

Louis David et Noël Mongereau, *L'Exploration géologique du Fossé rhodanien*, Paris : Presses des MINES, collection Histoire, sciences et sociétés, 2014.

© Presses des MINES - TRANSVALOR, 2014
60, boulevard Saint-Michel - 75272 Paris Cedex 06 - France
presses@mines-paristech.fr
www.pressesdesmines.com

ISBN : 978-2-35671-134-2
Dépôt légal : 2014
Achevé d'imprimer en 2014 (Paris)

Tous droits de reproduction, de traduction, d'adaptation et d'exécution réservés pour tous les pays.

L'Exploration géologique du Fossé rhodanien

Collection Histoire, Sciences et Sociétés

Dans la même collection

Jean Gaudant présente

Claude Babin

L'Exploration géologique du Massif armoricain

Jean Gaudant présente

Jean Philip

L'Exploration géologique de la Provence

Jean Gaudant présente

Jacques Debelmas (dir.)

*L'Exploration géologique des Alpes
franco-italiennes*

Michel Durand-Delga

Marcel Bertrand (1847-1907), génie de la tectonique

Ouvrage coordonné par Jean Gaudant

*L'Essor de la géologie française
Essais*

Jean Gaudant présente

Johann Jakob Scheuchzer

Les Fossiles témoins du déluge

Ouvrage coordonné par Jean Gaudant

*Géologues et Paléontologues
De la passion à la profession*

Michel Toyer

Quand les poètes chantent la science

Madeleine Durand-Charre

Les Aciers damassés

Ouvrage coordonné par Jean Gaudant

Dolomieu et la géologie de son temps

René Lesclous

*Histoire des sites producteurs d'aluminium
Les choix stratégiques de Péchiney (1892-1992)*

Emmanuel Grison

*L'Étonnant parcours du républicain Jean-Henry Hassenfratz
Du Faubourg Montmartre au corps des Mines*

L'Exploration géologique du Fossé rhodanien

Louis David et Noël Mongereau



Avant-propos

Le projet éditorial intitulé *Histoire de la Découverte géologique de la France* a pour objectif de retracer, dans chaque région de notre pays, les étapes qui ont permis l'acquisition des connaissances actuelles, au terme de deux siècles et demi de recherches. Or, comme chacun le sait, le développement du progrès technique, dont le rythme ne cesse de s'accélérer depuis le début du xx^e siècle, a eu pour effet de produire une succession de bouleversements entraînés par l'apparition de méthodes d'étude de plus en plus sophistiquées, ce qui eut pour conséquence de rendre de plus en plus rapidement obsolètes les travaux de nos prédécesseurs.

En outre, une véritable révolution de la politique scientifique se produisit lorsque les hautes autorités responsables de la recherche s'engagèrent dans une politique de mondialisation qui entraîna un rapide déclin de la langue française comme vecteur scientifique et, par voie de conséquence, la disparition de la plupart des périodiques géologiques provinciaux qui avaient jusqu'alors servi de support à la publication d'études détaillées à vocation régionale. Cette politique ouvrit de vastes perspectives à quelques éditeurs scientifiques internationaux qui en profitèrent pour créer de nouveaux périodiques spécialisés de langue anglaise qui, en mettant l'accent sur l'innovation et l'internationalisation, se firent décerner des labels d'excellence qui leur permirent de s'emparer des créneaux porteurs que constituent les disciplines nouvelles, lesquelles, en raison de leur nouveauté, firent table rase du passé, accentuant encore l'oubli dans lequel étaient tombés la plupart des acteurs de la géologie française.

Pour en venir au Fossé rhodanien, au xviii^e siècle, le naturaliste le plus connu fut incontestablement **Faujas de Saint-Fond**, natif de Montélimar, qui allait devenir en 1793 le premier titulaire de la chaire de géologie du Muséum national d'Histoire naturelle. Il consacra ses premiers travaux à des fossiles de cette région, avant de décrire les volcans éteints du Velay et du Vivarais.

À la même époque, le Stéphanois **Jean-Louis Alléon-Dulac** entreprit de décrire l'histoire naturelle du Lyonnais, du Forez et du Beaujolais.

Plus d'un demi-siècle plus tard, après avoir étudié la géologie du département de l'Aube, **Alexandre Leymerie**, futur titulaire de la chaire de géologie de la faculté des sciences de Toulouse, dirigea durant quelques années l'École La Martinière de Lyon, ce qui lui offrit l'opportunité d'étudier dans les années 1830 le sous-sol de la région lyonnaise.

Peu après, à une époque où les savants parisiens occupaient, par le truchement du Corps des mines, de la Sorbonne et du Muséum national d'Histoire naturelle, une position hégémonique dans la science officielle, commença à se constituer à Lyon le second pôle français de recherche géologique, en partie grâce à un vivier d'amateurs fortunés, dont plusieurs furent attirés vers cette science par l'enseignement universitaire dispensé par **Joseph Fournet**. Celui-ci, après une expérience professionnelle dans les mines, devint le premier professeur de géologie et minéralogie de la faculté des sciences de Lyon. Il est connu pour avoir, le premier, introduit le concept de « *magma* »

en géologie. Dans le Fossé rhodanien, il s'est principalement intéressé aux formations susceptibles de renfermer des ressources minérales.

Dans son sillage, **Eugène Dumortier** entreprit à la cinquantaine l'étude paléontologique des dépôts jurassiques du bassin du Rhône, que la mort ne lui permit pas d'achever.

Le géologue suisse **Théophile Ébray**, ingénieur civil des mines diplômé de l'École centrale, vint se fixer en 1857 ou 1858 aux environs de Tarare (Rhône) et entreprit des recherches sur le Mésozoïque du Mont-d'Or lyonnais et sur le Jurassique de l'Ardèche.

Albert Falsan était à l'origine un amateur fortuné qui avait, comme Dumortier, suivi l'enseignement de Joseph Fournet. Il s'associa avec Arnould Locard pour préparer une *Monographie géologique du Mont-d'Or lyonnais et de ses dépendances*, puis prépara avec Ernest Chantre une *Monographie des anciens glaciers et du terrain erratique de la partie moyenne du bassin du Rhône*, ce qui lui valut d'acquérir une certaine notoriété.

Francisque Fontannes se consacra au commerce jusqu'à la trentaine, avant de se lancer à corps perdu dans des *Études stratigraphiques [...] sur le Tertiaire de la vallée du Rhône*, qui firent longtemps autorité pour ce qui concerne le Néogène rhodanien. Son décès prématuré ne lui permit cependant pas de terminer son œuvre.

Bien que principalement anthropologue et archéologue, **Ernest Chantre**, après avoir participé à l'étude régionale des anciens glaciers, collabora avec Louis Lortet, avec qui il publia des *Études paléontologiques dans le bassin du Rhône*, principalement consacrées à la faune quaternaire.

Arnould Locard, ingénieur diplômé de l'École centrale des arts et manufactures, souffrant d'une santé déficiente, dut interrompre sa carrière professionnelle avant la quarantaine. Il revint alors vivre à Lyon et étudia la malacofaune actuelle de France. Il s'intéressa aussi aux fossiles et publia une *Description de la faune de la molasse marine et d'eau douce du Lyonnais et du Dauphiné*.

Louis Lortet, qui fut le directeur du Muséum d'Histoire naturelle de Lyon et professeur de zoologie à la faculté des sciences, est principalement connu pour ses travaux sur la faune momifiée de l'Égypte ancienne. Il étudia néanmoins *Les reptiles fossiles du bassin du Rhône* et, en collaboration avec Ernest Chantre, la faune du Quaternaire de ce même bassin.

Ce fut cependant **Charles Depéret** qui, pendant une quarantaine d'années, fut le géologue et paléontologue emblématique de l'université lyonnaise. Il fit en effet partie de la première promotion de savants provinciaux à être élus en 1913 membres non résidents de l'Académie des sciences. Après sa nomination à Lyon, ses recherches ont principalement porté sur la géologie et la paléontologie du Cénozoïque du Fossé rhodanien, avec une prédilection pour l'étude des mammifères et leur intérêt biostratigraphique. Vers la fin de sa vie, il prépara aussi avec Frédéric Roman une *Monographie des Pectinidés néogènes*.

Frédéric Roman fut le fidèle disciple de Charles Depéret à qui il succéda dans la chaire de géologie de la faculté des sciences. Il est connu pour des travaux sur les mammifères fossiles de Mormoiron et de L'Isle-sur-la-Sorgue et par des recherches

paléontologiques sur le Jurassique de La Voulte-sur-Rhône (Ardèche). Son ouvrage sur la *Géologie lyonnaise* contribua également à sa renommée.

Le Fossé rhodanien ne fut cependant pas une chasse gardée exclusive des chercheurs lyonnais. En effet, **Georges Denizot**, qui occupait la chaire de géologie de Montpellier, consacra de nombreux travaux au Quaternaire du Fossé rhodanien et **Franck Bourdier**, alors conservateur du musée d'Annecy, en fit son sujet de thèse.

En résumé, avant même la constitution d'équipes universitaires suffisamment nombreuses, les chercheurs lyonnais ont joué au XIX^e siècle un rôle essentiel dans l'exploration géologique du Fossé rhodanien, notamment grâce à la participation d'amateurs, dont certains ont su se hisser au niveau des chercheurs professionnels.

Jean GAUDANT

Introduction

Géologiquement, le Fossé rhodanien fait partie d'une longue structure plus ou moins effondrée, rectiligne, qui s'étend depuis les plateaux de Haute-Saône jusqu'à la Méditerranée, et qui correspond aux vallées de la Saône et du Rhône actuels, ainsi qu'aux plaines et plateaux qui leur sont associés.

Cette région est bien une dépression allongée d'origine tectonique qui faisait partie d'un système ouest-européen de direction N-S, zone de distension reliant la Baltique à la Méditerranée: le fossé principal est le Fossé rhénan, véritable graben (terme d'origine allemande signifiant fossé), typique en sa partie alsacienne entre les Vosges et la Forêt-Noire; on le qualifie également de fossé tectonique ou d'effondrement. Il est délimité par un double système de failles normales, séparant des gradins de plus en plus abaissés vers le centre du fossé. Comme la formation d'un tel fossé exige une phase de distension, celle-ci s'accompagne le plus souvent d'émissions volcaniques: c'est bien le cas du Fossé rhénan.

On peut considérer le Fossé rhodanien comme un graben avorté: côté occidental, le Massif central est bien surélevé et affecté par des failles normales de direction méridienne, du moins jusqu'à la latitude de Valence. En revanche, du côté oriental, les chaînes plissées du Jura et des Alpes imposent une transition toute différente, suite à des phases de compression. Le volcanisme est pratiquement absent, du moins à l'intérieur du fossé, et la région méridionale de Lyon à la mer correspond à une partie de la dépression périphérique, ou fosse molassique, créée par la surrection de la chaîne alpine au cours du Cénozoïque.

Jacques Debelmas et Gérard Demarcq (1980) terminent de la façon suivante leur présentation du *Bassin rhodanien*, de Lyon à la Méditerranée: «*Le bassin rhodanien ne possède pas de structure tectonique propre, et ce serait une erreur de le décrire comme un fossé d'effondrement N-S. C'est plutôt une série de petits bassins d'effondrement ou de simple subsidence, nés sur la zone de distension Baltique-Méditerranée au début du Tertiaire*». Les auteurs indiquent que la structure est rendue extrêmement irrégulière par le jeu de fractures SE-NW, prolongeant les accidents hercyniens du Massif central, et par des plis transversaux est-ouest d'origine pyrénéo-provençale accentués par le plissement alpin; ils concluent ainsi: «*Il en résulte une mosaïque de petites régions naturelles, dont la juxtaposition dessine bien une zone d'affaissement péri-alpine, sans jamais être un graben de type rhénan ou une fosse molassique*».

