffisamment détaillée au 1/86400°. De Rouville la fait redessiner en apportant des mises à jour et en l'agrandissement d'un facteur 2 afin d'obtenir un support cartographique au 1/43200° (environ !). Il n'est pas possible d'apprécier toutes les précisions topographiques apportées (les altitudes des sommets est une amélioration notable par rapport à Cassini), mais cette carte constitue un document topographique original et certainement unique à une telle échelle. Il faudra attendre près de 100 ans les cartes IGN pour avoir mieux à cette échelle.

Si la distribution des terrains est correcte dans l'ensemble de la carte de de Rouville, une analyse plus attentive de ce document montre des contours assez peu détaillés ; certains sont erronés, comme la présence d'un synclinal à cœur de jurassique supérieur à l'ouest du Pic Saint Loup. La carte ne comporte en outre pas d'indication structurale : aucune faille n'est figurée : la tectonique attendra ! On remarque également que les regroupements stratigraphiques représentés en légende ne sont pas toujours homogènes avec ceux du texte de la thèse. Plus intéressant, la légende de la carte privilégie une terminologie stratigraphique plus moderne que dans le texte, puisqu'elle utilise des noms d'étages introduits par d'Orbigny, tels que *Sinemurien*, *Toarcien*, *Bajocien*, *Callovien*, *Oxfordien*...



**Fig. 8 :** Evolution de la carte géologique du département de l'Hérault à une échelle permettant une représentation synthétique ; A : [Amelin, 1827] ; B : [Paul de Rouville, 1876] ; C : [de Rouville, 1894a] ; D : [Chantraine et al., 1996].

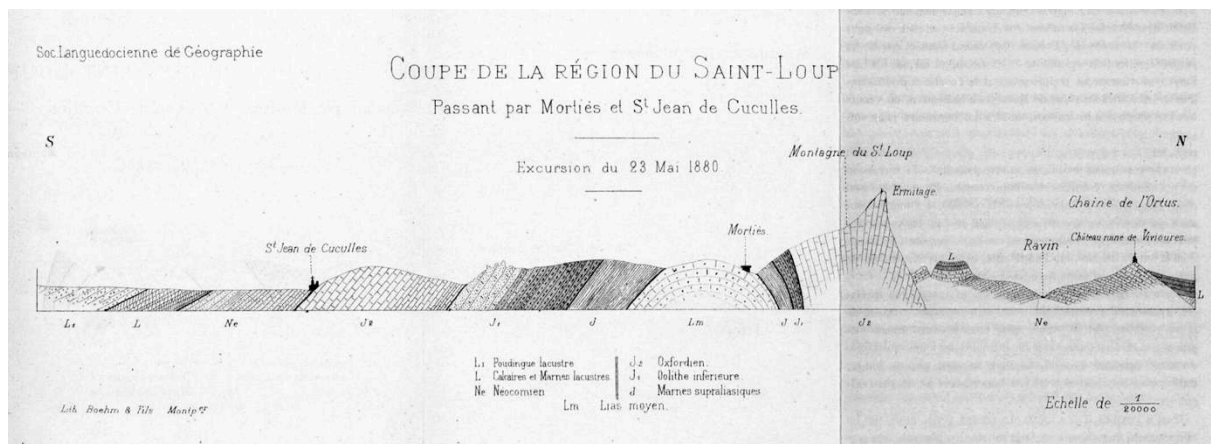
Dans ses carnets de voyages publiés en 1827, le dessinateur Jean Marie Amelin propose une carte géologique de l'Hérault [Amelin, 1827]. Ce document représente certainement la première carte géologique publiée du département. On remarque les contours assez fantaisistes comme l'énorme coulée volcanique unique qui s'étend depuis l'Escandorgue jusqu'au Cap d'Agde ! Même s'il a arpenté la région dans toutes ses dimensions pendant le premier quart du XIXe siècle, il est peu probable que ce voyageur romantique ait réalisé cette synthèse sur la seule base de ses observations personnelles. Il est en effet plus célèbre pour ses nombreux croquis et aquarelles, ou bien pour ses inventaires assez fastidieux des villages traversés, que pour la précision de ses observations géologiques. Il est plutôt vraisemblable que son compte-rendu de voyage s'est enrichi des informations géologiques de Marcel de Serres. En effet, un article de 20 pages sur la géologie du département, signé de Serres est inséré dans le volume. Le dernier paragraphe rédigé par le professeur nous apprend que "La carte que M. Amelin a tracé, sur laquelle nos diverses formations sont indiquées par des nuances différentes..." représente ainsi le fruit d'une collaboration entre un géologue, quelque peu dédaigneux du dessinateur et d'un artiste naturaliste, incroyablement audacieux et novateur. La cartographie régionale doit beaucoup aux travaux de Paul de Rouville. Il a poursuivi la cartographie entreprise dans le cadre de sa thèse dans la région de Montpellier, et étendu son travail à tout le département. On imagine aisément que la publication progressive des cartes topographiques au 1/80000° (« carte d'état-major ») à partir des années 1850-1860 a permis ce développement. A la demande du Conseil Général, il s'attaque à la cartographie géologique de chacun des 4 arrondissements du département de l'Hérault [Paul De Rouville, 1876]. Le tracé et le découpage stratigraphique sont grandement améliorés depuis la première carte de sa thèse, mais aucune faille n'est encore figurée. Il réalise à la suite une synthèse au 1/560 000° lui permettant de simplifier et de représenter l'ensemble du département dans un format adapté à la publication : « Esquisse d'une carte géologique de l'Hérault, ». Vers la fin de sa carrière, le Conseil Général de l'Hérault lui commande une synthèse sur la géologie du département. Paul de Rouville synthétise alors l'essentiel de ses recherches pour publier en 1894 "L' Hérault géologique" accompagné d'une carte hors texte au 1/500 000e [de Rouville, 1894a]. Les contours sont devenus extrêmement précis, mais on est encore très étonné par l'absence de failles ! Pourtant, les coupes données en annexe montrent bien quelques rares failles, notamment celle limitant au nord le Pic St Loup, mais elles sont représentées exactement verticales.

