

ANNALES
de la
SOCIÉTÉ D'HORTICULTURE
et
D'HISTOIRE NATURELLE
de
L'HÉRAULT

Volume 153

Année 2013



**ANNALES DE LA SOCIÉTÉ D'HORTICULTURE
ET D'HISTOIRE NATURELLE DE L'HÉRAULT**

Reconnue d'utilité publique par décret du 14 avril 1933
C.C.P. Montpellier 628-95 K

Présidence : M. Daniel Mousain, 11 rue Démians - 30000 Nîmes, tél. pers. 04 66 67 81 88/06 27 25 29 66.

Siège social : Parc à Ballon 1, bât. B - 125 rue du Moulin de Sémalen - 34000 Montpellier.

Adresse postale : SHHNH, Parc à Ballon 1, bât. B - 125 rue du Moulin de Sémalen - 34000 Montpellier.

Site internet : <http://www.shhnh.com> et **adresse électronique** : parcballon@shhnh.com.

Téléphone du local : 04 67 99 05 36 (message délivré).

Activités : sorties, conférences, documentation, expositions, participation à des manifestations. Les sections se réunissent régulièrement (sauf juillet et août). Sauf indications contraires, les diverses activités ont lieu au local, 125, rue du Moulin de Sémalen, Parc à Ballon 1, bât. B (à droite en entrant, au rez-de-chaussée). Elles sont portées sur les tableaux d'affichage au local et sur le site internet.

Botanique / horticulture : déterminations au local de la Société, le lundi après-midi, conférences, excursions. Contacts M. Jean-Marie Coste, 04 67 92 53 92 / jean-marie.coste0234@orange.fr et M. Frédéric Andrieu, 04 99 23 22 11 / f.andrieu@cbnmed.fr; horticulture : contact Mme Josiane Ubaud, 04 67 70 34 74 / jb.ubaud@wanadoo.fr

Entomologie : réunions et sorties. Réunion le premier mardi de chaque mois, au local. Contacts M. Gérard Duvallat / gduvallat@aol.com et/ou M. Bruno Michel, 04 67 59 31 11/bruno.michel@cirad.fr et/ou M. Michel Emerit, 04 67 72 26 41 / michel.emerit34@orange.f

Géologie : des sorties sont organisées sous la direction de différents intervenants. Contacts M. Jean-Marie Dautria, / jean-marie.dautria@orange.fr et / ou Mme Huguette Grimaud, 04 67 72 80 24 / huguette.grimaud@orange.fr

Mycologie : réunions et sorties. Identifications le lundi après-midi au local de la Société. Contacts Mme Marie-Josèphe Mauruc, 04 67 55 38 78/mariejo.mauruc@gmail.com et/ou Mme Francine Monier, monier.francine@wanadoo.fr

Détermination en haute saison le lundi matin par Mmes le Professeur Sylvie Rapior (04 11 75 96 55), Laurence Mondolot (04 11 75 96 58) et Françoise Fons (maître de conférences, (04 11 75 96 60) au Laboratoire de Botanique, Phytochimie et Mycologie, Faculté de Pharmacie, entrée par la Voie Domitienne, tél: 04 11 75 96 56.

Avantages réservés aux membres :

Participation gratuite aux diverses activités.

Annales et Bulletins de liaison régulièrement publiés.

Bibliothèque de la société : s'adresser à Mme Marie-Josèphe Mauruc, 04 67 55 38 78 / mariejo.mauruc@gmail.com

Rédaction des Annales : la revue accueille tous les travaux concernant l'horticulture et les sciences naturelles écrits en français. Un comité de lecture examine les articles et s'en réserve le choix dans l'intérêt de la revue, de son unité et de sa qualité scientifique. Si nécessaire, il peut apporter un complément souhaitable avec l'accord de l'auteur.

Sur demande des auteurs, les articles en format PDF leur seront adressés en document attaché par courrier électronique.

Les opinions défendues par les auteurs n'engagent pas la responsabilité de l'association, ni celle des membres du bureau.

Responsable : G. Martin (en collaboration avec M. Crousilles). Les articles sont à envoyer à G. Martin (gerard.martin.dorel@gmail.com).

Changement d'adresse : veuillez indiquer un changement d'adresse postale ou d'adresse électronique par un courrier adressé au secrétariat général de la SHHNH ou par courriel à: parcballon@shhnh.com.

Montant de la cotisation 2013 : elle est de 28 € par personne, 38 € pour un couple et 5 € pour les étudiants, déductibles des impôts dans la limite légale.

Le mot du président

Daniel Mousain

Le grand plaisir m'est offert de vous annoncer la parution de ce volume des *Annales de la SHHNNH*, le 153^e. Enfin, pourront penser nombre de membres de notre association !? Le projet, conçu depuis quelques années, de créer des *Annales* comprenant des articles scientifiques et techniques relevant des sciences naturelles et de l'horticulture, à périodicité annuelle, de forme attrayante (notamment par la page de couverture et le format adopté) et au contenu consistant, a donc pris corps au cours de ces derniers mois.

Permettez-moi de féliciter, en premier lieu, les auteurs des articles de ce volume qui ont répondu spontanément et résolument à notre appel à projets, qu'ils soient membres ou non de la SHHNNH. Ces contributeurs n'ont pas rechigné à se plier à l'exercice quelque peu formel et normatif (mais la « qualité » du volume n'est-elle pas à ce prix ?) des « instructions aux auteurs », elles-mêmes renouvelées par le groupe éditorial bénéficiaire sur ce plan des propositions de la commission Annales-site de la SHHNNH. En second lieu, les re-lecteurs critiques des articles, sur le fond comme sur la forme, doivent être complimentés pour leur contribution à l'amélioration générale de ces articles. Ces compliments doivent aussi être adressés au « trio » éditorial (avec Michel Crousilles « à la manœuvre ») et à l'imprimerie AGL, déjà contactée par Monique Brunet pour l'impression des comptes-rendus des XXVI^{es} Journées mycologiques de la FAMM en mars dernier et qui a réitéré cette prestation avec un grand professionnalisme.

Le résultat de ces efforts convergents est un volume d'environ 120 pages comprenant une vingtaine de planches en couleur. Mais, c'est la diversité des articles proposés (12) qui scelle le mieux le renouveau des *Annales*. Ainsi, toutes les disciplines de la SHHNNH sont concernées ; l'éventail des articles s'étend des inventaires de la biodiversité des paysages, de la faune et de la flore, au débat proposé sur les changements climatiques et leurs conséquences sur le devenir des forêts, en passant par la systématique et la biologie florale d'un ligneux fruitier emblématique, l'Olivier, et la biotechnologie pharmaceutique. Evidemment, ce résultat ne s'est pas réalisé sans de nombreuses interrogations, tâtonnements, tergiversations, etc. Il conviendra dès l'an prochain de réduire cette période « chronophage » en sollicitant les auteurs dès le milieu de l'année. Mais ce résultat est aussi le fruit d'un dialogue constructif entre les éditeurs et les auteurs.

Formons le vœu que de nouvelles contributions, dans des domaines naturalistes aussi variés que pour ce premier volume, soient proposées aux *Annales de la SHHNNH* en 2014 et que ce renouveau de la publication ne soit pas qu'« un feu de paille ».

Deux cents ans de géologie à travers les paysages languedociens autour du Pic Saint-Loup

Michel Séranne

Géosciences Montpellier, CNRS / Université Montpellier 2, F-34095 Montpellier cedex 05
(seranne@gm.univ-montp2.fr)

Résumé

La géologie a beaucoup évolué au cours des deux derniers siècles. On analyse l'histoire des géosciences autour du pôle universitaire montpelliérain, 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.

Keywords : geology, landscapes, stratigraphy, underground structure, geological section, 3D model, science history, Montpellier University.

Introduction : une lecture subjective des paysages

Les garrigues, lardées d'escarpements 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 XIX^e 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.

Les premiers naturalistes s'intéressent -entre autres choses- à la géologie en décrivant les terrains des 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 XIX^e siècle montrent une grande évolution par rapport aux classiques peintures de paysages qui idéalisent les sujets, typiques du XVIII^e siècle. Elles sont devenues réalistes : les paysages représentés par cet infatigable arpenteur du département sont parfaitement identifiables (Fig. 1). 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 géologie !

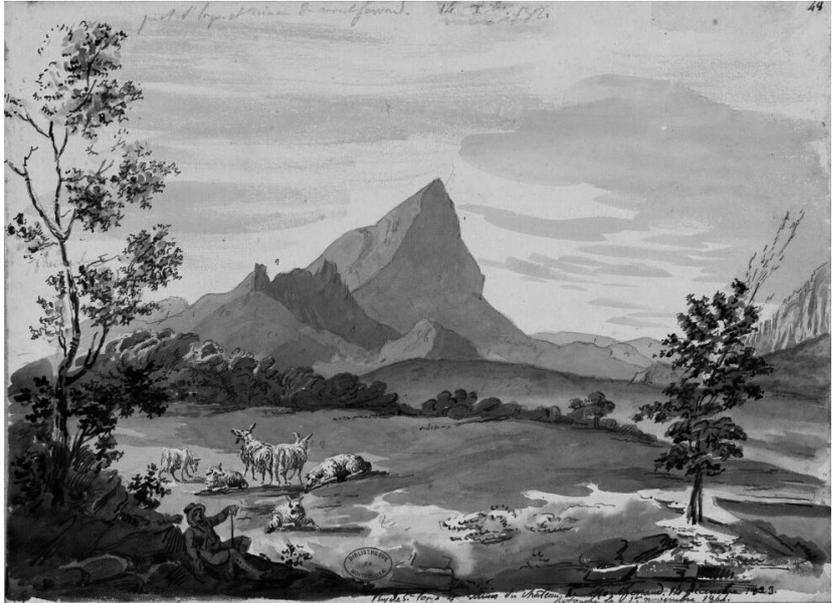


Fig. 1 : Vue du Pic Saint-Loup par Jean-Marie Amelin datée de 1823 (original à la Médiathèque de Montpellier, Bibliothèque numérique).

Etablir la succession stratigraphique

Les naturalistes du XIX^e siècle s'attèlent 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 XVII^e 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 sédiments, déposées successivement, comme les pages d'un livre. Presque en même temps (au tout début du XIX^e), 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, un ancien ingénieur chargé de l'exploitation minière en Alsace, nommé Commissaire des États du Languedoc, inventorie en 1776 les ressources agricoles et naturelles, dans ce qui reste comme le premier guide géologique régional. Au sud du Pic Saint-Loup, il note dans la combe de Mortières : « 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 remarque 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 XIX^e siècle s'inscrivent dans la révolution scientifique et naturaliste européenne. Marcel de Serres de Mespès, né en 1780 dans une riche famille montpelliéraine est envoyé, adolescent, à Paris où il assiste à l'émergence de la géologie, notamment au Muséum. 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 fera fructifier 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).

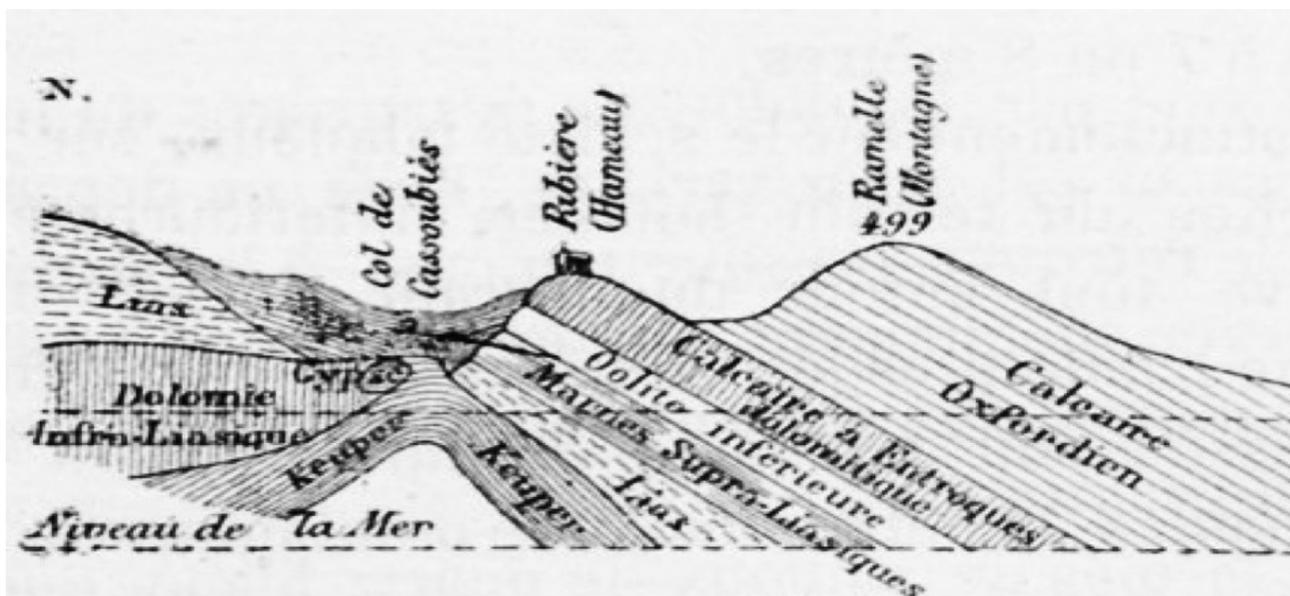


Fig. 2 : Coupe stratigraphique du Jurassique de la zone nord du Pic Saint-Loup, Montagne des Cagnasses, selon (Dumas, 1872). Source : BnF Gallica.

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 stratigraphi-

que à travers la bordure sud cévenole, aux environs de Saint-Hippolyte-du-Fort (Fig.2) qui représente la succession stratigraphique de la zone au nord du Pic Saint-Loup.

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.

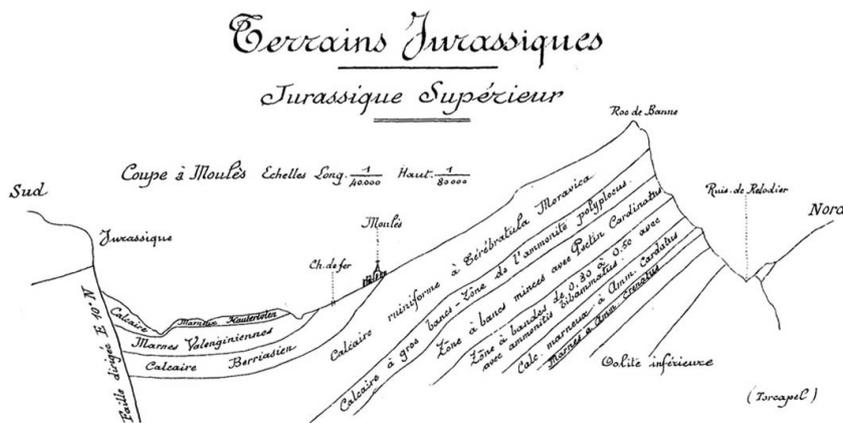
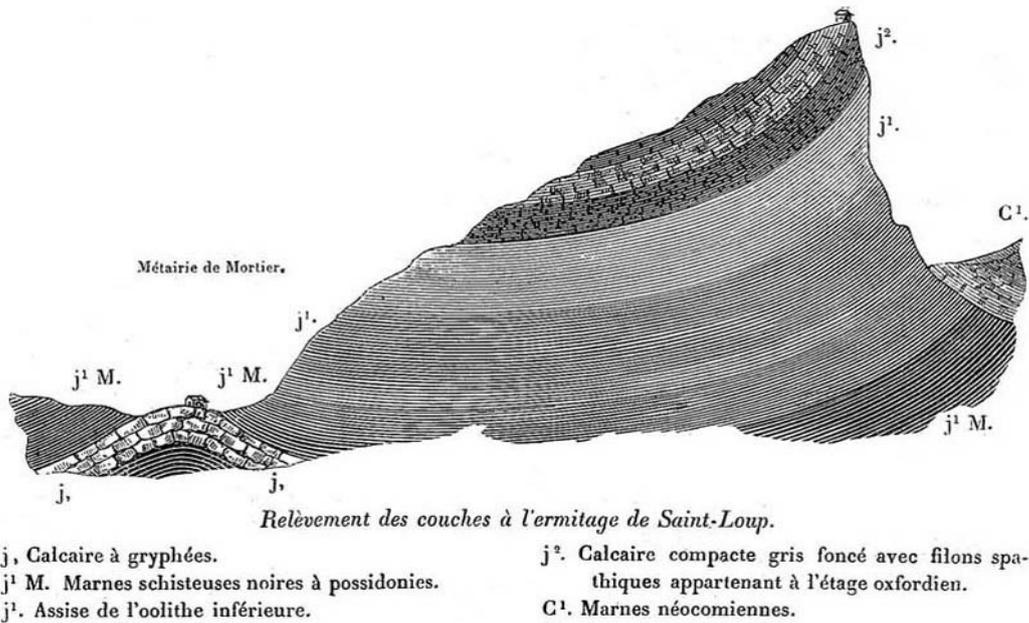


Fig. 3 : Coupe stratigraphique du Jurassique de la zone nord du Pic Saint-Loup, selon Alfred Torcapel in de Rouville (1894b).

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 (Fig. 3). 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. 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 les flancs des canyons incisés au maximum de quelques centaines de mètres dans 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 du Rieutord ou du Vidourle. Le problème est bien plus complexe dans la région du Pic Saint-Loup.

Les deux coupes du Pic Saint-Loup et de la combe de Mortières de la figure 4, établies successivement vers le milieu du XIX^e siècle révèlent de manière criante les incertitudes et hésitations de Paul de Rouville sur la structure du célèbre paysage. Dans la première, publiée en 1848 dans un ouvrage de synthèse édité par Dufrénoy et Beaumont (1848), mais acquise bien avant cette date, les terrains plus anciens sont certes bien identifiés, mais la structure fantaisiste en synclinal (concave vers le haut) du Pic Saint-Loup implique une relation structurale avec les « *Marnes Néocomiennes* » incohérente avec la disposition des terrains. Dans la seconde coupe issue de sa thèse, de Rouville (1853a), persiste à dessiner un synclinal au sommet et propose une structure incohérente pour le flanc nord du Pic : le « *Lacustre* » (calcaires du Lutétien) est à la fois discordant sur les séries anciennes et recouvert par le « *Néocomien* ». De plus, le pli anticlinal (concave vers le bas) de la combe de Mortières ne présente pas les



Le diagramme suivant montre cette disposition : les couches infléchies du milieu et désignées sous le signe **J barré**, représentent le Lias ; les initiale : **M S** signifient marnes supraliasiques ; **J¹**, oolithe inférieure ; **D** dolomie de l'Oolithe ; **ox.** oxfordien ; **N** néoconien ; **L** formation lacustre.

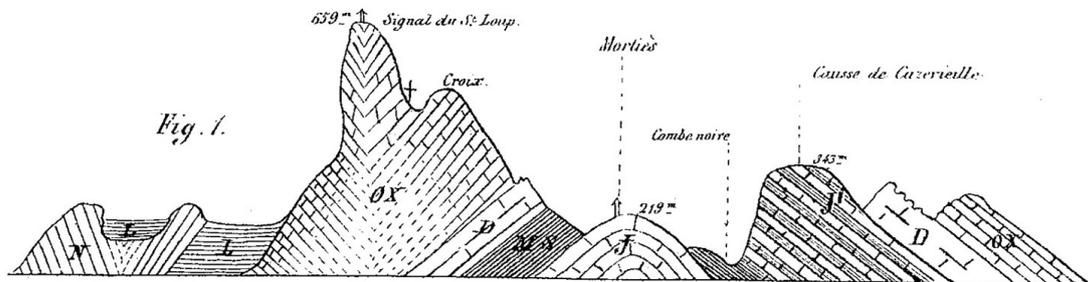


Fig. 4 : Incertitudes et hésitations sur la structure sous-jacente. A ; La première (?) coupe géologique du Pic Saint-Loup par Paul de Rouville, publiée dans (Dufrénoy et Beaumont, 1848) (Source : BnF Gallica / Bibliothèque de Jussieu) – B ; coupe géologique du Pic par (de Rouville, 1853a) dans sa thèse.

mêmes séries sur ses flancs 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 anciens révèle le souci des auteurs de comparer les terrains observés localement avec les descriptions issues d'autres territoires, parfois distants de quelques kilomètres (de Saint-Hippolyte à la combe de Mortiers 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 XIX^e siècle (Fig. 5).

<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 coquiller</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 supraliasiques</i>	Pliensbachien à Aalénien
		<i>Lias proprement dit ou Calcaire à Gryphées</i>	Hettangien à Sinémurien

Fig. 5 : Inventaire des terrains dans la succession stratigraphique de la région du Pic Saint-Loup, telle qu'elle était connue au milieu du XIX^e 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 XX^e siècle, avec - entre autres - les travaux paléontologiques de Roman et Geneveaux, 1912, jusqu'aux études de Mattei, 1986, dans lesquelles, la précision apportée par la biostratigraphie, permet de mieux appréhender 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 XIX^e siècle reportèrent leurs observations sur des cartes. Les attributions stratigraphiques à des ensembles d'affleurements 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 (Fig. 6) 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 !

Notons que pour dresser une carte géologique, il faut d'abord disposer d'un fond topographique. La carte d'État-Major au 1/80000^e 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^e. De Rouville la fait redessiner en apportant des mises à jour et en l'agrandissant d'un facteur 2 afin d'obtenir un support cartographique au 1/43200^e (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. 6 : Première carte géologique détaillée (original à l'échelle du 1/43000^e) de la zone du Pic Saint-Loup. Extrait de la carte accompagnant la thèse (de Rouville, 1853b) – Source : Bibliothèque Géosciences Montpellier.

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 (Fig. 7A). 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 XIX^e 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 tracée, 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^e (« 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 (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^e 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* » (Fig. 7B). 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 1/500 000^e (de Rouville, 1894a) (Fig. 7C). 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 Saint-Loup, mais elles sont représentées exactement verticales.

Enfin, la cartographie géologique de la région de Montpellier atteint un haut niveau de perfection dans la 2^e moitié du XX^e siècle, avec les cartes au 1/50 000^e 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 Saint-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 7D la carte géologique du département, issu de la carte géologique de France au 1/1 000 000^e, 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 géologiques 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 (Fig. 8). On imagine aisément que ce dernier est le véritable auteur de la

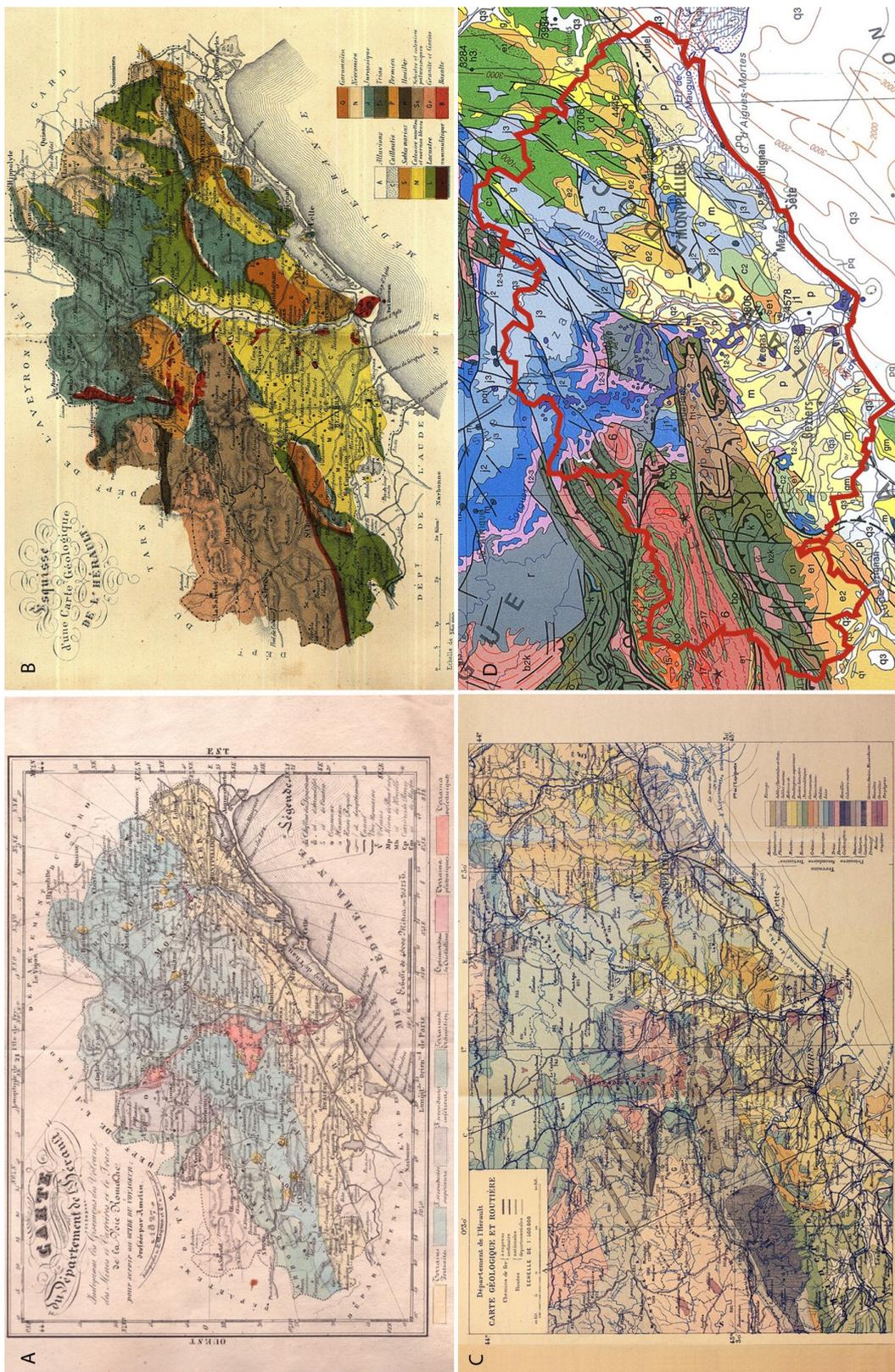


Fig. 7 : Évolution de la carte géologique du département de l'Hérault à une échelle permettant une représentation synthétique ; A : (Amelin, 1827) ; B : (Paul de Rouville, 1876) ; C : (de Rouville, 1894a) ; D : (Chantraine *et al.*, 1996).

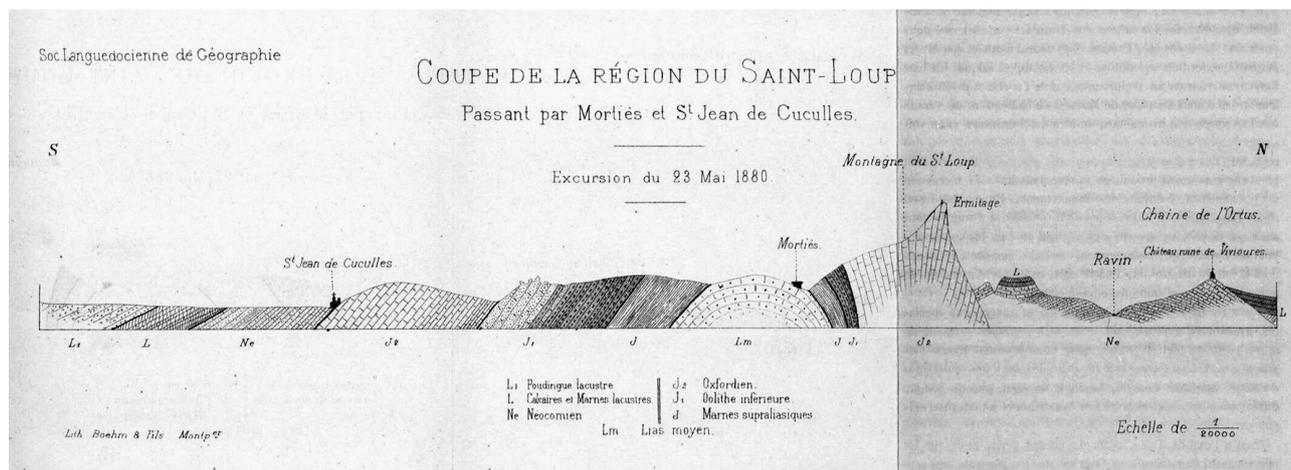


Fig. 8 : Coupe géologique de la zone du Pic Saint-Loup (Pouchet, 1880) montrant une timide tentative d'interprétation de la structure profonde du Pic Saint-Loup : l'extrapolation se limite aux parties les plus superficielles et on remarque quelques incohérences structurales (notamment au nord du Pic).

coupe. Outre l'absence de failles, notons qu'une des zones les plus problématiques - la bordure nord du pic - est laissée en blanc à moins de 50 m de profondeur.

La construction de coupes géologiques 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 Saint-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 Saint-Loup, comme on le ferait aujourd'hui. Il prétend, de plus, que le soulèvement du Pic Saint-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, qui affirme que « le soulèvement des Alpes principales a fait sentir son influence sur le mont St Loup » était bien plus moderne ! (Serres et Vézian, 1853).