Ces mêmes auteurs avaient, en 1974 (Debelmas, *Géologie de la France*, t. 2), qualifié la même région de *Couloir rhodanien*, mais aussi, alternativement, de *Vallée du Rhône*; pour sa part, dans sa thèse intitulée *Le Bassin du Rhône au Quaternaire* (1961), Franck Bourdier faisait référence au bassin fluvial, de Genève à la Méditerranée.

Le choix d'un mot pour définir la région ici étudiée est relativement délicat, car aucun terme ne peut faire l'unanimité: il sera différent selon le critère qu'on souhaitera privilégier. Ce n'est pas un bassin, tel celui de Paris ou d'Aquitaine (il y aurait en permanence ambiguïté entre le Bassin et les chapelets de bassins régionaux tels la

Bresse ou le bassin de Valence), ni un vrai graben ou fossé tectonique, ni un couloir (trop vague et bien peu géologique), ni une simple vallée (pas plus qu'un bassin fluvial)... Alors notre choix s'est arrêté sur le mot *Fossé*, très fréquemment utilisé, et qui traduit le mieux (ou le moins mal) le caractère rectiligne et étroit de la région, qui fait référence aux failles bordières au moins dans la moitié septentrionale, en intégrant également les subsidences souvent très importantes...

Fossé *rhodanien* car le fleuve et ses affluents l'ont drainé sur toute sa longueur au moins depuis le Miocène supérieur, et bien que la nomenclature hydrologique actuelle impose un haut Rhône post-würmien, déversoir du Léman.

Schéma géographique et géologique du fossé rhodanien

Il convient, avant tout, de bien définir la région étudiée dans son cadre géographique, mais aussi dans un cadre structural plus général qui la définit et conditionne sa propre structure interne (fig. 1 et 2).

I. LA POSITION ET LA DÉFINITION DU FOSSÉ RHODANIEN

Géographiquement, la présente étude s'étend de la Bresse à la Méditerranée, entre le Massif central à l'ouest et les chaînes Jura-Alpes à l'est. Avec un peu plus de détails :

- la limite nord est une ligne ouest-est passant par Vonnas et Bourg-en-Bresse, c'est-à-dire pratiquement la ligne de séparation entre la Bresse proprement dite au nord et la Dombes – ou Bresse méridionale – au sud ;
- la limite occidentale est la bordure du Massif central, à l'exclusion des terrains anciens, mais en prenant en compte les témoins de terrains mésozoïques conservés sur le socle. Mais, à partir du confluent de la Drôme, le Massif central (Cévennes) s'écarte du Fossé en direction du sud-ouest, laissant la place aux terrains mésozoïques du Bas-Vivarais, qui sont liés aux Causses et au Languedoc, seront donc exclus de l'étude. Plus loin encore vers le sud, à partir de Roquemaure, au nord d'Avignon, la faille de Nîmes constitue une limite tranchée commode qui, ensuite, sera prolongée jusqu'à la mer. Les cours d'eau actuels, Saône et Rhône, longent la bordure du Massif central et auraient semblé être une limite géographique simple. Cependant les terrains anciens du Massif central existent sporadiquement en rive gauche de ces fleuves, et même en soubassement de l'Île-Crémieu : ils seront signalés en raison de leur importance structurale ou géomorphologique. Inversement, les terrains cénozoïques qui débordent assez fréquemment sur la rive droite des deux fleuves, seront bien sûr intégrés à l'étude du Fossé.
- la limite orientale est d'abord celle de la chaîne plissée du Jura qui chevauche plus ou moins le Fossé, alors que le Jura tabulaire, également appelé « *L'Île-Crémieu* », fait partie intégrante de celui-ci. Plus au sud, la limite correspond au bord visible des chaînes subalpines. Vers le sud encore, sont exclues la chaîne du Ventoux, celle du Lubéron, ainsi que les Alpilles ; la limite rejoint la mer en incluant la Camargue, la Crau et aussi l'étang de Berre qui seront étudiés comme le prolongement du Fossé et son ouverture sur la Méditerranée.

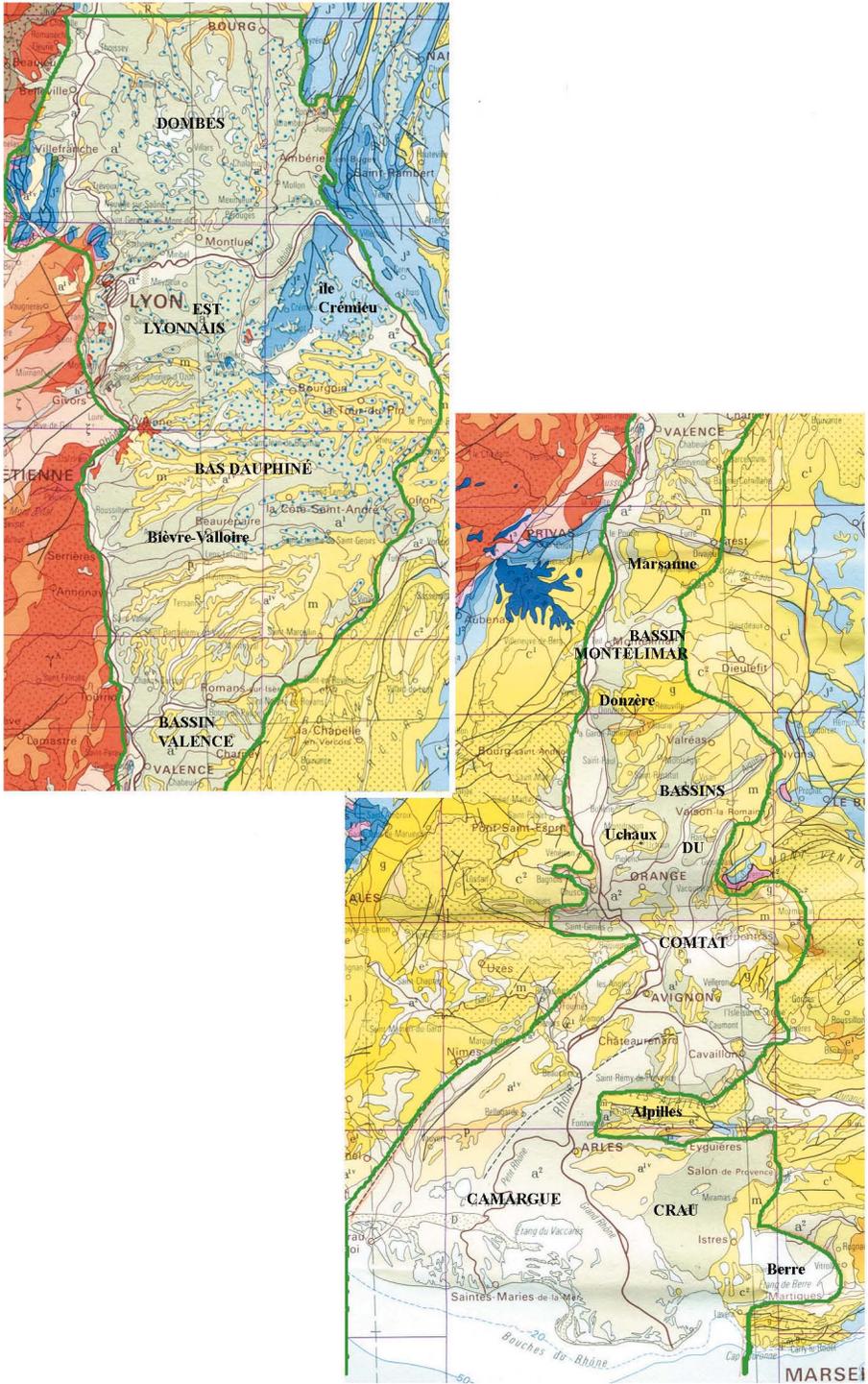


Fig. 1. Délimitation du Fossé rhodanien d'après la carte géologique de la France à 1/1 000 000.

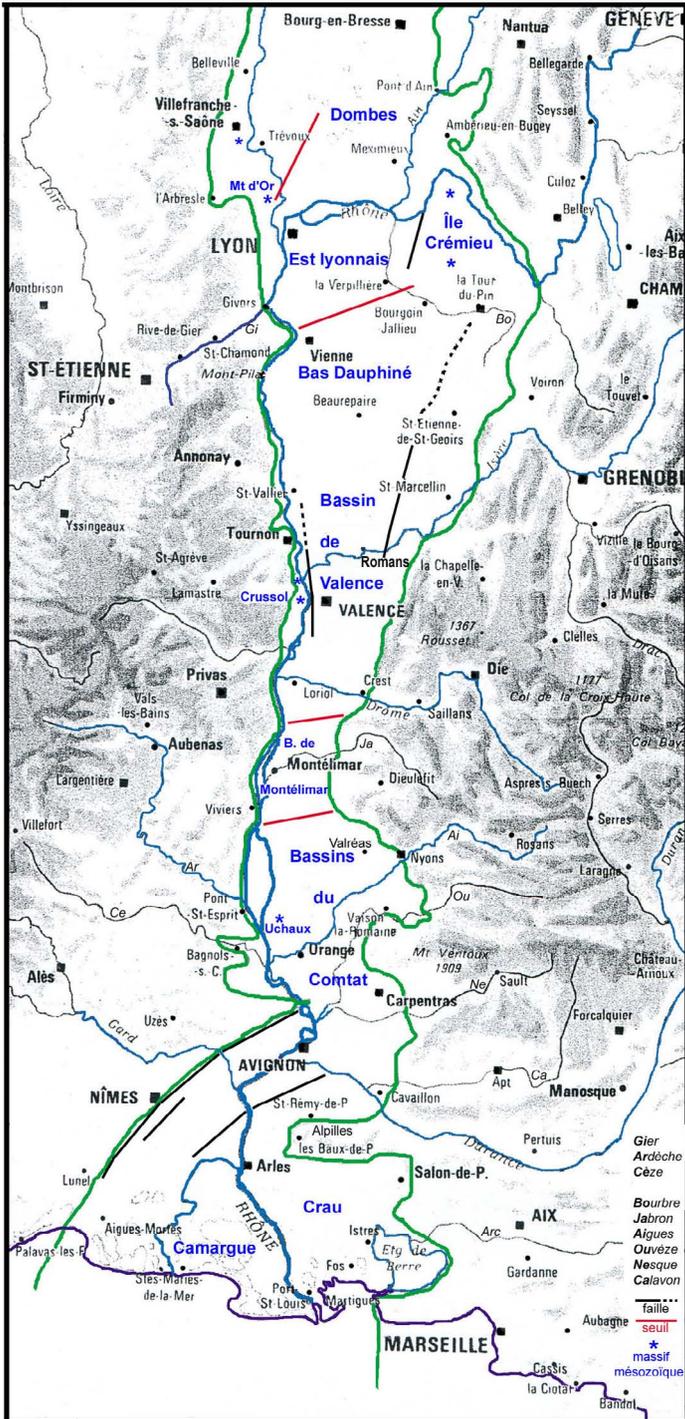


Fig. 2. Subdivisions du Fossé rhodanien : seuils et bassins, témoins mésozoïques et failles principales.

II. LES BORDURES ET LES SUBDIVISIONS DU FOSSÉ

Nous allons reprendre les caractères structuraux des bordures du Fossé, en les suivant du nord au sud, en cinq étapes qui permettront également de définir la succession des bassins ou fosses avec leurs séparations éventuelles par des seuils.

Cette analyse des bordures et des divisions s'appuie sur les quatre feuilles à 1/250 000 de Chalon-sur-Saône, Lyon, Valence et Marseille – mais en faisant également appel aux détails fournis par les cartes géologiques à 1/50 000 (voir annexe 2).

1. Les pays septentrionaux

A. La Bresse méridionale ou Dombes

La feuille Chalon-sur-Saône à 1/250 000 offre une bonne vision d'ensemble de la Bresse méridionale et de ses bordures, prolongées vers le sud sur la feuille Lyon.