Enfin, la cartographie géologique de la région de Montpellier atteint un haut niveau de perfection dans la 2ème moitié du XXe siècle, avec les cartes au 1/50000e du BRGM: la feuille de Montpellier est une des rares en France à avoir connu 2 éditions successives en 1961 [Denizot et al., 1961], puis 1971 [Andrieux et al., 1971] rapidement épuisée et réimprimée en 2010. Le paysage du Pic St Loup s'inscrit dans la feuille de St Martin de Londres publiée en 1978 [Philip et al., 1978]. Pour compléter l'image de l'évolution cartographique et de sa représentation, on donne dans la Figure 8B la carte géologique du département, issue de la carte géologique de France au 1/1000000e, du BRGM [Chantraine et al., 1996].

## Approcher les structures du sous-sol

La cartographie s'attache à inventorier et représenter la distribution des différentes roches présentes à la surface. Cette image en deux dimensions peut être complétée par l'extrapolation en profondeur, mais aussi en l'air, des structures observées. Ainsi, les géologues ont reconnu depuis longtemps que le Pic Saint Loup constitue le flanc nord, quasi vertical, d'un anticlinal dont le cœur, érodé, laisse apparaître les couches plus anciennes dans la combe de Mortiers. Néanmoins, ces coupes anciennes n'effleurent que la surface. L'extrapolation des strates en profondeur s'arrête de manière arbitraire sur un trait horizontal, ou bien s'estompe de manière prudente, lorsque l'incertitude est trop grande. Ceci est bien illustré dans la coupe de [Pouchet, 1880], publiée dans un compte rendu d'excursion guidée par de

Rouville. On imagine aisément que ce dernier est le véritable auteur de la coupe. Outre l'absence de faille, notons qu'une des zones les plus problématiques - la bordure nord du pic - est laissée en blanc à moins de 50 m de profondeur.



**Fig. 9 :** Coupe géologique de la zone du Pic Saint Loup [Pouchet, 1880] montrant une timide tentative d'interprétation de la structure profonde du Pic Saint Loup : l'extrapolation se limite aux parties les plus superficielles et on remarque quelques incobérences structurales (notamment au nord du Pic).

La construction de coupes géologique s'étendant en profondeur, permet de prévoir la géométrie des structures souterraines, d'expliquer les discontinuités observées en surface, et de comprendre l'origine des déformations dans le cadre de l'histoire tectonique de la région.

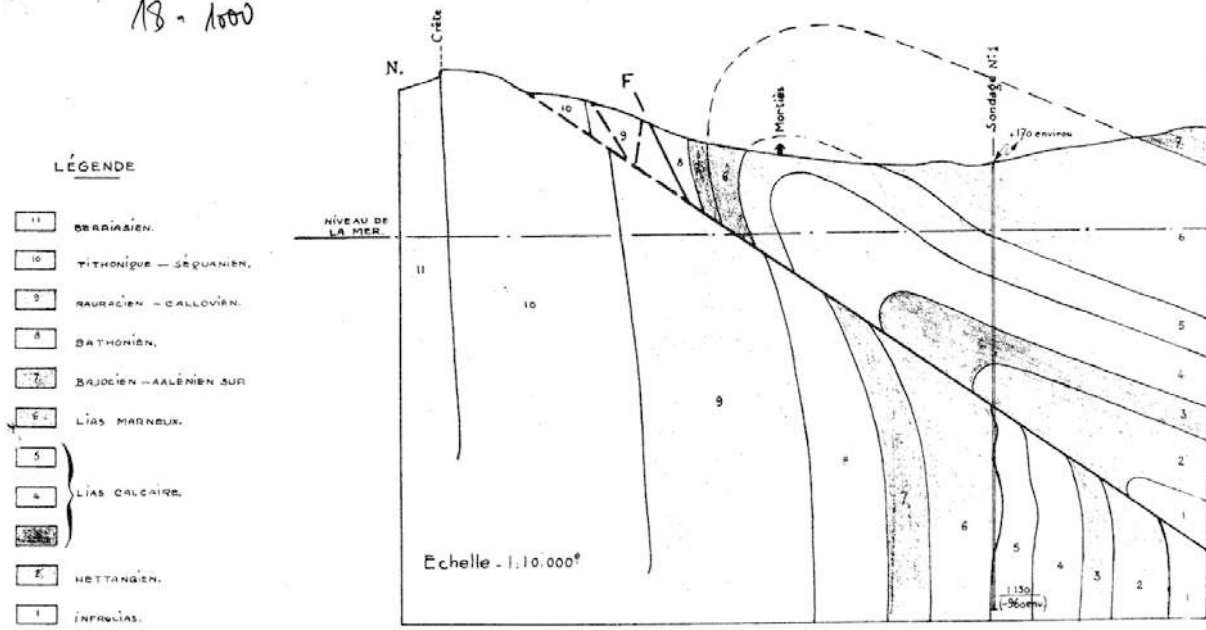
Une telle conception n'était pas réellement perçue par Marcel de Serres. Ce dernier annonçait justement que l'Hortus et le Pic St Loup ne constituent pas une même montagne qui aurait été séparée en deux par un cataclysme. Mais il n'a pas démontré cela en dessinant une coupe schématique figurant les strates plus jeunes de l'Hortus, s'enveloppant dans un même mouvement autour de l'anticlinal du Pic St Loup, comme on le ferait aujourd'hui. Il prétend, de plus, que le soulèvement du Pic St Loup a précédé celui de l'Hortus : « Ainsi, ces deux montagnes diffèrent essentiellement par l'époque de leur surgissement ».