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 (Fig. 9). Si le forage amène de bons résultats scientifiques, les objectifs pétroliers ne sont pas à la hauteur, puisque le puits est sec.

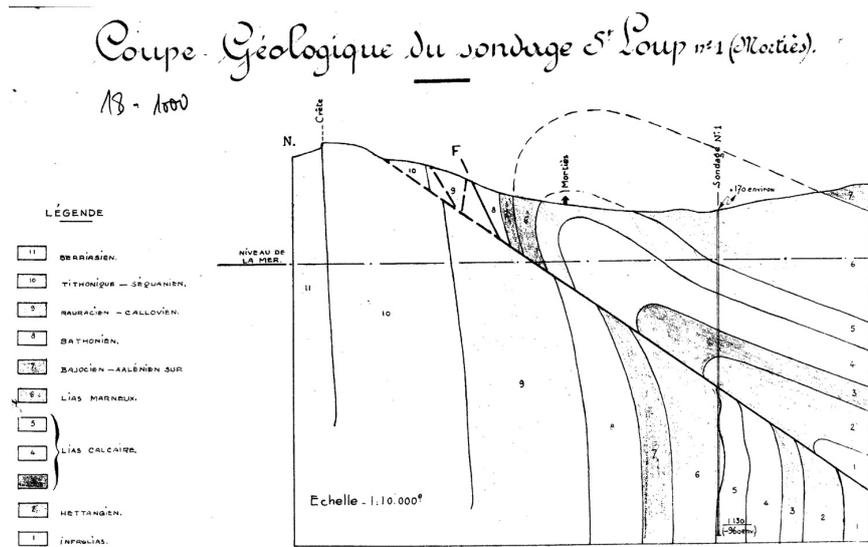


Fig. 9 : Compte-rendu des résultats du forage Pic Saint-Loup effectué par le Centre de recherche de Pétrole du Midi en 1938 et 1939. Le forage (sondage n°1) implanté dans le cœur de l'anticlinal montre une répétition de terrain due à une faille inverse à 620m de profondeur.

L'évolution des modèles tectoniques, la finesse de la résolution stratigraphique 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. 10). Les positions du forage et des chevauchements rencontrés y sont indiquées, apportant une précieuse contrainte sur la construction des deux coupes parallèles.

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. 11 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 complexes traitements, elle est de qualité très inégale (particulièrement mauvaise au droit du Pic Saint-Loup...), elle est sujette à des interprétations différentes (Fig. 11 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. 11 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.

Cette information acquise lors d'explorations pétrolières dans les années 80 a permis aux universitaires montpelliérains de construire des coupes géologiques dans les années 90 (Fig. 12), même si la structure profonde sous le Pic Saint-Loup reste encore en discussion, à cause de la piètre qualité de l'imagerie dans cette zone.

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 de visualiser, ou de conceptualiser, un volume de terrain. Le paysage en surface se complète

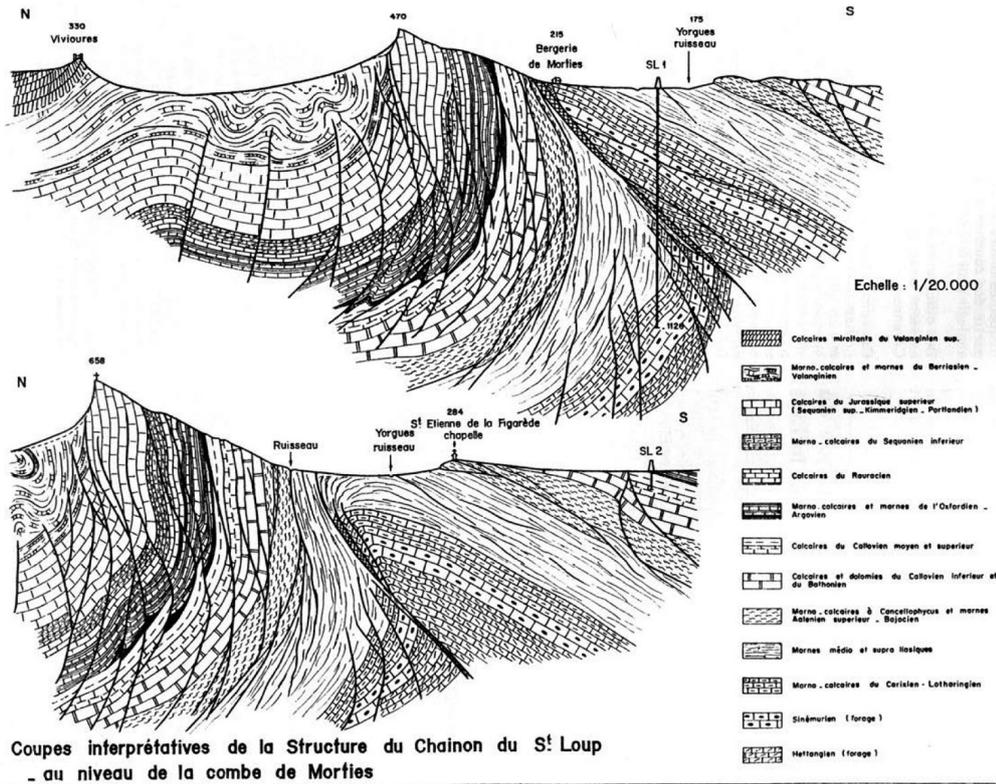


Fig. 10 : Coupe du Pic Saint-Loup et de la combe de Mortiers intégrant les données du forage et la présence de failles inverses (Mattei, 1986). Ici, le grand degré de précision de la stratigraphie, aboutit à une coupe très détaillée, mais nombre de failles représentées ne sont pas contrôlées par l'observation.

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

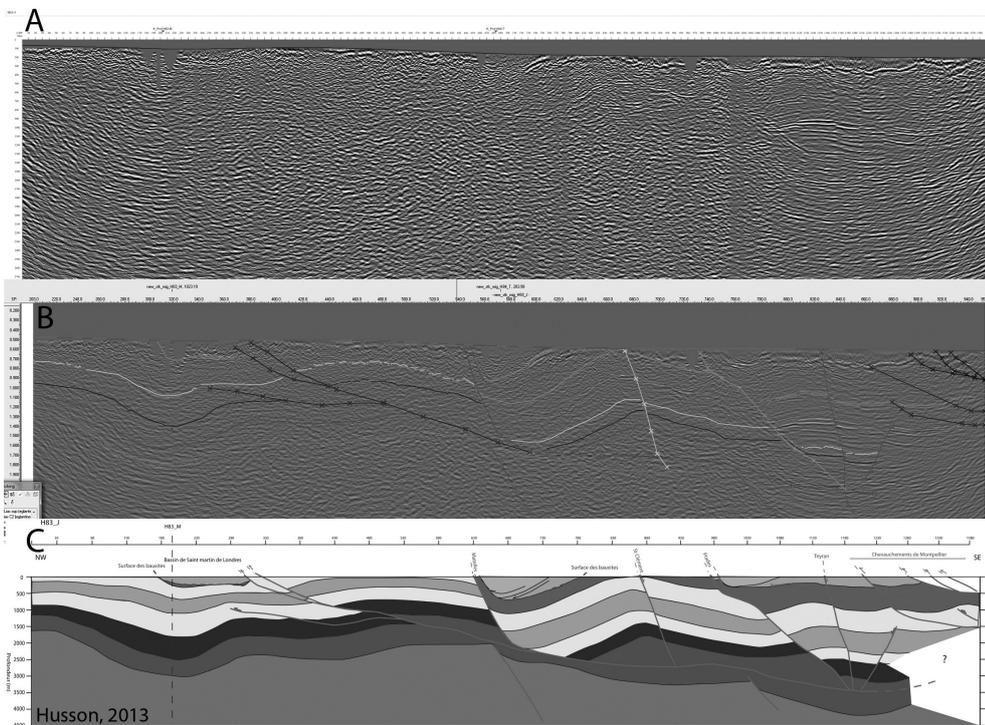


Fig. 11 : **A** - Exemple de données de sismique réflexion acquises dans le NE de l'Hérault en 1983, 84 et 85 lors d'exploration pétrolière. Le profil passe à l'ouest du Pic Saint-Loup. Cette sorte d'échographie est obtenue en émettant artificiellement une onde sismique depuis la surface dont on enregistre (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 plus ou moins sombres représentent des interfaces entre couches ou des failles. **C** - Transformation du profil de sismique réflexion interprété en coupe géologique (Husson, 2013).

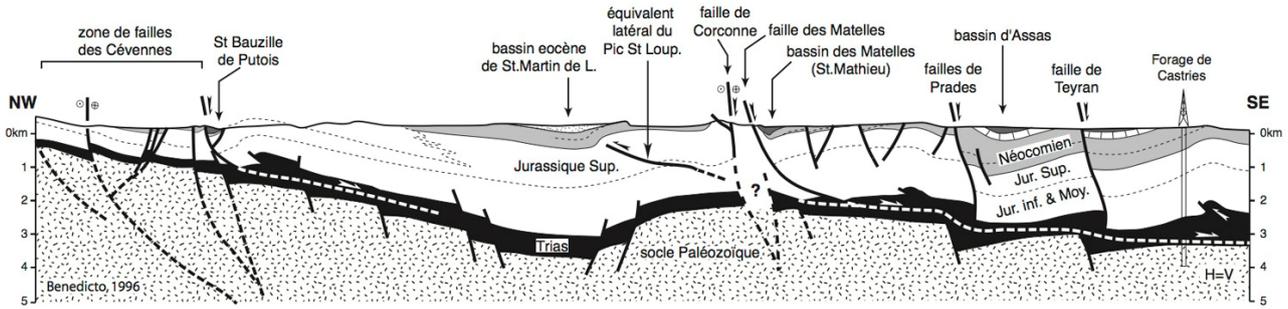


Fig. 12 : Coupe géologique régionale construite en intégrant les données de sismique réflexion (Benedicto, 1996) : ces données montrent notamment que l'ensemble des structures tectoniques de la région (chevauchement et plis du Pic Saint-Loup, failles normales des Matelles, de Prades...) n'affectent que les séries sédimentaires, désolidarisées du socle ancien par les couches plastiques argileuses du Trias (en noir).

par la visualisation des structures extrapolées en profondeur. Les bloc-diagrammes (Fig. 13), dont le Pr. Maurice Mattauer se fait le chantre auprès de ses élèves de l'Université de Montpellier 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 13, le diagramme montre le paysage du Pic Saint-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

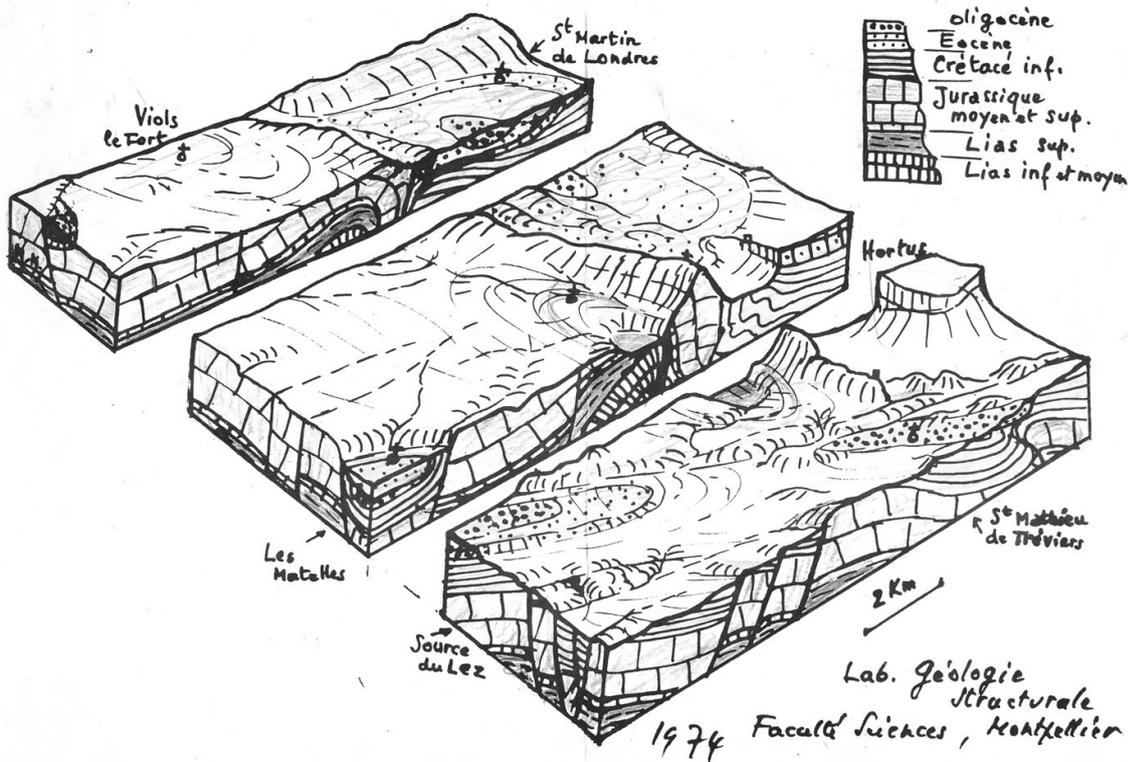


Fig. 13 : Bloc-diagramme de la région du Pic Saint-Loup dessiné par le Pr. Maurice Mattauer de l'université de Montpellier (1974). Très utilisé par l'école montpelliéraine à partir des années 70, ce mode de représentation conceptuelle permet de visualiser les relations structurales en 3 dimensions d'un paysage (la surface) avec la géologie (le sous-sol).

autres afin de laisser entrevoir des coupes (elles-mêmes en perspective !) judicieusement choisies pour leur représentativité.

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 de Fambétou.

La chronologie relative s'exprime par les failles normales des Matelles et de Prades (juste à côté de « source du Lez ») recoupant les plis plus anciens du Pic Saint-Loup, et celui, plus à l'est, au niveau de Saint-Mathieu-de-Trévières. 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 en surface évoquée 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 14 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 (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 représen-

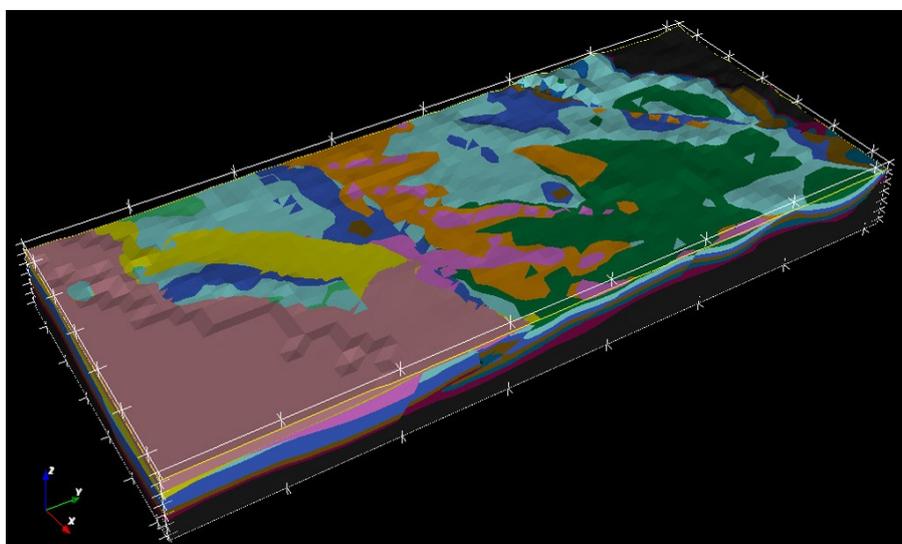


Fig. 14 : Image d'un « géomodèle » de la région entre Sète (à gauche) et Ganges (à droite). Le modèle numérique est élaboré en intégrant toutes les données disponibles et en interpolant dans les zones moins documentées. L'utilisateur dispose d'un volume complètement informé, qu'il peut étudier sous toutes 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.

ter que le réseau de failles. Cette 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 !

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 N-S est-elle parfaitement en accord avec la représentation de cette même faille interceptée par une coupe E-W ? 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, toujours plus précises. 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

J'exprime ma gratitude à Pierre-Jean Combes pour ses encouragements, ses enrichissantes discussions et la relecture du manuscrit. Les figures 11 et 14 ont été gracieusement réalisées et mises à disposition par Eglantine Husson, que je remercie pour son investissement et sa bonne humeur. Le manuscrit a bénéficié des remarques de Jean-Claude Bousquet et des conseils éditoriaux de Michel Crousilles.

Références bibliographiques

- Amelin J.-M., 1827. *Guide du voyageur dans le département de l'Hérault*. Gabon & Compagnie, 586 p. 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 - 6^e édition, BRGM, Orléans.
- 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., 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 Saint-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., Mattauer M., Bodeur Y., Séguret M., Puech J.P. & Mattei J., 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*. Boehm & Fils, 39 p. Montpellier.
- Roman F., & Gennevaux M., 1912. *Étude des terrains Jurassiques de la région du Pic Saint-Loup – Premier Fascicule (Lias, Aalénien, Bajocien, Bathonien)*. Librairie Louis Vallat, 120 p. Montpellier .
- Rouville P. (de) , 1853a. *Description géologique des environs de Montpellier*. Boehm, 222 p. Montpellier.
- Rouville P. (de), 1853b. Carte Géologique des environs de Montpellier, Montpellier.
- Rouville P. (de), 1862. *La Géologie - sa place parmi les sciences - son objet: Discours prononcé à la Faculté des Sciences de Montpellier*. Typographie de Boehm & Fils, 37 p. Montpellier.
- Rouville P. (de), 1876. Carte Géologique et Minéralogique du Département de l'hérault en 4 feuilles 4 *Arrondissements de Montpellier, Lodève, Béziers, Saint Pons*. Imprimerie Lemercier, Paris.
- Rouville P. (de), 1876. *Introduction à la description géologique du Département de l'Hérault*, 2^e Edition. Boehm & Fils, 222 p. (+ 213 planches hors-texte). Montpellier.
- Rouville P. (de), 1894a. *L'Hérault Géologique - Première Partie : Formation du Territoire*. Imprimerie Ricard, 148 p. Montpellier.
- Rouville P. (de), 1894b. *L'Hérault Géologique - Deuxième Partie: Atlas d'Anatomie Stratigraphique du territoire de l'Hérault*, en 2 volumes, Montpellier.
- Rouville P. (de), 1897. Géologie : 17 - 24. In : Fabre A. *Histoire de Montpellier depuis son origine jusqu'à la fin de la révolution*. Montpellier.
- Serres M. (de), 1829. *Géognosie des Terrains Tertiaires ou Tableau des principaux animaux invertébrés des terrains marins tertiaires du Midi de la France*. Pomathio-Durville, 375 p. Montpellier.
- Serres M. (de) & Vézian A., 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.

Psathyrelles en milieux sableux méditerranéens

Micheline Broussal

8 rue de la Calade, F-34660 Cournonsec
(micheline.broussal@wanadoo.fr)

Résumé

L'auteur décrit et illustre *Psathyrella ammophila* (Dur. & Lév.) P. D. Orton, *Psathyrella bipellis* (Quél.) A. H. Sm., et l'espèce rare, *Psathyrella stellata* (Romagn.) Romagn.

Mots-clés : Basidiomycètes, Agaricales, *Psathyrellaceae*.

Abstract

The author describes and illustrates *Psathyrella ammophila* (Dur. & Lév.) P. D. Orton, *Psathyrella bipellis* (Quél.) A. H. Sm. and the rare species, *Psathyrella stellata* (Romagn.) Romagn.

Keywords : Basidiomycetes, Agaricales, *Psathyrellaceae*.

Introduction

Des sorties fréquentes tant au printemps qu'en automne sur sites en bord de mer ont permis de faire, parmi d'autres espèces de champignons, des récoltes de différentes psathyrelles, sur le glacis externe de la dune blanche, dans la dune noire et dans un milieu sablo-limoneux.

Si ma première récolte décrite est celle d'un champignon typique des sables littoraux (dune initiale et dune blanche), *Psathyrella ammophila*, les deux autres taxons, *P. bipellis* et *P. stellata*, sont connus dans divers biotopes et sont, le plus souvent, liés à des débris ligneux ou végétaux.

Récolte en dune blanche : *Psathyrella ammophila* (Dur. & Lév.) P. D. Orton

Position systématique

Genre *Psathyrella* (Fr.) Quél., sous-genre *Psathyrella* Fr., section *Ammophilae* (Kits v. Wav.).

Description macroscopique

Chapeau : 2,4 cm, hémisphérique, un peu rugueux, non strié, charnu, brun, à marge légèrement incurvée et ornée de restes de voile en lambeaux appendiculés.

Lames : peu ventrues, à peine uncinées, brun pâle à reflet grisâtre, à arête fimbriée et blanche.

Stipe : 6,6 x 1,2 cm dans sa partie la plus large, un peu rétréci à l'insertion et légèrement fusiforme, creux, tubuleux, à chair brunâtre mais à cortex blanc, recouvert au tiers supérieur de nombreuses fibrilles blanches plus ou moins hérissées, devenant fibrilleux et brunâtre plus bas et enfoncé jusqu'à la moitié de sa hauteur dans le sable.

Saveur et odeur : non testées.

Description microscopique

Spores : 9-13 x 6-7,5 μm , ellipsoïdales, brun opaque, avec pore germinatif jusqu'à 2 μm , tronqué.

Cheilocystides : 30-55 x 13-20 μm , versiformes (fusiformes, fusiformes-ventrues, subcylindriques), en nombre réduit, mêlées de nombreuses cellules sphéropédonculées, clavées, piriformes, souvent de bonne taille (33 x 20 μm).

Pleurocystides : 35-70 x 11-25 μm , très peu nombreuses, versiformes, plus ou moins pédicellées.

Basides tétrasporiques jusqu'à 38-13 μm .

Trame hyménophorale colorée. Pileipellis constitué de plusieurs couches de cellules clavées, subglobuleuses.

Boucles présentes.

Récolte et habitat

Un seul exemplaire, jeune mais particulièrement robuste, a été récolté le 10/11/2008 sur le glacis externe de la dune blanche, au Petit Travers (Carnon, Hérault) - lieu-dit « Robinson » - entre les ganivelles¹ et *Tamarix gallica*, proche d'*Artemisia campestris* subsp. *glutinosa* et d'*Ammophila arenaria*. (Fig. 1).

Commentaire

Psathyrella ammophila (Dur. & Lév.) P. D. Orton est une habituée de la dune blanche, mais on la trouve parfois dans la dune embryonnaire. Elle pousse souvent en petites touffes d'exemplaires plus grêles, au pied des ganivelles qui servent de conducteurs pour les eaux de pluie ou les embruns.



Fig. 1 : *Psathyrella ammophila* (Dur. & Lév.) P. D. Orton (récolte du 10/11/2008).

a : basidiomes de l'espèce.

b : site de la récolte.

c : spores.

d : cheilocystides et cellules sphéropédonculées.

e : une pleurocystide.

¹ ganivelles : palissades composées de lattes de bois assez serrées, plantées dans les dunes pour diminuer les déplacements de sable dus au vent. Elles permettent la fixation des dunes et donc l'enracinement des plantes arénicoles.

Récolte en dune noire : *Psathyrella bipellis* (Quél.) A. H. Sm.

Position systématique

Genre *Psathyrella* (Fr.) Quél., sous-genre *Psathyrella* Fr., section *Bipellis* (Malençon. & Romagn.) Kits v. Wav.

Description macroscopique

Chapeau : 0,8 à 3,4 cm, de campanulé à conico-convexe jusqu'à presque plan mais gardant un mamelon bas, strié par transparence à presque cannelé, parfois légèrement ridulé, brun rouge pour les exemplaires jeunes, s'éclaircissant en brun rosâtre, puis beige rosé, le centre du chapeau restant toujours un peu plus coloré. Sur cette récolte, on note quelques rares traces de voile à la marge.

Lames : adnées, en général colorées de brun rougeâtre avec un reflet gris violacé dû aux spores, certaines parties des lames restant presque hyalines, moyennement serrées, à arête blanche et fimbriée.

Stipe : 2-7 x 0,2-0,3 cm, creux, brun rougeâtre à brun clair, cylindrique, légèrement élargi à la base qui est blanchâtre avec quelques rhizomorphes.

Chair du chapeau : très mince sauf au-dessus du stipe, colorée en brun clair à rosâtre, devenant plus purpurine au dessus des lames comme la chair du stipe.

Odeur : nulle ; saveur : non testée.

Description microscopique

Spores : 11,5-14(15) x 6,5-7,5 μm , ellipsoïdales de face, à pore germinatif très apparent (jusqu'à 2 μm), parfois légèrement excentré.

Cheilocystides : 40-70 x 15-22 μm , en majorité utriformes, fusiformes-ventrues, quelques-unes lagéniformes à col court, parfois à paroi légèrement épaissie. Le sommet des cystides contient des gouttelettes huileuses. L'apex est parfois recouvert de mucosités verdâtres dans NH_4OH . Les cellules clavées, sphéropédonculées ou piriformes de l'arête sont peu nombreuses, en général petites (10-25 x 8-13 μm) mais quelques-unes sont de taille plus grande (31 x 22 μm).

Pleurocystides : 52-84 x 16-24 μm , nombreuses, de même forme que les cheilocystides, avec des gouttelettes dans leur partie apicale et des mucosités verdâtres, et parfois quelques cristaux.

Basides : tétrasporiques, 26-35 x 12-14 μm .

Trame hyménophorale colorée de brun jaunâtre. Pileipellis constitué de plusieurs couches de cellules subglobuleuses de 18-42 μm .

Le voile, presque inexistant, n'a pas été étudié.

Boucles : présentes.

Récolte et habitat

De nombreux spécimens ont été récoltés le 05/05/2013 dans la dune noire, au Petit Travers (Carnon, Hérault) - lieu-dit « Robinson » - dans la litière de débris desséchés d'*Arundo donax* sur lesquels certains exemplaires sont fixés. C'est un site anthropisé (emplacement d'un ancien restaurant de bord de mer, détruit) avec introduction de plantes non indigènes comme *Tamaris gallica* et *Yucca gloriosa*, envahi à certains endroits par des monticules de débris végétaux coupés et un haut lieu de pousse, quand les conditions sont propices, de plusieurs espèces de psathyrelles (Fig. 2).

C'est aussi le milieu des plantes halophiles habituées de la dune grise et de la dune noire comme *Artemisia campestris* subsp. *glutinosa*, *Malcolmia littorea*, *Helichrysum stoechas*, *Euphorbia paralias*, *Centaurea aspera*, *Clematis flammula*, *Amorpha fruticosa*, *Lagurus ovatus*, *Sporobolus pungens*, *Xanthium strumarium*, *Oenothera bien-*

nis, *Salsola kali*, *Erianthus ravennae*, *Teucrium polium*, *Asperagus maritimus*, *Scolymus hispanicus*, *Echinophora spinosa*, *Eryngium maritimum*, *Carpobrotus edulis*, et le très commun *Ammophila arenaria*.

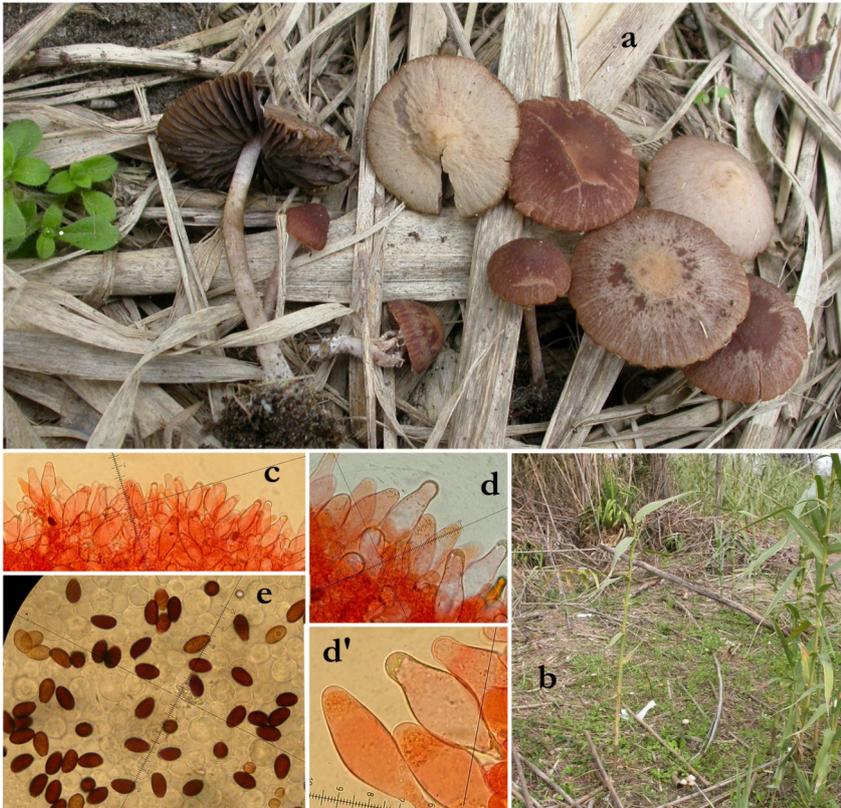


Fig. 2 : *Psathyrella bipellis* (Quél.) A. H. Sm. (récolte du 05/05/2013).

a : basidiomes de l'espèce.
 b : site de la récolte.
 c : cheilocystides utrifformes à la marge des lames.
 d et d' : cheilocystides avec mucosités.
 e : spores.