La limite septentrionale retenue pour la présente étude coïncide avec la latitude de Bourg-en-Bresse, ce qui correspond approximativement à la vallée de la Veyle. Cette limite, en apparence arbitraire, se justifie par deux arguments : un argument géologique car seule la Dombes est recouverte par les alluvions glaciaires quaternaires, et un argument historique car la Dombes fut longtemps le territoire d'étude de l'école géologique lyonnaise, alors que la Bresse septentrionale était celui de l'école dijonnaise.

L'effondrement de la Bresse à l'Oligocène a conduit à une structure en gradins le long du Massif central et au plissement du Jura. La Bresse méridionale est une fosse subsidente profonde (plus de 3000 m), dite *fosse de Bourg*. Elle possède un seuil interne, dit *seuil de Limonest*, de direction SSW-NNE, qui prolonge le promontoire supportant le Mont-d'Or lyonnais. Vers le sud, un seuil, ou du moins un bombement, non repéré précisément, sépare cette fosse de celle de l'Est-lyonnais (fig. 3).

La *bordure occidentale* a une direction NNE-SSW due à un système de failles qui ne sont visibles que dans le massif sédimentaire mésozoïque des monts du Mâconnais, situé immédiatement au nord de la limite définie ci-dessus, car, plus au sud, le recouvrement par les terrains quaternaires ne permet pas d'observer lesdites fractures. Ces failles plus ou moins nombreuses et d'orientation mixte, dessinent un ensemble de gradins : direction rhodanienne dominante (N-S), varisque également (SW-NE), avec rejeu de diverses fractures anciennes et superposition de petites failles transverses récentes. Un tel système se prolongera très loin vers le sud, jusqu'au droit du débouché de la Drôme.

La *bordure orientale* correspond aux chaînons jurassiens qui, le plus souvent, chevauchent les fractures d'effondrement du Fossé, ainsi masquées. C'est à la fin du Miocène qu'une phase tectonique majeure a accentué les plis et fractures du Jura, et surtout poussé la chaîne sur la Bresse en un chevauchement quasi généralisé. C'est au nord de notre zone d'étude, dans le secteur de Lons-le-Saunier que ce chevauchement atteint sa plus grande amplitude, soit sept kilomètres. Vers le sud, sur les feuilles à 1/50 000 de Bourg, Ambérieu et Saint-Rambert, le chaînon jurassien

du Revermont prend une direction nord-sud et la faille de chevauchement est bien visible, accompagnée de fractures transverses est-ouest et aussi obliques, NNE ou NNW. Il est relayé à l'est par des plis qui reprennent la direction générale NNE-SSW, et montrent un décollement au niveau du Keuper dans le secteur de Jujurieux.

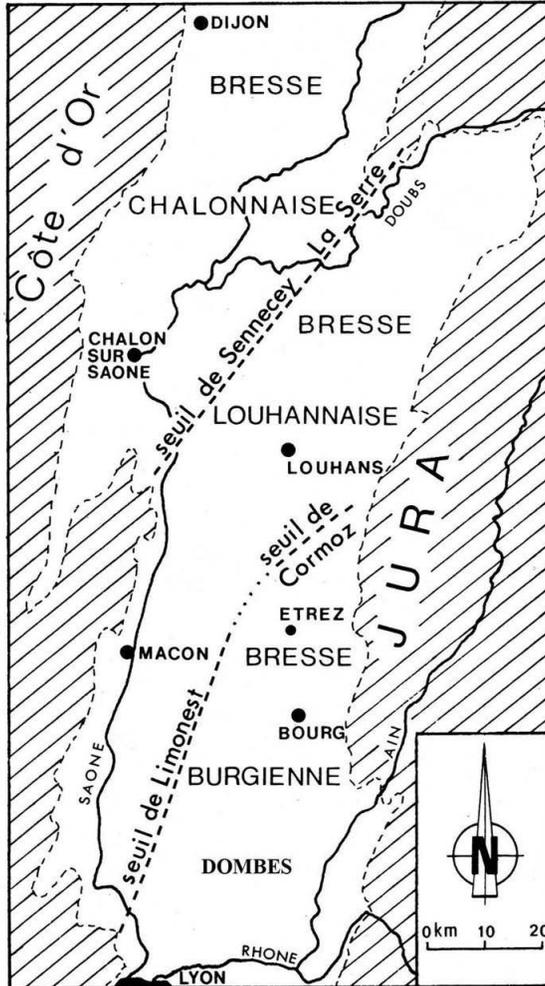


Fig. 3. Les grands traits structuraux du fossé bressan entre Dijon et Lyon, par Alain Curial, 1987, repris des travaux d'A. Lefavrais-Raymond. On notera le tracé du seuil de Limonest.

B. Les témoins mésozoïques

On consultera la feuille Lyon à 1/250 000 pour une vue d'ensemble.

La *bordure occidentale* est longée par la Saône, puis le Rhône. Le relèvement du vousseur oriental du Massif central est important dans les monts du Beaujolais, du Lyonnais et surtout dans le massif du Pilat ; sa structure est largement dominée par les directions varisques SW-NE.

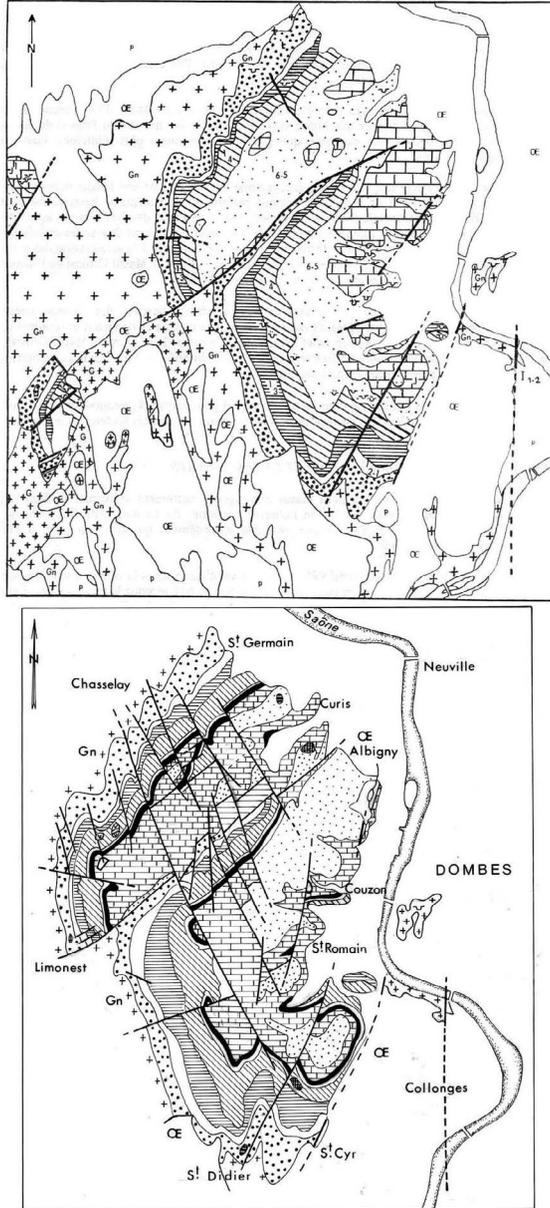


Fig. 4. Structure du Mont-d'Or lyonnais d'après la carte géologique Lyon à 1/50 000 : édition 1957 en haut ; édition 1978 en bas.

Sur les terrains anciens du Massif central, le Mont-d'Or se présente comme une grande butte témoin de terrains mésozoïques (Trias à Bajocien) en structure monoclinale avec pendage vers l'est. Héritée des travaux de Falsan et Locard, la « grande faille », SW-NE, est accompagnée d'autres failles SSW-NNE, puis franchement sud-nord à l'approche du Fossé rhodanien.

La carte de 1978, grâce à des levés à des échelles particulièrement précises, montre un grand nombre de fractures orthogonales qui accompagnent le basculement des terrains vers l'est : utiles dans le détail, ces fractures rendent plus difficile la lecture de la structure générale.

Les témoins de terrains mésozoïques qui subsistent sur la bordure centralienne sont le *Bas-Beaujolais*, de part et d'autre de la vallée de l'Azergues, et le *Mont-d'Or lyonnais* avec ses deux annexes (fig. 4). Ils sont affectés majoritairement par des fractures méridiennes, liées à l'effondrement du Fossé, par des failles secondaires transverses, et parfois par un rejeu de diverses failles anciennes. Ils seront étudiés au chapitre 5, I-2.

Dans la partie orientale du Fossé, le *massif tabulaire de l'Île-Crémieu* (fig. 5) est supporté par le seuil Pilat-Vienne-Chamagnieu. Faisant partie intégrante du Fossé, il sera étudié au chapitre 5, p. 105-107. Signalons qu'il est limité, au NW, par une grande faille SW-NE, probablement héritée des failles bordières du bassin houiller profond de l'Est-lyonnais, dont le tracé supposé est reporté sur la feuille Lyon à 1/250 000.

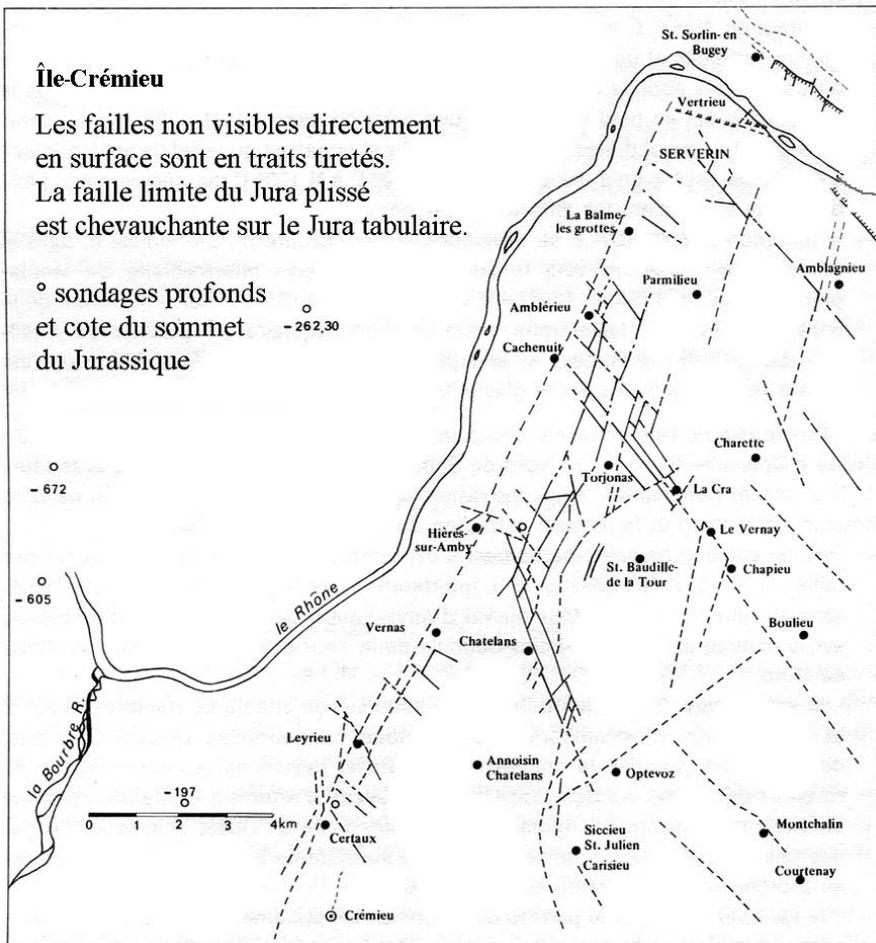


Fig. 5. Esquisse structurale de la partie nord-occidentale de l'Île-Crémieu (Jura tabulaire), par Raymond Énay et Charles Mangold, extraite de la notice de la carte Montluel à 1/50000 (1978). La structure est monoclinale avec pendage vers l'est. Une grande faille chevauchante SE-NW sépare cette zone tabulaire du Jura plissé. De nombreuses failles SW-NE et SE-NW lui donnent sa forme générale, auxquelles s'ajoutent, dans le sud, des fractures WSW-ESE.