De même, Paul de Rouville, qui n'a pas intégré la tectonique dans ses interprétations dépourvues de failles, ne peut concevoir l'existence de couches inversées dans le Pic Saint Loup et persiste à dessiner un synclinal pour expliquer les couches à très fort pendage sud au sommet. Quant à l'origine de la déformation, il confie dans l'*Histoire de Montpellier* ([de Rouville, 1897] éditée par Fabre en 1897) : « Notre Saint Loup... n'est qu'un feston découpé par les eaux dans un bourrelet calcaire » relié à la contraction de l'écorce terrestre suite à son refroidissement. Dans le domaine de la tectonique, l'intuition de son maître et prédécesseur de Serres [Serres and Vézian, 1853], en affirmant que « le soulèvement des Alpes principales a fait senti son influence sur le mont St Loup » était bien plus moderne!

La véritable percée dans la compréhension de la structure sous-jacente au paysage du Pic Saint Loup fut réalisée en mai 1939, lors du forage pétrolier dans la combe de Mortiers, effectué sous la direction du Centre de Recherche de Pétrole du Midi. Le forage met en évidence des répétitions stratigraphiques séparées par des zones de roches broyées, l'ensemble étant interprété comme des failles inverses, au cœur de l'anticlinal [Marres, 1941]. L'absence ou la très faible épaisseur de Jurassique moyen sur le côté septentrional de la combe de Mortiers, repérée mais inexplicée depuis de Rouville, trouve enfin une explication rationnelle. Si le forage amène de bons résultats scientifiques, les objectifs pétroliers ne sont pas à la hauteur, puisque le puits est sec.

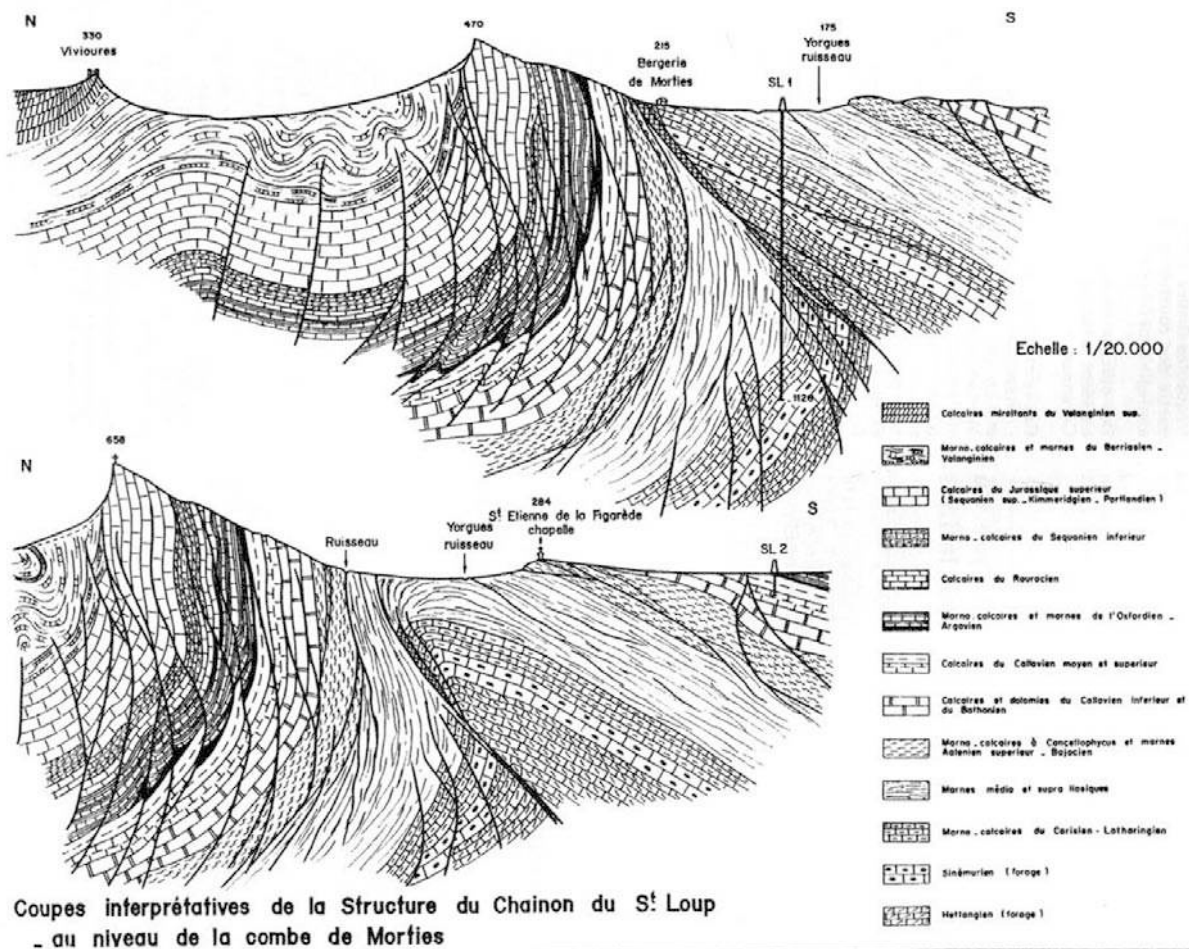
# Coupe Géologique du sondage St Loup n°1 (Mortiers).