Commentaire

P. bipellis est une espèce déjà trouvée dans les dunes (Kits van Waveren, 1977). Les récoltes printanières, à cystides majoritairement utrifformes ont longtemps été nommées *Psathyrella barlae* (Bres.) A. H. Sm. par opposition à *Psathyrella bipellis* (Quél.) A. H. Sm., automnales à cystides lanceolées. Kits van Waveren (1977) note que l'on trouve tous les intermédiaires dans les nombreuses collections qu'il a examinées et pense qu'il ne pourrait s'agir, au plus, que d'une forme. Mes spécimens sont de taille plus petite et de couleur moins vive que ceux de mes précédentes récoltes faites en automne dans des bois sablonneux (Aquitaine, Hérault).

Récolte en milieu sablo-limoneux : *Psathyrella stellata* (Romagn.) Romagn.

Position systématique

Genre *Psathyrella* (Fr.) Quél., sous-genre *Psathyrella* Fr., section *Psathyrella* Kits van Wav.

Description macroscopique

Chapeaux : de 0,5 à 2,4 cm de diamètre. Les très jeunes exemplaires sont brun très sombre, paraboliques à campanulés, avec des fibrilles blanches de voile, abondantes à la marge. Ce voile disparaît rapidement sur les exemplaires plus âgés. Ceux-ci, plan convexe, brun rougeâtre à brun soutenu, striés,

ondulés-cannelés jusqu'à un mamelon bas et obtus, non ruguleux, très hygrophanes, sèchent par zones concentriques de brun à beige, plus ou moins alternées à partir de la marge. Ils prennent enfin une nuance beige rosé.

Lames : 2-5 mm, peu serrées, irrégulièrement ventrues, brun gris à brun sombre. Elles montrent une arête blanche, soulignée de rouge sur presque toute leur longueur.

Stipe : 1-4 x 0,15-0,25 cm, blanchâtre, plus coloré (gris jaunâtre assez clair) à la base qui est un peu élargie et se termine par une extrémité radicante. A la coupe, on constate que le cortex est plus sombre que la partie centrale (moelle) et que le stipe a tendance à devenir creux. A la récolte, un des exemplaires est fixé sur du bois dégradé.

Saveur et odeur : non relevées.

Description microscopique

Spores : 9,5-12 x 5-5,5(6) μm , brun rouge dans NH_4OH , ellipsoïdes à subcylindriques de face, à pore germinatif central de 1,7 à 2 μm .

Cheilocystides : lagéniformes à fusi-lagéniformes 26-48 x 9-12(13) μm , à col fin, pédicelle court, avec quelques rares traces de dépôts mucoïdes. Cellules sphéropédonculées (18-29 x 13-18 μm).

Pleurocystides : 43-70 x 10-14 μm , en nombre réduit, en majorité lagéniformes à col plutôt étroit.

Basides : 19-27 x 10-12 μm , tétrasporiques.

Trame hyménophorale colorée en brun jaune dans NH_4OH . Piléipellis constitué de 2 à 3 couches de cellules subglobuleuses.

Boucles : présentes.

Récolte et habitat

Une douzaine d'exemplaires ont été récoltés le 26/11/2006, sur un terrain proche de l'embouchure du Vidourle, au lieu-dit « le Boucanet » (Fig. 3).

Ce site est composé en alternance de cordons d'anciennes dunes fixées (*Pinus pinea*) et de terrains presque plats, sablo-limoneux à limono-vaseux, encroûtés de sel par grande sécheresse, recevant les embruns de la mer toute proche et occasionnellement pâturés par des chevaux (steppes salées méditerranéennes, association *Limonietum gerardino-virgati*).

Suivant qu'elles poussent en position basse ou plus haut sur ces sols salés, les plantes sont halophiles ou ubiquistes, les remontées de sel étant plus ou moins importantes : *Limonium girardianum*, *Limonium virgatum*, *Limonium narbonense*, *Plantago crassifolia*, *Dorycnium herbaceum* subsp. *gracile*, *Centaurea pectinata* subsp. *acutifolia*, *Blackstonia imperfoliata*, *Thymealea pubescens*, *Polygomon monspeliensis*, *Schoenus nigricans*, *Imperata cylindrica*, *Artemisia campestris*, *Hypericum perforatum*, *Sedum sediforme*, *Erigeron canadensis*, *Vaillantia muralis*, *Juncus bufonius*, *Lythrum tribracteatum*, *Kickxia cirrhosa*, *Plantago coronopus*, *Frankenia pulverulenta*, *Spergularia media*, *Aster tripolium*, *Centaureum spicatum*, *Aster squamatus*, *Sonchus maritimus*, *Samolus valerandi*, *Linum maritimum*, *Asparagus officinalis*, *Elytrigia acuta*, *Agrostis stolonifera*, *Inula crithmoides*, *Juncus maritimus*.

Commentaire

Déjà récolté dans les dunes, en Hollande (Kits van Waveren, 1985). *Psathyrella stellata* (Romagn.) Romagn. est un taxon dont les caractéristiques macroscopiques sont bien définies : chapeau nettement ondulé cannelé, lames bordées de rouge et stipe radicant. Mais contrairement aux descriptions déjà parues de ce taxon (Romagnesi, 1952 ; Kits van Waveren, 1985 ; Enderle & Zuccharelli, 1993 ; Enderle, 1994 ; Tassi, 2000 ; Fouchier, 2002), j'ai noté à la récolte, sur les très jeunes exemplaires, un voile fibrilleux important à la marge, certes fugace mais bien développé à l'origine.

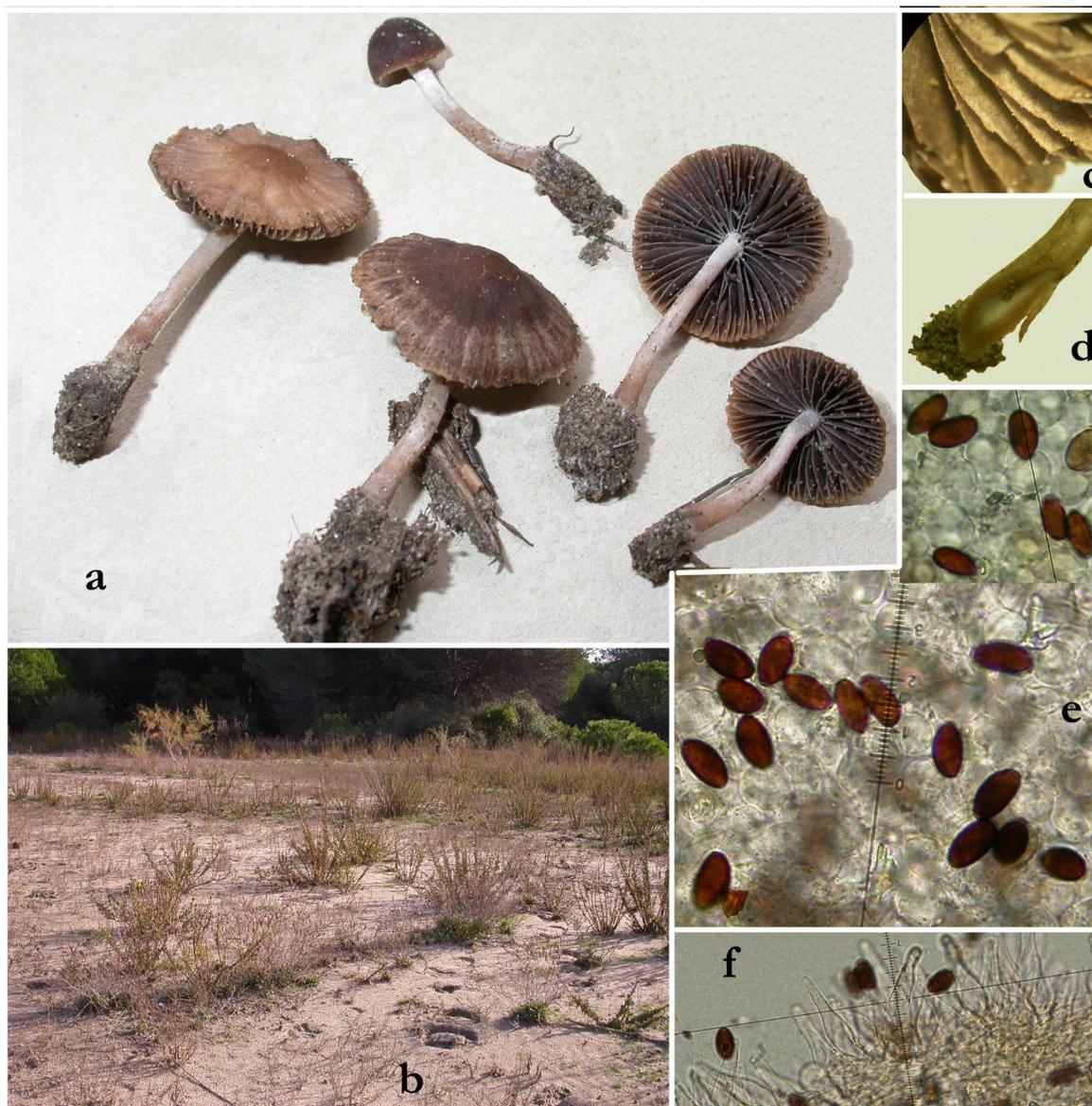


Fig. 3 : *Psathyrella stellata* (Romagn.) Romagn. (récolte du 26/11/2006).

- a : basidiomes de l'espèce.
- b : site de la récolte.
- c : lames soulignées de rose à l'arête.
- d : base du stipe radicant .
- e : spores.
- f : cheilocystides.

Remerciements

Je remercie vivement tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, ont participé à l'élaboration de cet article, en partageant avec moi leurs connaissances en botanique : Jean-Marie Coste, Michèle Aubrun, Jean-Claude Malaval et Frédéric Andrieu, ce dernier m'ayant de plus permis de mieux comprendre le biotope très particulier de ma récolte de *Psathyrella stellata*. Je remercie également Francis Fouchier et Daniel Mousain pour la relecture attentive de cet article.

Références bibliographiques

- Enderle M., 1994. Studien in der Gattung *Psathyrella*, III. Beiträge zur Kenntnis der Pilze Mitteleuropas **IX** : 71-73.
- Enderle M. & Zuccherelli A., 1993. Ritrovamenti interessanti dal Ravenate, 2a parte, 15 specie dei genere *Psathyrella*. *Bolletino del gruppo micologico Bresadola* **36** (3-6) : 136-137.
- Fouchier F., 2002 . Contribution à l'étude des Coprinaceae de la zone méditerranéenne, V. *Bulletin de la fédération des associations mycologiques méditerranéennes* **21** : 35-43.
- Kits Van Waveren E., 1977. Notes on the genus *Psathyrella*, V. The sections *Ammophilae*, *Bipelles* and *Subatratae*. *Persoonia* **9** (Part 2) : 199-223.
- Kits Van Waveren E., 1985. *The Dutch, French and British species of Psathyrella, Persoonia, supplement vol.2*. Rijksherbarium, 300 p. Leiden.
- Romagnesi H., 1952. Species et formae novae ex genere *Drosophila* Quélet. *Bulletin Société linnéenne de Lyon* **7** : p. 152.
- Tassi G., 2000. Le genre *Psathyrella*. Espèces rares ou intéressantes, II. *Bulletin Société mycologique de France* **116** (4) : 343-384.

Second complément à l'inventaire des rotifères et des microcrustacés de l'Hérault

Gérard Balvay

Ancien directeur de la Station d'Hydrobiologie Lacustre INRA de Thonon-les-Bains

Pré Riant A, 41 chemin de Froid Lieu, F-74200 Thonon-les-Bains

L'examen d'anciens prélèvements de zooplancton, qui n'avaient pas été pris en compte lors du premier inventaire (Balvay, 2012) en raison de leur état de dessiccation, a permis de compléter les connaissances sur la richesse zooplanctonique de l'Hérault à partir de l'étude de onze nouveaux sites. Neuf nouvelles espèces sont mentionnées (cinq rotifères et quatre crustacés).

Liste des rotifères et des microcrustacés observés dans l'Hérault

Les espèces non citées lors de l'inventaire précédent sont soulignées.

Phylum Rotifères

Brachionidés

Brachionus angularis Gosse, 1851 (Fig. 1)

Brachionus calyciflorus Pallas, 1766

Brachionus calyciflorus amphicerus (Ehrenberg, 1838)

Brachionus quadridentatus melbeni (Barrois & Daday, 1894)

Keratella cochlearis (Gosse, 1851) (Fig. 2)

Keratella quadrata (O.F. Müller, 1786)

Mytilinidés

Mytilina mucronata (O.F. Müller, 1773)

Euchlanidés

Euchlanis spp.

Lecanidés

Lecane (Monostyla) quadridentata (Ehrenberg, 1830)

Lecane (Monostyla) lunaris (Ehrenberg, 1832)

Testudinellidés

Testudinella patina (Hermann, 1783)

Embranchement Arthropodes

Classe Crustacés

Daphniidés

Ceriodaphnia megops G.O. Sars, 1862

Ceriodaphnia reticulata (Jurine, 1820)

Ceriodaphnia sp.

Daphnia cucullata G.O. Sars, 1862

Daphnia longispina O.F. Müller, 1776

Daphnia cf. *obtusa* Kurz, 1874
Daphnia pulex Leydig, 1860
Simocephalus vetulus (O.F. Müller, 1776)

Bosminidés

Bosmina longirostris (O.F. Müller, 1785) (Fig. 3)

Chydoridés

Alona cf. *guttata* G.O. Sars, 1862
Alona rectangula G.O. Sars, 1862
Chydorus sphaericus (O.F. Müller, 1776)
Chydorus spp. (Fig. 4)
Leydigia quadrangularis (Leydig, 1860)
Pleuroxus aduncus (Jurine, 1820)

Référence bibliographique

Balvay G., 2012. Compléments à l'inventaire des rotifères et des microcrustacés de l'Hérault. *Annales de la Société d'Horticulture et d'Histoire Naturelle de l'Hérault* **152** (3) : 108-123.

Liste des sites étudiés

A l'exception du premier, tous les flacons étaient secs. Les échantillons desséchés ont été réhydratés, mais l'identification des organismes plus ou moins détériorés est difficile, ce qui limite le nombre de taxons recensés et entraîne une connaissance très partielle de la composition de la biocénose.

Commune de Juvignac	Mare à JUVIGNAC	Coll. B. Dussart 21/01/1955
----------------------------	------------------------	------------------------------------

Carte Michelin 339/H7 (3°48 - 43°37) à coté de la N 109, à l'ouest de Montpellier. Zooplancton peu abondant et peu diversifié, sans espèce dominante. Presque toutes les espèces ont des relations étroites avec les macrophytes littoraux où elles trouvent nourriture et refuge.

ROTIFÈRES

Mytilinidés

Mytilina mucronata (O.F. Müller, 1773)

CRUSTACÉS

Daphniidés

Ceriodaphnia reticulata (Jurine, 1820)
Daphnia pulex Leydig, 1860
Simocephalus vetulus (O.F. Müller, 1776)

Chydoridés

Alona rectangula G.O. Sars, 1862
Pleuroxus aduncus (Jurine, 1820)



Fig. 1 : *Brachionus angularis*. Rotifère de petite taille (0,11 mm). Femelle portant un œuf accroché à la lorica, structure externe rigide dont la forme et l'ornementation facilitent l'identification de nombreuses espèces, en particulier chez les Brachionidés.

Fig. 2 : *Keratella cochlearis*. (0,13 mm). Lorica à ornementation typique pour les différentes espèces de *Keratella*. Ici, la variété *hispida* présente un aspect velu.

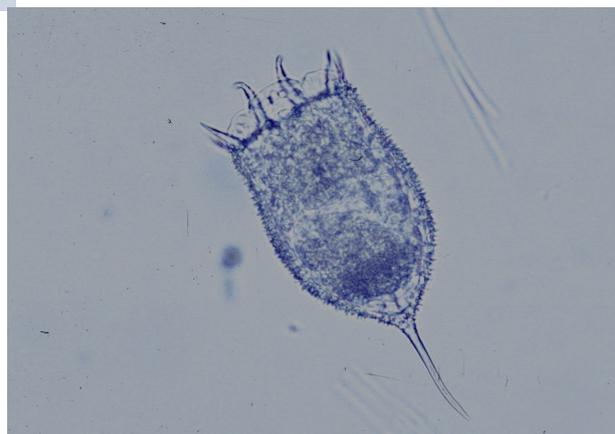
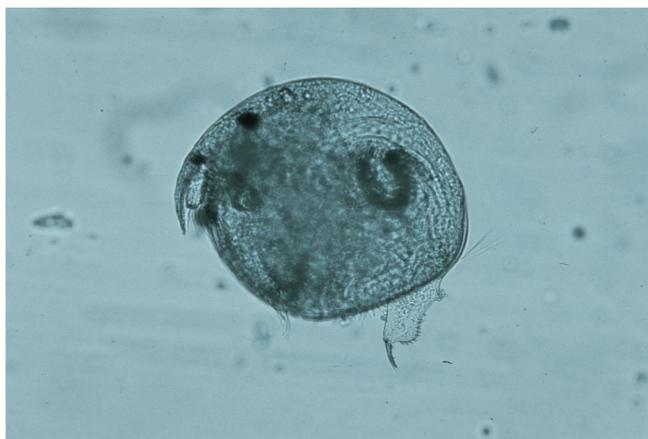


Fig. 3 : *Bosmina longirostris* ($\leq 0,7$ mm). Antennes longues en forme de trompe. Femelle parthénogénétique portant 2 œufs dans la chambre incubatrice dorsale. Le tube digestif est rempli d'algues microscopiques en cours de digestion.

Fig. 4 : *Chydorus* sp. (0,4 mm). Corps plus ou moins globuleux. Tête avec un rostre pointu, un ocelle (œil simple) et un œil composé (plus gros) (photo. G. Balvay).



Cmmune de Lacoste	Petit lac à LACOSTE	Coll. B. Dussart 8/12/1955
--------------------------	----------------------------	-----------------------------------

Carte Michelin 339/F7 (3°26 - 43°39) vers la D 140. Échantillon détritique et hétérogène. Zooplancton très rare.

CRUSTACÉS

Bosminidés

Bosmina longirostris (O.F. Müller, 1785)

Chydoridés

Alona cf. *guttata* G.O. Sars, 1862

Au nord de Lamalou-les-Bains	Barrage de l'HORTE
Coll. B. Dussart 1/07 (1) et 5/12/1955 (2)	

Carte Michelin 339/D7 (3°04 - 43°37) vers la D 22. Échantillon très détritique (zooplancton très décomposé) à tendance benthique (présence de vase) avec des éléments surtout fins, accompagnés de restes fragmentaires de *Bosmina* et de Chydoridés. Zooplancton rare et peu diversifié.

ROTIFÈRES

Brachionidés

Brachionus angularis Gosse, 1851 (1)

Brachionus calyciflorus amphicerus (Ehrenberg, 1838) (1= nombreux individus).

CRUSTACÉS

Daphniidés

Ceriodaphnia sp. (1=2=espèce trop dégradée, non identifiable).

Bosminidés

Bosmina longirostris (O.F. Müller, 1785) (1=espèce féconde, 2).

Vers la Commune de Lodève	Mare vers LODÈVE	Coll. B. Dussart 30/04/1956
----------------------------------	-------------------------	------------------------------------

Carte Michelin 339/E6 (3°19 - 43°44) vers la D 902 entre Lodève et Roqueredonde. Échantillon très détritique avec des éléments de toutes tailles dont des restes végétaux et des ostracodes. Zooplancton rare.

CRUSTACÉS

Daphniidés

Daphnia cf. *obtusa* Kurz, 1874

Chydoridés

Alona rectangula G.O. Sars, 1862. Rare

Chydorus sphaericus (O.F. Müller, 1776)

Chydorus sp.

Vers la commune de Montarnaud	Mare à BEL-AIR	Coll. B. Dussart 7/05/1956
--------------------------------------	-----------------------	-----------------------------------

Carte Michelin 339/H7 (3°45 - 43°38) vers la D 619. Échantillon très détritique et hétérogène renfermant surtout de nombreuses algues filamenteuses dégradées. Zooplancton caractérisé par la dominance de *Daphnia longispina* et l'absence des rotifères dans cet échantillon.

CRUSTACÉS

Daphniidés

Daphnia cucullata G.O. Sars, 1862. Espèce peu abondante.

Daphnia longispina O.F. Müller, 1776. Très nombreux individus, présence de mâles. Espèce dominante, très féconde.

Bosminidés

Bosmina longirostris (O.F. Müller, 1785)

Chydoridés

Chydorus sphaericus (O.F. Müller, 1776)

Chydorus spp.

Leydigia quadrangularis (Leydig, 1860)

Commune de Nissan-lez-Ensérune	Ruisseau à NISSAN	Coll. B. Dussart 4/06/1955
--------------------------------	-------------------	----------------------------

Carte Michelin 339/D6 (3°07- 43°17). Échantillon très détritique à dominante benthique (sable, restes indéterminables de crustacés, harpacticides et ostracodes). Zooplancton rare sans espèce dominante.

CRUSTACÉS

Daphniidés

Ceriodaphnia sp.

Simocephalus vetulus (O.F. Müller, 1776)

Chydoridés

Chydorus spp.

Commune de Pinet	Lac vers PINET	Coll. B. Dussart 6/12/1955
------------------	----------------	----------------------------

Carte Michelin 339/G6 (3°30 - 43°24) vers la D 18^{E1} au nord-est de Florensac. Échantillon très détritique avec des éléments de toutes tailles dont des restes de *Chydorus* et d'*Alona*. Zooplancton rare où *Alona rectangula* est l'espèce la mieux représentée.

ROTIFÈRES

Lecanidés

Lecane (Monostyla) quadridentata (Ehrenberg, 1830)

CRUSTACÉS

Chydoridés

Alona rectangula G.O. Sars, 1862. Nombreux individus.

Chydorus sphaericus (O.F. Müller, 1776)

Chydorus sp.

Pleuroxus aduncus (Jurine, 1820)

Vers la localité de Rabéjac	Lac vers RABÉJAC	Coll. B. Dussart 8/12/1955
-----------------------------	------------------	----------------------------

Carte Michelin 339/G6 (3°21- 43°41) vers la A 75. Échantillon très détritique avec des éléments (surtout végétaux) de tailles très diverses. Zooplancton peu abondant et peu diversifié, dominé par les Cyclopidés (non étudiés) et *Bosmina longirostris*.

ROTIFÈRES

Brachionidés

Brachionus angularis Gosse, 1851

Brachionus calyciflorus Pallas, 1766

Keratella cochlearis (Gosse, 1851)

Lecanidés

Lecane (Monostyla) lunaris (Ehrenberg, 1832)

CRUSTACÉS

Bosminidés

Bosmina longirostris (O.F. Müller, 1785). Nombreux individus.

Commune de Saint-Maurice-Navacelles

Mare vers SAINT-MAURICE

Coll. B. Dussart 19/04/1956

Carte Michelin 339/G5 (3°31 - 43°51) près de la D 25. Échantillon très détritique avec des éléments de tailles très diverses dont des algues filamenteuses dégradées et des restes d'ostracodes. Présence de nombreux *Pediastrum* (Euchlorophycée coloniale). Zooplancton rare et très peu diversifié, représenté surtout par *Alona rectangula*, espèce féconde.

ROTIFÈRES

Brachionidés

Keratella quadrata (O.F. Müller, 1786)

CRUSTACÉS

Chydoridés

Alona rectangula G.O. Sars, 1862. Nombreux individus. Espèce féconde et dominante.

Commune de VIAS

Ruisseau Le LIBRON

Coll. B. Dussart 4/06/1955

Carte Michelin 339/F9 (3°24 - 43°18) au Pont de la D 612. Échantillon très détritique à caractéristique benthique (abondance des ostracodes, restes fragmentaires d'un zooplancton très décomposé). Zooplancton très largement dominé par *Simocephalus vetulus*.

ROTIFÈRES

Brachionidés

Brachionus quadridentatus melbeni (Barrois & Daday, 1894)

Keratella quadrata (O.F. Müller, 1786)

Euchlanidés

Euchlanis spp.

Testudinellidés

Testudinella patina (Hermann, 1783)

CRUSTACÉS

Daphniidés

Simocephalus vetulus (O.F. Müller, 1776). Très nombreux individus dont quelques femelles portant un éphippium. Espèce de grande taille (1,8 mm) très fertile, dominante.

Chydoridés

Alona rectangularis G.O. Sars, 1862

Chydorus sphaericus (O.F. Müller, 1776)

Chydorus sp.

Pleuroxus aduncus (Jurine, 1820). Nombreux individus.

Commune non indiquée

Étang vers le Château MOULIN de RUPÉRIGNE

Coll. B. Dussart 29/06/1955

Carte Michelin 339/F6 (coordonnées approximatives 3°2 - 43°4), D 140 entre Usclas-du-Bosc et Clermont-l'Hérault. Échantillon très détritique (zooplancton très décomposé), benthique. Zooplancton rare, dominé cependant par les Cyclopidés (non étudiés).

CRUSTACÉS

Daphniidés

Ceriodaphnia megops G.O. Sars, 1862

Bosminidés

Bosmina longirostris (O.F. Müller, 1785).

***Maculineaalcon* (Denis & Schiffermüller, 1775) (Insecta, Lepidoptera), nouvelle espèce du département de l'Hérault**

Alexis Rondeau

205 rue des Rouvières, F-34230 Pouzols
(alexisrondo@yahoo.fr)

Depuis la fin de l'année 2011, un atlas sur les papillons de jour et les libellules est lancé dans la région Languedoc-Roussillon. Le Conservatoire d'espaces naturels du Languedoc-Roussillon, les Écologistes de l'Euzière et l'Office pour les insectes et leur environnement (Opie) coordonnent ce projet dont l'objectif est avant tout de dresser un état des connaissances. Au-delà de produire un ouvrage de référence, l'ambition de ce projet est de constituer un outil d'analyse et d'alerte de référence pour permettre la prise en compte des enjeux de conservation des papillons de jour et des libellules.

C'est dans ce contexte que des prospections ciblées sur *Maculineaalcon rebeli* à l'échelle des Causses du Languedoc a permis de mettre en lumière une station nouvelle. La collaboration avec les botanistes a été déterminante dans cette entreprise puisque c'est sur la base de localités originales de Gentiane croisettes (*Gentiana cruciata* L.) que les prospections se sont exclusivement orientées. Sur les trois stations mentionnées par Pascal Arnaud sur le Causse du Larzac, toutes à une altitude de 750 mètres, la première, dans un fossé de bord de route, et la deuxième, couverte par des pins sylvestres, n'ont rien révélé. Celle située sur la commune de Saint-Felix-de-l'Héras (43.8416 / 3.3344 - WGS 84), une pelouse à Brome érigé (*Bromus erectus*) à la lisière d'un boisement de Chêne pubescent, a permis de découvrir des œufs déposés sur cinq pieds de Gentiane et une femelle de l'Azuré de la Croisette dès la première visite en période favorable, le 30 juin 2012 (Fig. 1).

L'espèce n'avait jusque là jamais été mentionnée dans le département de l'Hérault (De Puysegur, 1954 ; Lafranchis, 2000 ; Delmas *et al.*, 2006) et se trouve ici particulièrement isolée. Les plus proches stations sont situées dans le Gard, à 16 et 31 kilomètres (Bernardi, 1951; G. Aubin, communication personnelle). Elles sont cependant bien au-delà de la distance maximum de dispersion observée (Nowicki. *et al.*, 2005). L'écotype *rebeli* est connu du département voisin de l'Aude mais les stations sont éloignées de près de 200 km (D. Demerges, communication personnelle) et les stations de *Maculineaalcon* en Aveyron sont à plus de 80 km (Baliteau, 2008). La dynamique de colonisation des pins qui a déjà eu raison de localités voisines de gentianes et le pâturage du site par des bovins au moment du pic de la ponte rendent d'autant plus précaire l'avenir de cette station isolée.

Gageons qu'à travers une relation plus étroite entre les botanistes et les entomologistes, de nouvelles stations puissent être trouvées et que la sensibilité de l'espèce soit rendue plus relative dans le département.

Remerciements

Merci à Pascal Arnaud d'avoir bien voulu partager ses connaissances, à Thibault Rafton pour son aide sur le terrain et à Sylvain Delmas pour sa relecture et ses remarques constructives.

Références bibliographiques

Baliteau L., 2008. L'Azuré des mouillères (*Maculineaalcon* D. & Schiff., 1775) en Aveyron et en Lozère. (Lepidoptera, Lycaenidae). *Revue de l'Association Roussillonnaise d'Entomologie* **XVII** (3) : 88-91.