La *bordure orientale* est toujours la chaîne du Jura : le seuil qui supporte alors le Jura tabulaire de l'Île-Crémieu, impose à la chaîne plissée de prendre une direction franchement NW-SE, perpendiculaire à la direction du seuil. La grande faille bordière du Bugey est d'abord inclinée, puis chevauchante (voir schéma structural sur la feuille Belley à 1/50 000). Les plis du Jura externe s'arrêtent à la cluse du Rhône.

C. La région de l'Est-lyonnais

C'est la région correspondant au Fossé proprement dit, avec son remplissage tertiaire et surtout quaternaire, entre la Dombes au nord et le seuil dit Pilat-Vienne-Chamagnieu au sud.

Au même titre que la Bresse, le *bassin de l'Est-lyonnais* est aussi une fosse profonde dont la spécificité est de reposer, à sa base, sur le bassin houiller dit de l'Est-lyonnais, prolongement de celui de Saint-Étienne, dont on trouve le tracé approximatif sur les feuilles Givors à 1/50 000 et Lyon à 1/250 000.

Les limites occidentales (Massif central) et orientales (Jura) viennent d'être définies ci-dessus à propos des témoins mésozoïques. Dans le secteur de Vienne, le Pilat impose au fleuve de prendre une direction d'abord orthogonale aux plis centraliens (NW-SE) puis la direction varisque : celui-ci coupe alors les terrains anciens en un défilé épigénique. C'est l'amorce du seuil qui traverse le Fossé en direction du nord-est.

2. Les pays centraux

A. Le Bas-Dauphiné et le bassin de Valence

Au sud du seuil du Pilat, c'est un glacis en pente régulière qui fait la transition avec la *fosse du Bas-Dauphiné*, laquelle est en continuité avec celle de Valence, et dont les terrains néogènes recouvrent l'ennoyage de quelques ultimes chaînons subalpins (fig. 24, p. 77).

Au sud du Pilat, la *bordure occidentale* prend définitivement une direction méridienne nord-sud. Un deuxième défilé épigénique, celui de Saint-Vallier-Tain, isole, à son tour, des terrains centraliens sur la rive gauche, où ils sont affectés par les mêmes fractures varisques qu'en rive droite.

Sur les terrains anciens, les témoins de terrains triasiques et jurassiques de Châteaubourg, puis de Crussol avec un prolongement jusqu'à Soyons, sont affectés par les failles rhodaniennes nord-sud qui les isolent des monts du Vivarais. Mais la faille de Valence, ou mieux l'escalier de failles, dont les rejets cumulés sont de plusieurs milliers de mètres, n'est pas visible en surface. Ces massifs mésozoïques seront étudiés au chapitre 5, (p. 135-140).

La *bordure orientale* est toujours celle du Jura, même si le recouvrement par les terrains récents ne laisse apparaître que des chaînons isolés. Deux plis, issus de la haute chaîne jurassienne et de direction nord-sud, celui du mont du Chat et celui du Grand Ratz, ressortent à travers la couverture cénozoïque du Bas-Dauphiné. Celui

du Chat se termine accolé au massif subalpin de Chartreuse; celui du Ratz sert de limite ultime à notre étude du Fossé et s'arrête à la pointe septentrionale du massif du Vercors.

Vers le sud, la très nette limite du Fossé rhodanien est le Vercors, que longe la vallée de l'Isère. Une exception est celle du petit chaînon anticlinal de Polienas, sensiblement nord-sud, qui émerge à travers la couverture molassique, témoin de l'engorgement de plis subalpins dans la partie orientale du Bas-Dauphiné.

La vallée de l'Isère rejoint le petit bassin tertiaire de Saint-Nazaire-en-Royans qui isole la montagne de Musan, important chaînon subalpin de direction NNE-SSW, qui assure à son tour la limite avec le Fossé rhodanien (voir schéma structural sur la feuille Romans-sur-Isère à 1/50 000). Puis les plis dissymétriques sont limités par des failles plus ou moins verticales; au sud, à partir de Barcelonne, les assises miocènes du Fossé rhodanien sont redressées à la verticale, puis deviennent simplement inclinées et transgressives, de part et d'autre de la vallée de la Drôme, en terminaison du bassin de Valence.

Ce bassin de Valence est en continuité avec le Bas-Dauphiné. Il n'est profond que dans sa partie occidentale, le long du Massif central, où les terrains paléogènes possèdent des faciès évaporitiques comme ceux de Bresse (fig. 58, p. 134).

B. Les régions occidentales et leurs terrains crétacés

Avec le bassin de Montélimar, le Fossé rhodanien atteint sa largeur minimale, avant de s'élargir à nouveau avec les bassins du Comtat, et plus encore avec la Basse Provence rhodanienne.

Au sud de la basse vallée de la Drôme, à partir de La Voulte-sur-Rhône, le Massif central se trouve éloigné définitivement du Fossé selon l'omniprésente direction NE-SW, permettant aux séries mésozoïques du Bas-Vivarais, puis du Gard, de rejoindre le Bas-Languedoc. La limite retenue pour le Fossé rhodanien devient alors tout simplement la vallée du Rhône, limite strictement géographique car les séries du Bas-Vivarais sont en continuité avec les terrains de rive gauche. On peut noter quelques petites extensions de terrains quaternaires, en rive droite, dans les basses vallées de la Cèze ou de la Tave, par exemple.

Désormais, le Fossé rhodanien devient fort étroit, avant de s'élargir à nouveau, mais il n'est plus qu'un chapelet de bassins successifs, isolés au sein des terrains secondaires, essentiellement crétacés.

C'est d'abord le *massif de la forêt de Marsanne* qui coupe le Fossé rhodanien, depuis la Drôme jusqu'aux abords de Montélimar, rétrécissant la vallée du Rhône sur plus de dix kilomètres de longueur. Vers l'est, ce massif est prolongé par l'important massif de Montjoyer, puis par celui de Taulignan, qui assurent la transition avec les Baronnies: tous sont formés de terrains crétacés.

Le bassin de Montélimar est à la fois de faibles dimensions et de relativement faible profondeur: à travers le recouvrement quaternaire apparaissent quelques pointements de terrains crétacés, et de minuscules témoins de molasses néogènes.

Vient ensuite le *seuil de Donzère* qui impose au Rhône une gorge épigénique comme celles de Saint-Vallier et de Vienne, mais au travers de terrains crétacés et non du socle centralien. Étroit, ce défilé de Donzère n'a que quatre kilomètres de longueur et est relativement récent car le Rhône prépliocène coulait plus à l'est.

Au sud, le *bassin de Pierrelatte*, rectiligne et de direction nord-sud, où coule le Rhône, est séparé du grand bassin de Valréas par un chapelet de petits massifs crétacés, alignés du nord au sud : La Garde-Adhémar, Clansayes, Saint-Restitut et le plus important, celui d'*Uchaux* qui prolonge, en rive gauche, la vaste région de la Cèze (chapitre 5, fig. 66-67 (p. 150-152).

Au sud d'Orange, la faille de Roquemaure, de direction provençale est-ouest, limitant le synclinal de la Tave en rive droite, traverse le Rhône pour se terminer dans le Crétacé du *massif de Châteauneuf-du-Pape*, en rive gauche.

C. Les grands bassins cénozoïques du Comtat-Venaissin

Le *bassin de Valréas*, dit aussi de Valréas-Visan, est le premier des grands bassins du Comtat : il redonne au Fossé rhodanien une largeur similaire à celle des bassins septentrionaux (Bas-Dauphiné, Valence). Sa limite orientale est celle des chaînons subalpins des Baronnies : elle correspond à nouveau à la limite d'érosion des assises cénozoïques transgressives et redressées, plus rarement faillées, comme dans le secteur du mont Ventoux. Il sert de référence pour la connaissance des terrains cénozoïques.

Le Ventoux et son prolongement vers le sud, les Monts de Vaucluse, devraient constituer une limite nette, mais, vers le nord-ouest, les deux massifs jumeaux de Vaison-la-Romaine ressortent à travers les terrains miocènes, ce qui isole partiellement les petits bassins d'Entrechaux-Mollans et de Malaucène. De plus ils se prolongent jusqu'au *massif de Suzette*, à cœur triasique, qui est une structure particulièrement complexe, avec décollement et écaillage d'une série jurassique et crétacée, et sur laquelle sont conservés quelques témoins néogènes.

Sans aucune discontinuité, le bassin de Valréas s'ouvre vers le sud dans l'immense *bassin de Carpentras* qui s'étend de la vallée du Rhône jusqu'au plateau des monts de Vaucluse à l'est, et jusqu'à la Durance au sud. On isole souvent, pour la commodité de la description, la région d'Avignon proche du Rhône, et surtout le bassin de Mormoiron sur la bordure orientale en raison de la spécificité de son remplissage.

3. LES PAYS MÉRIDIONAUX OU LA BASSE-PROVENCE RHODANIENNE

La feuille de Marseille à 1/250 000 prolonge celle de Valence jusqu'à la mer.

C'est à la fin du Crétacé qu'en Languedoc et Provence se mettent en place des plis de couverture est-ouest (« *phase maastrichtienne* »). C'est à partir de l'Éocène supérieur (« *phase bartonienne* ») que les poussées les plus importantes, du sud vers le nord, reprennent les plis est-ouest pour donner des chevauchements plus ou moins importants qu'on peut observer dans les massifs bordiers hors du Fossé

rhodanien (Lubéron, Alpilles, Nerthe). Avec l'Oligocène c'est le Fossé qui devient l'élément structural majeur avec prédominance des phases d'extension sur celles de compression.

En Basse-Provence rhodanienne, les flexures et fractures, presque toujours cachées sous les épandages alluviaux, sont en majorité NE-SW (faille de Nîmes), ainsi que les fosses ou les horsts qu'elles délimitent, ou parfois nord-sud, comme celle reliant le plateau des monts de Vaucluse au golfe de Fos.

La *bordure occidentale* montre une limite nette matérialisée par la grande faille de Nîmes, amorcée sur la feuille Valence à 1/250 000, de direction NE-SW, pas toujours visible mais rejoignant la mer. Elle est accompagnée de plusieurs failles parallèles délimitant les fosses de Pujaut et de Tarascon, ainsi que les horsts des Angles et de la Montagnette (fig. 6).