18 - 1000



**Fig. 10 :** Compte-rendu des résultats du forage Pic Saint Loup effectué par le Centre de recherche de Pétrole du Midi en 1938 et 1939. Le forage (sondage n°1) implanté dans le cœur de l'anticlinal montre une répétition de terrain dû à une faille inverse à 620m de profondeur.

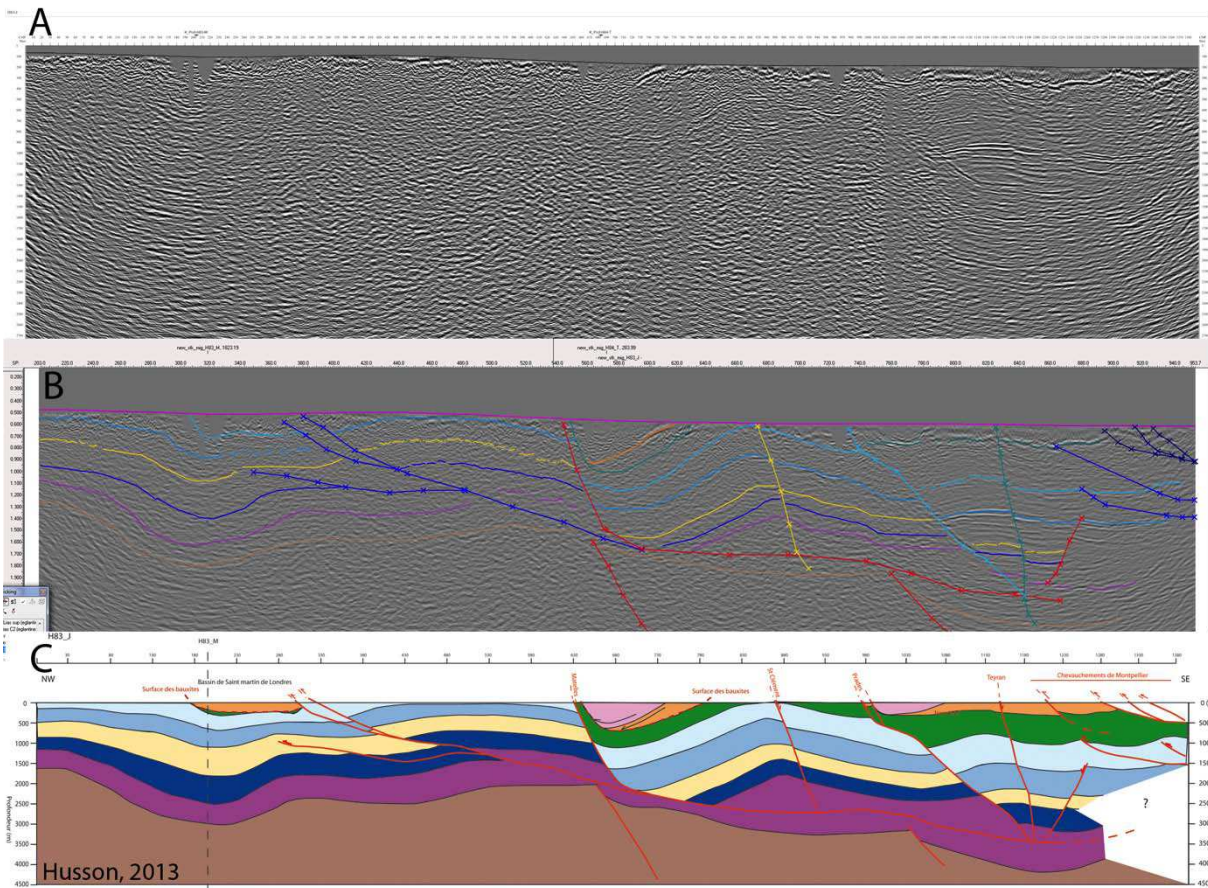
L'évolution des modèles tectoniques et la prise en compte de l'existence de failles dans la structure amène alors les géologues à proposer des coupes géologiques du Pic Saint Loup de plus en plus complexes, parfaitement illustrées par celle de [Mattei, 1986] (Fig. 11). Les positions du forage et des chevauchements rencontrés y sont indiquées, apportant une précieuse contrainte sur la construction des deux coupes parallèles.



Coupes interprétatives de la Structure du Chainon du St Loup  
- au niveau de la combe de Mortiers

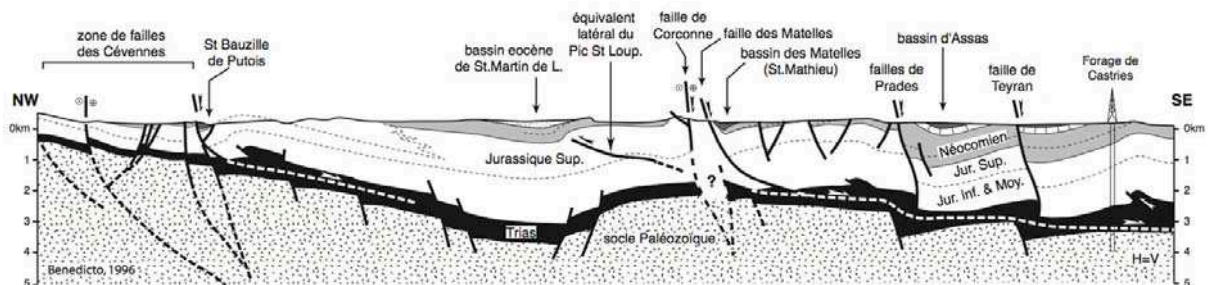
*Fig. 11 : Coupe du Pic Saint Loup et de la combe de Mortiers intégrant les données du forage et la présence de failles inverses [Mattei, 1986]. Ici, le grand degré de précision de la stratigraphie, aboutit à une coupe très détaillée, mais nombre de failles représentées ne sont pas contrôlées par l'observation.*