- Bernardi G., 1951. Les Maculinea du Mont-Aigoual (Lep. Lycaenidae). *Revue Française de Lépidoptérologie* **XIII** (7-8) : 113-114.
- Delmas S. & Maechler J., 2006. *Catalogue permanent de l'Entomofaune (française). Série nationale. Lepidoptera Rhopalocera*, fasc. 2 (2^e édition). UEF, 101 p. Dijon.
- Lafranchis T., 2000. *Les Papillons de France, Belgique et Luxembourg et leurs chenilles. Coll. Parthénope. Bioto- pes*, 448 p. Mèze.
- De Puységur K., 1954. Liste systématique des espèces de Lépidoptères Rhopalocères du département de l'Hérault. *Annales de la Société d'Horticulture et d'Histoire Naturelle de l'Hérault* **94** (2) : 43-46.
- Nowicki P., Settele J., Thomas J. A. & Woyciechowski M., 2005. A review of population structure of Maculinea butterflies : 144-149. In : *Studies on the Ecology and Conservation of Butterflies in Europe. Vol. 2 : Species Ecology along a European Gradient : Maculinea Butterflies as a Model*. UFZ. Leipzig-Halle.



Fig. 1 : *Maculinea alcon rebeli* sur *Gentiana cruciata* avec ponte à l'insertion des fleurs (crédit photo : Alexis Rondeau).

Les stomoxes (Diptera : Muscidae) : quelques rappels, nouvelles données et nouvelle méthode de lutte

Gérard Duvallet

Professeur émérite, Université Paul-Valéry Montpellier 3,
Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive (UMR 5175-CEFE)
(gduvallet@aol.com)

Résumé

Cette publication tente de résumer une partie des études que nous avons menées depuis une dizaine d'années sur les stomoxes (Diptera, Muscidae) dans différentes régions biogéographiques. Une meilleure connaissance de la biologie et de l'écologie de ces diptères hématophages, ayant un impact important sur la filière élevage, nous permet désormais d'évaluer l'efficacité et la faisabilité sur le terrain de nouvelles méthodes de contrôle, plus respectueuses de l'environnement.

Mots-clés : stomoxes, diptères hématophages, biologie, écologie, lutte.

Abstract

This paper summarizes around 10 years of research on *Stomoxys* flies (Diptera, Muscidae) in different biogeographic regions. We got now a better knowledge of the biology and ecology of these blood sucking flies, which have an important impact on livestock industry. This knowledge enables us to evaluate on the field the efficiency and feasibility of new control methods, more environmentally friendly.

Keywords : *Stomoxys* flies, blood-sucking Diptera, biology, ecology, control.

Introduction

Après plus de 20 ans à étudier en Afrique les glossines (mouches tsétsé) et les trypanosomes qu'elles transmettent, j'ai entrepris, depuis mon retour en France métropolitaine, un vaste programme d'étude et de recherche sur les stomoxes. Ces mouches piqueuses étaient en effet peu connues ; seuls les américains et les canadiens avaient entrepris des recherches approfondies pour contrôler la seule espèce présente dans le Nouveau Monde, *Stomoxys calcitrans* (L. 1758), et des collègues français avaient indiqué les graves nuisances provoquées par les deux espèces présentes sur l'île de La Réunion (Barré, 1981). Et nous avions à notre disposition une revue synthétisant toutes les données accumulées jusque-là (Zumpt, 1973). Ces insectes me sont vite apparus comme un modèle d'étude permettant d'associer des recherches plus fondamentales sur leur origine, leur biologie, leur écologie, et des recherches plus finalisées devant permettre de comprendre leur rôle épidémiologique (simple nuisance et/ou rôle important de transmission d'agents pathogènes) et de tester des méthodes de lutte efficaces tout en étant respectueuses de l'environnement. J'ai tenté de résumer dans cet article les recherches menées à ce jour dans notre laboratoire.

Quelques rappels

Systematique

Après bien des modifications, il semble qu'un consensus place désormais les stomoxes (*Stomoxys* spp.) et genres voisins dans la tribu des Stomoxyini, la sous-famille des Muscinae, dans la famille des Muscidae (Diptera), dont l'espèce principale est la mouche domestique *Musca domestica* L. 1758 (Fig. 1). Cette tribu comprend 10 genres et 52 espèces (Tab. 1) (Zumpt, 1973 ; Pont & Mihok, 2000 ; Pont et Dsouli, 2009). Les genres les plus importants en nombre d'espèces et nuisances pour l'homme et ses animaux domestiques sont les genres *Stomoxys*, *Haematobosca* et *Haematobia*. Le genre *Stomoxys*, originaire de l'ancien monde, comprend 18 espèces, appelées vulgairement stomoxes (nom masculin). Parmi celles-ci, 17 ont une distribution tropicale, en grande majorité africaine ou asiatique, et une seule est cosmopolite *Stomoxys calcitrans*. Cette espèce est plus connue sous le nom de mouche des étables (« stable fly » en anglais), mais aussi de mouche charbonneuse, en raison de son rôle dans la transmission du charbon, y compris à l'homme.

Genres	Nombre d'espèces décrites
<i>Rhinomusca</i> Malloch (1932)	2
<i>Neivamyia</i> Pinto & Fonseca (1930)	5
<i>Bruceomyia</i> Malloch (1932)	1
<i>Parastomoxys</i> Zumpt (1973)	1
<i>Prostomoxys</i> Zumpt (1973)	1
<i>Stygeromyia</i> Austen (1907)	2
<i>Haematobosca</i> Bezzi (1907)	15
<i>Haematobia</i> Lepelletier & Serville (1828)	6
<i>Haematostoma</i> Malloch (1932)	1
<i>Stomoxys</i> Geoffroy (1762)	18

Tab. 1 : Liste des genres et nombre d'espèces connues en 2013 dans la tribu des Stomoxyini (Diptera : Muscidae).

Morphologie

Ces mouches piqueuses, de 3 à 10 mm de longueur, hématophages, ont l'aspect d'une mouche domestique (Fig. 1). Elles s'en distinguent par des pièces buccales adaptées à la piqûre et une nervation alaire différente. L'appareil buccal adapté à la piqûre, ou proboscis (trompe), est dirigé vers l'avant dans l'axe du corps et capable de percer la peau.

Le proboscis (Fig. 2) est composé de 3 longues pièces fortement sclérifiées, non rétractiles : un labium (lèvre inférieure), un labre (lèvre supérieure) et un hypopharynx, formant ensemble deux tubes. La salive est injectée dans le derme de l'hôte par le tube le plus fin, l'hypopharynx, tandis que le sang est aspiré par le tube le plus large formé par le labre et la partie dorsale de l'hypopharynx. Les deux sexes sont hématophages, le sang est nécessaire à leur reproduction mais les mouches s'alimentent aussi de nectar dont les sucres sont nécessaires à l'énergie du vol. Ces pièces buccales, et les antennes, permettent de différencier les 3 genres principaux évoqués plus haut. Dans le genre *Stomoxys*, les palpes maxillaires sont courts, alors qu'ils sont aussi longs que le proboscis dans les deux autres genres. Les antennes permettent de différencier ces derniers : l'arista portée par le troisième article de l'antenne a des soies des côtés dorsal et ventral chez *Haematobosca* et uniquement du côté dorsal chez *Haematobia*.

La partie postérieure de l'abdomen est modifiée pour la reproduction et l'examen à la loupe permet facilement de reconnaître les sexes. Chez le mâle, l'extrémité de l'abdomen est enroulée au repos et cachée ventralement, donnant un aspect arrondi. Chez la femelle, elle constitue l'ovipositeur, rétracté

au repos comme un tube télescopique ; seuls deux cerques caudaux sont visibles, et l'extrémité de l'abdomen est pointue. De plus, comme chez de nombreux diptères, les yeux composés sont beaucoup plus écartés chez les femelles que chez les mâles.

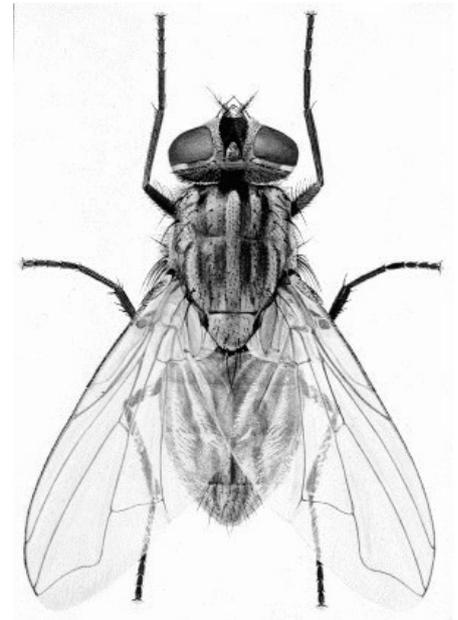
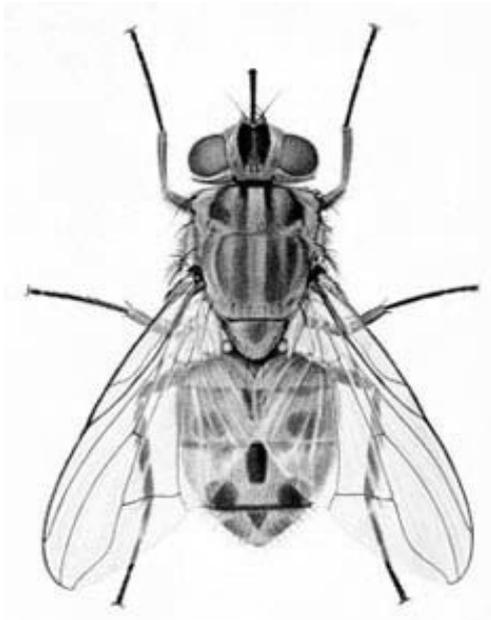


Fig. 1 : *Stomoxys calcitrans* (à gauche) et *Musca domestica* (à droite).

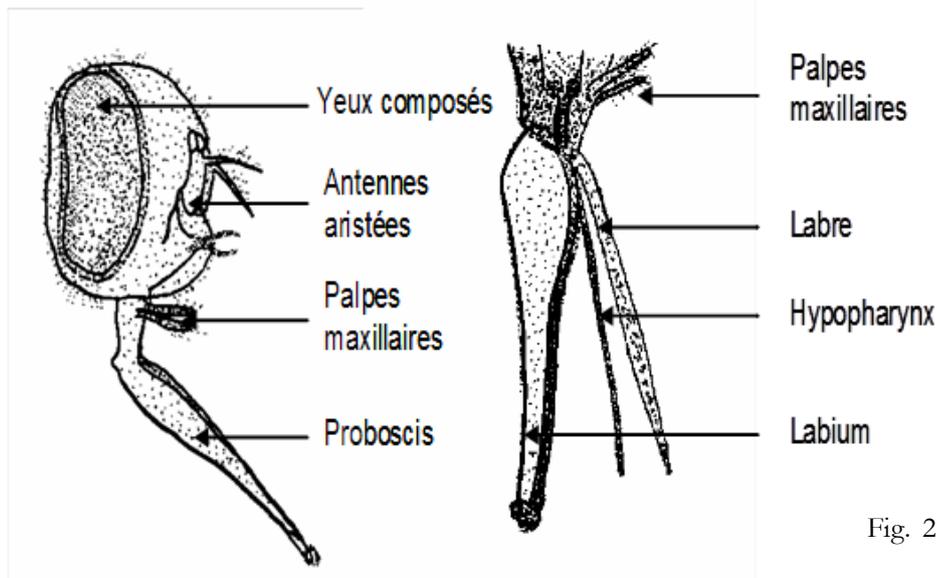


Fig. 2 : Tête et pièces buccales de *Stomoxys* sp., en vue latérale.

Biologie

Les stomoxes sont en général diurnes et piquent avec agressivité. Les hôtes préférés de *S. calcitrans* sont les animaux domestiques : ânes, chevaux, bovins, moutons, chèvres et chiens. En régions tropicales, elles peuvent aussi piquer buffles, chameaux et animaux sauvages (Hafez & Gamal-Eddin, 1959). Chez les bovins, les stomoxes se nourrissent préférentiellement sur la partie inférieure des membres, et on peut obtenir un bon indice d'abondance dans les prairies en comptant les mouches sur les pattes avant à l'aide d'une paire de jumelles. *S. calcitrans* prend en général un repas de sang par jour. En dehors des périodes d'activité, les stomoxes se reposent sur les murs ensoleillés, les palissades ou les végétaux denses (herbacés et arbustes) proches des animaux. Les femelles pondent leurs œufs dans de la matière végétale en décomposition, souvent souillée par les déjections des animaux : tas de fumier,

mais aussi tas de gazon coupé, rouleaux de paille conservant un peu d'humidité, restes d'aliments autour des nourrisseurs dans les prairies, etc. Par contre, les mouches des cornes, *Haematobia irritans*, restent en permanence sur le dos des animaux. On les voit là en nombre, côte à côte, souvent la tête en bas. Lorsque des mouvements péristaltiques du bovin annoncent la sortie prochaine d'une bouse, le groupe d'*Haematobia* se dirige vers l'arrière de l'animal. Et dès que la bouse est déposée, les femelles vont aussitôt y pondre leurs œufs. La nature et la qualité des sites de ponte sont influencées par les pratiques d'élevage (gestion des effluents) et la localisation géographique des exploitations (Meyer & Petersen, 1983).

Le cycle de développement comprend 6 stades principaux. Après accouplement, les femelles pondent des œufs qui éclosent en donnant 3 stades larvaires successifs (asticots). La larve de stade III se transforme en puppe (ou nymphe). Puis un nouvel adulte émerge de la puppe (Fig. 3).

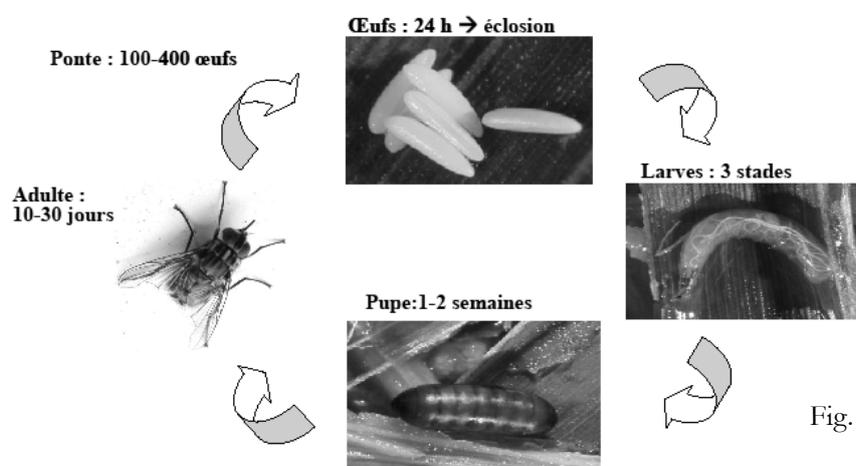


Fig. 3 : Cycle de développement des stomoxes avec les différents stades : œuf (environ 1 mm), larves (jusqu'à 1 cm au stade L3), puppe (4 à 7 mm) et adulte (ou imago).

Les adultes doivent rapidement prendre un repas de sucre pour l'énergie du vol et des repas de sang pour se reproduire avec succès. Les femelles ont besoin de plusieurs repas de sang pour produire des œufs (Killough & McKinstry, 1965).

Chez *S. calcitrans*, le cycle de vie, de l'œuf à l'adulte, dure en moyenne plus de 60 jours à 15°C mais moins de 12 jours à 30°C, la durée minimale étant observée à 31°C (Lysyk, 1998). Les pupes de *S. calcitrans* tolèrent apparemment des températures comprises entre 20°C et 30°C, mais leur mortalité augmente considérablement en dehors de cette gamme de température (Gilles *et al.*, 2005a).

Effets pathogènes

Les stomoxes sont des vecteurs mécaniques de nombreux pathogènes présents dans le sang et les tissus cutanés de leurs hôtes, spécialement le bétail, mais aussi parfois les humains. Pour le bétail, leurs effets directs liés à la piqûre sont principalement le harcèlement des animaux, les lésions de la peau, la réduction de l'alimentation, le stress, la spoliation sanguine et un effet immunosuppresseur global. Pour se protéger mutuellement, les animaux se regroupent, ce qui favorise la transmission d'agents pathogènes. Leur effet indirect est la transmission mécanique de pathogènes. En cas de repas interrompu, lié à

la douleur de la piqûre, les stomoxes peuvent reprendre leur repas de sang sur un autre hôte. En injectant de la salive avant l'absorption de sang, ils peuvent inoculer du sang infecté qui restait sur leurs pièces buccales. En plus de cette transmission immédiate, il a été observé que les stomoxes pouvaient conserver du sang dans leur jabot, où l'environnement est meilleur que l'intestin moyen pour la survie des pathogènes. Ces derniers peuvent être régurgités lors du prochain repas de sang. Ainsi, une transmission retardée semble possible par les stomoxes. Un tel mécanisme, dont il faudrait confirmer expérimentalement l'importance, a une conséquence épidémiologique considérable, puisqu'il permettrait une transmission inter-troupeaux d'agents pathogènes, alors que la transmission mécanique classique ne permet qu'une transmission intra-troupeaux (Baldacchino *et al.*, 2013).

Les stomoxes entraînent ainsi des pertes économiques importantes dans les élevages. Aux Etats-Unis, en 2012, les pertes économiques infligées par les stomoxes à la filière élevage ont été évaluées à 2,2 milliards de dollars par an (Taylor *et al.*, 2012). Dans les régions tempérées, ce sont les effets pathogènes directs qui prédominent. Le harcèlement des animaux par ces mouches pendant la période de pululation les empêche de se nourrir correctement. Les chercheurs canadiens et américains ont estimé que 36 mouches en moyenne par patte avant sur les bovins entraînaient une baisse de 20% du gain moyen quotidien (poids) ; de même une baisse de production laitière de 0,7% par mouche présente a été enregistrée, avec des baisses pouvant aller jusqu'à 40%. En régions chaudes, la transmission de pathogènes s'ajoute aux effets directs. Nous avons publié en 2013 une revue des agents pathogènes transmis par les stomoxes dans le monde en analysant 136 références bibliographiques (Baldacchino *et al.*, 2013). Le tableau 2 synthétise les données connues à ce jour (Tab. 2).

Pour résumer, *S. calcitrans* est reconnu comme hôte intermédiaire de *Habronema sp.*, nématode parasite des muqueuses de la lumière intestinale des chevaux. Mais les stomoxes sont surtout reconnus comme vecteurs mécaniques de trypanosomes (*Trypanosoma evansi*, *T. vivax*, *T. brucei*) en régions tropicales. De même, plusieurs expériences et des observations épidémiologiques indiquent que les stomoxes transmettent mécaniquement l'anaplasmose bovine due à la rickettsie *Anaplasma marginale* et la besnoitiose due au protozoaire *Besnoitia besnoiti*. Les stomoxes ont aussi été incriminés dans la transmission possible des virus de la leucose bovine enzootique, de la dermatose nodulaire contagieuse, de l'herpès bovin, de la peste porcine africaine, de la fièvre de la vallée du Nil, de la stomatite vésiculeuse, de l'anémie infectieuse des équidés, mais il subsiste encore beaucoup d'incertitude et des recherches sont nécessaires (cf. Baldacchino *et al.*, 2013). Autrefois, *S. calcitrans* était connu sous le nom de mouche charbonneuse, car elle est réputée transmettre d'un hôte à l'autre *Bacillus anthracis*, agent causal de la fièvre charbonneuse. Les espèces sensibles sont : ovins, caprins, bovins, équins, carnivores, porcins et Homme (Chantal, 1997).

Données nouvelles

Nous avons eu l'opportunité, au sein de l'équipe « Écologie des Arthropodes et changements globaux » du Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive (CEFE), de mener un certain nombre de recherches originales, grâce à plusieurs étudiants qui ont effectué leurs travaux de thèse avec nous.

Phylogénie du genre *Stomoxys*

La systématique phylogénétique ou cladistique, fondée par l'entomologiste Willi Hennig en 1950, propose de retrouver les parentés évolutives entre espèces en les rassemblant en groupes monophylétiques, c'est-à-dire en groupes comportant un ancêtre commun et la totalité des descendants. Pour cela, elle exploite avec un maximum de rigueur le concept darwinien de descendance avec modifications. L'école phylogénétique classe les espèces en fonction de l'âge de leur plus proche ancêtre commun. Aujourd'hui, la classification a pour objectif de retracer l'histoire évolutive ou l'histoire de spéciation des organismes en établissant des arbres phylogénétiques et en estimant le temps de divergence entre

les organismes depuis leur dernier ancêtre commun.

Dans notre laboratoire, Dsouli *et al.* (2011a) ont étudié les relations phylogénétiques entre espèces du genre *Stomoxys* sur des critères morphologiques et moléculaires et ont tenté d'élucider l'histoire évolutive de ce genre. Pour cela, ils ont utilisé les 10 espèces différentes du genre *Stomoxys* (sur les 18 connues dans le monde) que nous avons pu rassembler au laboratoire, ainsi que des espèces appartenant aux genres voisins *Prostomoxys* Zumpt, *Haematobosca* Bezzi et *Haematobia* Lepelletier et Serville. Les relations phylogénétiques ont été inférées en utilisant différentes méthodes (maximum de vraisemblance et méthodes bayésiennes) à partir des séquences de 2 gènes mitochondriaux (COI et CytB) et un gène nucléaire (ITS2).

Parmi les résultats principaux de cette étude, il faut retenir que :

- dans l'ensemble des arbres phylogénétiques obtenus, l'espèce asiatique *Stomoxys indicus* apparaît comme la plus ancienne, toutes les autres étant des espèces sœurs de celle-ci. L'évaluation grossière des temps de divergence indique que le genre *Stomoxys* serait apparu il y a environ 30 millions d'années (Oligocène) dans la région orientale, et non en Afrique comme on le supposait jusqu'à présent. Il y a donc eu des migrations ultérieures entre Asie et Afrique ;
- l'espèce *Prostomoxys saegerae* apparaît dans tous les arbres au milieu des espèces du genre *Stomoxys*. Cela signifie que ce genre *Prostomoxys*, créé par Zumpt pour cette unique espèce en raison d'un seul caractère morphologique (palpes maxillaires aussi long que le proboscis), devrait en fait être réintégrée au genre *Stomoxys* ;
- les sous-espèces *S. niger niger* Macquart et *S. niger bilineatus* Grünberg, pour lesquelles nous avons déjà observé des écologies différentes lors de nos études au Gabon, montrent un temps de divergence d'environ 16 millions d'années. Elles devraient sans doute être considérées comme des espèces différentes.

Il faudrait maintenant pouvoir valider ces résultats par des scénarii biogéographiques plausibles de liaisons entre régions orientale et afro-tropicale.

Phylogéographie de l'espèce cosmopolite *S. calcitrans*

Comme nous l'avons déjà indiqué, seule l'espèce *S. calcitrans*, parmi les 18 espèces connues, est cosmopolite. Au cours de sa thèse Najla Dsouli (2009) a cherché à comprendre les processus gouvernant la distribution géographique de cette espèce. La phylogéographie, en faisant appel à différentes disciplines (génétique moléculaire, génétique des populations, éthologie, démographie, phylogénie, paléontologie, géologie, géographie historique) nous renseigne sur la distribution des différentes lignées génétiques. Le but de ce travail était donc de déduire les processus historiques ayant mené à la structuration génétique et géographique actuelle de *S. calcitrans* dans le monde. Dans cette étude, 20 populations provenant de 6 régions biogéographiques ont été analysées. Les séquences de 3 gènes mitochondriaux (COI, CytB et ND1-16S) et 1 gène nucléaire (ITS2) ont été comparées.

Les résultats montrent une différence importante entre les populations de la région Orientale et celles des autres régions (Afro-tropicale, Paléarctique, Néarctique, Néotropicale et Océanienne). On observe ainsi 2 lignées qui semblent s'être séparées au milieu du pléistocène (Dsouli *et al.*, 2011b).

Ces 2 lignées appartiennent-elles encore à la même espèce ? Il faudrait maintenant établir là aussi des scénarii biogéographiques précisant l'origine de cette espèce et sa distribution à travers le monde. Il s'agit actuellement d'une espèce très anthropophile, vivant à proximité des humains et de leurs animaux domestiques qui les ont suivis dans toutes leurs pérégrinations.

Écophysiologie

A une époque où l'on cherche à connaître les réponses qu'apporteront les différentes espèces aux

Tab. 2. Agents pathogènes associés aux stomoxes.

Agent pathogène	Distribution géographique	Transmission	Association*
Virus			
Anémie infectieuse équine	Cosmopolite	Mécanique	Transmission expérimentale et naturelle, isolement
Fièvre porcine africaine	Afrique, Sardaigne (Italie)	Mécanique	Transmission expérimentale
Fièvre à West Nile	Cosmopolite	Mécanique	Transmission expérimentale, isolement
Fièvre de la Vallée du Rift	Afrique, Moyen-Orient	Mécanique	Transmission expérimentale
Dermatose nodulaire contagieuse	Afrique, Moyen-Orient	Mécanique	Transmission expérimentale, isolement.
Herpes bovin	Cosmopolite	Mécanique	Transmission expérimentale
Leucose bovine	Cosmopolite	Mécanique	Transmission expérimentale
Stomatique vésiculeuse	Amérique	Mécanique	Transmission expérimentale
Bactéries			
<i>Bacillus anthracis</i>	Cosmopolite	Mécanique	Transmission expérimentale et naturelle
<i>Pasteurella multocida</i>	Cosmopolite	Mécanique	Transmission expérimentale
<i>Erysipelothrix rhusiopathiae</i>	Cosmopolite	Mécanique	Transmission expérimentale
<i>Francisella tularensis</i>	Amérique du Nord, Europe, Afrique du Nord, Moyen-Orient, Asie	Mécanique	Transmission expérimentale
<i>Enterobacter sakazakii</i>	Cosmopolite	Biologique et mécanique	Transmission naturelle, isolement et développement.
<i>Dermatophilus congolensis</i>	Cosmopolite	Mécanique	Transmission expérimentale et naturelle

Rickettsies				
<i>Anaplasma marginale</i>		Cosmopolite (Tropiques)	Mécanique	Transmission expérimentale et naturelle, isolement
Protozoaires				
<i>Trypanosoma evansi</i>		Amérique du Sud, Afrique du Nord, Asie, Europe	Mécanique	Transmission expérimentale
<i>Trypanosoma vivax</i>		Amérique du Sud, Afrique	Mécanique	Transmission expérimentale
<i>Trypanosoma brucei</i>		Afrique	Mécanique	Transmission expérimentale, isolement.
<i>Trypanosoma congolense</i>		Afrique	Mécanique	
<i>Besnoitia besnoiti</i>		Amérique du Sud, Europe, Afrique, Moyen-Orient, Asie	Mécanique	Transmission expérimentale et naturelle
<i>Leishmania tropica</i>		Afrique du Nord, Moyen-Orient, Asie	Mécanique	Transmission expérimentale
Helminthes				
<i>Habronema microstoma</i>		Cosmopolite	Biologique	Transmission expérimentale, isolement et développement

* Les types d'association entre agents pathogènes et stomoxes sont décrits ainsi : isolement (agents isolés de stomoxes), développement (comme si les stomoxes étaient des hôtes intermédiaires naturels), transmission expérimentale (transmission d'un agent par un mode d'infection non naturel ou à un hôte inhabituel), transmission naturelle (transmission d'un agent d'un hôte naturel à un autre par exposition aux stomoxes), d'après Krinsky (1976) et Baldacchino *et al.* (2013).

changements climatiques, il est regrettable que peu d'études d'écophysiologie soient menées dans notre pays. Au cours de sa thèse sur l'île de La Réunion, Jérémie Gilles (2005) a cherché à comprendre les différences physiologiques entre les 2 espèces présentes localement : *S. calcitrans*, cosmopolite, vivant dans les hauts de l'île et *S. niger niger*, tropicale, vivant dans les bas au niveau des plantations de canne à sucre. Pour cela l'île de La Réunion est un véritable laboratoire naturel, puisque l'on peut aller des zones tropicales en bordure de l'Océan Indien à des zones tempérées sur les pentes et les hauts des volcans, en moins de 25 kms. Grâce à un laboratoire nouvellement équipé du Cirad (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement), J. Gilles a pu reconstituer au laboratoire les cycles de vie des 2 espèces à différentes températures (15, 20, 25, 30 et 35°C).

Il a pu alors comprendre que les œufs des stomoxes sont très sensibles aux températures froides, que les pupes sont sensibles aux températures élevées, et que l'optimum de développement pour les stades pré-imaginaux (œufs, larves, pupes) se situe entre 20 et 30°C. La durée de vie de ces stades diminue lorsque la température augmente. De plus, à 15°C, les femelles de l'espèce tropicale présentent une fécondité quasi-nulle alors qu'elle est encore positive pour l'espèce cosmopolite. Toutes ces données permettent de calculer le taux r d'accroissement des populations à chaque température. A 15°C ce taux est positif pour *S. calcitrans* (population encore en croissance) mais négatif pour *S. niger niger* (population en régression). A partir de 25°C, les courbes se croisent : ce taux r est plus élevé pour *S. n. niger* que pour *S. calcitrans*, ce qui montre la meilleure adaptation de *S. n. niger* aux régions chaudes (Gilles *et al.*, 2005a ; 2005b).