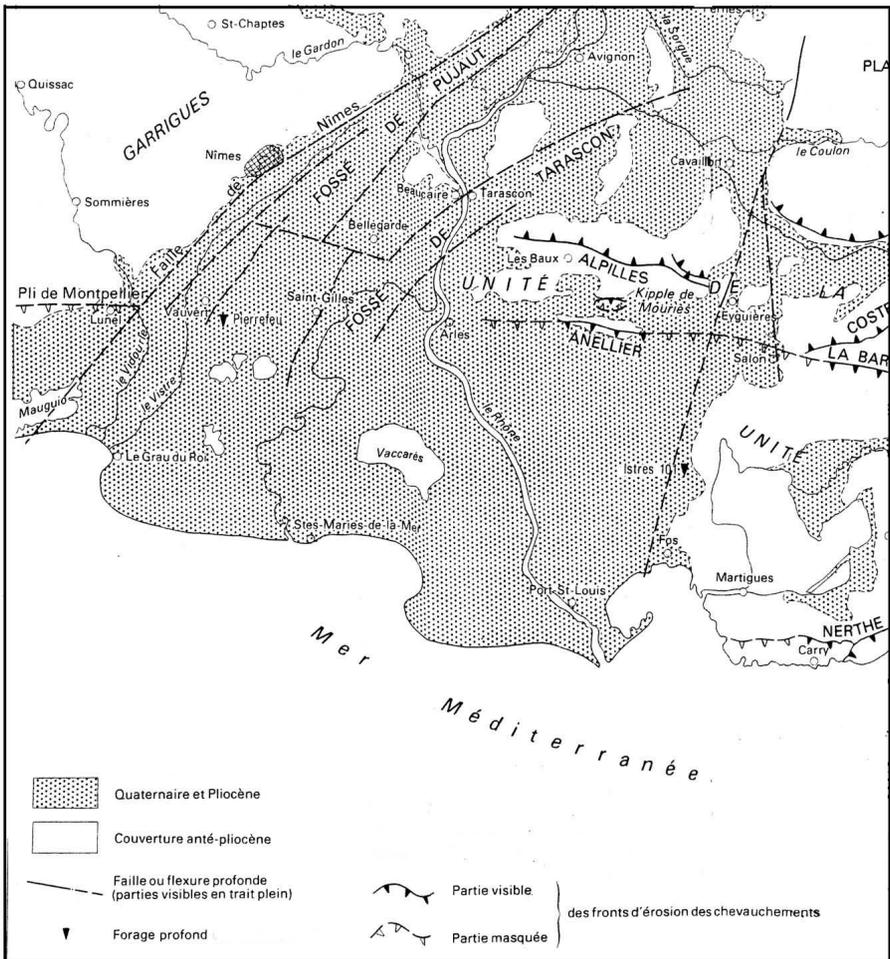


Fig. 6. Carte structurale de la Basse-Provence rhodanienne montrant l'extension de la couverture pliocène et quaternaire, les principales grandes failles et les fossés nord-occidentaux, d'après Jacques Rouire (extrait de la notice de la carte géologique Marseille à 1/250 000, 1979).

La bordure orientale commence avec les séries oligo-miocènes transgressives sur le bord des monts de Vaucluse, le contact étant parfois faillé vers le sud. La limite passe ensuite le long de la terminaison du Lubéron, se dirige droit au sud par Salon, pour aboutir à Saint-Chamas, à la pointe nord-ouest de l'étang de Berre : cela correspond au système de failles nord-sud cachées, qui se développe entre Lubéron et Alpilles pour se terminer à l'extrémité occidentale de la Nerthe.

Au sud du seuil des Alpilles, s'étend la *Crau*. Sur un substratum néogène, dont le Pliocène n'affleure que très localement, les alluvions de la vieille Crau d'Eyguières appartiendraient au Quaternaire ancien (Villafranchien), tandis que celles de la jeune Crau de Miramas sont plus récents.

Sur le plan structural, la *Camargue* est inséparable de la Crau, mais son évolution plus récente, marine et fluviale, justifie une analyse qui lui soit propre : c'est la zone du delta rhodanien.

L'étang de Berre n'a qu'une existence récente : sa naissance et son évolution sont liées à l'histoire de la mer et du delta, plus qu'à celle des chaînons provençaux.

On se reportera au chapitre 5 (p. 167-186) pour ces régions les plus méridionales, et plus spécifiquement au chapitre 6 pour les terrains les plus récents.

Le temps des pionniers 1600-1845

Les premiers naturalistes ont exploré la plupart des régions du Fossé rhodanien, parfois de façon très localisée, parfois plus largement ; les plus anciens se sont intéressés d'abord aux récoltes d'objets de collection, minerais, minéraux et fossiles ; les plus récents ont contribué à faire connaître la succession des assises, voire à y intégrer les fossiles. Certains seront les auteurs des *Statistiques départementales*, catalogue commenté dépassant largement le cadre de la géologie.

I. LES PREMIÈRES EXPLORATIONS LOCALES ET RÉGIONALES

La plupart des premières explorations ont été localisées dans des régions peu étendues, mais d'autres débordaient sur des territoires beaucoup plus vastes tout en n'étant pas toujours coordonnées, enfin plus rares étaient déjà quelques amorces de synthèses régionales. Ces recherches pionnières furent cependant le socle sur lequel se développèrent les grandes études ultérieures, au XIX^e siècle.

Bien qu'avocat, **Jules Raimond de Solier*** (1530-avant 1595), est surtout considéré comme géographe et historien, ayant laissé, sous forme manuscrite, une première *Chorographia Provinciae*, dont seul le premier livre, consacré à la région de Marseille, sera plus tard traduit en français et imprimé, en 1615, puis en 1632. Le manuscrit primitif (*Rerum antiquarum et nobiliorum provinciae*) fut légué à la bibliothèque d'Aix par le marquis de Méjanas : achevé en 1559, il a été mutilé depuis lors. Raimond de Solier l'a ensuite complété et son texte définitif est de 1564 : c'est celui dont il existe plusieurs copies dans les bibliothèques Méjanas d'Aix-en-Provence (Ms 758bis), Inguimbertaine de Carpentras (Ms 1855), municipale d'Arles (Ms 192, *Chorographia Provinciae*) et à la bibliothèque municipale de l'Alcazar de Marseille (Ms 1356). L'analyse la plus récente de la biographie de Solier et de son œuvre est celle d'**Agnès Le Menn**¹.

Honoré Bouche (1599-1671), abbé, né et mort à Aix-en-Provence, est avant tout reconnu comme historien. Son œuvre majeure est une *Chorographie² ou description*

¹ Le Menn A. (1998) – Jules-Raimond de Solier, premier « écrivain général » de la Provence. *Provence Historique*, XLVIII-191, p. 3-28.

² Chorographie est un terme ancien. Le préfixe choro- dérive du grec *khôra* qui signifie pays, contrée, région, territoire, et de *graphê* signifiant description. Le latin *chorographia*, traduit en chorographie, signifie description géographique d'une région.

de Provence, dont il donna le manuscrit au gouvernement de la province et que celui-ci fit imprimer en une très belle édition (1664). Bouche connaissait le travail de Raimond de Solier, mais systématiquement cherchait à se démarquer des opinions de celui-ci. C'est seulement dans le tome 1 de son ouvrage qu'on trouve un livre premier (pages 1 à 50) intitulé *Des choses naturelles de Provence*, illustré d'une très belle carte hors texte (fig. 7). Nous ne retiendrons que les éléments relatifs aux régions ici étudiées, même s'ils sont souvent trop sommaires, Bouche n'étant guère attiré par la nature.



Fig. 7. Partie occidentale de la carte d'Honoré Bouche (1664) montrant la Camargue, la Crau et les principaux affluents du Rhône.

Le chapitre IV était consacré aux montagnes et à la Crau. Le §. III est consacré au «*champ Herculien et pierreux, vulgairement dit la Crau*» : Bouche disserta sur le mot *crau* ou *grau*, d'après lui similaire à *grau* en provençal et à *granier* en français, signifiant monceau de pierres. Il cita alors Solery [nom provençal de **Raimond de Solier**], et écrit que celui-ci «*estime que la rivière de Durance, ou toute entierement, ou en partie, passoit autrefois, à un temps dont on n'a point de mémoires, vers le lieu d'Allamanon [Lamanon] près de Salon, & que se dilatant puis apres par toute l'étenduë de la Crau, avant que d'entrer dans la mer, elle y laissa toutes ces pierres qu'elle entraînoit en son cours*». Bouche resta sceptique en raison de la très grande quantité de pierres : il pensa que l'étang de Martigues [Berre], plus grand, plus haut, avait accumulé les pierres apportées par les petites rivières [Arc et autres], son argument principal étant la présence d'huîtres près d'Istres à une certaine altitude. Or c'est une confusion avec les huîtres miocènes. Incontestablement Solier avait raison, mais Bouche ne l'admit pas facilement.

Les fleuves et rivières font l'objet du chapitre V dont le §. 1 est consacré au Rhône. Bouche donna un historique des bras du delta dans lequel il apparaît qu'il y avait entre deux et neuf bras différents selon les époques et les auteurs. Il passa aussi en revue, sans description, un seul affluent de rive droite, le Gar [Gard] et ceux de rive gauche jusqu'au confluent avec l'Arar ou Saône (fig. 7).

Le chapitre VI traite des fontaines et étangs, et la première citée est la fontaine de Vaucluse (§. 1), sortant d'un antre très vaste et très profond, et dégorgeant une eau très claire et très limpide, à l'origine de la Sorgues : Bouche s'attarda beaucoup plus sur la description donnée par Pétrarque. Les étangs sont ensuite cités sous forme d'une simple liste sans description, en commençant par celui de Berre, puis celui, salé, de Valduech [Lavalduc], et enfin tous les autres, y compris certains aujourd'hui disparus.

Enfin on trouve, dans le chapitre VIII, l'existence de carrières de pierre de construction, sans liste ni localisation, et partout de très nombreuses carrières de plâtre et «*du meilleur qu'on puisse trouver en toute la France*».

Historien fort érudit, Bouche ne s'intéressait guère aux choses de la nature, hormis les plantes et les animaux en relation avec l'homme, et il ne chercha pas à approfondir ce qui relève de la géographie physique ou de la géologie.

Pons-Joseph Bernard* (1748-1816) était membre de la congrégation de l'Oratoire, qui l'envoya enseigner la physique et les mathématiques aux collèges de Toulon, Marseille et Lyon. Il se consacra ultérieurement à ses recherches sur la Provence. Il écrivit un premier mémoire, *Description minéralogique de la Provence*, resté inédit, qui est conservé à la bibliothèque de Draguignan (Ms 111). En 1777, il collabora avec un confrère oratorien, **Jean-Pierre Papon**, pour son ouvrage, *Histoire générale de la Provence*, tome 1, où l'on retrouve des extraits de son manuscrit : ils citèrent les assises coquillières [Miocène] du Vaucluse et du pourtour de l'étang de Berre, la mer ayant envahi largement la région depuis Carri [Carry] jusqu'à Fontvieille, ce qui était une bonne approche de la transgression. De même que Bernard privilégiait le rôle de la mer dans toute la région de la Basse-Provence rhodanienne, Papon pense que la mer a reculé, laissant à découvert la Crau et la Camargue (p.31), allant même jusqu'à prévoir le comblement du golfe de Fos, et que la Durance passant par Lamanon en suivant le retrait aurait déposé les cailloutis [idée première de Raimond de Solier];

en effet, Bernard, comme bien des Provençaux, était partisan du neptunisme et voyait partout le rôle de la mer, y compris pour les poudingues de Valensole, comme il l'affirmera plus tard dans son *Mémoire sur la Durance* en 1783. C'est dans son *Mémoire sur les engrais* (1778) que Bernard dessina une belle carte minéralogique de la Provence (Philip, 2012, fig. 1) avec trois zones : schisteuse [cristalline], marneuse et sablonneuse, selon un système mis au point par **Jean-Étienne Guettard**, qui l'utilisa aussi en Dauphiné (1779). Enfin, on peut signaler son ouvrage très pertinent sur la manière dont les rivières alluvionnent leur lit, le Rhône en particulier, soumis en 1780 au concours ouvert par l'académie de Lyon. Georges Pichard lui a consacré une longue analyse en 2002.

Gui de Mortessagnes³ (1714-1796), jésuite de son état, fut un pionnier de la volcanologie en Velay et Vivarais. Résidant à Montélimar, il parcourut aussi la proche région, avec toujours un intérêt particulier pour tous les moindres témoins du volcanisme. C'est ainsi qu'ayant repéré, dans le livre de **Genton**, la mention de galets de basalte, non seulement dans le bassin de Pierrelatte, mais aussi sur la colline de Saint-Restitut, il comprit qu'il s'agissait de roches volcaniques provenant très probablement des volcans du Vivarais. Mais leur position élevée et la coupure topographique par la vallée rhodanienne actuelle méritaient une explication : Mortessagnes pensa l'avoir trouvée dans un phénomène exceptionnel, celui d'un torrent diluvien, issu du Massif central, lors d'un épisode catastrophique se produisant voici environ 10000 ans, ce qui relève, plus ou moins, des théories néodiluvianistes.