L'autre révolution méthodologique au profit de la connaissance du sous-sol des garrigues héraultaises est sans aucun doute apportée par les profils de sismique réflexion réalisés au début des années 1980, à l'occasion d'explorations pétrolières. Cette méthode d'imagerie géophysique s'apparente à une échographie du sous-sol (**Fig 12 a**), le long de profils maillant le territoire, sur plusieurs dizaines de kilomètres de long et apportant des informations sur quelques kilomètres de profondeur. Certes, l'image n'est exploitable qu'après de longs et difficiles traitements, elle est de qualité très inégale (particulièrement mauvaise au droit du Pic Saint Loup...), elle est sujette à des interprétations différentes (**Fig 12 b**). Cependant, certaines questions sont définitivement tranchées. Premièrement, les paysages des garrigues au nord de Montpellier résultent de failles et de plis affectant le calcaire Jurassique supérieur résistant à l'érosion, telles que le Pic Saint Loup, la ligne de relief courant des Matelles à Quissac ; et ces structures correspondent à une déformation de la seule couverture sédimentaire (de 1 à 3 km d'épaisseur) désolidarisée du socle ancien, resté indéformé. Deuxièmement, les failles mises en évidence par cette imagerie, ont des pendages modérés de l'ordre d'une trentaine de degrés (**Fig 12 c**). Troisièmement, il existe des structures dans le sous-sol qui passent totalement inaperçues en surface car elles n'ont aucune expression dans le paysage. C'est le cas par exemple, pour des bassins sédimentaires anciens (certainement d'âge Permien) visibles à l'aplomb du plateau de Pompignan, ou plus à l'est sous Castries.



**Fig. 12 :** *A- Exemple de données de sismique réflexion acquise dans le NE de l'Hérault en 1983, 84 et 85 lors d'exploration pétrolière. Le profil passe à l'ouest du Pic Saint Loup. Cette sorte d'échographie est obtenue en émettant artificiellement une onde sismique depuis la surface dont on enregistre (avec des capteurs disposés sur une ligne en surface) les signaux réfléchis sur les couches géologiques du sous-sol. Le signal subit des traitements numériques complexes pour obtenir ce type d'image. Ces données ont été retraitées en 2005 par le BRGM. L'interprétation de cette image géophysique est difficile ! B- En croisant avec tous les types de données disponibles (forages, cartes de surfaces, types de roches, stratigraphie régionale...), les géologues peuvent proposer une interprétation des structures. Les traits de couleur représentent des interfaces entre couches ou des failles. C- Transformation du profil de sismique réflexion interprété en coupe géologique [Husson, 2013].*

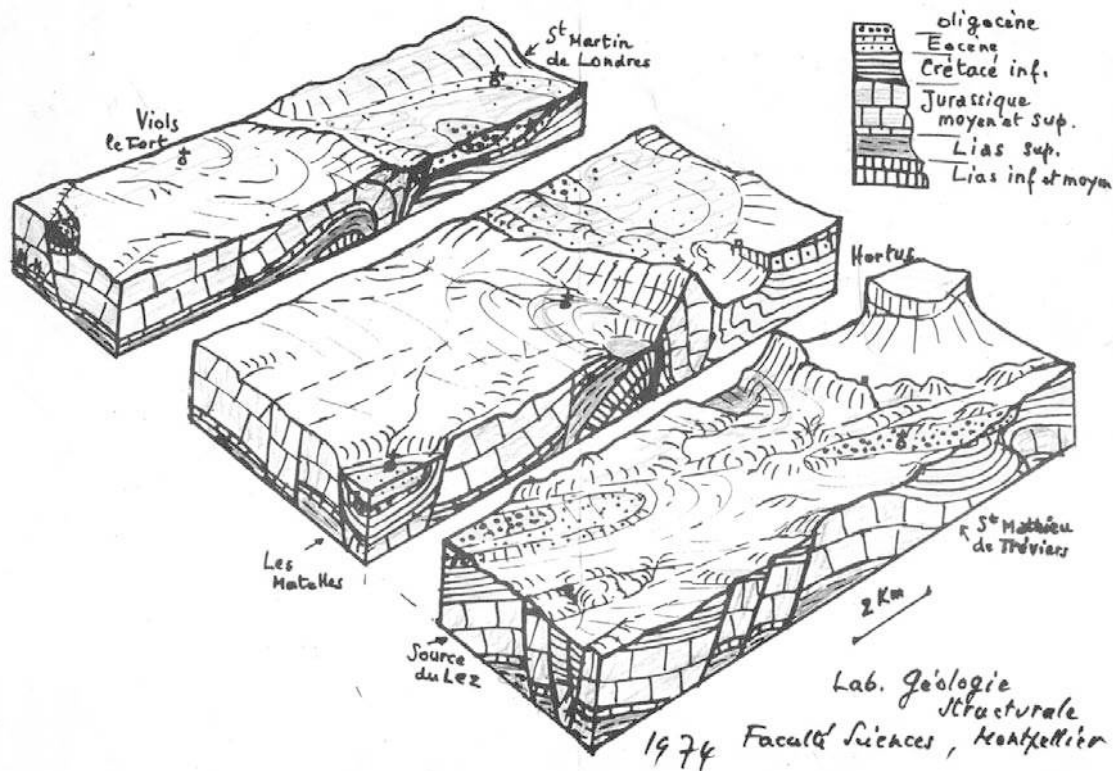
Cette information acquise lors d'explorations pétrolières dans les années 80 a permis aux universitaires montpellierains de construire des coupes géologiques dans les années 90 (**Fig. 13**), même si la structure profonde sous le Pic St Loup reste encore en discussion, à cause de la piètre qualité de l'imagerie dans cette zone.