A noter que ces données apportent des informations pour un meilleur contrôle de ces mouches. Ainsi, au Canada, il est conseillé de recouvrir les tas de fumier d'une bâche noire pour en augmenter la température et ainsi tuer les pupes de mouches qui seraient présentes.

Dynamique de populations

De nombreux travaux ont été menés au Maroc, au Gabon et en Thaïlande sur les dynamiques journalières et saisonnières d'activité des stomoxes sous différents climats. Nous avons pu ainsi observer :

- que les populations de *S. calcitrans* présentent en France et au Maroc 2 pics d'activité (au printemps et en automne), alors qu'en Thaïlande les mouches sont actives tout au long de l'année avec un pic d'abondance en saison des pluies (Muenworn *et al.*, 2010) ;
- que certaines espèces de stomoxes, notamment *S. indicus* et *S. sitiens* en Thaïlande, étaient plus actives à l'aube et au crépuscule alors que les autres espèces ont une activité diurne (Masmeatathip *et al.*, 2006) ;
- que certaines espèces, notamment *S. calcitrans*, *S. niger niger* et *S. sitiens* étaient très anthropophiles, liées aux activités d'élevage, alors que les autres espèces étaient liées à la faune sauvage. Ces observations ont été faites au Gabon où 8 espèces différentes ont pu être étudiées (Mavoungou *et al.*, 2013b) ;
- que l'espèce *S. xanthomelas* vivait au Gabon dans la canopée des arbres en zone forestière et prenait la majorité de ses repas de sang sur singe (Mavoungou *et al.*, 2013a). Cette observation est très importante d'un point de vue épidémiologique, car cette espèce, qui prend parfois aussi un repas de sang sur homme, pourrait être un vecteur de pathogènes entre les populations de singes et les humains. La région de Makokou, dans l'est du Gabon, où cette observation a été faite, est appelée à un développement important lié à l'exploitation minière. L'augmentation du nombre de contacts singes-stomoxes-hommes pourrait être à l'origine de nouvelles arboviroses émergentes.

Méthodes de lutte

Toutes nos études de dynamique de populations montrent une relation évidente entre la propreté des fermes d'élevage et l'abondance des mouches. La première méthode de lutte est donc environnemen-

tale et porte sur une bonne gestion des effluents de la ferme (fumier, lisier, paille humide, refus alimentaires, etc.). À l'île de la Réunion, un projet de lutte a fait appel à deux autres techniques complémentaires de la gestion des effluents : le piégeage des mouches avec des pièges Vavoua (couleur bleue attractive) d'une part et le lâcher de parasitoïdes qui vont pondre dans les pupes de mouches. A ces techniques respectueuses de l'environnement, s'ajoute souvent l'utilisation d'insecticides. Mais des études récentes sur le campus de l'École nationale vétérinaire de Toulouse (ENVT) montrent que les stomoxes sont devenus résistants à tous les pyréthrinoides commercialisés (Salem *et al.*, 2012). C'est pourquoi nous tentons actuellement, toujours avec nos collègues de l'ENVT et des partenaires américains, d'adapter la technique ATSB (Attractive Toxic Sugar Bait) à la lutte contre ces mouches. Cette technique a montré son efficacité pour lutter contre des anophèles ou des phlébotomes (Müller *et al.*, 2012). En associant le « spraying » de sucres sur des systèmes attractifs à un insecticide le plus spécifique possible, peu toxique pour les pollinisateurs, on devrait pouvoir contrôler ces populations de mouches autour de leurs gîtes larvaires. Les études sont en cours.

Remarques conclusives

Les stomoxes, mouches piqueuses qui harcèlent les animaux et parfois les humains lors des fortes chaleurs d'été, ont trop longtemps été combattues uniquement à l'aide de pulvérisations d'insecticides. De nombreuses populations de ces mouches sont devenues résistantes aux insecticides les plus utilisés. Une meilleure connaissance de leur biologie et de leur écologie, que nous avons acquise dans différentes régions biogéographiques et sous différents climats, nous permet désormais d'envisager de nouvelles méthodes de lutte plus respectueuses de l'environnement. Le principe étant de piéger les mouches avec des systèmes attractifs les plus sélectifs possibles et de les tuer dans ces pièges avec des produits biocides qu'il n'est plus nécessaire de pulvériser dans la nature.

Références bibliographiques

- Baldacchino F., Muenworn V., Desquesnes M., Desoli F., Charoenviriyaphap T. & Duvallat G., 2013. Transmission of pathogens by *Stomoxys* flies (Diptera, Muscidae): a review. *Parasite* **20** : 26-38.
- Barré N., 1981. *Les stomoxes ou « mouches bœufs » à la Réunion. Pouvoir pathogène, écologie, moyen de lutte*. GERDAT-IEMVT, Maisons-Alfort, France.
- Chantal J., 1997. Actualités de l'antrax ou fièvre charbonneuse. *Médecine Tropicale* **57** : 52S -60S .
- Dsouli N., 2009. *Contribution à la phylogénie du genre Stomoxys (Diptera, Muscidae) et à la phylogéographie de Stomoxys calcitrans (L. 1758)*. Thèse, Université Montpellier 3, 140 p.
- Dsouli N., Delsuc F., Michaux J., De Stordeur E., Couloux A., Veuille M. & Duvallat G., 2011a. Phylogenetic analyses of mitochondrial and nuclear data in haematophagous flies support the paraphyly of the genus *Stomoxys* (Diptera: Muscidae). *Infection, Genetics and Evolution* **11** : 663–670.
- Dsouli N., Michaux J., De Stordeur E., Couloux A., Veuille M. & Duvallat G., 2011b. Global population structure of the stablefly (*Stomoxys calcitrans*) inferred by mitochondrial and nuclear sequence data. *Infection, Genetics and Evolution* **11** : 334–342.
- Gilles J., 2005. *Dynamique et génétique des populations d'insectes vecteurs. Les stomoxes, Stomoxys calcitrans et Stomoxys niger niger dans les élevages bovins réunionnais*. Thèse, Université de La Réunion, 140 p.
- Gilles J., David J.-F. & Duvallat G., 2005a. Temperature effects on the development and survival of two stable flies, *Stomoxys calcitrans* and *Stomoxys niger niger* (Diptera: Muscidae), in La Réunion island. *Journal of Medical Entomology* **42** : 260-265.
- Gilles J., David J.-F. & Duvallat G., 2005b. Effects of temperature on the rate of increase of two stable flies from La Réunion island, *Stomoxys calcitrans* and *Stomoxys niger niger* (Diptera: Muscidae). *Journal of Medical Entomology* **42** : 959-965.
- Hafez M. & Gamal-Eddin F.M., 1959. On the feeding habitats of *Stomoxys calcitrans* (L.) and *Stomoxys*

- sitiens* Rond., with special reference to their biting cycle in nature. *Bulletin of the Entomological Society of Egypt* **43** : 291-301.
- Killough R.A. & McKinstry D.M., 1965. Mating and oviposition studies of the stable fly. *Journal of Economic Entomology* **58** : 489-491.
- Krinsky W.L., 1976. Animal disease agents transmitted by horse flies and deer flies (Diptera: Tabanidae). *Journal of Medical Entomology* **13** : 225-275.
- Lysyk T.J., 1998. Relationship between temperature and life history parameters of *Stomoxys calcitrans* (Diptera: Muscidae). *Journal of Medical Entomology* **35** : 107-119.
- Masmeatathip R., Gilles J., Ketavan C. & Duvallet G., 2006. First survey of seasonal abundance and daily activity of *Stomoxys* spp. (Diptera: Muscidae) in Kamphaengsaen Campus, Nakornpathom Province, Thailand. *Parasite* **13** : 245-250.
- Mavoungou J.-F., Kohagne T.L., Acapovi-Yao G.L., Gilles J., Ketoh K.G. & Duvallet G., 2013a. Vertical distribution of *Stomoxys* spp. (Diptera: Muscidae) in a rainforest area of Gabon. *African Journal of Ecology* **51** : 147-153.
- Mavoungou J.-F., Picard N., Kohagne L.T., M'batchi B., Gilles J. & Duvallet G., 2013b. Spatio-temporal variation of biting flies, *Stomoxys* spp. (Diptera: Muscidae), along a man-made disturbance gradient, from primary forest to the city of Makokou (North-East, Gabon). *Medical and Veterinary Entomology* **27** : 339-345.
- Meyer J.A. & Petersen J.J., 1983. Characterization and seasonal distribution of breeding sites of stable flies and house flies (Diptera: Muscidae) on eastern Nebraska feedlot and dairies. *Journal of Economic Entomology* **76** : 103-108.
- Muenworn V., Duvallet G., Thainchum K., Tuntakom S., Tanasilchayakul S., Prabaripai A., Akratanakul P., Sukonthabhirom S. & Chareonviriyaphap T., 2010. Geographic distribution of stomoxysine flies (Diptera: Muscidae) and diurnal activity of *Stomoxys calcitrans* in Thailand. *Journal of Medical Entomology* **47** : 791-797.
- Müller G.C., Hogsette J.A., Beier J.C., Traore S.F., Toure M.B., Traore M.M. Bah S., Doumbia S. & Schlein Y., 2012. Attraction of *Stomoxys* sp. to various fruits and flowers in Mali. *Medical and Veterinary Entomology* **26** : 178-187.
- Pont A.C. & Dsouli N., 2009. A new species of *Haematobosca* Bezzi from Gabon (Diptera, Muscidae). *Studia dipterologica* **15** : 259-266.
- Pont A.C. & Mihok S., 2000. A new species of *Haematobosca* Bezzi from Kenya (Diptera, Muscidae). *Studia Dipterologica* **7** : 25-32.
- Salem A., Bouhsira E., Liénard E., Bousquet Melou A., Jacquiet P. & Franc M., 2012. Susceptibility of two European strains of *Stomoxys calcitrans* (L.) to Cypermethrin, Deltamethrin, Fenvalerate, λ -cyhalothrin, Permethrin and Phoxim. *International Journal of Applied Research in Veterinary Medicine* **10** : 249-257.
- Taylor D.B., Moon R.D. & Mark, D.R., 2012. Economic impact of stable flies (Diptera: Muscidae) on dairy and beef cattle production. *Journal of Medical Entomology* **49** : 198-209.
- Zumpt F., 1973. *The Stomoxysine biting flies of the world. Taxonomy, biology, economic importance and control measures*. Gustav Fischer Verlag, 175 p. Stuttgart.

Des Coléoptères remarquables inventoriés à la lisière d'un bois de vieux chênes verts près de Montpellier (Hérault)

Max Debussche & Geneviève Debussche

650 rue des Erables, F-34980 Saint-Gély-du-Fesc
(max.debussche@cefe.cnrs.fr)

Résumé

Un inventaire des Coléoptères observés à la lisière d'un bois de vieux chênes verts près de Montpellier (Hérault), réalisé par les auteurs depuis sept ans, a permis de recenser sur une surface de 0,18 hectare environ 700 espèces ou sous-espèces. Parmi celles-ci, une première liste de 20 espèces ou sous-espèces remarquables pour leur endémisme restreint, ou leur rareté régionale ou départementale, ou leur statut de protection, est sélectionnée. L'abondance locale et la phénologie de chacun de ces taxons sont précisées.

Mots-clés : Coleoptera, inventaire à long terme, endémisme restreint, rareté, garrigues du Montpelliérais, vieux chênes verts, *Quercus ilex*.

Abstract

A seven-year survey of Coleoptera observed on the edge of a wood of old holm oaks near Montpellier (Mediterranean southern France) allowed the authors to list ca. 700 species or subspecies across a 0.18 hectare wide area. Among them, a short list of 20 species or subspecies significant for their restricted endemism, or their regional or more local rarity, or their protection status is selected. For each of these selected taxa, local abundance and phenology are precised.

Keywords : Coleoptera, long-term survey, restricted endemism, rarity, Mediterranean southern France, old holm oaks, *Quercus ilex*.

Introduction

Les bois de vieux chênes verts sont rares dans l'Hérault, et d'une manière générale en France. Ils témoignent d'un site d'accès très difficile ou de l'enceinte protectrice d'une propriété ancienne qui ont permis aux arbres d'être épargnés par les activités humaines. Comme tous les habitats avec de vieux arbres ces bois de vieux chênes verts sont susceptibles d'accueillir des espèces de Coléoptères remarquables, en particulier saproxyliques. Nous avons profité de l'opportunité d'avoir un tel bois en contiguïté avec le terrain de notre domicile pour inventorier sur ce terrain les Coléoptères qui s'y rencontrent. Compte tenu de la petite taille du site d'inventaire, la faune recensée ne provient pas uniquement de celui-ci ni du bois contigu mais est, pour une bonne partie de ses espèces, d'origine extérieure ; elle est le reflet de la mosaïque paysagère environnante. De 2006 à 2012, nous avons recensé environ 700 espèces ou sous-espèces. Parmi celles-ci, nous avons sélectionné une première liste, que nous présentons ici, de 20 espèces ou sous-espèces remarquables pour leur endémisme restreint ou leur rareté régionale, ou départementale, ou leur statut de protection.

Site d'inventaire

Le site d'inventaire est situé en bordure d'un ensemble périurbain lâche et en lisière du parc de Cou-

londres, à Saint-Gély-du-Fesc, 10 km au nord de Montpellier. A 140 m d'altitude et à l'exposition nord, ce site a une surface de 0,18 ha. Le climat y est méditerranéen subhumide à hiver frais. La moyenne des précipitations annuelles est d'environ 900 mm, avec une forte variabilité interannuelle. Un taillis clair de chênes verts, avec quelques chênes pubescents, et des pelouses naturelles sèches occupent les deux tiers de la surface du site, le reste étant bâti, gravillonné, ou constitué de haies d'espèces exotiques ; de grands pins d'Alep dominant l'ensemble. La végétation herbacée n'est tondue qu'une seule fois par an, à la fin de l'été, avec restitution sur place de la coupe, afin de préserver au mieux la richesse en espèces végétales et animales.

Les arbres les plus âgés (plus de 150 ans) et les plus grands (jusqu'à 15 m de hauteur) d'un bois de chênes verts, inclus dans le parc de Coulondres, sont contigus au site d'inventaire (Fig. 1). Dès 1966, ce bois avait été inscrit dans la liste des « sites pittoresques du département de l'Hérault ». Le parc de



Fig. 1 : La lisière du bois de vieux chênes verts vue du site d'inventaire (photo MD).

Coulondres est parcouru par des daims, mouflons et chèvres en semi-liberté. Il faut souligner que le gyrobroyage passé de la strate arbustive, par crainte de l'incendie, et le pâturage actuel par les animaux ont souvent réduit fortement la végétation du sous-bois et favorisé localement un processus d'érosion (Fig. 2).

La mosaïque paysagère environnant le site d'inventaire est composée, outre un bois de vieux arbres, d'un taillis de chênes verts mêlé de grands pins d'Alep, de garrigues et de pelouses sèches, et d'un ensemble périurbain lâche établi dans un taillis clair de chênes, verts et pubescents.



Figure 2 : Les mêmes vieux chênes verts, dans le parc de Coulondres (photo MD).

Méthodes

Recherche active et piégeage

De 2006 à 2012, les Coléoptères ont été recherchés à vue tout au long de l'année et, occasionnellement, par battage de la végétation et tamisage de la litière. De 2006 à 2012, nous avons, tout au long de l'année, utilisé une piscine comme un vaste piège d'interception où tombent au vol ou par déplacement au sol de nombreux insectes (Allemand *et al.*, 1996 ; 2005). De 2006 à 2009, des pièges attractifs ($n = 2$ à 4), principalement à base de bière, vin ou fruits, placés en hauteur (1,5-5 m) (Allemand & Aberlenc, 1991) et/ou au sol, ont été utilisés de mai à octobre ; à partir de 2010, le piégeage au sol a été abandonné et le piégeage en hauteur n'a été qu'occasionnel. Depuis 2007, un piège à lumière UV

est utilisé de mai à octobre, 2 à 5 fois par mois, pendant 2-3 heures dès la tombée de la nuit. Depuis 2008, un piège d'interception à vitres de type Polytrap (Brustel, 2004 ; Nageleissen & Bouget, 2009) est utilisé en continu tout au long de l'année, à proximité immédiate de la lisière. Enfin, de 2009 à 2011, nous avons utilisé en été, pendant plusieurs semaines, deux seaux blancs comme pièges attractifs colorés.

Caractéristiques des espèces remarquables

Nous définissons comme espèces remarquables : a) l'espèce endémique très restreinte, identifiée par **ET** ; b) l'espèce endémique restreinte, identifiée par **ER** ; c) les espèces listées comme "déterminantes strictes" et "remarquables", à cause de leur rareté régionale, pour l'inventaire ZNIEFF du Languedoc-Roussillon (Anonyme, 2008), identifiées respectivement par **ZS** et **ZR** ; d) les espèces non signalées à notre connaissance dans le département de l'Hérault et celles qui y ont rarement été observées, identifiées respectivement par **HE** et (**HE**) ; e) l'espèce protégée nationalement, identifiée par **PN**.

L'abondance de chaque espèce est évaluée en fonction du nombre d'individus observés pendant la durée de l'inventaire avec : RR, très rare ; R, rare ; AR, assez rare ; AC, assez commun ; C, commun ; CC, très commun.

La nomenclature adoptée suit Fauna Europaea (<http://www.faunaeur.org/>).

Résultats

Liste des 20 espèces remarquables

CARABIDAE

Calosoma (Calosoma) inquisitor (Linnaeus 1758) (**HE**)

RR ; juin.

Cette espèce, prédatrice de chenilles, n'était connue dans l'Hérault que par deux observations, anciennes d'au moins un siècle, dont l'une indiquée à Montpellier (Balazuc, 1984 ; cf. aussi Thérond, 1975). Malgré une observation assez récente dans le Gard (Thérond, 1980) ce Calosome avait été considéré comme éteint dans la région et, de ce fait, avait été écarté de la liste des espèces déterminantes strictes de l'inventaire ZNIEFF du Languedoc-Roussillon (cf. Anonyme, 2008) (F. Soldati, com. verb., 2008). Notre capture montre qu'il est toujours hasardeux de considérer une espèce comme éteinte dans le contexte d'une pression d'échantillonnage très limitée dans l'espace et dans le temps.

CLAMBIDAE

Clambus simsoni Blackburn 1902 **HE**

CC ; mai-août.

Originnaire d'Australie, cette espèce est capturée pour la première fois en Europe en 1987 et en France en 1993 ; son arrivée, puis son expansion géographique, principalement vers l'Europe septentrionale et centrale, sont très probablement à relier à sa très petite taille (1 mm) et à son habitat de végétaux en décomposition qui favorisent un transport passif lors de nombreuses activités commerciales (Tamisier & Callot, 2004). Connue en France dans le sud-ouest, le centre-ouest et l'Alsace, cette espèce n'était pas signalée dans l'Hérault (Tamisier & Callot, 2004 ; J.-P. Tamisier *in litt.*, 2012).

DASYTIDAE

Dasytes (Dasytes) pauperculus Laporte de Castelnau 1840 (**HE**)

RR ; avril.

Cette espèce, rare en France, est probablement dépendante de la présence de vieux chênes et indicatrice d'ancienneté forestière (Constantin & Liberti, 2011). Thérond (1975-1976) ne donne qu'une observation, ancienne, de cette espèce dans le Gard ; elle n'a été signalée qu'une seule fois dans l'Hérault

Constantin, non publié ; R. Constantin *in litt.*, 2012).

ELATERIDAE

Athous (Orthathous) subtomentosus Leseigneur 2011 **ET (HE)**

RR ; juin.

Très récemment décrite, cette espèce endémique très restreinte n'est actuellement connue que par quatre individus, dont l'individu capturé ici ; ces individus proviennent tous du département de l'Hérault (Leseigneur, 2011 a).

Athous (Haplathous) subtruncatus Mulsant & Guillebeau 1856 **ER**

CC ; mai-juin.

Cette espèce endémique restreinte a été observée de la Camargue aux Pyrénées-Orientales, ainsi que dans le Tarn et en Gironde (Leseigneur, 2011 b).

ANOBIIDAE

Lasioderma corsicum Schilsky 1899 **HE**

R ; juin-août.

Uniquement signalée en Corse par Sainte-Claire Deville (1935), la présence de cette espèce sur le continent est attestée à Marseille en 1998, puis elle est ensuite signalée dans le Var et à Monaco (Ponel *et al.*, 2011), toujours non loin de la mer (E. de Laclos *in litt.*, 2012). Elle n'était pas signalée jusqu'à présent à l'ouest du Rhône.

SPHINDIDAE

Aspidiphorus lareyinieci Jacquelin du Val 1859 **HE**

AC ; avril-septembre sauf juillet.

Son absence du catalogue du Gard de Thérond (1975-1976 ; 1980 ; 1986) suggère que cette espèce est rarement observée en Languedoc-Roussillon. Elle a été récemment capturée dans le Gard (Ponel *et al.*, 2012) ainsi qu'en Lozère (Barnouin *et al.*, 2010 ; Debussche & Debussche, 2012), à chaque fois dans le massif de l'Aigoual. Nous n'avons pas trouvé d'informations sur sa présence dans l'Hérault.

CIIDAE

Ropalodontus novorossicus Reitter 1902 **HE**

AR ; mai-juin et septembre-novembre.

Cette espèce, inféodée aux champignons corticoles, est distribuée en Europe centrale et méridionale et au Proche-Orient ; ce n'est que récemment qu'elle a été signalée en France, dans les Pyrénées-Orientales puis dans le Bas-Rhin (Callot & Reibnitz, 2008). Nous n'avons pas trouvé d'informations sur sa présence dans l'Hérault.

OEDEMERIDAE

Nacerdes (Xanthochroa) raymondi (Mulsant & Godart 1860) **HE**

AC ; juillet-septembre.

Signalée seulement dans les Maures et l'Estérel par Sainte-Claire Deville (1937), cette espèce est indiquée par Allemand (1993) dans les mêmes massifs, mais également plus à l'ouest (Bouches-du-Rhône) et plus au nord (Vaucluse et Drôme). Plus récemment, elle a été capturée à l'ouest du Rhône, dans le Gard, à proximité du département de l'Hérault (M. Dierkens *in litt.*, 2012 ; R. Allemand *in litt.*, 2012). Les localités nouvelles, signalées depuis une vingtaine d'années, ne reflètent probablement pas une expansion d'aire, mais sont plutôt la conséquence de l'utilisation récente de techniques de piégeage (pièges attractifs en hauteur, piège à lumière UV) mieux adaptées pour détecter cette espèce nocturne, discrète et localisée (R. Allemand *in litt.*, 2012).

RIPIPHORIDAE

Ripidius quadriceps Abeille de Perrin 1872 **HE**

R ; juillet.

Une espèce endoparasite dont les larves se développent au dépens de Blattes forestières du genre *Ectobius* (Besuchet, 1956). Longtemps présumée comme extrêmement rare, cette espèce nocturne, non signalée dans l'Hérault, a vu le nombre de ses localités connues se multiplier à partir des années 1990, dès que les techniques de piégeage basées sur l'interception des insectes volants se sont développées (Brustel & Rogé, 1999 ; Fleury *et al.*, 2011 ; Debussche & Debussche, 2012).

TENEBRIONIDAE

Allecula rhenana Bach 1856 **HE**

RR ; septembre.

Cette espèce saproxylique n'est pas signalée dans la moitié sud de la France par Sainte-Claire Deville (1937), au contraire de sa congénère, morphologiquement très proche, *Allecula morio* (Fabricius 1787). Dépendante des cavités des vieux chênes, elle semble surtout localisée dans quelques grands massifs forestiers, aussi bien dans la moitié nord que dans la moitié sud de notre pays ; elle n'est pas signalée dans le Languedoc-Roussillon (F. Soldati *in litt.*, 2013). La distribution réelle de l'espèce reste toutefois encore peu précise par suite de la confusion, probablement assez fréquente, avec *Allecula morio* (F. Soldati *in litt.*, 2013).

Diaclina fagi (Panzer 1797) **ZR HE**

RR ; août.

Une espèce rare en Languedoc-Roussillon (Anonyme, 2008) qui n'était pas signalée dans l'Hérault (Soldati, 2007 ; F. Soldati *in litt.*, 2012). Distribuée principalement dans le tiers méridional de la France, cette espèce est actuellement en nette expansion, non seulement en France mais aussi en Europe (Soldati & Thieren, 2008).

Hymenorus doublieri (Mulsant 1851) **ZR**

RR ; août.

Une espèce saproxylique rare en Languedoc-Roussillon (Anonyme, 2008).

Lagria glabrata Olivier 1792 **ZR**

R ; juillet-août.

Une espèce rare en Languedoc-Roussillon (Anonyme, 2008).

Pentaphyllus testaceus (Hellwig 1792) **(HE)**

R ; juillet et septembre.

Une espèce saproxylique rare en Languedoc-Roussillon dont on ne connaît que quelques localités dans l'Hérault (F. Soldati *in litt.*, 2012 ; cf. aussi Soldati, 1995 ; 2007).

GEOTRUPIDAE

Bolbelasmus gallicus (Mulsant 1842) **ZR**

RR ; novembre.

Une espèce consommatrice de champignons hypogés, dont les truffes, rare en Languedoc-Roussillon (Anonyme, 2008).

SCARABAEIDAE

Bubas bubalus (Olivier 1811) **ZS**

RR; mai.

Une espèce coprophage rare en Languedoc-Roussillon (Anonyme, 2008) qui profite certainement de la présence des Ongulés en semi-liberté du parc de Coulondres.

APHODIIDAE

Rhysemus algiricus marqueti Lucas 1846 **ZS**

R ; mars et septembre.

Un taxon rare en Languedoc-Roussillon (Anonyme, 2008).

CERAMBYCIDAE

Cerambyx cerdo Linnaeus 1758 **PN**

AR ; juillet.

Une espèce commune dans le Midi de la France (Berger, 2012), y compris dans l'Hérault (Sudre *et al.*, 1999), mais bénéficiant d'une protection nationale.

CURCULIONIDAE

Onyxacalles portusveneris (Mayet 1903) (HE)

R ; octobre.

Pendant longtemps cette espèce n'a été connue en France que dans les Pyrénées-Orientales. Elle vient récemment d'être trouvée dans quelques taillis âgés de chênes verts de l'Hérault et du Gard (Komez & Germann, 2005).

Discussions et conclusions

Provenance des espèces remarquables recensées

Seulement une partie des espèces recensées trouvent des habitats adéquats, pendant la totalité ou une partie de leur cycle de vie, dans le site même d'inventaire et/ou dans le bois de vieux chênes verts contigu, les autres espèces recensées provenant des alentours. Onze des espèces remarquables vivent très probablement dans le bois de vieux chênes verts : *Calosoma inquisitor*, *Dasytes pauperculus*, *Aspidiphorus lareyinieii*, *Ropalodontus novorossicus*, *Nacerdes raymondi*, *Ripidius quadriceps*, *Allecula rhenana*, *Hymenorus doublieri*, *Pentaphyllus testaceus*, *Cerambyx cerdo* et *Onyxacalles portusveneris*. Six espèces remarquables vivent très probablement dans le site même d'inventaire : *Clambus simsoni*, *Athous subtruncatus*, *Aspidiphorus lareyinieii*, *Ropalodontus novorossicus*, *Nacerdes raymondi* et *Onyxacalles portusveneris*. Les autres espèces remarquables recensées n'ont probablement leurs habitats ni dans le site d'inventaire, ni dans le bois de vieux chênes verts.

Signification des localités nouvelles

Evaluer la dynamique spatio-temporelle à long terme des peuplements de Coléoptères est rendu difficile d'une part par la faiblesse et la variabilité de la pression d'échantillonnage, et d'autre part, par la vulgarisation depuis une vingtaine d'années des techniques de piégeage, ignorées au milieu du siècle dernier (Colas, 1956), que sont les pièges d'interception à vitres et les pièges à lumière UV (cf. aussi Allemand & Marengo, 2010). Ainsi, les découvertes depuis la fin du vingtième siècle de localités nouvelles pour une espèce donnée, peuvent aussi bien indiquer une réelle expansion de l'aire de distribution de cette espèce que la difficulté qu'il y avait précédemment à détecter sa présence faute d'une pression d'échantillonnage suffisante et/ou de techniques adéquates. Pour certaines espèces d'activité nocturne, beaucoup mieux détectables avec les nouvelles techniques de piégeage, l'hypothèse de leur expansion géographique doit être envisagée avec beaucoup de prudence, voire écartée. *Ripidius quadriceps* illustre bien ce cas de figure, *Nacerdes raymondi* probablement aussi.