Jean Mergoïl et Juliette Mergoïl-Daniel ont analysé récemment, avec une grande rigueur, l'œuvre de Mortessagnes (2011) et l'énigme des galets basaltiques haut perchés de la rive gauche du Rhône (2012).

Jean-Étienne Guettard* (1715-1786) fut l'un des naturalistes français les plus importants de son temps. **François Ellenberger**, dans son *Histoire de la Géologie*, le qualifie d'« *infatigable observateur* ». Il ajoute qu'il servit de modèle aux scientifiques de son époque qui ont cherché à suivre ses rigoureuses méthodes d'observation et d'analyse.

En 1779, Guettard publia un ouvrage sur la *Minéralogie du Dauphiné*. C'est dans le cadre du premier mémoire, sorte d'introduction générale, qu'il divisa la vallée rhodanienne en trois régions – sablonneuse, calcaire et schisteuse ou graniteuse – sans pour autant leur affecter un âge. Son ouvrage suivra cette division en trois parties, chacune étant divisée en chapitres appelés « *mémoires* ».

Dans le deuxième mémoire de la première partie, il donna une très longue description de la grotte de la Balme « *l'une des sept merveilles du Dauphiné* », ouverte dans la falaise de L'Île-Crémieu. Il fut impressionné par ses grandes dimensions, négligea les stalactites et stalagmites bien connues, et s'intéressa à l'origine des cuvettes calcaires empilées, plus ou moins circulaires. Il parcourut aussi le bassin molassique, ce qui lui permit de décrire les sables, les molasses et les argiles, avec leurs rares fossiles et les lits de lignite des régions orientales (La Tour-du-Pin).

³ D'après son acte de décès, son patronyme complet devrait être Gui Dauteyrac de Mortessagnes et certaines lettres sont signées ainsi, mais il était et reste connu comme G. de Mortessagnes.

Dans le troisième mémoire, il étend le «*bassin de Vienne*» jusqu'à Tain et jusqu'à Voreppe : c'est le bassin du Bas-Dauphiné. Guettard a eu une bonne approche du défilé du Rhône avec ses granites et ses mines de plomb en rive gauche ; il observe que «*La masse des montagnes de granite ne s'étendent [sic] pas beaucoup en longueur ni en largeur, & qu'elles précèdent des montagnes sableuses*». C'est dans le quatrième mémoire qu'il décrit le défilé de Saint-Vallier-Tain.

Avec les cinquième et sixième mémoires, Guettard focalisa son attention sur les galets de roches volcaniques trouvés dans le bassin de Montélimar, car «*on voyoit le Rhône séparer le canton de Montélimar d'avec le Vivarais, & malgré soi l'on imaginoit pas [sic] que les quartiers de basalte eussent pu venir du Vivarais*». Pour résoudre cette énigme, il alla explorer le Vivarais, partant de Montélimar jusqu'à Vals : il longea les coulées des Coirons (Koirou ou Koiron), puis remonta jusqu'à Antraigues la vallée du Volant⁴ qu'il avait bien vu se jeter dans l'Ardèche en aval de Vals.

Le septième mémoire est celui du défilé de Donzère [Donzère] que Guettard signala comme étant installé dans les calcaires du Languedoc et non dans les granites comme ceux décrits plus au nord. C'est là qu'il décrit la coupe du versant nord de la montagne Saint-Juste [Saint-Restitut] : calcaire tendre et sable jusqu'à mi-pente [Crétacé] puis rochers énormes très riches en coquilles marines [Burdigalien].

Le huitième mémoire était consacré à la principauté d'Orange, et surtout au massif d'Uchaux où Guettard signala de très nombreux fossiles (astroïtes, porites, éliolithes, bucardites, camites, cornes d'Ammon, bélemnites, échinites...), appartenant très certainement au Turonien et qui firent, plus tard, la célébrité paléontologique d'Uchaux. Il mentionna aussi les localités de Saint-Paul-Trois-Châteaux et de Clansayes, en reprenant les petits articles préliminaires de **Genton**, publiés en 1774 et 1775, que celui-ci publiera à nouveau en 1781 (tome 1, p. 98-100). Au cours de leur description, il signala des galets de basalte dans les alluvions rhodaniennes du bassin de Montélimar, qu'il pensa avoir été apportés par un torrent descendu des montagnes ardéchoises. À Clansayes, il rappela le séisme de 1773 d'après **Faujas** ; à Saint-Paul, il signala les fossiles découverts par **Genton** ; à Uchaux, il énuméra aussi les fossiles rencontrés.

Michel Darluc (1717-1783) était médecin : attiré par la nature provençale, il fut nommé professeur de botanique à l'université d'Aix-en-Provence. Il rassembla ses observations de terrain en trois volumes parus en 1782, 1784 et 1786 (les derniers posthumes car il mourut en 1783), sous le titre d'*Histoire naturelle de la Provence*. À la suite de **Pons-Joseph Bernard**, il confirma l'origine marine des molasses coquillières de Pertuis, d'Orgon, des environs de l'étang de Berre et de nombreuses autres localités : «*ce qui sert de preuve convaincante, c'est la quantité de coquilles, les débris de corps marins (peignes, tellines, moules, huîtres) qu'on trouve*» (voir Philip, 2012, p. 22). La chaîne côtière de Carri [Carry-le-Rouet] montrait alors de

⁴ Le Volant est l'ancien nom de la Volane, affluent de l'Ardèche, donc largement au sud du bassin de Montélimar. Mais, en fait, ce n'est pas par erreur mais plus par comparaison qu'il parle des apports du Volant, qu'il connaissait donc bien, dans le bassin de Montélimar, alors que d'autres torrents se chargent des mêmes apports en ce secteur. Notons qu'il envisage aussi un possible débouché des torrents dans la mer dont les courants auraient pu redistribuer les alluvions vers le nord [en fait les alluvions étant quaternaires la mer n'existait pas sous ces latitudes].

très nombreuses carrières exploitant ce Burdigalien fossilifère, en particulier à cap Couronne.

Darlu décrit fort bien la Camargue en son chapitre XXVIII. Il comprit que les atterrissements successifs du Rhône l'avaient agrandie, et pensait que la mer avait dû la recouvrir jadis en raison de la présence des sources, étangs et marais salés. Il s'intéressa aux étangs de Valduc et de Vaugrenier [Engrenier], à l'est du golfe de Fos : celui de Valduc était tellement riche en sel que rien ne pouvait y vivre, ce qui laisse à penser qu'il s'agissait de l'étang de l'Estomac actuel plutôt que de celui de Lavalduc. Il en profita pour signaler les collines de pierre coquillière et les bancs d'huîtres pétrifiées à l'ouest de l'Engrenier (chapitre XXXVII).

La Crau fit l'objet de son chapitre XXXI : Darlu décrit le sol comme couvert d'une terre rougeâtre et brune, mêlée d'innombrables cailloux de la grosseur d'un pois à celle d'une courge ; en profondeur, les cailloux étaient inclus dans une argile calcaire fort dure. Il pensa que la mer avait envahi la Crau, arrêtée au nord par les collines, et qu'elle avait apporté les cailloux, laissés après son retrait ; mais il ajouta que ces cailloux pouvaient aussi avoir été détachés en partie des montagnes attenantes ; en répertoriant la nature des cailloux, il trouva des calcaires et des grès, mais aussi des variolites qu'il décrit longuement et pour lesquelles il conclut que « *les variolites que la Durance entraîne avec elle ont toutes les propriétés de celles de la Crau* ». Il rend d'ailleurs hommage (chapitre XLI) à M. Paul de la Manon [Lamanon] qui a ramassé toutes les espèces de cailloux pour les comparer avec ceux de la Durance et du Rhône, et qui, observateur judicieux, a démontré le passage de la Durance par le débouché de Lamanon jusqu'à « *nous convaincre par des démonstrations évidentes* ».

Jean-Louis Soulavie, dit Giraud-Soulavie* (1752-1813) s'était, dès sa jeunesse, passionné pour l'histoire naturelle. Entre 1780 et 1784, il écrivit une *Histoire naturelle de la France méridionale* en huit volumes, mais cependant inachevée. Cette étude débordait largement le cadre du Fossé rhodanien, en particulier en Vivarais. Il y exposa les principes de la succession chronologique des couches sédimentaires superposées, ainsi que de leur identification par les fossiles. Il avait aussi des vues fort justes sur le creusement des vallées et la succession des phases de creusement.

Il avait en effet constaté dans le Viennois que, selon la nature du sol (« *granitique* » ou « *calcaire* »), la forme des vallées n'était pas la même : il compara alors les défilés de Vienne et les larges plaines de la Saône et du Lyonnais. Ses observations étaient suffisamment précises pour qu'il signalât des argiles intercalées dans les alluvions modernes [ce sont des dépôts de crue dans les méandres et bras morts des fleuves].

À propos du Forez, il constata que le Rhône et la Loire encadrent le massif du Pilat et que les affluents rejoignaient parfois le fleuve rhodanien en se dirigeant vers l'amont et non vers l'aval, ce qui est démonstratif pour le Gier (tome 3, 1781) : il ne pouvait savoir que ces tracés suivaient les structures de direction varisque du Massif central.

Cependant, pour le Fossé, l'intérêt principal de son œuvre est indirect par l'étude du proche Vivarais, mais il est plus direct par ses observations sur la Crau, « *campagne couverte de gros cailloux* », formée d'atterrissements c'est-à-dire d'alluvions.

Émilien Dumas (1804-1870) porta sur Soulavie un jugement sévère, pas toujours inexact : « *Il est souvent diffus ; entraîné par son imagination et l'esprit de système, il néglige presque toujours l'observation directe pour se livrer à de vaines théories* » (1876). Il reconnaissait cependant que les cartes, dressées par Dupain-Triel, ingénieur géographe, étaient de très bonne qualité. Il est vrai que huit volumes forment un ensemble bien trop vaste pour l'époque, et que les digressions théoriques l'emportaient souvent sur les observations concrètes qu'il faut aller chercher dans le détail.

Pour une analyse générale de l'œuvre, on se reportera à l'ouvrage de François Ellenberger (1994, p. 273). La production scientifique de Soulavie s'arrêta vers 1785, car il se consacra dès lors à l'histoire contemporaine, voire à la Révolution.

Robert de Paul de Lamanon* (1752-1787) disparaîtra au cours de l'expédition de Lapérouse, à l'âge de 35 ans. Sa seule publication scientifique d'importance est le *Mémoire litho-géologique sur la vallée de Champsaur...* (1784). Il y donna un véritable canevas pour étudier la succession des strates ; il s'intéressait aux fossiles, mais comme il était un adepte des lacs et de leurs vidanges successives, il faisait vivre oursins, gryphées ou ammonites dans ces eaux douces.

Son apport direct et important à propos de la Crau est remarquable : « *Il résulte de la comparaison de ces cailloux, qui sont les mêmes dans la Crau que sur les bords et dans le lit de la Durance, que la vraie origine de la plaine de la Crau n'est due, ni à un tremblement de terre, ni à un lac, ni à la mer, ni enfin au Rhône, mais à la Durance qui passait autrefois par la gorge de Lamanon* ». Il est vrai que son fief de Lamanon était admirablement placé, encore fallait-il bien observer et bien interpréter. Il a d'ailleurs généralisé ses observations en expliquant qu'une rivière ne cesse de creuser, d'autant plus que sa pente est plus rapide, puis que, vers l'aval, elle commence à déposer les atterrissements ; il distingua le lit actuel et les plaines qui l'entourent [terrasses] comme liés aux dépôts fluviaux.

On trouve davantage de détails dans les ouvrages de Georges Pichard (1992 et 2005) et une analyse complète et pertinente de l'apport de Lamanon en Basse-Provence rhodanienne.