**Fig. 13 :** *Coupe géologique régionale construite en intégrant les données de sismique réflexion [Benedicto, 1996] : ces données montrent notamment que l'ensemble des structures tectoniques de la région (chevauchement et plis du Pic Saint Loup, failles normales des Matelles, de Prades...) n'affectent que les séries sédimentaires, désolidarisées du socle ancien par les couches plastiques argileuses du Trias (en noir).*

## Du paysage au modèle 3D

Cartes et coupes géologiques constituent des images en deux dimensions de la surface et en tranche verticale, respectivement. La combinaison de ces deux types d'information pour une même zone permet d'imaginer d'un volume de terrain. Le paysage en surface se complète par la visualisation des structures extrapolées en profondeur. Les bloc-diagrammes, dont Maurice Mattauer se fait le chantre auprès de ses élèves, à partir des années 70, permettent une représentation conceptuelle des relations géométriques entre les différents éléments de la structure géologique d'une région. Cet exercice mental, allié à l'agilité du tracé, s'avère extrêmement puissant pour appréhender – et exposer – un ensemble géologique. Dans la figure, le diagramme montre le paysage du Pic St Loup, en vue aérienne et en perspective ; la région a été découpée en un grand parallélépipède ; ce dernier est partagé en trois segments, écartés les uns des autres afin de laisser entrevoir des coupes (elles-mêmes en perspective !) judicieusement choisies pour leur représentativité.



**Fig. 14 :** Bloc-diagramme de la région du Pic Saint Loup dessiné par Maurice Mattauer (1974). Très utilisé par l'école montpelliéraine à partir des années 70, ce mode de représentation conceptuelle permet de visualiser les relations structurales en 3 dimensions d'un paysage (la surface) avec la géologie (le sous-sol).

La morphologie du paysage se conçoit du premier coup d'œil : les calcaires du Jurassique supérieur arment le flanc nord vertical de l'escarpement du pic, alors que le flanc sud, peu ou pas incliné, forme les causses tabulaires de Viols-le-Fort et de Cazevieille. La crête de l'Hortus correspond à la bordure d'affleurement des calcaires du Crétacé inférieur, alors que les marnes ont été érodées dans la combe du Mas Rigaud.

La chronologie relative s'exprime par les failles normales des Matelles et de Prades (« source du Lez ») recoupant les plis plus anciens du Pic Saint Loup, et celui, plus à l'est au niveau de St Mathieu de Tréviars. L'origine du bassin de Saint Martin de Londres apparaît clairement liée au fonctionnement du chevauchement du Pic.

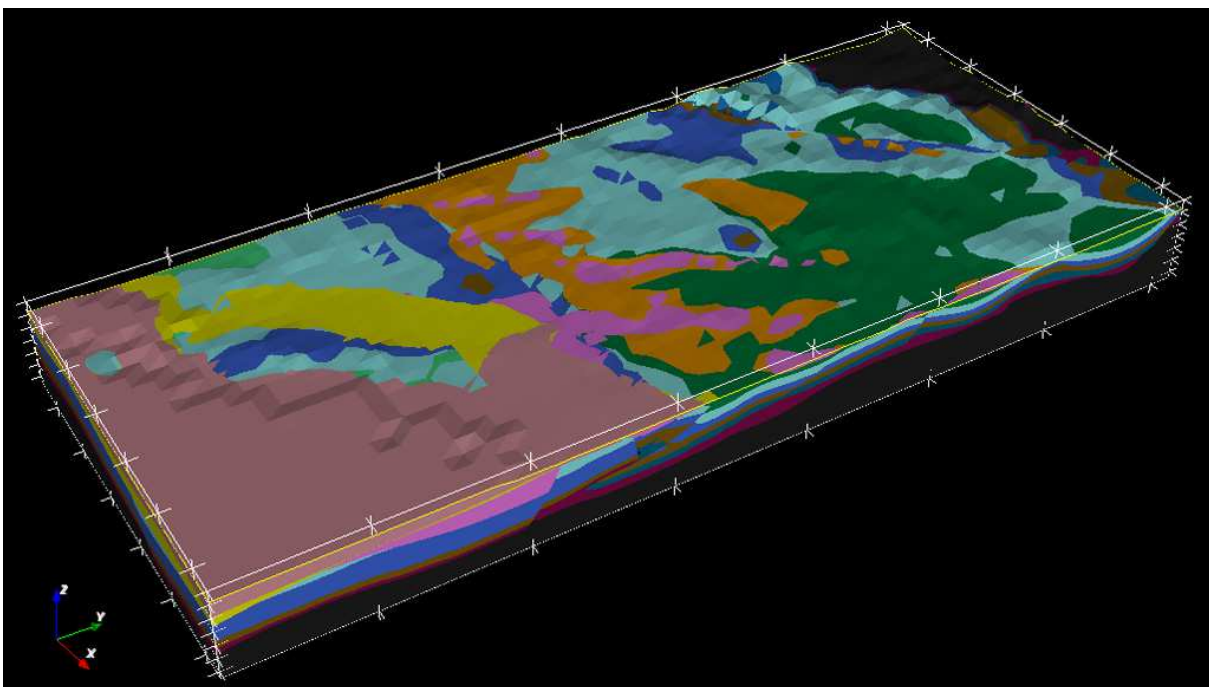


Le trait gras ou fin, continu ou saccadé, les ombrages suggérés et la trace des bancs évoquée en surface par quelques très fines lignes concourent à la « magie » de l'animation de ce diagramme. Quelle amélioration par rapport aux coupes figées et superficielles (à tous les sens du terme) de de Rouville !