Conservation des vieux chênes verts

Les vieux arbres ont une grande valeur patrimoniale par leur âge même, leur rôle significatif dans le fonctionnement des successions forestières, les habitats et micro-habitats rares et complexes qu'ils créent, et la biodiversité singulière qui leur est associée. Les Coléoptères remarquables, liés à l'existence des vieux chênes verts, constituent un des éléments de cette valeur patrimoniale. La conservation des vieux arbres, y compris dans un contexte urbain et périurbain, suscite depuis une vingtaine d'années en Europe de nombreuses recherches, théoriques et appliquées (cf. par ex. Vallauri *et al.*, 2003 ; Brustel, 2004), souvent dans le cadre de réseaux regroupant scientifiques et gestionnaires. Dans ce contexte, les modalités de conservation suivantes sont adéquates pour les petites zones où les plus

vieux chênes verts du bois de Coulondres sont regroupés : a) préserver les troncs et branches sénescents et morts, dès que l'intégrité du bâti n'est pas menacée en cas de chute ; b) écarter le public des vieux arbres pour des raisons de sécurité ; c) laisser en place les troncs et branches tombés au sol ; d) empêcher le parcours des Ongulés afin de permettre la restauration du sol et du sous-bois et afin d'arrêter l'érosion en cours, nuisible au réseau racinaire superficiel.

Remerciements

Nous dédions cet article à Roland Allemand qui nous a quitté. Son expertise, sa rigueur scientifique, ses conseils et sa disponibilité ont été pour nous d'un soutien immense. Henry Callot, Robert Constantin, Nicolas Komez, Eric de Laclos, Lucien Leseigneur, Philippe Ponel, Olivier Rose, Fabien Soldati et Jean-Philippe Tamisier, nous ont aidé et conseillé pour cet article : nous les en remercions vivement. Un grand merci aussi à Pierre Jay-Robert (UMR 5175 – CEFÉ, Montpellier) pour le prêt d'un piège d'interception à vitres.

Références bibliographiques

- Allemand R., 1993. Les *Nacerdes* ouest-paléarctiques du sous-genre *Xanthochroa* Schmidt, notes taxonomiques et commentaires sur la faune française (Coleoptera, Oedemeridae). *Bulletin de la Société Entomologique de France* **98** (1) : 5-14.
- Allemand R. & Aberlenc H.-P., 1991. Une méthode efficace d'échantillonnage de l'entomofaune des frondaisons: le piège attractif aérien. *Bulletin de la Société entomologique suisse* **64** : 293-305.
- Allemand R., Chevin H., Lemaître C. & Malet P.-M., 1996. Des pièges d'interception de grande envergure : les piscines. *L'Entomologiste* **52** (1) : 33-46.
- Allemand R., Chevin H. & Withers P., 2005. Inventorier l'entomofaune grâce aux piscines... *L'Entomologiste* **61** (6) : 273-285.
- Allemand R. & Marengo V., 2010. Les Clytini, un groupe de Coléoptères longicornes à suivre (Coleoptera Cerambycidae). *Bulletin de la Société linnéenne de Lyon hors-série n° 2* : 181-188.
- Anonyme, 2008. *Modernisation de l'inventaire ZNIEFF. Région Languedoc-Roussillon. Liste des espèces et habitats naturels déterminants et remarquables (version 2008-2010)*. DREAL L.-R., CEN L.-R., CBNM Porquerolles, 41 p.
- Balazuc J., 1984. *Coléoptères de l'Ardèche. Contribution à l'inventaire d'une faune régionale*. Supplément au Bulletin de la Société linnéenne de Lyon, 329 p.
- Barnouin T., Noblecourt T. & Soldati F., 2010. *Echantillonnage des coléoptères saproxyliques dans la Réserve Biologique Intégrale du Marquairès - Forêt domaniale de l'Aigoual (48) - Campagne 2007-2009*. Rapport final 2010. Office National des Forêts, Pôle National d'Entomologie Forestière, 72 p. Quillan.
- Berger P., 2012. *Coléoptères Cerambycidae de la Faune de France continentale et de Corse*. Association Roussillonnaise d'Entomologie, 664 p. Perpignan.
- Besuchet C., 1956. Biologie, morphologie et systématique des *Rhipidius* (Col. Rhipiphoridae). *Bulletin de la Société entomologique suisse* **29** : 73-144.
- Brustel H., 2004. *Coléoptères saproxyliques et valeur biologique des forêts françaises*. Collection dossiers forestiers n° 13, Office National des Forêts, 297 p.
- Brustel H. & Rogé J., 1999. Sur quelques Coléoptères rares ou peu connus du sud-ouest de la France (deuxième partie). *L'Entomologiste* **55** (3) : 91-101.
- Callot H. & Reibnitz J., 2008. Deux nouveaux Ciidae pour la faune de France : *Ropalodontus novorossicus* Reitter, 1902 et *Cis hanseni* Strand, 1965. Confirmation de la présence de *Cis fissicornis* Mellié, 1848 en Alsace (Coleoptera Ciidae). *L'Entomologiste* **64** (4) : 229-231.
- Constantin R. & Liberti G., 2011. *Coléoptères Dasytidae de France*. Musée des Confluences, 144 p. Lyon.
- Debussche M. & Debussche G., 2012. Un inventaire à long terme permet de recenser des Coléoptères remarquables dans le Mont Aigoual lozérien (Parc National des Cévennes). *Annales de la Société*

- d'Horticulture et d'Histoire Naturelle de l'Hérault* **152** (3) : 95-107.
- Fleury J., Nusillard B. & Bouget C., 2011. Sur la capture récente de *Ripidius quadriceps* Abeille de Perrin 1872 dans l'Aube et le Loiret (Coleoptera Ripiphoridae). *L'Entomologiste* **67** (6) : 353-354.
- Komez N. & Germann C., 2005. New conclusions on the distribution of *Onyxacalles portusveneris* (Mayet 1903) in France (Coleoptera: Curculionidae: Cryptorhynchinae). *Weevil News* **27**, Curculio-Institute, Mönchengladbach.
- Leseigneur L., 2011 a. *Athous subtomentosus* nov.sp., une espèce nouvelle du sud de la France (Coleoptera Elateridae). *Bulletin mensuel de la Société linnéenne de Lyon* **80** (5-6) : 109-111.
- Leseigneur L., 2011 b. *Athous subtruncatus* Mulsant & Guillebeau et ses synonymes, et réhabilitation de *Athous virgatus* Reiche (Coleoptera, Elateridae, Athoïnae). *Bulletin de la Société Entomologique de France* **116** (3) : 321-326.
- Nageleisen L.M. & Bouget C., coord. 2009. *L'étude des insectes en forêt : méthodes et techniques, éléments essentiels pour une standardisation. Synthèse des réflexions menées par le groupe de travail « Inventaires Entomologiques en Forêt » (Inv.Ent.For.)*. Les Dossiers Forestiers n°19, Office National des Forêts, 144 p.
- Ponel P., Allemand R., Rouault E. & Perez C., 2012. Week-end entomologique d'automne dans le massif de l'Aigoual. *Annales de la Société d'Horticulture et d'Histoire Naturelle de l'Hérault* **152** (1) : 10-22.
- Ponel P., Fadda S., Lemaire J.M., Matocq A., Cornet M. & Pavon D., 2011. *Arthropodes de la principauté de Monaco. Coléoptères, Héteroïptères, aperçu sur les Fourmis, les Isopodes et les Pseudoscorpions*. Monacobi-div, rapport final, 100 p.
- Sainte-Claire Deville J., 1935-1938. Catalogue raisonné des Coléoptères de France. *L'Abeille* **36** (1,2,3,4) : 1-467.
- Soldati F., 1995. Les Tenebrionidae de l'Hérault : inventaire et écologie (Coleoptera). *Bulletin de la Société Entomologique de France* **100** (3) : 261-275.
- Soldati F., 2007. *Fauna of France and Corsica. Coleoptera Tenebrionidae (Alleculinae excluded). Systematic catalogue and atlas*. Mémoire n° 6 de la Société linnéenne de Bordeaux, 186 p.
- Soldati F. & Thieren Y., 2008. Le genre *Diaclina* Jacquelin du Val, 1861, en France : actualisation des données nationales et redécouverte de *Diaclina testudinea* (Piller & Mitterpacher, 1783) (Coleoptera, Tenebrionidae). *Bulletin de la Société linnéenne de Bordeaux* **36** (2) : 161-166.
- Sudre J., Foucart A. & Coquempot C., 1999. Catalogue commenté et étude bibliographique des Coléoptères Cerambycidae du département de l'Hérault. *Bulletin mensuel de la Société linnéenne de Lyon* **68** (6) : 133-192.
- Tamisier J.-P. & Callot H., 2004. *Clambus simsoni* Blackburn, un petit coléoptère australien en pleine expansion en France (Coleoptera Clambidae). *Bulletin de la Société linnéenne de Bordeaux* **32** (1) : 41-45.
- Thérond J., 1975-1976. *Catalogue des Coléoptères de la Camargue et du Gard*. Mémoire n° 10 de la Société d'Etude des Sciences Naturelles de Nîmes, 2 vol., 410 p. & 223 p.
- Thérond J., 1980. Supplément au Catalogue des Coléoptères de la Camargue et du Gard. Addenda et corrigenda II. *Bulletin de la Société d'Etude des Sciences Naturelles de Nîmes* **56** : 1-18.
- Thérond J., 1986. Supplément au Catalogue des Coléoptères de la Camargue et du Gard. Addenda et corrigenda III. *Bulletin de la Société d'Etude des Sciences Naturelles de Nîmes* **57** : 37-43.
- Vallauri D., André J. & Blondel J., 2003. Le bois mort, une lacune des forêts gérées. *Revue Forestière Française* **40** (2) : 99-112.
- www.faunaeur.org : site Fauna Europaea (version 2.6.1).

Compte-rendu de la sortie botanique du 25 mars 2012 dans le massif de la Gardiole (34)

Frédéric Andrieu

57, route de Valergues, F-37400 Lunel-Viel
(f.andrieu@cbnmed.fr)

Cette sortie de la section botanique de la SHHNH dans la montagne de la Gardiole avait pour objectif la recherche de quelques plantes à floraison précoce, en particulier les romulées, gagées et autres aulx, ainsi que l'étude de quelques mares.

Le premier arrêt de la journée est effectué à l'extrémité nord-est du relief de la Gardiole, dans les garrigues de la Lauze, sur la commune de Saint-Jean-de-Védas (Fig.1, zone 1). C'est un plateau d'altitude modeste (30 à 40 mètres), entaillé par le cours de la Mosson, et occupant le flanc sud-est de l'anticlinal du horst de la Gardiole. Il se compose de calcaires en bancs assez massifs du Jurassique supérieur (Portlandien et Kimméridgien supérieur). La végétation que nous découvrons est typique des garrigues languedociennes. Elle est constituée de pelouses xérophiiles et rocailleuses à Brachypode rameux (*Brachypodium retusum*), plus ou moins densément colonisées par des ligneux à feuillage sempervirent. Parmi les espèces caractéristiques sont notamment relevés *Allium roseum*, *Euphorbia nicaeensis*, *Helianthemum hirtum*, *Helichrysum stoechas*, *Leuzzea conifera*, *Leontodon tuberosus*, *Carex halleriana* subsp. *halleriana*, *Ruta montana*, *Teucrium polium*... Cette communauté végétale se rapporte au groupement du *Phlomido lychnitidis-Brachypodion retusi* (anciennement *Thero-Brachypodion* selon Braun-Blanquet). Le couvert herbacé qui s'offre à nous a toutefois un aspect désolé, similaire à celui d'une garrigue de plein mois d'août. Il est tantôt jauni, tantôt roussi, sec comme la paille car grillé par les gelées ; son état végétatif est particulièrement en retard pour la saison considérée. C'est le triste résultat des conditions météorologiques extrêmes et contrastées qui ont sévi au cours de l'hiver, avec un mois de décembre et un début janvier secs, ensoleillés et aux températures douces, suivis par une période de grand froid sec en février et début mars. Après quelques recherches, la pelouse a fini par livrer les plantes vernaies convoitées : la Romulée rameuse (*Romulea ramiflora*), aux quelques feuilles toutes desséchées et dont certains pieds montraient des boutons floraux avortés, le froid ayant achevé prématurément leur développement, ainsi que *Gagea lacaitae* à l'état végétatif. Le reste de la flore relevée en ce lieu est classique des pelouses et garrigues (cf. liste des espèces observées).

L'herborisation s'est poursuivie sur la commune de Fabrègues, près du mas de Mirabeau, à l'ouest de la route montant au col de la Tortue (Fig. 2, zone 2). On se situe ici au pied de l'anticlinal de la Gardiole, mais sur son flanc nord-ouest cette fois. La roche qui affleure est un calcaire à chailles alternant avec des niveaux marneux du Jurassique moyen (Callovien). Les sols plus profonds permettent le développement d'une végétation arbustive claire de recolonisation d'anciennes pelouses. Le faciès dominant est une garrigue à Chêne kermès (*Quercus coccifera*) et à Ciste blanc (*Cistus albidus*) du *Rhamno lycioidis-Quercion cocciferae*. Les ligneux sont omniprésents avec *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus*, *Prunus spinosa*, *Pyrus amygdaliformis*, *Quercus coccifera*, *Quercus ilex*, *Pistacia lentiscus*, *Pistacia terebinthus*, *Cistus albidus*, *Cistus monspeliensis*, *Daphne gnidium*, *Jasminum fruticans*, *Lonicera implexa* et *Lonicera etrusca*. Par place, les bois de Pin d'Alep (*Pinus halepensis*) deviennent prépondérants et conduisent à une fermeture complète du milieu. Dans les ouvertures du couvert arbustif de la garrigue et le long des chemine-ments, très nombreux, la pelouse se maintient encore avec un cortège ordinaire relevant du *Phlomido lychnitidis-Brachypodion retusi*, comprenant entre autre *Convolvulus cantabricus*, *Potentilla neummanniana*, *Phlomis*

lychnitis, *Avenula bromoides*, *Bromus erectus*, *Brachypodium retusum*, *Brachypodium phoenicoides*, *Dianthus sylvestris* subsp. *longicaulis*, *Dorycnium hirsutum*, *Euphorbia characias*...

Dans les bois clairs de pin, une belle population de *Rosa myriacantha* a été notée. C'est une espèce discrète proche du Rosier pimprenelle (*Rosa pimpinellifolia*) qu'elle remplace dans les garrigues. Elle s'en distingue entre autre par le revers glanduleux de ses feuilles (glabre pour *R. pimpinellifolia*).

Cette zone a surtout été visitée pour retrouver une station d'Ail petit-moly (*Allium chamaemoly*), située en bordure de route. Malheureusement, depuis sa découverte en 2008 par James Molina, cette localité a reçu l'accueil de camions qui ont déversé en cet endroit des déblais de terre. Les recherches pour retrouver *Allium chamaemoly* ont été vaines. Un contrôle des pointages GPS montrera par la suite que les amas de terres ont été déposés à l'endroit exact de la station de la plante. On ne peut que déplorer (une fois de plus) l'absence de respect des espaces naturels par les propriétaires qui acceptent de tels dépôts, parfois contre indemnisation !

Après le parcours des abords de la Gardiole, les étapes suivantes conduisent le groupe de botanistes au cœur du massif de la Gardiole, au Pioch de Camille (Fig. 2, zone 3). Depuis le col de la Tortue, on accède à cette crête par une longue piste forestière à travers les assises calcaro-marneuses du Callovien supérieur. Le relief est vallonné et, sur ses pentes, on note au passage les garrigues du *Rosmarinion officinalis*. Cette formation arbustive dominée par le Romarin (*Rosmarinus officinalis*) est fréquemment substituée par des plantations forestières de cèdre (*Cedrus atlantica*) ou de pin (*Pinus nigra*).

En arrivant au niveau du Pioch de Camille, les bancs marneux se font plus rares et cèdent la place à un calcaire plus massif daté du Callovien moyen, pour partie à l'origine de la surface tabulaire du plateau de Lacan tout proche. A la faveur de ce substrat plus rocailleux et sec, la végétation dominante est de nouveau une garrigue arbustive claire et peu élevée du *Pistacio lentisci-Rhamnetalia alaterni* avec, comme ligneux dominants, *Quercus ilex*, *Phillyrea latifolia*, *Pistacia lentiscus*, *Cneorum tricoccon* et *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus*, et, comme herbacées associées, *Antirrhinum majus* subsp. *majus*, *Asphodelus cerasiferus*, *Cephalaria leucantha*, *Ruta angustifolia*, *Narcissus dubius*, *Euphorbia characias*, *Eryngium campestre*, *Ononis minutissima*, *Oxyris alba*... C'est au niveau des lisières et des clairières rocailleuses, en bordure de plateau, que de rares pieds desséchés de *Cachrys trifida* de l'année passée sont observés. C'est une ombellifère thermophile, rare, dont toutes les populations héraultaises sont situées dans la moitié nord du massif de la Gardiole. Avec le froid des semaines précédentes, son développement végétatif s'est trouvé retardé : aucune jeune feuille n'a été détectée. Et pourtant la plante était bien là, car à peine quelques semaines plus tard, avec le retour des beaux jours et des températures douces, Jean-Marie Coste l'observera en abondance et prête à fleurir.

La seconde partie de la journée fut consacrée aux milieux humides. Dans un contexte calcaire tel que celui du massif de la Gardiole, de tels milieux sont peu fréquents et sont constitués principalement par des mares, le plus souvent d'origine anthropique, dans les secteurs d'affleurements marneux.

La première visitée, la mare Mégé, est située au nord du plateau de Lacan (Fig. 2, zone 4). Elle occupe la bordure d'une vaste clairière et s'insère dans un environnement relativement plat. Elle est établie sur des marnes de l'Oxfordien qui affleurent très ponctuellement au cœur de la Gardiole. Le premier constat est la déception. Facile d'accès, la mare a été surcreusée, présentant désormais des berges dénudées et abruptes en son centre. Elle est devenue une bauge à sanglier comme en témoignent les empreintes. Les terres de déblais issues du surcreusement ont été déposées à une de ses extrémités et sont un point d'ancrage pour la végétation des friches. A l'opposé de ces déblais, la mare a été connectée à la piste forestière toute proche, lui permettant ainsi de réceptionner les eaux de ruissellement. Conséquences de ces aménagements, les eaux de ruissellement chargées en particules fines se déversent dans la mare, accentuent son atterrissement par le dépôt de limons et rendent le milieu particulièrement turbide. Malgré les recherches, aucun pied de *Mentha cervina* et de *Lythrum thymifolium*,

deux plantes rares caractéristiques des mares, vues par James Molina dans les années 90, n'a pu être trouvée. Une visite ultérieure fin août, à une saison *a priori* plus favorable pour l'observation de ces plantes, ne s'est pas avérée plus fructueuse. Quelques espèces typiques des mares méditerranéennes sur marnes sont malgré tout observées en dépit de la dégradation des berges : *Achillea ageratum*, *Sisymbrella aspera* subsp. *aspera* et *Pulicaria vulgaris* (cette dernière ayant été vue ultérieurement, en août). On note encore *Eleocharis palustris*, *Epilobium tetragonum* et *Carex divisa* colonisant les atterrissements de limons, ainsi que quelques belles touffes d'*Iris spuria* subsp. *maritima* dans les pelouses en périphérie de la mare.

La seconde mare de la Gardiole est la mare de Farlet (Fig. 2, zone 5). Elle est située un peu plus à l'ouest, en contrebas du plateau de Lacan. Elle est creusée dans des assises calcaro-marneuses du Callovien moyen et est bordée sur sa bordure nord-ouest par un muret de pierres en partie effondré. Isolée, à l'écart des accès et dans un secteur au relief chaotique, elle est pour le moment épargnée des aménagements intempestifs et semble en relatif bon état de conservation. Ainsi, au contraire de la mare Mégé, ses eaux sont claires et accueillent une abondante végétation aquatique constituée par *Ranunculus trichophyllus* subsp. *trichophyllus*, *Alisma lanceolatum* et *Eleocharis palustris*. Les berges marneuses, en partie dégagées par les eaux, sont quant à elles occupées par une végétation typique à *Mentha cervina*. Dans ce groupement relevant du *Preslion cervinae*, sont également notés les très discrets *Myosorus minimus* (Fig. 3) et *Bupleurum tenuissimum* ainsi que *Sisymbrella aspera*, *Achillea ageratum*, *Agrostis stolonifera*, *Carex divisa*, *Potentilla reptans*, *Polygonum aviculare* subsp. *depressum*, *Centaureum pulchellum*...

La troisième et dernière mare étudiée est celle de l'Eau Périé (Fig. 1, zone 6). Au contraire des deux précédentes, elle se situe au pied de la Gardiole à l'est. Elle marque le contact des calcaires avec les limons de la plaine. Elle est alimentée par des eaux de la nappe issue de la Gardiole et présente un environnement nettement plus eutrophe, c'est-à-dire plus riche. La végétation aquatique se limite à *Ranunculus trichophyllus* subsp. *trichophyllus*. Par contre, les vases des rives exondées sont colonisées par une végétation abondante et fournie qui se compose d'espèces typiques des bords des eaux : *Alisma lanceolatum*, *Samolus valerandi*, *Ranunculus sardous*, *Teucrium scordium*, *Scrophularia auriculata*, *Pulicaria dysenterica*, *Phragmites australis* subsp. *australis*, *Mentha pulegium*... A ces espèces, se mêle un cortège de plantes liées aux milieux riches et aux friches sur sols frais et profonds : *Plantago major*, *Potentilla reptans*, *Xanthium italicum*, *Dipsacus fullonum*, *Bothriochloa barbinodis*...

Pour clore la journée, on effectue un retour dans les garrigues, avec un dernier arrêt, de nouveau dans les garrigues de la Lauze. C'est la partie ouest qui est prospectée, au niveau du Puech Redon (Fig. 1, zone 7). On se trouve là sur les assises du Kimméridgien inférieur, avec des calcaires marneux disposés en petits bancs. Dans les pelouses rocailleuses du *Phlomidio lychnitidis-Brachypodium retusi* qui s'étendent sur de larges surfaces, de nombreux pieds de *Romulea ramiflora* sont de nouveau observés, toujours dans un état aussi désespérément sec, ainsi que *Rosa myriacantha*, *Ephedra distachya*, *Pardoglossum cheirifolium*, *Convolvulus lineatus* et *Convolvulus cantabricus*, *Iris lutescens*, *Cistus albidus*... Un crochet par les coteaux, puis les pelouses en pied de versant sur la rive gauche de la vallée de la Mosson, nous donne le plaisir de voir en fleurs, respectivement, l'Anagyris fétide (*Anagyris foetida*, Fig. 4) et l'Anémone couronnée (*Anemone coronaria*, Fig. 5). Dans les barres rocheuses se cachent deux fougères des parois calcaires, *Asplenium ceterach* et *Asplenium petrarchae*, ainsi que *Mercurialis annua* subsp. *buetii* (Fig. 6), *Umbilicus rupestris* et *Sedum dasyphyllum*.

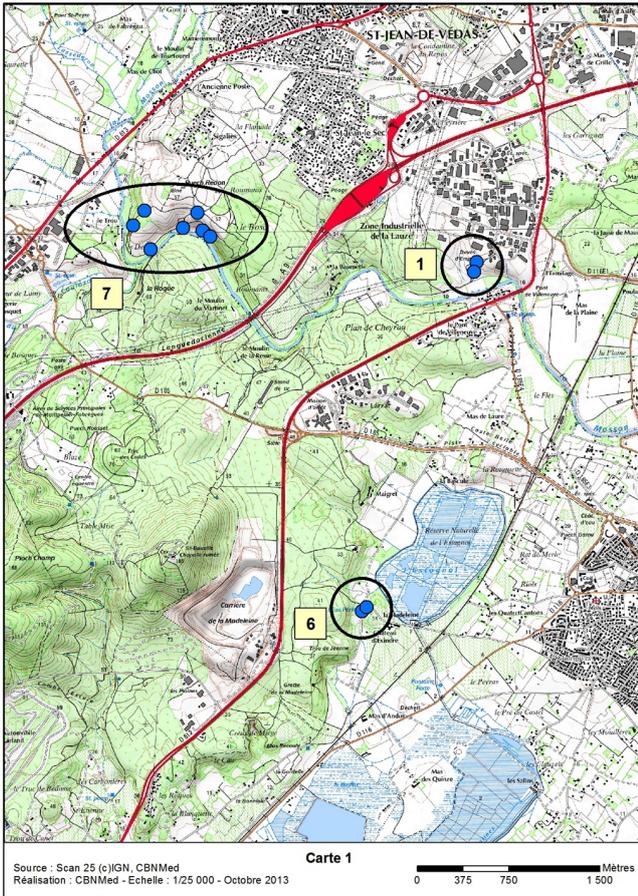


Fig. 1 : Localisation des zones de relevés 1, 6 et 7.

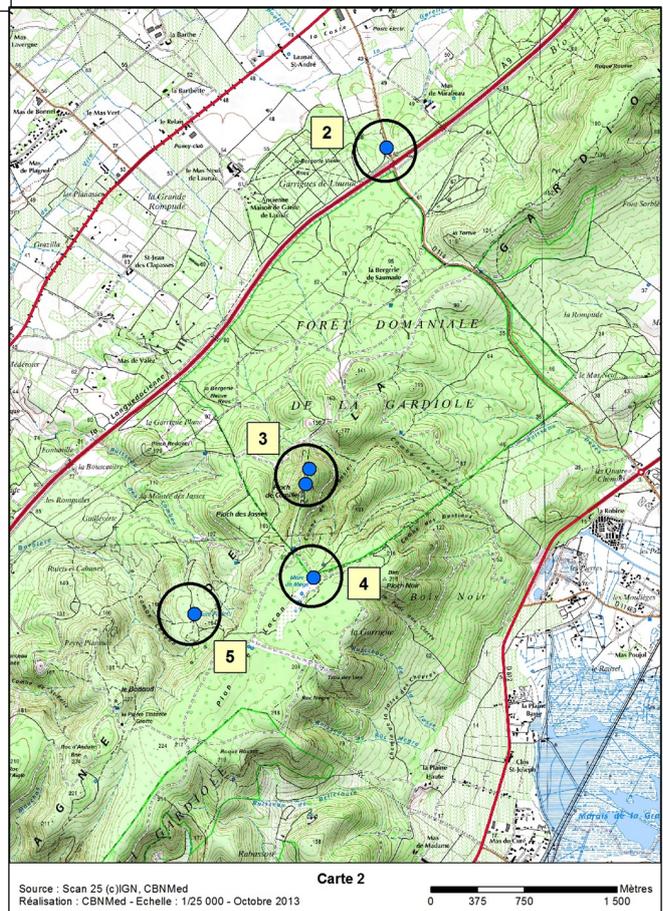


Fig. 2 : Localisation des zones de relevés 2, 3, 4 et 5.



Fig. 4 : *Anagyris foetida*.

Fig. 3 : *Myosurus minimus*.



Fig. 5 : *Anemone coronaria*.

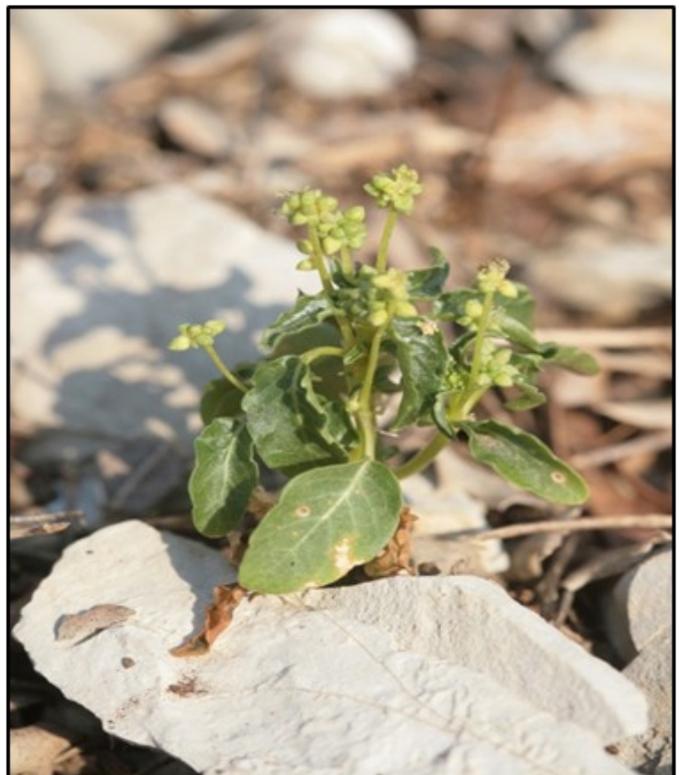


Fig. 6 : *Mercurialis annua* subsp. *buetii*.