Pierre Véran* (1744-1819) fut le fondateur du musée d'Arles. Avant tout historien et archéologue, il a cependant laissé quelques commentaires d'ordre géologique, en particulier dans les chapitres 1 et 2 du manuscrit Ms 774, daté de 1801 et comportant plus de 700 pages en 57 chapitres. Toutes ses œuvres, restées manuscrites, sont désormais conservées à la bibliothèque de la ville d'Arles.

Le chapitre 1 est intitulé *Passage de la mer sur le territoire d'Arles et formation de la plaine de la Crau par la Durance*. Pierre Véran considérait que la mer avait envahi toutes les plaines de Basse-Provence mais son argumentation reposait sur les fossiles miocènes, alors qu'il y voyait un phénomène récent. Il reprit aussi l'hypothèse du passage de la Durance par le pertuis de Lamanon (p. 8-11), mais il fit jouer inutilement un rôle des vagues de la mer et du vent (p. 12). Véran connaissait certainement les opinions de Soléry [Raimond de Solier], Bouche, Papon, etc., mais il divergeait d'opinion avec certains d'entre eux : ainsi Bouche pensait que les cailloux étaient venus de l'étang de Martigues [Berre] puis il abandonna cette idée au profit de la mer ; Papon pensait que la place de la Méditerranée était occupée au loin par un lac, puis que la

terre s'entrouvant ou s'affaissant à Gibraltar, l'océan heurta les eaux de la Durance et fit refluer les cailloux sur la place de la Crau ; mais Véran en revint toujours à l'idée que le fleuve ne peut entraîner autant de cailloux. C'est alors qu'il imagina même, assez longuement, ce qu'aurait écrit Paul de Lamanon s'il avait vécu au retour de sa lointaine mission, lui faisant admettre que ce fut la mer qui joua le rôle principal.

Le chapitre 2 est intitulé *Passage de la rivière Durance dans les plaines de Senas, d'Orgon, de Noves, de St Rémy*, etc. Véran chercha à y expliquer l'abandon de la gorge de Lamanon par une «révolution extraordinaire» avec abaissement du lit de la Durance et rupture d'un barrage naturel qui l'avait jusqu'alors empêché d'aller vers l'ouest : la rivière serait alors passée par la plaine de Châteaurenard, entre Alpilles et Montagnette, pour rejoindre le Rhône vers Tarascon. Historien, Pierre Véran aligna une série de preuves : la première serait un acte de 1063 donnant à l'abbaye de Montmajour un terrain près de Saint-Gabriel⁵, jouxtant au levant la Durance (*Durantia fluvium*) ; d'autres écrits ultérieurs signalaient également la présence de la rivière en ce secteur. C'est, écrivit-il, à la fin du XII^e siècle que «cette branche [...] réunit ses eaux à celles qui alloient se jeter dans le fleuve du Rhône au couchant de la ville d'Avignon». C'était une excellente hypothèse que cette division de la basse Durance en deux branches.

Le chapitre 3 est intitulé *Formation des plaines terraquées qui s'étendent depuis Avignon jusqu'à Arles, formation d'une partie de l'île de Camargue...* En réalité, Pierre Véran ne donne aucun élément d'ordre géologique et passe très vite à la période historique et à la fondation d'Arles. Les chapitres ultérieurs (exemple chapitre 13) font parfois allusion à l'évolution des bras du Rhône et aux atterrissements sur la Camargue, mais toujours au cours de la période historique, considérations fort utiles pour l'évolution récente du delta mais sans réel apport au plan de la géologie.

Christophe de Villeneuve-Bargemon* (1771-1829) publia le premier volume de la *Statistique du département des Bouches-du-Rhône* en 1821 et les quatre suivants jusqu'en 1829. Il convient de retenir qu'il fut l'un des rares auteurs de cette époque à admettre l'intérêt des fossiles comme «*tables chronologiques de la Nature*». Il imagina la fermeture du détroit de Gibraltar et la transformation de la Méditerranée en lac, mais cela pour expliquer la Crau ; puis il décrivit l'envahissement par la mer pour déposer la pierre coquillière [Miocène]. Si l'on fait abstraction de la chronologie, loin de celle admise aujourd'hui, il avait une bonne vision de certains phénomènes qui seront décrits ultérieurement sous le nom d'eustatisme (voir Philip, 2012, p. 27-28).

Jean-Baptiste-Julien d'Omalius d'Halloy* (1783-1875) fut chargé, en 1810, par Coquebert de Montbret de dresser une carte minéralogique de l'Empire : il explora à pied, en moins de deux ans, la majorité des provinces françaises, y compris le Jura et le Lyonnais. Il accumula quantités d'observations, plus ou moins ponctuelles : par exemple la présence de calcaire à gryphées au pied des monts de Tarare (Bas-Beaujolais).

⁵ Saint-Gabriel se situe à 4,5 km au SE de Tarascon, au débouché de la plaine de Châteaurenard sur la plaine rhodanienne, au bord de l'actuel cours du Viguiérat. On retiendra que la grande plaine de Châteaurenard avait plus anciennement accueilli le cours du Rhône avant son installation plus à l'ouest dans le défilé d'Aramon.

Ses *Éléments de Géologie* (édition de 1831) vont faire le point sur les connaissances de l'époque, sans mention particulière du Fossé rhodanien, mais ils seront utiles en particulier pour l'historique du Quaternaire. Il adopta, dès son apparition, la théorie glacialiste, mais il refusa d'expliquer l'extension des glaciers par un refroidissement du soleil. Il demeura réservé face à la doctrine des causes actuelles, ou du moins à la généralisation excessive de celle-ci comme mode d'explication unique de tous les phénomènes géologiques.

Léonce Élie de Beaumont* (1798-1874) visita les environs de Martigues en compagnie de Jean-Philibert Fénéon (jeune ingénieur des mines, qui était son adjoint cartographe), et de Leopold von Buch et signala la présence des couches à Hippurites, à proximité de l'étang de Berre, mais l'abondance des foraminifères les lui fit assimiler aux terrains à nummulites du Bassin de Paris, et classer dans le Tertiaire au lieu du Crétacé. Cette erreur subsistera longtemps chez d'autres auteurs qui reprendront sans discussion, l'attribution faite par Élie de Beaumont (1827) dans son étude sur la *Constitution géognostique des environs de Martigues*.

En 1829-1830, il publia ses *Recherches sur quelques-unes des révolutions de la surface du Globe*, mémoire de plus de 300 pages avec quatre planches et une carte. On y trouve de nombreuses et précises descriptions des terrains tertiaires et quaternaires de la région lyonnaise et du Bas-Dauphiné. C'est ainsi qu'il décrit, de façon fort détaillée, la molasse du versant oriental de la Croix-Rousse à Lyon et le glaciaire qui la surmonte, de même pour le secteur de Saint-Fons; il continua vers le sud jusqu'à Vienne (pages 174-179). Nous y reviendrons plus en détail dans le chapitre 5, p. 121-122. Plus loin (p. 236-248), il passa en revue les «*terrains de transport*» de Lyon jusqu'à la Drôme, essayant de les analyser selon leur nature ou leur altitude, tout en signalant quelques découvertes d'ossements de mammouth: nous y reviendrons au chapitre 6.

S'il était bon observateur et bon cartographe, Élie de Beaumont ne tenait pas compte du rôle des fossiles, ce qui le conduisit à proposer des successions stratigraphiques peu fiables, ainsi que leur attribution aux diverses périodes: aussi changea-t-il souvent, au fil du temps, de classement des terrains dans la stratigraphie. Par exemple, on trouvera ci-après, reprise par Scipion Gras, son attribution au Crétacé inférieur et moyen des séries jurassiques comme celle de Crussol.

Scipion Gras* (1806-1873) était un ingénieur du Corps des mines en poste à Grenoble, ce qui le conduisit à s'intéresser avant tout à la géologie alpine. Il publia en 1835 une *Statistique minéralogique du département de la Drôme* dans laquelle, pour la partie drômoise du Fossé, il définit quatre bassins: Valence, Montélimar, Pierrelatte et Grignan. Il classa les terrains en privilégiant, comme trop souvent, la pétrographie et en négligeant les fossiles, bien qu'il en citât souvent un bon nombre: cela le conduisit à des interprétations fausses, alors qu'il était un excellent observateur de terrain. Il divisa le Crétacé en trois formations superposées: il suivit, comme souvent en cela, l'opinion d'Élie de Beaumont, bien que d'autres géologues aient rangé la formation inférieure, et même la moyenne, dans le Jurassique. Cela le conduisit à traiter de la montagne de Crussol – bien qu'elle soit située en Ardèche –, qu'il introduisit tout entière dans son Crétacé inférieur.

Il repéra les sables du Royans et les plaça, avec une certaine justesse, dans le Crétacé, mais à la base du Cénomaniens. Il distingua aussi la molasse inférieure transgressive sur le Crétacé et redressée comme lui [Burdigalien] : il décrit sa surface de transgression à Saint-Paul-Trois-Châteaux, Barry, etc. La molasse supérieure lui faisait suite, mais il intercala entre les deux une assise d'eau douce repérée dans le secteur de Crest, et retrouvée plus à l'est, alors qu'elle est en réalité au-dessus des molasses marines.

En ce qui concerne le Quaternaire, il distingua le *Terrain diluvien ancien*, qui correspondait surtout au Villafranchien de Chambaran, puis un *Terrain diluvien récent* équivalent des terrains glaciaires et fluvioglaciaires, enfin des *Terrains postdiluvien*s qui sont les alluvions modernes.

Il accordait une large place aux phénomènes tectoniques, qualifiés de « *soulèvements* », non seulement dans la région alpine mais aussi dans le Fossé, et constatait qu'ils ne sont pas tous de même âge, selon les régions. Une très intéressante carte colorisée à 1/250 000 accompagnait le mémoire et traduisait ses diverses observations.

Il publia ultérieurement, en 1849, une comparaison chronologique des terrains quaternaires de l'Alsace avec ceux de la vallée du Rhône situés dans le Dauphiné, puis, en 1856, une étude de la période quaternaire en vallée du Rhône, suivie, en 1862, d'une importante *Description géologique du département de Vaucluse*, et enfin d'une notice sur la Crau en 1867, que nous évoquerons dans les divers chapitres ultérieurs.

On peut aussi retenir un auteur peu connu, **F. Valuy**, qui décrit sommairement les carrières de Couzon-au-Mont-d'Or, et surtout qui suivit les sondages recherchant la houille à partir des sommets du Mont-d'Or, ce qui lui permit de donner la succession verticale de toute la série (1836). Vers 1813-1814, un premier puits creusé sur le revers sud du mont Thou, avait atteint les argiles du Domérien, ce qui le conduisit à supposer que les énigmatiques *Tisoa* pourraient être la « *dépouille interne de quelques céphalopodes* »⁶. La reprise des travaux en 1823 permit ensuite d'atteindre le Trias en 1826 à la profondeur de 427 pieds (142 m). Il put déterminer ainsi les épaisseurs de toutes les assises, que reprendront Falsan et Locard dans leur monographie de 1866.

Aimé Drian* (1800-1867) était un ingénieur des mines qui avait travaillé aux Houillères de Rive-de-Gier, puis aux mines de Ternay-Communay. Passionné par la géologie, il répondit au concours ouvert par l'Académie de Lyon, intitulé *Géologie d'un ou plusieurs cantons du département du Rhône*. En 1838, il envoya un mémoire – *Essai sur la géologie* – qui traitait de toute la géologie locale et était illustré d'une carte et de deux planches de coupes manuscrites, mais qui resta inédit. La plupart des observations furent reprises, mais sans illustrations, dans les publications ultérieures de Drian (1848, 1859). Le mémoire du concours est conservé auprès de l'Académie de Lyon (Ms 311) ; il a récemment été transcrit, commenté et publié par L. David et N. Mongereau (2012) (fig. 8).