L'effet pédagogique du diagramme est certain ! Mais est-il une représentation correcte de la réalité ? Permettrait-il de localiser précisément le sommet de l'anticlinal au niveau du Lias calcaire sous le causse de Viols-Le-Fort ? Les diagrammes de Maurice Mattauer étaient critiqués pour leur simplification ; il répondait par une pirouette : « *en gros, c'est comme ça ; dans le détail c'est plus compliqué* ».

La précision des modèles tridimensionnels s'améliore par l'acquisition et la multiplication de données du sous-sol. Pour le diagramme présenté, les quelques forages pétroliers (antérieurs au dessin) sont déjà pris en compte pour fixer les épaisseurs et leurs variations dans l'espace. Par contre, les profils de sismique réflexion furent acquis 10 ans après et disponibles pour les scientifiques 20 ans plus tard.

Aujourd'hui, le défi est de renseigner le volume de terrains dans les trois dimensions depuis la surface (le paysage), vers la profondeur. L'objectif est de disposer d'un modèle géologique permettant de prédire la géométrie des structures géologiques (couches, failles, plis) avec la plus grande précision possible. Les zones non-renseignées doivent être interpolées entre les données, par des méthodes numériques. La figure 15 représente un modèle géologique de la zone située entre Sète et Ganges, et englobe le Pic Saint Loup, réalisé à Géosciences Montpellier en collaboration avec le BRGM (doctorat de Eglantine Husson, 2013). Il s'agit seulement d'une image générée à partir d'un modèle numérique, à l'intérieur duquel il est possible de se déplacer dans les 3 directions de l'espace, de générer des coupes de n'importe quelle orientation, de le faire pivoter afin de l'observer sous n'importe quel angle, ou bien encore de ne représenter que le réseau de failles. Une image statique ne fait pas justice à la puissance d'investigation d'un géomodèle visionné de manière dynamique sur l'écran d'une station de travail !



**Fig. 15** : Image d'un « géomodèle » de la région entre Sète (à gauche) et Ganges (à droite). Le modèle numérique est élaboré en intégrant toutes les données disponibles et en interpolant dans les zones moins documentées. L'utilisateur dispose d'un volume complètement informé, qu'il peut étudier sous toutes ses coutures : il peut réaliser toutes sortes de coupes et visualiser les structures sous n'importe quel angle [Husson, 2013]. Outil développé par le BRGM.

Evidemment, la confiance que l'on apporte à ce modèle géologique 3D est inversement proportionnelle à la profondeur : la surface est connue à 100%, mais le pourcentage de connaissance du sous-sol diminue exponentiellement avec la profondeur. Au delà d'un millier de mètres, il n'y a que très peu de points qui sont contrôlés par des données géologiques solides. Comment alors s'assurer de la validité de

tels modèles ? L'amélioration apportée par le géomodèle par rapport au bloc-diagramme résulte de la puissance de calcul qui vérifie quasi-instantanément la cohérence entre les informations utilisées pour construire le modèle. En effet, la conception mentale du volume représentée dans un bloc-diagramme juxtapose des éléments structuraux visualisés sur des coupes sériées ; mais que se passe-t-il entre les coupes ? la forme de telle faille représentée sur une coupe NS est-elle parfaitement en accord avec la représentation de cette même faille interceptée par une coupe EW ? comment concevoir en profondeur la jonction entre la faille inverse du Pic Saint Loup et la faille des Matelles ? Pour répondre à ces questions, le géomodèle établit rapidement une réponse géométriquement logique et géologiquement acceptable, dans la totalité du volume. En conclusion, on n'est pas certain que le géomodèle corresponde exactement à la réalité, mais il constitue une solution en cohérence avec l'ensemble des informations géologiques fournies.

## Conclusion

Depuis les précurseurs, attirés tant par la beauté que par la possibilité d'observer la disposition des strates, la lecture géologique du paysage constitue le *mantra* des géologues montpelliérains. L'évolution de la perception du paysage du Pic Saint Loup sur plus de deux cent ans, illustre parfaitement l'avancée de la science géologique. L'observation permet d'appréhender les superpositions de strates pour déterminer la chronologie relative des événements. Embrasser un paysage depuis un point élevé met en évidence la distribution spatiale et les relations des différents terrains, retranscrits dans les cartes géologiques, en constante évolution. Les structures décelables en surface sont extrapolées en profondeur, d'abord de manière incertaine, puis, en réduisant progressivement l'incertitude grâce aux forages et aux méthodes d'investigation géophysique. La connaissance et la représentation du sous-sol apparaissent à la fois comme le moyen de comprendre le paysage et comme enjeu des géologues d'aujourd'hui. En effet, connaître le sous-sol est essentiel pour apporter des réponses aux questions sociétales telles que l'accès aux ressources naturelles, l'approvisionnement en eau, la stabilité du sol et des constructions, l'appréhension des aléas naturels, la gestion des risques de pollution, le stockage temporaire d'énergie ou la mise à l'écart de produits indésirables. Après deux cent ans de géologie, il reste encore de nombreux défis pour les jeunes géoscientifiques !