Liste des espèces observées

Zone 1. Pelouse à Brachypode rameux (*Brachypodium retusum*) des Garrigues de la Lauze

<i>Ajuga reptans</i> (L.) Schreber	<i>Linum strictum</i> L.
<i>Allium roseum</i> L.	<i>Mercurialis tomentosa</i> L.
<i>Arundo donax</i> L.	<i>Muscari neglectum</i> Guss. ex Ten.
<i>Asparagus acutifolius</i> L.	<i>Phillyrea angustifolia</i> L.
<i>Asteriscus spinosus</i> (L.) Schultz Bip.	<i>Potentilla neumanniana</i> Reichenb.
<i>Carex halleriana</i> Asso subsp. <i>halleriana</i>	<i>Reichardia picroides</i> (L.) Roth
<i>Convolvulus cantabricus</i> L.	<i>Rhamnus alaternus</i> L.
<i>Dorycnium hirsutum</i> (L.) Ser.	<i>Romulea ramiflora</i> Ten.
<i>Ephedra distachya</i> L.	<i>Rumex intermedius</i> DC.
<i>Euphorbia nicaeensis</i> All.	<i>Ruta angustifolia</i> Pers.
<i>Euphorbia segetalis</i> L.	<i>Ruta montana</i> (L.) L.
<i>Gagea lacaitae</i> A. Terracciano	<i>Sanguisorba minor</i> Scop.
<i>Helianthemum hirtum</i> (L.) Miller	<i>Scorzonera laciniata</i> L.
<i>Helichrysum stoechas</i> (L.) Moench	<i>Sherardia arvensis</i> L.
<i>Hemerocallis fulva</i> (L.) L.	<i>Smilax aspera</i> L.
<i>Hippocrepis scorpioides</i> Benth.	<i>Sonchus tenerrimus</i> L.
<i>Hornungia petraea</i> (L.) Reichenb.	<i>Stipa offneri</i> Breistr.
<i>Leontodon tuberosus</i> L.	<i>Teucrium polium</i> L.
<i>Lepidium graminifolium</i> L.	<i>Valantia muralis</i> L.
<i>Leuzea conferta</i> (L.) DC.	<i>Verbascum sinuatum</i> L.

Zone 2. Garrigue à Chêne kermès (*Quercus coccifera*) et pinède de Pin d'Alep (*Pinus halepensis*) au mas de Mirabeau

<i>Ajuga reptans</i> (L.) Schreber	<i>Cistus monspeliensis</i> L.
<i>Allium moschatum</i> L.	<i>Convolvulus cantabricus</i> L.
<i>Arabis planisiliqua</i> (Pers.) Reichenb.	<i>Dactylis glomerata</i> L. subsp. <i>hispanica</i> (Roth) Nyman
<i>Asparagus acutifolius</i> L.	<i>Daphne gnidium</i> L.
<i>Avenula bromoides</i> (Gouan) H. Scholz	<i>Dianthus sylvestris</i> Wulfen subsp. <i>longicaulis</i> (Ten.)
<i>Bothriochloa barbinodis</i> (Lag.) Herter	Greuter & Burdet
<i>Brachypodium phoenicoides</i> (L.) Roemer & Schultes	<i>Dichanthium ischaemum</i> (L.) Roberty
<i>Brachypodium retusum</i> (Pers.) P. Beauv.	<i>Diplotaxis eruroides</i> (L.) DC.
<i>Bromus erectus</i> Hudson	<i>Dittrichia viscosa</i> (L.) W. Greuter
<i>Bromus hordeaceus</i> L.	<i>Dorycnium hirsutum</i> (L.) Ser.
<i>Carex halleriana</i> Asso subsp. <i>halleriana</i>	<i>Dorycnium pentaphyllum</i> Scop.
<i>Carlina corymbosa</i> L.	<i>Echinops ritro</i> L.
<i>Carlina lanata</i> L.	<i>Echium vulgare</i> L.
<i>Carthamus lanatus</i> L.	<i>Erodium cicutarium</i> (L.) L'Hérit. subsp. <i>romanum</i>
<i>Catapodium rigidum</i> (L.) C.E. Hubbard subsp. <i>rigidum</i>	(Burm. fil.) Bonnier & Layens
<i>Centaurea aspera</i> L.	<i>Erophila verna</i> (L.) Chevall.
<i>Centaurea paniculata</i> L. subsp. <i>paniculata</i>	<i>Eryngium campestre</i> L.
<i>Cichorium intybus</i> L.	<i>Euphorbia characias</i> L.
<i>Cistus albidus</i> L.	<i>Euphorbia cyparissias</i> L.
	<i>Euphorbia nicaeensis</i> All.

- Globularia bisnagarica* L.
Helianthemum apenninum (L.) Miller
Helianthemum salicifolium (L.) Miller
Helichrysum stoechas (L.) Moench
Herniaria incana Lam.
Hirschfeldia incana (L.) Lagrèze-Fossat
Hypericum perforatum L.
Iris spuria L. subsp. *maritima* P. Fourn.
Jasminum fruticans L.
Juniperus oxycedrus L. subsp. *oxycedrus*
Lavandula latifolia Medik.
Lepidium graminifolium L.
Linum strictum L.
Lonicera etrusca G. Santi
Lonicera implexa Aiton
Malva sylvestris L.
Mantisalca salmantica (L.) Briq. & Cavillier
Marrubium vulgare L.
Melica ciliata L. subsp. *ciliata*
Nauplius aquaticus (L.) Cass.
Odontites luteus (L.) Clairv. subsp. *luteus*
Onopordum illyricum L. subsp. *illyricum*
Osyris alba L.
Oxalis corniculata L.
Petrorhagia prolifera (L.) P.W. Ball & Heywood
Phillyrea angustifolia L.
Pbleum pratense L. subsp. *serotinum* (Jordan) Berher
Phlomis hychnitis L.
Pinus halepensis Miller
Pistacia lentiscus L.
Pistacia terebinthus L.
Plantago afra L.
Plantago lanceolata L.
Poa bulbosa L.
Potentilla neumanniana Reichenb.
Prunus spinosa L.
Pyrus amygdaliformis Vill.
Quercus coccifera L.
Quercus ilex L.
Ranunculus paludosus Poirer
Rhamnus alaternus L.
Rhamnus saxatilis Jacq.
Rosa myriacantha DC.
Rubus ulmifolius Schott
Rumex crispus L.
Salvia verbenaca L.
Sanguisorba minor Scop.
Scolymus hispanicus L.
Sideritis romana L.
Silene latifolia Poirer
Sixalix atropurpurea (L.) Greuter & Burdet subsp.
maritima (L.) Greuter & Burdet
Stipa bromoides (L.) Dörfler
Thymus vulgaris L.
Tordylium maximum L.
Trifolium angustifolium L.
Verbascum blattaria L.
Verbascum sinuatum L.
Vitis vulpina L.

Zone 3. Garrigue ouverte à Chêne vert (*Quercus ilex*) et bord de piste sur le Pioch de Camille

- Ajuga chamaepitys* (L.) Schreber
Allium roseum L.
Antirrhinum majus L. subsp. *majus*
Arum italicum Miller
Asparagus acutifolius L.
Asphodelus cerasiferus Gay
Asplenium ceterach L.
Barlia robertiana (Loisel.) Greuter
Brachypodium retusum (Pers.) P. Beauv.
Cachrys trifida Miller
Centaurea melitensis L.
Cephalaria leucantha (L.) Roemer & Schultes
Cistus albidus L.
Cneorum tricocon L.
Coronilla scorpioides (L.) Koch
Crucianella angustifolia L.
Dactylis glomerata L. subsp. *hispanica* (Roth) Nyman
Echium vulgare L.
Eryngium campestre L.
Euphorbia characias L.
Euphorbia segetalis L.
Geranium molle L.
Geranium rotundifolium L.
Iris lutescens Lam.
Juniperus oxycedrus L. subsp. *oxycedrus*
Lamium amplexicaule L.
Lonicera implexa Aiton
Narcissus dubius Gouan
Ononis minutissima L.
Osyris alba L.

Phillyrea latifolia L.
Pistacia lentiscus L.
Quercus ilex L.
Ruta angustifolia Pers.
Scandix australis L. subsp. *australis*

Sedum sediforme (Jacq.) Pau
Silene italica (L.) Pers.
Smilax aspera L.
Thapsia villosa L.
Valantia muralis L.

Zone 4. La mare Mège et ses abords

Achillea ageratum L.
Cardaria draba (L.) Desv.
Carex divisa Hudson
Eleocharis palustris (L.) Roemer & Schultes
Epilobium tetragonum L.
Iris spuria L. subsp. *maritima* P. Fourn.
Lolium perenne L.
Pbleum pratense L. subsp. *serotinum* (Jordan) Berher

Potentilla reptans L.
Prunus spinosa L.
Pulicaria vulgaris Gaertn.
Rosa sempervirens L.
Rumex crispus L.
Sisymbrella aspera (L.) Spach subsp. *aspera*
Torilis arvensis (Hudson) Link subsp. *arvensis*
Ulmus minor Miller

Zone 5. La mare de Farlet

Achillea ageratum L.
Agrostis stolonifera L.
Alisma lanceolatum With.
Bupleurum tenuissimum L.
Carex divisa Hudson
Centaureum pulchellum (Swartz) Druce
Convolvulus arvensis L.
Eleocharis palustris (L.) Roemer & Schultes
Juncus compressus Jacq.
Juncus inflexus L.

Mentha cervina L.
Myosurus minimus L.
Phillyrea angustifolia L.
Plantago lanceolata L.
Polygonum aviculare L. subsp. *depressum* (Meisn.) Ar-
cangeli
Potentilla reptans L.
Ranunculus trichophyllus Chaix subsp. *trichophyllus*
Sisymbrella aspera (L.) Spach subsp. *aspera*
Trifolium lappaceum L.

Zone 6. La mare de l'Eau Périé

Alisma lanceolatum With.
Althaea officinalis L.
Aster squamatus (Sprengel) Hieron.
Bolboschoenus maritimus (L.) Palla
Bothriochloa barbinodis (Lag.) Herter
Cardamine hirsuta L.
Cirsium arvense (L.) Scop.
Cirsium vulgare (Savi) Ten.
Conyza sumatrensis (Retz.) E. Walker
Crataegus azarolus L. var. *azarolus*
Cynoglossum creticum Miller
Dipsacus fullonum L.
Dittrichia viscosa (L.) W. Greuter
Echium vulgare L.
Epilobium tetragonum L.

Galium aparine L. subsp. *aparine*
Juncus articulatus L.
Lactuca virosa L.
Lycopus europaeus L.
Lytbrum salicaria L.
Malva sylvestris L.
Medicago arabica (L.) Hudson
Mentha pulegium L.
Olea europaea L.
Phragmites australis (Cav.) Steudel subsp. *australis*
Plantago major L.
Potentilla reptans L.
Pulicaria dysenterica (L.) Bernh.
Ranunculus sardous Crantz
Ranunculus trichophyllus Chaix subsp. *trichophyllus*

Rubus ulmifolius Schott
Samolus valerandi L.
Scirpoides holoschoenus (L.) Sojak
Scrophularia auriculata L.
Senecio vulgaris L. subsp. *vulgaris*
Sonchus asper (L.) Hill subsp. *asper*
Tamarix gallica L.

Teucrium scordium L.
Ulmus minor Miller
Verbascum blattaria L.
Verbena officinalis L.
Viburnum tinus L.
Xanthium italicum Moretti

Zone 7. Pelouses et garrigues du Puech Redon

Anagyris foetida L.
Anemone coronaria L.
Antirrhinum majus L. subsp. *majus*
Asplenium ceterach L.
Asplenium petrarckae (Guérin) DC.
Brachypodium retusum (Pers.) P. Beauv.
Cephalaria leucantha (L.) Roemer & Schultes
Cistus albidus L.
Convolvulus cantabricus L.
Convolvulus lineatus L.
Crepis sancta (L.) Bornm.
Dactylis glomerata L. subsp. *hispanica* (Roth) Nyman

Ephedra distachya L.
Iris lutescens Lam.
Mercurialis annua L. subsp. *buetii* (Hanry) Nyman
Pardoglossum cheirifolium (L.) Barbier & Mathez
Pistacia lentiscus L.
Pistacia terebinthus L.
Romulea ramiflora Ten.
Rosa myriacantha DC.
Ruta angustifolia Pers.
Sedum dasyphyllum L.
Umbilicus rupestris (Salisb.) Dandy

Les cyclamens en France : espèces spontanées, espèces naturalisées, espèces susceptibles de s'installer dans un jardin méditerranéen

Max Debussche

650 rue des Érables, F-34980 Saint-Gély-du-Fesc
(max.debussche@cefe.cnrs.fr)

Résumé

Quatre espèces de cyclamen poussent à l'état spontané en France : *Cyclamen purpurascens*, *C. balearicum*, *C. hederifolium* et *C. repandum*. Alors que les deux dernières espèces sont spontanées, très abondantes et largement distribuées en Corse, *C. hederifolium* n'existe qu'à l'état naturalisé en France continentale et *C. repandum* n'y offre qu'une seule population spontanée et de rares populations naturalisées. L'écologie et la biologie de la vingtaine d'espèces du genre *Cyclamen*, et surtout leur tolérance au gel, permettent de préciser lesquelles sont les plus susceptibles de s'installer à long terme dans un jardin méditerranéen, en particulier dans le Languedoc.

Mots-clés : *Cyclamen*, France, espèce spontanée, naturalisation, distribution, habitats, tolérance au gel, jardin méditerranéen.

Abstract

Four cyclamen species are native in France : *Cyclamen purpurascens*, *C. balearicum*, *C. hederifolium* and *C. repandum*. The two latter are native, very abundant and largely distributed on Corsica, whereas on mainland France *C. hederifolium* is only naturalised and *C. repandum* occurs as a single native and a few naturalised populations. The ecology and biology of the twenty or so *Cyclamen* species, including the decisive frost tolerance, allows to select which ones are able to install and maintain in a Mediterranean garden, especially in Languedoc region.

Keywords : *Cyclamen*, France, native species, naturalised species, distribution, habitats, frost tolerance, Mediterranean garden.

Introduction

Un cyclamen n'est pas seulement un cultivar à la floraison vivement colorée, vendu chez les fleuristes et dans les jardinerie, parfois utilisé en hiver dans les plates-bandes des villes du Midi, et qui a bien souvent du mal à survivre au-delà de sa floraison. Un cyclamen est aussi une plante sauvage, avec quatre espèces (*Cyclamen purpurascens* Miller, *C. hederifolium* Aiton, *C. repandum* subsp. *repandum* Smith et *C. balearicum* Willkom) qui poussent à l'état spontané en France (continent et Corse). Dans notre pays, deux de ces espèces peuvent constituer, hors de leur distribution d'origine, des populations naturalisées (*C. hederifolium* et, beaucoup plus rarement, *C. repandum* subsp. *repandum*), c'est-à-dire qu'après plantation ou semis, les individus se sont multipliés et ont constitué des populations démographiquement viables dans des habitats semi-naturels ou naturels sans interventions humaines. Lorsque les conditions d'habitat, en particulier les conditions climatiques, le permettent, quelques espèces de cyclamen, y compris des espèces étrangères à la flore française, peuvent s'installer avec succès en pleine terre dans des jardins méditerranéens et s'y maintenir à long terme.

Les objectifs de cet article sont de : a) décrire la distribution et l'écologie des quatre espèces de cyc-

men qui sont spontanées en France, b) faire le point sur la distribution en France des populations naturalisées de cyclamen, c) proposer une liste d'espèces sauvages de cyclamen susceptibles de se maintenir à long terme dans un jardin méditerranéen, en particulier en Languedoc.

Le genre *Cyclamen*

Le genre *Cyclamen*, de la famille des Primulacées, compte une vingtaine d'espèces (Grey-Wilson, 2002 ; Debussche *et al.*, 2004 ; Mathew & Clennett, 2013), de 20 à 24 selon la conception de l'espèce et de la sous-espèce qu'ont les auteurs et selon qu'ils s'appuient ou non sur une approche génétique couplée à une approche morphologique et écologique pour établir la hiérarchie de leur classification. L'instabilité taxonomique est en particulier chronique dans le sous-genre *Psilanthum* (Debussche & Thompson, 2004) qui englobe *C. repandum*, *C. balearicum* et les taxons affines. Les espèces de cyclamen poussent essentiellement autour de la mer Méditerranée et de la mer Noire, jusqu'à la mer Caspienne, mais aussi en Europe centrale, dans le Caucase et même dans la corne de l'Afrique. Certaines ont une large aire de distribution, comme *C. hederifolium*, d'autres sont des endémiques restreintes, comme *C. balearicum*, voire très restreintes, comme *C. libanoticum* Hildebrand.

Toutes les espèces du genre ont de nombreux traits morphologiques et biologiques en commun :

- un tubercule, souvent de forme arrondie ("kyklos") à l'origine du nom du genre ;
- une longue durée de vie, pouvant atteindre, selon les espèces, une à quelques dizaines d'années ;
- une végétation inexistante en été, période de repos, sauf chez deux espèces [*C. purpurascens* et son espèce-sœur *C. colchicum* (Alboff) Alboff] ;
- des feuilles au limbe étalé, souvent très décoratives grâce à des motifs argentés ;
- une corolle à cinq lobes redressés, de couleur blanche à carmin, souvent rose, certaines espèces pouvant offrir une floraison spectaculaire, en masse ;
- une pollinisation principalement assurée par des bourdons qui font vibrer, avec un bruit caractéristique, les anthères afin d'en extraire le pollen ;
- des fruits sphériques, ramenés au sol à maturité par la rétraction en tire-bouchon du pédoncule floral, sauf chez deux espèces (*C. persicum* Miller et *C. somalense* Thulin & Warfa) où le pédoncule floral se courbe simplement vers le sol ;
- des graines enrobées d'une substance sucrée qui attire les fourmis qui assurent la dissémination quand le fruit s'ouvre ;
- des germinations avec un seul cotylédon, en forme de petite feuille.

Ce sont aussi, presque toutes, des espèces occupant des habitats forestiers (Quézel & Médail, 2003), en lisière et en clairière, dans les rocailles, les vires et les éboulis, là où jouent ombre et lumière, dans des sols humifères et filtrants. Quant à la phénologie de leur floraison elle permet de distinguer deux groupes d'espèces, l'un à pic de floraison d'hiver et de début de printemps, les fleurs apparaissant après ou en même temps que les feuilles, l'autre à pic de floraison de fin d'été et d'automne, les fleurs apparaissant souvent avant les feuilles (Debussche *et al.*, 2004).

Les quatre espèces spontanées en France

Le Cyclamen d'Europe ou Cyclamen des Alpes (*C. purpurascens*) a un feuillage souvent sempervirent, des fleurs très odorantes et un pic de floraison de fin d'été (Fig. 1). Il s'observe en Europe centrale : est de la France, Suisse, nord de l'Italie, Autriche, ouest de la Hongrie, est de la République tchèque, Slovaquie, Slovénie, Croatie, Bosnie, localement nord du Monténégro et sud-ouest de la Pologne (Grey-Wilson, 1997 ; Mathew, 2013). Cette espèce a une assez étroite amplitude d'habitat : forêts caducifoliées - très souvent de Hêtre ou de Charme - parfois mélangées de conifères, et fruticées rocailleuses, essentiellement sur calcaire, à mi-ombre et ombre, de 300 à 1300 m d'altitude, sous climat continental. Contrairement à ce qui est souvent écrit ou indiqué sur des cartes, ce cyclamen n'est spon-

tané en France que dans sept départements : le Doubs, le Jura, l'Ain, les deux Savoie, l'Isère et les Alpes-de-Haute-Provence (Debussche & Debussche, 2002). Dans ce dernier département, l'espèce est protégée (région Provence-Alpes-Côte d'Azur).

Le Cyclamen à feuilles de lierre ou Cyclamen de Naples (*C. hederifolium*) a une floraison automnale, parfois parfumée, qui précède l'apparition des feuilles, très variables dans leur forme et leurs motifs colorés selon les populations; le feuillage est présent de l'automne au printemps (Fig. 2). Ce cyclamen a une distribution péri-méditerranéenne, en Europe (Corse, Italie continentale et insulaire, ex-Yougoslavie, Albanie, Grèce continentale et insulaire, Bulgarie) et localement en Asie (Turquie occidentale) (Grey-Wilson, 1997 ; Mathew, 2013). Dans certaines localités de Crète, du Péloponnèse, et plus rarement ailleurs en Grèce continentale et insulaire, il existe des populations tétraploïdes caractérisées par des feuilles plus grandes, épaisses et luisantes, et de plus grandes fleurs (Fig. 3), qui sont regroupées dans les taxons *confusum* et *crassifolium*, dont le statut (sous-espèce ou espèce) est encore débattu. Le Cyclamen à feuilles de lierre a une très large amplitude d'habitat : forêts caducifoliées et sempervirentes, maquis et garrigues, rocailles, à mi-ombre et ombre, sur toutes les roches, du niveau de la mer à 1500 m d'altitude, sous climat méditerranéen et, localement, climat continental. Contrairement à ce qui est très souvent écrit ou indiqué sur des cartes, ce cyclamen n'est pas spontané en France continentale, en revanche il est spontané et très abondant en Corse (Debussche & Thompson, 1999).

Le Cyclamen tyrrhénien ou Cyclamen étalé (*C. repandum* subsp. *repandum*) se caractérise par une courte période de végétation, de la fin de l'hiver à la fin du printemps, avec des feuilles au limbe triangulaire, denté, souvent marqué de motifs argentés, et par une floraison printanière, légèrement odorante, d'un rose soutenu (Fig. 4). Il a une distribution ouest-méditerranéenne, essentiellement européenne, centrée sur la mer Tyrrhénienne, d'où l'un de ses noms en français. En Europe, il se trouve en Italie continentale, Sicile, Sardaigne, Corse, très localement (une population) dans le massif des Maures en Provence, sur le littoral de la Croatie, de la Bosnie et du Monténégro (Debussche *et al.*, 2000). En Afrique du Nord, dans sa variété *baborense*, il est très localisé dans les massifs montagneux de Kabylie (Debussche & Quézel, 1997). Il a une très large amplitude d'habitat : forêts caducifoliées et sempervirentes, maquis et garrigues, rocailles, en situations ombragées, sur toutes les roches, du niveau de la mer à 1500 m d'altitude, sous climat méditerranéen. Le Cyclamen tyrrhénien est spontané et très abondant en Corse où on le trouve assez souvent en mélange, plante à plante, avec le Cyclamen à feuilles de lierre. En France continentale, un consensus entre botanistes s'est établi pour estimer qu'une seule population y est spontanée, dans les Maures ; toutefois, il faut admettre que le statut naturalisé de cette population peut aussi être soutenu avec des arguments convaincants (Debussche *et al.*, 2000). Quoi qu'il en soit, cette population est protégée (région Provence-Alpes-Côte d'Azur).

Le Cyclamen des Baléares (*C. balearicum*) est une espèce méditerranéenne caractérisée par de petites corolles printanières, blanches et odorantes, et par des feuilles au limbe très largement envahi par des taches gris-argenté (Fig. 5), assez souvent visibles dès l'hiver et se desséchant à la fin du printemps. Cette espèce endémique restreinte ne se trouve qu'aux îles Baléares (Mallorca, Menorca, Cabrera et Ibiza), localement dans le Languedoc-Roussillon (Debussche *et al.*, 1995), et très localement dans le nord de la Corse sous forme de trois populations relictuelles hybrides, introgressées par *Cyclamen repandum* subsp. *repandum* (Debussche & Thompson, 2002, 2013 ; Thompson *et al.*, 2010). Il a une assez étroite amplitude d'habitat aux Baléares : forêts sempervirentes claires (Chêne vert, Pin d'Alep), garrigues, rocailles, à mi-ombre et ombre, surtout en exposition nord, essentiellement sur calcaire, du niveau de la mer à 1400 m d'altitude (Debussche *et al.*, 1997). Cette amplitude d'habitat est bien plus étroite encore en Languedoc-Roussillon : gorges et ravins ombragés avec vieux peuplements de chênes verts, vives de falaises, rarement garrigues rocailleuses, seulement sur calcaire en exposition nord, de 300 m à 600 m d'altitude (Debussche *et al.*, 1996). Le Cyclamen des Baléares est protégé en Languedoc-Roussillon où il se trouve dans les Pyrénées-Orientales, l'Aude, l'Hérault et le Gard, d'ouest en est depuis les gorges de Galamus jusqu'aux gorges du Gardon. Il a peut-être été découvert dès le 16^e siècle.

de par Lobel dans les gorges de l'Hérault, où il est cité au siècle suivant par Strobelberger et Magnol. Le Cyclamen des Baléares n'est relativement abondant en France que, très localement, dans les Basses-Cévennes.

Les populations de cyclamen naturalisées en France

Définir si une population est spontanée ou naturalisée nécessite de s'appuyer sur une série de critères permettant d'avoir une approche suffisamment objective [cf. par ex. Webb (1985), Natali & Jeanmonod (1996)]. Les critères qui me semblent pouvoir constituer un ensemble discriminant sont : a) la localisation géographique de la population par rapport à l'aire de distribution spontanée connue de l'espèce, b) sa proximité avec des habitations, actuelles ou anciennes, c) son accessibilité, d) l'artificialisation de son habitat, e) la cohérence écologique et floristique de cet habitat par rapport à ce qui est connu dans son aire de spontanéité, f) son effectif local, g) la présence de différents stades démographiques et de germinations, h) l'intérêt horticole de l'espèce, actuel ou ancien. Concrètement, au plus la population examinée est éloignée de l'aire de spontanéité de l'espèce, au plus elle est proche d'une habitation, y compris d'une ruine, ou d'un chemin, au plus elle est facilement et rapidement accessible, au plus son habitat est, ou a été, régulièrement utilisé pour des activités humaines, au plus son habitat diffère écologiquement et floristiquement de ce qui est connu, au plus ses effectifs sont réduits et sa structure démographique déséquilibrée, en particulier avec rareté ou absence de germinations, et au plus l'intérêt horticole de l'espèce est, ou a été, reconnu, au plus la probabilité d'être en présence d'une population naturalisée est élevée.

Le Cyclamen à feuilles de lierre est l'espèce sauvage de cyclamen la plus souvent cultivée en France, et sur tous les continents, à cause de sa floraison abondante, de son feuillage souvent très décoratif, de sa grande tolérance au froid, de sa très large amplitude d'habitat, de sa capacité à se multiplier facilement par graines et de sa longévité. Il a été cultivé depuis au moins le Moyen-âge pour les propriétés médicinales de ses tubercules (Font Quer, 1993, p. 524-526) et a connu, comme beaucoup de plantes sauvages ornementales, un engouement certain au 19^e siècle et au début du siècle dernier. Ce n'est donc pas une surprise que le Cyclamen à feuilles de lierre soit, de très loin, l'espèce de cyclamen dont on connaît le plus grand nombre de populations naturalisées en France continentale. Ces populations sont observées dans le Midi, plus rarement dans l'Ouest, et de plus en plus rarement en allant vers le nord et en montagne ; elles peuvent compter jusqu'à plusieurs milliers d'individus reproducteurs répartis sur quelques hectares (par ex. dans le Gard). Dans tous les cas, ces populations occupent des parcs et des propriétés anciennes ainsi que des bois contigus, des bois, vergers et jardins abandonnés en bordure de villages, enfin, parfois, on les trouve près de ruines, loin de toute habitation actuelle. Très souvent, ces populations naturalisées offrent un feuillage avec des motifs argentés ou blancs très développés et/ou des fleurs de couleur blanche, particularités très rares dans les populations naturelles qui témoignent de l'objectif décoratif de la plantation d'origine.

Le Cyclamen tyrrhénien est rarement observé en France continentale puisque, outre la population spontanée des Maures, l'espèce n'est répertoriée avec certitude (la confusion avec le Cyclamen à feuilles de lierre est très fréquente) que dans quelques localités, dans les Alpes-Maritimes, les Bouches-du-Rhône et l'Hérault. Cependant, on ne sait pas si l'espèce est toujours présente dans certaines de ces localités, compte tenu de l'ancienneté de la référence, ni si l'effectif y est limité à quelques plantes ou s'il s'agit effectivement d'une population. Actuellement, seulement deux populations naturalisées sont identifiées avec certitude, l'une dans les Bouches-du-Rhône (N. Crouzet *in litt.*, 2013), l'autre dans l'Hérault (M. Jullian *in litt.*, 2010), cette dernière comptant 500-1000 individus reproducteurs sur environ deux hectares (Debussche *et al.*, non publié).

Le Cyclamen d'Europe est indiqué, souvent depuis longtemps, dans quelques localités en dehors de son aire de spontanéité, surtout en Bourgogne (par ex. Gillot, 1882, en Côte d'Or) et dans le Massif

central (par ex. Saint-Lager, 1883, en Ardèche). Il semble bien que cette espèce n'existe plus dans la plupart des localités anciennement citées, et qu'elle n'y a jamais constitué de populations naturalisées.

Enfin, quelques individus de Cyclamen de Perse (*Cyclamen persicum* Miller) (Fig. 6) sont épisodiquement signalés en Provence littorale, mais il n'y a aucune observation validant l'existence d'une naturalisation de cette espèce. Le Cyclamen de Perse est l'espèce sauvage à l'origine des cultivars vendus dans le commerce, dont la sélection a commencé en Europe dès le 17^e siècle et a pris son essor au milieu du siècle suivant (Bont & Grimshaw, 2013). Très utilisé depuis des siècles comme plante sauvage décorative dans l'est du bassin méditerranéen, autour des lieux de cultes et dans les cimetières et les jardins, la délimitation de son aire de spontanéité est de ce fait parfois encore sujette à débats. C'est une espèce essentiellement littorale et de faible altitude de l'est du bassin méditerranéen (Israël, Liban, Syrie, Chypre, Turquie, Grèce insulaire et très localement continentale) et localement d'Afrique du Nord (Tunisie et Algérie) (Grey-Wilson, 1997 ; Mathew, 2013).