⁶ Or *Tisoa* désigne un terrier en U creusé dans la vase originelle par un animal fouisseur inconnu : autour du terrier le carbonate s'est rassemblé en un marno-calcaire assez dur et le tube lui-même est comblé par la calcite. Il est difficile de comprendre comment Valuy a pu imaginer une structure interne de céphalopode qui soit représentée par deux tubes cylindriques parallèles d'un centimètre de diamètre espacés de quelques centimètres. Les terriers se débitent en tronçons d'environ cinq centimètres d'épaisseur, appelés localement « *fromages du père Adam* ».

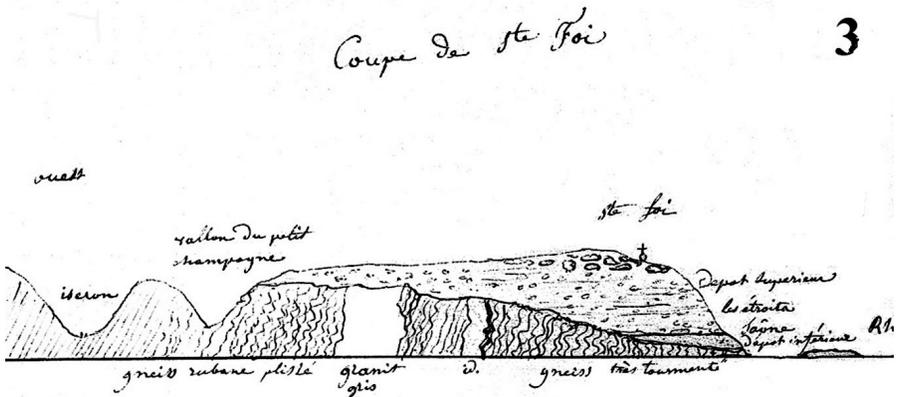
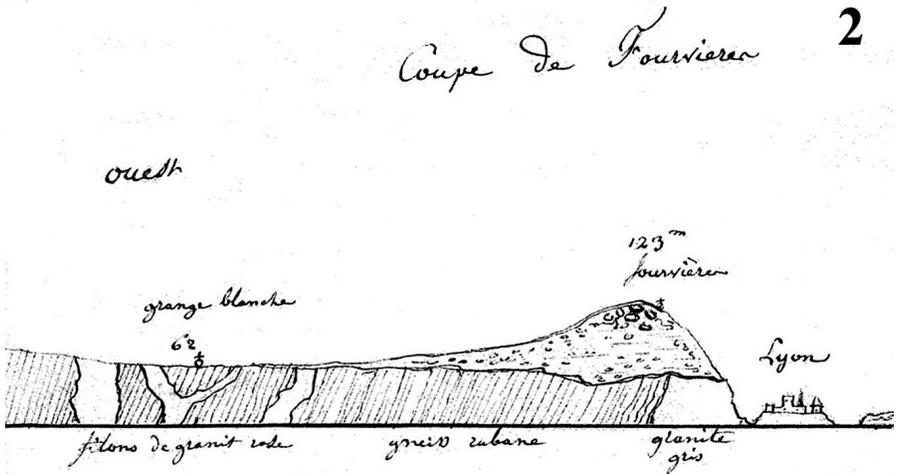
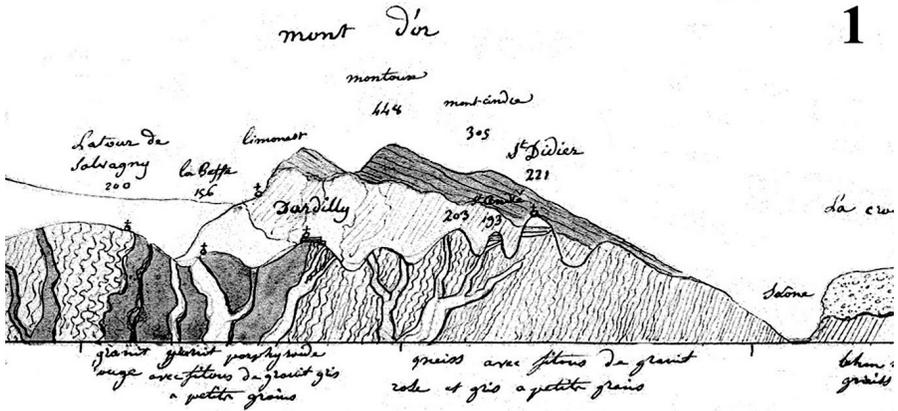


Fig. 8. Trois coupes extraites du manuscrit d'Aimé Drian (1838) sur la géologie du département du Rhône: 1. Mont-d'Or lyonnais, avec schéma interprétatif du socle du Massif central; 2. colline de Fourvière vue en semi-perspective, avec le glaciaire reposant sur le socle; 3. colline de Sainte-Foy avec aussi le glaciaire sur le socle, et un « dépôt inférieur » qui est le faciès « Jardin des Plantes » du Miocène, affleurant sous le glaciaire.

Philippe Matheron* (1807-1899) avait entrepris, dès 1825, de dresser la carte géologique du département des Bouches-du-Rhône qu'il publia dès 1839, en accompagnement de l'*Essai sur la constitution géognostique* de ce département (voir la reproduction de la carte in Philip, 2012, fig. 4, p. 33). Une nouvelle édition de la carte fut publiée en 1842 dans le cadre du programme des cartes départementales et offerte à la Société géologique de France (voir au chapitre 3 les cartes départementales). Il divisa alors les terrains tertiaires en quatre formations, de bas en haut : 1. terrain à lignite ; 2. terrain marneux à gypse ; 3. molasse coquillière ; 4. terrain d'eau douce. Cela était déjà une bonne approche succincte de la stratigraphie.

Dans l'introduction de son mémoire, Matheron commença par une véritable leçon de géologie de terrain, montrant par des exemples comment suivre, de proche en proche, les affleurements, seul moyen de bien comprendre les superpositions : cela lui permit de rectifier les erreurs commises par **Christophe de Villeneuve-Bargemon** (1821) dans la *Statistique du département des Bouches-du-Rhône*, par exemple en montrant que le poudingue de la Crau est situé au-dessus et non au-dessous de la molasse coquillière. Il confirma la superposition : terrain d'eau douce à lignites – molasse coquillière – poudingue de la Crau [Crétacé supérieur – Burdigalien – Quaternaire] (p. 76). Dans sa description régionale, nous retiendrons que la molasse coquillière est étudiée avec une remarquable précision dans les diverses localités où elle existe (p. 92-109), étude complétée par la recherche des indices d'anciens rivages de la mer de l'époque tertiaire, sous forme de perforations de lithophages dans les substratums calcaires (p. 112-114).

Non seulement il revient aussi à Matheron d'avoir remarqué la discordance de la molasse coquillière sur le Crétacé aux Baux, ou sur le Lias à la Sainte-Victoire, mais il observa, souvent, le redressement, ou le basculement, de la molasse aux abords de certains chaînons, en particulier celui des Alpilles.

En ce qui concerne la Crau, Matheron revient sur la position des sédiments : « *on doit admettre comme vérité incontestable, comme fait patent, que le poudingue de la Crau est supérieur à la molasse coquillière* ». Si le poudingue n'est jamais très épais, il est accompagné d'alluvions meubles.

Plus tard, en 1842, dans son important ouvrage sur les fossiles des Bouches-du-Rhône, il commença par dresser le cadre stratigraphique aussi bien des terrains mésozoïques que cénozoïques en reprenant son étude de 1839 : il affirma à nouveau la succession des assises, soit en accord avec ses collègues, soit en désaccord, en particulier avec Alcide d'Orbigny et Scipion Gras. De telles divergences d'opinion étaient normales en ce début du XIX^e siècle, alors même que, par exemple, l'Urgonien n'était pas perçu comme un faciès, mais comme un étage, et que les assises continentales du Crétacé supérieur provençal étaient rangées dans le Tertiaire. Philippe Matheron ne sera donc pas exempt de voir sa stratigraphie subir quelques sérieuses rectifications ultérieures, alors que son travail aura constitué une très bonne base pour ses successeurs.

Une analyse plus poussée de l'apport de Matheron, aussi bien pour le Crétacé que pour le Tertiaire et même le Quaternaire, se trouve dans l'ouvrage de Jean Philip (2012, p. 34-36).

II. LES RICHESSES MINÉRALES ET LES RESSOURCES EN EAU

Lors de leurs explorations régionales, la majorité des auteurs évoqués ci-dessus avaient indiqué la nature des roches rencontrées, mais sans mentionner l'usage qui pouvait en être fait ; d'autres avaient retenu les exploitations qui étaient faites de ces roches. En ce qui concerne les ressources en eau, les sources ont plus aisément retenu l'attention, mais, parfois les ressources, souterraines ou de surface, ont été mentionnées.

Jean-Louis Alléon-Dulac* (1723-vers 1788), plus connu aujourd'hui comme naturaliste que comme avocat au parlement de Lyon, a publié deux ouvrages fondamentaux : *Mélanges d'histoire naturelle* (1754) qui n'est pas exclusivement consacré à la géologie, et surtout *Mémoire pour servir à l'histoire naturelle des provinces de Lyonnais, Forez et Beaujolais* (1765), qui reprend et complète le précédent.

Dans ce dernier livre, un chapitre du tome 2 apportait, pour la première fois, un panorama assez vaste des ressources en pierres de construction de la région lyonnaise au sens le plus large. Ce long chapitre était intitulé *Mémoire sur les carrières de pierres, de marbres, etc.* (p. 91-174) et il montrait, à l'évidence, que l'auteur avait parcouru le Mont-d'Or, ses annexes et le Bas-Beaujolais, et qu'il connaissait aussi des régions plus lointaines vers le nord ou dans le Jura (pierre de Tournus, de Seyssel, « *choin* » de Fay et de Villebois, etc.). On retiendra que l'auteur donnait les dates d'exploitation des diverses pierres et, pour les carrières du Sinémurien de Saint-Fortunat (commune de Saint-Didier-au-Mont-d'Or), donnait même les caractères des 42 bancs exploités, ainsi que la nomenclature utilisée par les carriers. À cette occasion, Alléon-Dulac a également établi la première succession des terrains dans le Mont-d'Or lyonnais, depuis le Trias jusqu'aux calcaires de Couzon, ce qui est important pour la stratigraphie. Il donna aussi de bonnes descriptions des carrières de Dardilly (Le Paillet), de Lucenay et Pommiers en Bas-Beaujolais, sans oublier les carrières de pierre à chaux.

Il pensait que le « *choin* » qui a servi à la construction des monuments romains de Lugdunum pouvait venir de l'Île-Crémieu, alors qu'il provenait des régions de Seyssel et de Fay. Il repéra aussi que les colonnes du temple d'Auguste avaient dû être taillées dans ce qui est encore appelé « *granite de Tournon* », et provenir des carrières de rive gauche du Rhône dans le défilé de Saint-Vallier-Tain. Il décrivit également les granites de Pierre-Bénite et d'Oullins, sur le bord même du Fossé, dans la banlieue sud de Lyon.

Il passa en revue toutes les mines connues, en particulier dans notre zone d'étude, les célèbres mines de cuivre de Chessy et de Sain-Bel en Bas-Beaujolais ; il signala, à Chasselay au pied du versant nord du Mont-d'Or, une mine de plomb en galerie qui venait d'être ouverte. En dehors du Fossé, on peut retenir que l'auteur s'intéressait aussi beaucoup au bassin houiller de Saint-Étienne dont la description occupe presque la moitié du tome 2 ; à son propos, il aboutit à la conclusion suivante : « *il paraît très probable qu'on doit attribuer au charbon minéral, ainsi qu'aux différents bitumes, au jais & au succin, une origine végétale* ».

Dans le tome 1 et le *Mémoire général*, Alléon-Dulac donna une description technique très précise, avec une planche, sur l'utilisation du pizay [pisé] qu'on utilise beaucoup