## Remerciements :

Je remercie chaleureusement Pierre-Jean Combes pour ses encouragements, ses enrichissantes discussions et la relecture du manuscrit. Les figures 12 et 15 ont été gracieusement réalisées et mises à disposition par Eglantine Husson, que je remercie pour son investissement et sa bonne humeur.

## Bibliographie

- Amelin, J.-M. (1827), *Guide du voyageur dans le département de l'Hérault*, 586 p., Gabon & Compagnie, Paris.
- Andrieux, J., Mattauer, M., Tomasi, P., Martinez, C., Reille, J.L., Matte, P.; Bousquet, J.C., Raouf, K.A., Bel, F., Verrier, J., Bonnet, M. & Sauvel, M. (1971), Carte Géologique de la France au 1/50 000. Feuille de Montpellier BRGM, Orléans.
- Benedicto, A. (1996), Modèles tectono-sédimentaires de bassins en extension et style structural de la marge passive du Golfe du Lion (SE France), Doctorat, 242 p., Univ. Montpellier 2.
- Chantraine, J., Autran, A., Cavelier, C., Alabouvette, B., Barfety, J. C., Cecca, F., Clozier, L., Debrand-Passard, S., Dubreuilh, J., Feybesse, J.L., Guennoc, P., Ledru, P., Rossi, Ph. & Ternet, Y. (1996), Carte Géologique de la France à l'échelle du millionième - 6eme édition, BRGM, Orléans.
- De Rouville, P. (1853a), *Description géologique des environs de Montpellier*, 222 p., Boehm Montpellier.

- De Rouville, P. (1853b), Carte Géologique des environs de Montpellier, Montpellier.
- De Rouville, P. (1862), *La Géologie - sa place parmi les sciences - son objet: Discours prononcé à la Faculté des Sciences de Montpellier*, 37 p., Typographie de Boehm & Fils, Montpellier.
- De Rouville, P. (1876), Carte Géologique et Minéralogique du Département de l'Hérault en 4 feuilles 4 *Arrondissements de Montpellier, Lodève, Béziers, Saint Pons*, imprimerie Lemercier, Paris.
- De Rouville, P. (1876), *Introduction à la description géologique du Département de l'Hérault*, 2eme Edition ed., 222 p + 213 planches hors-texte, de Boehm & Fils, Montpellier.
- De Rouville, P. (1894a), *L'Hérault Géologique - Première Partie : Formation du Territoire*, 148 pp., Imprimerie Ricard, Montpellier.
- De Rouville, P. (1894b), *L'Hérault Géologique - Deuxième Partie: Atlas d'Anatomie Stratigraphique du territoire de l'Hérault*, Montpellier.
- De Rouville, P. (1897), Géologie, in *Histoire de Montpellier depuis son origine jusqu'à la fin de la révolution*, édité par A. Fabre, pp. 17-24, Montpellier.
- Dufrénoy, A., & E. d. Beaumont (1848), *Explication de la Carte Géologique de la France, sous la Direction de M. Brochant de Villiers.*, Imprimerie Nationale, Paris.
- Dumas, E. (1872), *Notice sur la constitution géologique de la région supérieure ou cévennique du département du Gard, par Émilien Dumas, lue à la session extraordinaire de la Société géologique d'Alais, septembre 1846 ; suivie d'un appendice présentant la série des terrains des deux autres régions (moyenne et inférieure), et d'un tableau synoptique de toutes les formations du Gard*, Boehm, Montpellier.
- Gensanne, A. d. (1776), *Histoire naturelle de la Province de Languedoc*, Rigaud, Pons & Cie, Montpellier.
- Husson, E. (2013), 100 millions d'années de karstification en Languedoc , Doctorat, Université Montpellier 2.
- Marres, P. (1941), Les recherches de pétrole dans le Bas-Languedoc, *Annales de Géographie*, 50(282), 150-151.
- Mattei, J. (1986), Le brachyantoclinal du Pic St Loup (Hérault, Bas Languedoc). Stratigraphie détaillée des terrains jurassiques et évolution tectonique pour servir de notice explicative à la carte géologique à 1/25 000 de cette structure, *Géol. France*, 4, 349-376.
- Philip, H., M. Mattauer, Y. Bodeur, M. Séguret, J. P. Puech, & J. Mattei (1978), Carte Géologique de la France au 1/50 000. Feuille de St Martin de Londres, BRGM, Orléans.
- Pouchet, J. (1880), *Excursion au Pic Saint-Loup et aux ruines du Château de Montferrand*, 39 p., Boehm & Fils, Montpellier.
- Roman, F., & M. Gennevaux (1912), *Etude des terrains Jurassiques de la région du Pic Saint-Loup – Premier Fascicule (Lias, Aalénien, Bajocien, Bathonien)*, 120 p, Librairie Louis Vallat, Montpellier .
- Serres, M. de (1829), *Géognosie des Terrains Tertiaires ou Tableau des principaux animaux invertébrés des terrains marins tertiaires du Midi de la France*, 375 p., Pomathio-Durville, Montpellier.
- Serres, M. de, & A. Vézian (1853), Note sur les systèmes de fractures de la contrée qui environne le Pic Saint-Loup, *Académie des Sciences et Lettres de Montpellier, Extrait des Procès-verbaux de la Section Sciences*, 1-8.