Six espèces susceptibles de s'installer dans un jardin méditerranéen

La plantation et le maintien des cyclamens dans un jardin ont donné lieu à une multitude d'articles, aussi bien généraux que relatant quelques coups de mains et trucs à connaître pour réussir. Beaucoup d'entre eux ont été publiés dans *The Journal of the Cyclamen society* et Grey-Wilson (1997) et Aird & Moore (2013) en offrent une orientation générale. Toutefois, la plupart de ces articles ne concernent pas la région méditerranéenne dont les spécificités climatiques sont cruciales à prendre en compte en plus des principes de bases valables quelles que soient les régions concernées. Les recherches menées avec mes collègues sur le genre *Cyclamen* m'ont permis d'observer une dizaine d'espèces et sous-espèces en conditions naturelles, et d'en cultiver en pots une vingtaine dans le cadre d'expérimentations scientifiques, conduites en plein air et sous serre à Montpellier. J'ai aussi eu l'opportunité de pouvoir cultiver de nombreux taxons en pleine terre à Saint-Martin-de-Londres et à Saint-Gély-du-Fesc dans l'Hérault, pendant une quarantaine d'années. Le partage des déconvenues et des succès de culture des cyclamens en pleine terre avec des collègues botanistes et avec des pépiniéristes spécialisés a, sans surprise, débouché sur le constat que la bonne connaissance d'une part de la biologie et de l'écologie des espèces et d'autre part du microclimat et des micro-habitats d'un jardin est un préalable indispensable pour choisir des espèces capables de se maintenir sur la durée et sans intervention, en particulier sans protection contre le gel et sans arrosage pendant leur période de végétation.

Pour avoir de bonnes chances de voir s'installer à long terme des cyclamens dans un jardin méditerranéen, plus particulièrement en Languedoc où le gel est fréquent, les emplacements choisis doivent présenter simultanément quatre caractéristiques : a) avoir un sol assez humifère, caillouteux, drainant, avec un pH dans la gamme 6 – 7,5 ; b) être exposés au nord ou à l'est si on se trouve à basse altitude ; une exposition un peu plus chaude devient plus appropriée à moyenne altitude ; c) être bien abrités des vents forts, secs et froids que peuvent être le mistral et la tramontane ; d) être ombragés par des arbres ou arbustes à la litière facilement décomposée, ou par des rochers, avec au maximum 2 à 3 heures de soleil direct, en matinée, en fin de printemps. Ce sont les minimales des températures atteintes au niveau du sol et la durée des périodes sans dégel dans les emplacements choisis qui vont pour l'essentiel moduler la liste des espèces sélectionnées (Grey-Wilson, 1997 ; Debussche, 2003).

Les deux espèces les plus résistantes au gel (au moins jusqu'à -12°C au sol) et à sa durée, et qui s'accommodent aussi le mieux d'emplacements s'éloignant un peu des caractéristiques identifiées ci-dessus, sont le Cyclamen à feuilles de lierre, dans sa sous-espèce nominale (ses autres sous-espèces semblent plus sensibles au gel), et le Cyclamen de Cos (*Cyclamen coum* Miller), quelles que soient ses sous-espèces. Le Cyclamen de Cos a une vaste distribution européo-asiatique, principalement autour de la Mer noire, mais aussi en bordure orientale de la Méditerranée. Il a une très large amplitude d'habitat sous climats continental, méditerranéen et de type océanique. Ses petites fleurs, d'un rose soute-

nu, parfois blanches, éclosent de l'hiver au début du printemps alors que ses feuilles plus ou moins arrondies et argentées sont complètement développées (Fig. 7).

A ces deux espèces, on peut ajouter, le *Cyclamen tyrrhénien* en lui choisissant des emplacements plus ombragés, avec un sol plus humifère et surtout restant plus longtemps humide au printemps que pour les deux espèces précédentes. Parce que sa végétation ne débute qu'en fin d'hiver ou au début du printemps, cette espèce est assez peu exposée au gel ; son feuillage résiste à un gel nocturne jusqu'à -7°C au sol, pour peu que la température repasse au-dessus de zéro dans la journée.

La quatrième espèce sélectionnée est le *Cyclamen* de Grèce (*C. graecum* Link), dans sa sous-espèce nominale et sa sous-espèce *anatolicum*. Le *Cyclamen* de Grèce est largement distribué dans le sud de la Grèce continentale, dans les îles grecques, sur la côte sud de la Turquie et très localement à Chypre (Grey-Wilson, 1997 ; Mathew, 2013). Son feuillage supporte un gel nocturne jusqu'à -8°C au sol, pour peu que la température repasse assez vite au-dessus de zéro dans la journée, de préférence avec du soleil. Au contraire des espèces précédentes, en particulier du *Cyclamen tyrrhénien*, il s'accommode bien d'un sol pauvre en humus, a besoin pour bien fleurir d'un ensoleillement nettement plus marqué et supporte une sécheresse plus forte du sol, surtout en été. Il est très surprenant que cette espèce ne soit pas plus souvent cultivée, compte tenu de la variabilité extraordinaire de son feuillage très décoratif, présent de l'automne au printemps, et de sa floraison automnale très dense (Fig. 8).

Enfin, les deux dernières espèces sélectionnées, le *Cyclamen* d'Afrique du nord (*C. africanum* Boissier & Reuter) et le *Cyclamen* de Perse, ne doivent être essayées que dans les sites aux hivers les plus doux. Le *Cyclamen* d'Afrique du nord, endémique restreint du nord de l'Algérie et de la Tunisie, est l'espèce-sœur du *Cyclamen* à feuilles de lierre dont il se différencie à peine par ses fleurs et plus nettement par ses feuilles de plus grande dimension et moins décoratives. La plus sensible au gel des deux espèces est le *Cyclamen* de Perse, qui ne pourra s'installer que sur le littoral et sur les premières pentes des collines, toujours en des sites très abrités.

Discussion et conclusion

Quatre espèces de cyclamen se trouvent dans notre pays, situé avec les îles Baléares à l'extrémité occidentale de l'aire de distribution du genre ; il n'y a en effet pas de cyclamen dans la péninsule ibérique ni au Maroc. C'est en Turquie, à l'autre extrémité du bassin méditerranéen, que l'on trouve le plus d'espèces de cyclamen : dix espèces dont six endémiques restreintes ou très restreintes (Mathew & Ozhatay, 2001). La naturalisation des cyclamens est très peu fréquente dans notre pays, à l'exception notable du *Cyclamen* à feuilles de lierre sur le continent.

A cause de leur rareté d'effectifs et/ou de leur endémisme restreint les espèces du genre *Cyclamen* bénéficient actuellement de nombreuses mesures de protection, locales et départementales (par ex. en Isère et dans le Jura), régionales (par ex. en Languedoc-Roussillon et Provence-Alpes-Côte d'Azur), nationales (par ex. en Turquie) et internationales (par ex. la Convention internationale sur le commerce des espèces menacées – CITES). De ce fait, la collecte en masse (par millions au siècle dernier) de tubercules sauvages vendus ensuite, très souvent en piètre état, sur certains marchés aux fleurs et par des jardinerie non spécialisées a très fortement diminué.

Les six espèces susceptibles de s'installer dans un jardin en Languedoc sélectionnées ci-dessus, et plus largement la plupart des espèces du genre, peuvent être obtenues sous forme de tubercules, plus rarement de graines, auprès d'entreprises spécialisées ayant toutes les autorisations légales nécessaires pour la culture et la vente. Afin d'optimiser le succès d'installation des espèces je suggère de combiner la plantation en pleine terre de tubercules reproducteurs en dormance estivale avec un semis automnal de graines en pots, les jeunes tubercules obtenus par ce semis étant mis en pleine terre après deux ou trois ans de croissance. Enfin, le choix de provenances géographiques différentes au sein d'une même

espèce pour assurer une certaine diversité génétique est sans aucun doute favorable à long terme. Quant aux détails de la culture, nombre d'articles y sont consacrés...mais ceci est une autre histoire !

Références bibliographiques

- Aird A. & Moore P., 2013. Growing cyclamen : cultivation and propagation: 311-326. In : Mathew B. *Genus Cyclamen: science, cultivation, art and culture*: Kew publishing, London.
- Bont D. (de) & Grimshaw J., 2013. Development of *Cyclamen persicum* cultivars: 373-399. In : Mathew B. *Genus Cyclamen: science, cultivation, art and culture*: Kew publishing, London.
- Debussche M., 2003. Frost and cyclamen under Mediterranean climatic conditions. *The journal of the Cyclamen Society* **27** : 14-18.
- Debussche M. & Debussche G., 2002. *Cyclamen purpurascens* Miller dans les Hautes Alpes et les Alpes-de Haute-Provence. Compte-rendu de la mission des 3 et 4 octobre 2002 pour le Conservatoire botanique national alpin de Gap-Charance, 3 p.
- Debussche M. & Quézel P., 1997. *Cyclamen repandum* Sibth. & Sm. en Petite Kabylie (Algérie): un témoin biogéographique méconnu au statut taxinomique incertain. *Acta botanica Gallica* **144** : 23-33.
- Debussche M. & Thompson J.D., 1999. Distribution, ecology and floral variation of *Cyclamen* species in France. *The journal of the Cyclamen Society* **23** : 52-55.
- Debussche M. & Thompson J.D., 2002. Morphological differentiation among closely related species with disjunct distributions: a case study of Mediterranean *Cyclamen* L. subgen. *Psilanthum* Schwarz (Primulaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society* **139** : 133-144.
- Debussche M. & Thompson J.D., 2004. The classification of subgenus *Psilanthum*...revisited (yet again !). *The Journal of the Cyclamen Society* **28** : 12-16.
- Debussche M. & Thompson J.D., 2013. Ecology and evolution of *Cyclamen* subgenus *Psilanthum*: 209-225. In : Mathew B. *Genus Cyclamen: science, cultivation, art and culture*: Kew publishing, London.
- Debussche M., Debussche G. & Affre L., 1995. La distribution fragmentée de *Cyclamen balearicum* Willk. en France : analyse historique et conséquence des activités humaines. *Acta botanica Gallica* **142** : 439-450.
- Debussche M., Debussche G. & Grandjanny M., 2000. Distribution de *Cyclamen repandum* Sm. et écologie en Corse et France continentale. *Acta botanica Gallica* **147** : 123-142.
- Debussche M., Garnier E. & Thompson J.D., 2004. Exploring the causes of variation in phenology and morphology in Mediterranean geophytes: a genus-wide study of *Cyclamen*. *Botanical Journal of the Linnean Society* **145** : 469-484.
- Debussche M., Grandjanny M., Debussche G. & Affre L., 1996. Ecologie d'une espèce endémique et rare à distribution fragmentée: *Cyclamen balearicum* Willk. en France. *Acta botanica Gallica* **143** : 65-84.
- Debussche M., Grandjanny M., Debussche G., Mus M., Torres N. & Fraga P., 1997. Ecologie d'une espèce endémique en milieu insulaire: *Cyclamen balearicum* Willk. aux îles Baléares. *Anales Jardín Botánico de Madrid* **55** : 31-48.
- Font Quer P., 1993. *Plantas medicinales*, 1033p., Editorial Labor, Barcelona.
- Gillot X., 1882. Rapport sur les herborisations faites par la Société botanique de France les 13 et 14 juin 1882 à Santenay, Nolay, Bligny-sur-Ouche, Bouilland et Beaune. *Bulletin de la Société botanique de France* **29** : 60-96.
- Grey-Wilson C., 1997. *Cyclamen, a guide for gardeners, horticulturists and botanists*. B.T. Batsford Ltd, 192 p., London.
- Grey-Wilson C., 2002. *Cyclamen. A guide for gardeners, horticulturists and botanists*. 2nd edition. B.T. Bastford Ltd, 224 p., London.
- Mathew B., 2013. The species of *Cyclamen* : 22-199. In : Mathew B. *Genus Cyclamen: science, cultivation, art and culture*. Kew publishing, London.

- Mathew B. & Clennett C., 2013. Introduction, distribution and classification of *Cyclamen* species: 19-21. In : Mathew B. *Genus Cyclamen: science, cultivation, art and culture*: Kew publishing, London.
- Mathew B. & Ozhatay N., 2001. *The Cyclamen of Turkey*. The Cyclamen society, 32 p. London.
- Natali A. & Jeanmonod D., 1996. *Flore analytique des plantes introduites en Corse*. Conservatoire et jardin botaniques de la ville de Genève, 258 p.
- Quézel P. & Médail M., 2003. *Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen*. Elsevier, 571 p., Paris.
- Saint-Lager J.B., 1883. *Catalogue des plantes vasculaires de la Flore du bassin du Rhône*. Librairie H.Georg, 886 p., Lyon.
- Thompson J.D., Gaudeul M. & Debussche M., 2010. The conservation value of sites of hybridization in peripheral populations of rare plant species. *Conservation biology* **24** : 236-245.
- Webb D.A., 1985. What are the criteria for presuming native status ? *Watsonia* **15** : 231-236.



Fig. 1 : Floraison en août du cyclamen d'Europe (photo M.D.)

Fig. 2 : Un exemple de feuillage du Cyclamen à feuilles de lierre, en hiver (photo M.D.).



Fig. 3 : Floraison fin septembre du Cyclamen à feuilles de lierre (sous-espèce *confusum*) (photo Geneviève Debussche).



Fig. 4 : Floraison en avril du *Cyclamen tyrrhénien* (photo G.D.).

Fig. 5 : Floraison fin mars du *Cyclamen des Baléares* (photo M.D.).



Fig. 6 : Floraison fin mars du *Cyclamen de Perse* (photo M.D.).

Fig. 7 : Floraison en février du *Cyclamen de Cos* (sous-espèce *caucasicum*) (photo G.D.).



Fig. 8 : Floraison en octobre du *Cyclamen de Grèce* (sous-espèce *anatolicum*) (photo M.D.).

Nouvelle systématique et biogéographie du genre *Olea* L. (*Oleaceae*)

Raymond Gimilio

Oléiculteur à Claret (Hérault), ingénieur de recherches honoraire du CNRS, 
47 rue Lafeuillade, Résidence Le Courreau apt. 145, F-34070 Montpellier
(raymond.gimilio@sfr.fr)

Résumé

Cet article présente le travail de révision du genre *Olea* L. mené en Angleterre (Kew Gardens) par P. S. Green, et publié en anglais, en 2002. Le genre *Olea* a été divisé en trois sous-genres (*Olea*, *Tetrapilus* et *Paniculatae*), le sous-genre *Olea* en deux sections (*Olea* et *Ligustroides*). Trois nouveaux taxons ont été reconnus : genre *Tetrapilus*, sous-genre *Paniculatae* et *Olea woodiana* sous-espèce *disjuncta*. La traduction de cette révision a servi de base à un panorama mondial de la biogéographie du genre, à travers la localisation des stations des spécimens d'herbier et des nombreux synonymes cités pour chaque espèce. On découvre la répartition des espèces spontanées du genre *Olea* depuis le pourtour méditerranéen, en passant par l'Afrique du Nord et du Sud, Madagascar, la Péninsule Indo-Pakistanaise, la Chine, l'Indochine et l'Insulinde, jusqu'en Australie. Cette aire de répartition exclut le continent américain. Quelle est sa signification ? Quelle est l'importance économique du genre *Olea* ?

Mots-clés : genre *Olea*, *Oleaceae*, taxonomie, révision, biogéographie, répartition mondiale.

Abstract

This article introduces the revision work about *Olea* genus L. carried out at Kew Gardens (Great-Britain) by P. S. Green. It was published in English, in 2002. The genus *Olea* and the subgenus *Olea* were divided in three subgenera (*Olea*, *Tetrapilus* and *Paniculatae*) and in two sections (*Olea* and *Ligustroides*). Three new taxa were recognized : *Tetrapilus*, subgen. *paniculatae* and *Olea woodiana* susp. *disjuncta*. The translation into french of this work was the basis for drawing a world-wide biogeographical landscape of the *Olea* genus, going through the localization of the herbarium specimens stations and those of the synonyms quoted for each species. One can discover the distribution of the local indigenous species belonging to the genus *Olea*, from around the Euro-African Mediterranean area, spreading across northern and southern Africa, Madagascar, the Indo-Pakistanese Peninsula, China, Indo-China and Insulinde, reaching Australia. This area excludes the American continent. What does this mean ? What is the economic importance of genus *Olea* ?

Keywords : genus *Olea*, *Oleaceae*, taxonomy, revision, biogeography, worldwide distribution.

Introduction

L'Olivier cultivé (*Olea europaea* subsp. *europaea* var. *europaea*, anciennement *Olea sativa* Weston) est une espèce économiquement importante par sa culture en région circum-méditerranéenne étendue mondialement. Cette espèce (et ses cultivars ou variétés agricoles) a été introduite, partout où le climat présente les caractéristiques méditerranéennes de son berceau d'origine (le pourtour de la Méditerranée euro-africaine). La production des fruits, les olives (drupes, Fig. 1) remonte à la plus haute antiquité et même au-delà (confiserie et huile).

En décembre 2012, paraît l'ouvrage collectif coordonné par Catherine Breton et André Bervillé, qui utilise la dénomination *Olea europaea* subsp. *europaea* var. *europaea* pour l'Olivier cultivé. Avec Terral *et al.* (2013), ils mettent en évidence le fait que l'Olivier cultivé descend par domestication et culture humaine de l'Oléastre (*Olea europaea* subsp. *europaea* var. *sylvestris*). A. Bervillé nous a aimablement communiqué le travail du botaniste anglais P. S. Green à qui l'on doit « *A revision of Olea* L. (*Oleaceae*) », article publié en anglais en 2002 (Green, 2002). Celui-ci a passé en revue de nombreux échantillons du genre *Olea*, appuyé sur une abondante bibliographie, un réseau mondial de collaborations et des échantillons d'herbier (exsicatae). Il a validé trente-trois espèces, reconnu neuf sous-espèces dans trois sous-genres d'*Olea* et créé trois nouveaux taxons. J'ai traduit presque entièrement ce travail dont je présente, ici, une synthèse et dont je cite quelques extraits. Il est bien entendu que ne sont présentés que les taxons du genre *Olea* au sens strict retenus par Green, reconnus spontanés et décrits d'après les récoltes botaniques et les exsicatae correspondants qu'il a examinés (Green s'est basé sur les taxonomies de l'*Olea* des auteurs anglais, italiens et français). Ainsi, la majorité des taxons a plusieurs dénominations antérieures. Green a fait des choix pratiques et retenu essentiellement la terminologie anglaise. Il convient de se référer aux écrits de Chevalier (1948) et à la préface de Ch. Flahault dans la Flore de Coste (Bervillé, communication verbale).

Selon Green (2002, p. 91, trad. RG) :

« L'olivier, *Olea europaea* L. est une des plantes mondialement et économiquement majeure, son implication originelle avec l'homme se perd dans les brumes du temps passé. La plante cultivée subsp. *europaea* n'est pas connue dans la nature et doit être considérée comme un ancien cultigène. Cependant, les formes sauvages de cette espèce, avec des fruits plus petits, moins huileux sont connues sur une grande zone qui comprend l'Afrique, la Macaronésie et l'Asie. »

Quelques éléments de l'étude de Green sont donnés pour fournir un aperçu d'un genre végétal assez peu connu (en dehors de quelques spécialistes), en soulignant quelques taxons remarquables (comme réservoirs potentiels de gènes). Le travail de Green est également positionné vis-à-vis du contexte oléicole français et héraultais¹, compte-tenu de l'important travail réalisé par les équipes scientifiques de Montpellier (Breton & Bervillé, 2012 ; Terral *et al.*, 2012 ; Moutier *et al.*, 2001 ; 2004) et de Corte (Bruninini *et al.*, 2009), en vue de faire connaître la partie cachée de l'iceberg *Olea*, dont la pointe, visible ici, est l'Olivier cultivé. Il est si familier en Languedoc-Roussillon, dans les campagnes et les ronds-points de nos villes. Il s'étend aussi vers l'est du Rhône dont il marque le paysage.

La révision du genre *Olea*

La révision du genre *Olea* est introduite par Green (2002, p. 91, trad. RG) comme suit :

« *Olea* L., Sp. Pl. 8 (1753) & Gen. Pl. ed. 5:8 (1754) : l'espèce type est *Olea europaea* L. (lectotype, Green & Wickens, 1998) ».

Cette espèce a servi de type (lectotype, voir ci-dessus) à un genre qui comprend des espèces possédant des caractéristiques communes remarquables (selon Green 2002, p. 91, trad. RG²) :

« Buissons ou arbres toujours verts, rameaux avec ou sans écailles peltées parsemées, glabres ou pileux. Feuilles opposées, simples, coriaces, rarement plus ou moins parcheminées, étroitement lancéolées ou elliptiques à ovales ou oblancéolées, glabres ou pileuses, avec des écailles peltées sur les deux

¹ Il faut mentionner, à côté des équipes de chercheurs universitaires en France, le travail des coopératives oléicoles comme celles de Pignan et de Clermont-l'Hérault, des moulins privés, des syndicats oléicoles comme l'UPPO34 et le SAHOL et l'appui technique que fournit l'Association Française Interprofessionnelle de l'Oléiculture (AFIDOL) avec son Centre Technique de l'Olivier (Aix-en-Provence), sans oublier la Confrérie des Chevaliers de l'Olivier du Languedoc-Roussillon impliquée dans la défense de l'Olivier et de ses produits.

² Les citations traduites d'après Green (2002) sont placées entre « », en caractères Garamond corps de 11 et en retrait. Il n'y a pas de retrait pour les clefs de détermination.

faces, denses ou éparpillées, nervures souvent plus ou moins sombres, les marges entières ou dentelées avec ou sans domaties sur les axes de la nervure médiane et sur les nervures primaires au-dessous. Inflorescences axillaires ou terminales, cymeuses-paniculées ou en grappes-décussées, fleurs hermaphrodites ou andro-monoïques. Calice sympétale, tube court, 4 lobes valvulés, courts ou largement triangulaires, persistants. Étamines 2 ou 4, insérées près du sommet du tube de la corolle, filets courts, anthères largement ellipsoïdes, déhiscence latérale. Ovaire supère, 2 locus. Fruits drupe, 1 graine, endocarpe généralement dur, mésocarpe souvent épais et charnu, devenant pourpre foncé ou noir³ quand mûr. » (drupe : Fig. 1).

Les « écailles peltées » (Fig. 2 - selon Anaïs Boura -MNHN- communication et citation dans Moutier *et al.*, 2012, *in* Breton & Bervillé 2012, p. 133) sont aussi dénommées « trichomes peltés ». Elles bordent les orifices des stomates de la face adaxiale des feuilles ; on les trouve aussi sur certains rameaux. L'air emprisonné sous la partie aplatie de l'écaille participe à la résistance à la sécheresse de l'Olivier et donne un aspect argenté au-dessous des feuilles.

Les cultivars majeurs rencontrés dans nos régions ont fait l'objet d'un travail d'identification biochimique (Moutier *et al.*, 2004 ; 2011). Il porte sur les cultivars français (France continentale et insulaire, indigènes et introduits) ayant une importance économique dans la création d'appellations d'origines (AOC, AOP, IGP) tant pour les fruits confits que pour l'huile vierge extra. Il existe, dans les vergers ayant subi le gel de 1956, des *Olea europaea europaea europaea*, cultivars anciens, désignés sous le nom générique local de « noirettes » (Fig. 3) et dont les formes juvéniles rappellent l'Oléastre (dimorphisme). On trouvera ci-après la clef établie par Green (p. 92, trad. RG) : elle établit les caractères distinctifs des taxons reconnus par cet auteur :

« Clef pour les sous-genres et les sections

1. Feuilles abaxialement sans domaties sur les axes des nervures centrale et primaires en-dessous 2
 Feuilles abaxialement sans domaties sur les axes des nervures centrale et primaires en-dessoussous-genre ***Paniculatae***
2. Feuilles glabres à l'exception d'écailles peltées denses ou éparées, parfois dentées ; inflorescences terminales ou axillaires, glabres ; corolle en tube très court ; sous-genre ***Olea***cf 3
 Feuilles avec écailles peltées sombres habituellement enfoncées, parfois pileuses, marges entières ou dentées ; inflorescences toujours axillaires, fréquemment pileuses ; tubes de corolle évidents, souvent bien développéssous-genre ***Tetrapilus***
3. Feuilles densément couvertes avec des écailles peltées se recouvrant ou contigües, spécialement les faces abaxiales ; tube du calice ± membraneuxsection ***Olea***
 Feuilles avec des écailles peltées éparées, souvent ± enfoncées dans la surface de la feuille ; inflorescences axillaires ou terminales ; calice ± coriacesection ***Ligustroides*** »

Le sous-genre *Olea* (item 2 de cette clef) renvoie à la section *Olea* (item 3 de la clef).

Les taxons reconnus

Ce sont les trois sous-genres *Olea* (avec deux sections *Olea* et *Ligustroides*), *Tetrapilus* et *Paniculata*.

³ D'où les nombreuses appellations locales de verdales, noirettes, négrettes, violettes, rougettes-roussettes-rougets. Certaines, associées à un nom de terroir, sont devenues des noms de cultivars officiellement reconnus (105 cultivars : cf. Moutier, 2004 ; 2011) : Rougette de l'Ardèche, Roussette de l'Ardèche, Rougette de Pignan, Rougette du Gard, Roussette du Var, Verdale des Bouches du Rhône, Verdale de l'Hérault, etc.

Sous-genre (subgen.) *Olea*

Les caractères retenus pour ce sous-genre par Green (2002, p. 92, trad. RG) sont les suivants :

« Arbres ou buissons toujours verts, les rameaux parsemés d'écaillés peltées, autrement glabres, quadrangulaires. Feuilles plus ou moins coriaces, densément recouvertes ou parsemées d'écaillés peltées, marges entières. Inflorescences axillaires ou terminales, cymes-paniculées ou grappes-décussées, hermaphrodites ou andro-monoïques. Calice petit, 4 lobes courts, largement triangulaires. Corolle blanche ou crème pâle, tube court, quatre lobes valvulés ou parfois légèrement imbriqués, ± réfléchis à la pleine anthèse. Deux étamines, anthères ellipsoïdes, filets courts attachés sur le haut du tube de la corolle, insérés sur l'anthère mi-dorsalement, réfléchis à l'anthèse. Ovaire en forme de bouteille ou conoïde, style court, stigmate capité. Drupe avec un mésocarpe fin ou charnu. »

La clef renvoie à la section *Olea* dont les caractéristiques figurent ci-après.

Section *Olea*

Selon Green (2002, p. 92, trad. RG), cette section présente les caractères morphologiques suivants :

« Buissons ou petits arbres⁴. Feuilles, rameaux et rachis des inflorescences densément couvertes d'écaillés peltées chevauchantes ou juxtaposées, spécialement les feuilles, abaxialement. Feuilles entières, sans domaties. Inflorescences axillaires, grappes décussées, occasionnellement ramifiées. Tube du calice quelque peu membraneux. »

C'est dans la section *Olea* que se placent les taxons *Olea europaea* subsp. *europaea* var⁵. *europaea* (l'Olivier cultivé, Fig. 4) et *Olea europaea* subsp. *europaea* var. *sylvestris* (Oléastre, Fig. 5 ; Breton *et al.*, 2006 ; Breton & Bervillé, 2012 ; Terral *et al.*, 2012).

L'espèce *Olea europaea* est bien connue ici, au moins pour l'Olivier cultivé (*O. europaea europaea europaea*). Green donne une clef pour différencier les sous-espèces (p. 92, trad. RG) :

1. « Drupes grosses, 2-4 cm de long, mésocarpe épais, charnu ; limbe des feuilles étroitement elliptiques à elliptiques, (3-)5-6(-8) cm de longueur, (0,5-)1-1,5(2) cm de largeur, face inférieure argentée. Région méditerranéenne1a. subsp. **europaea**
 Drupes petites, 0,5-1,2 cm de long, mésocarpe charnu mais fin2
2. Limbe des feuilles étroitement à largement elliptique, (3-)4-6(-9) cm de long, (0,5-)0,6-1,5(-3) cm de largeur ; drupes 5-7 mm de longueur3
 Limbe des feuilles (linéaire à) très étroitement elliptique, (3-)4-6(-8) cm de longueur, (0,3-)0,4-0,6(-0,8) cm de largeur, face inférieure argentée ; drupes 8-12 mm de longueur5
3. Limbe des feuilles étroitement elliptique à elliptique (à largement elliptique), (3-)5-6(-9) cm de longueur, (0,5-)1-1,5(-3) cm de largeur, face inférieure argentée ou parfois rougeâtre ; drupes 5-7 mm de longueur. Asie SE à Chine SO, Arabie et Afrique de l'Est et du Sud1b. subsp. **cuspidata**
4. Sahara1c. subsp. **laperrinei**
 Maroc 1d. subsp. **maroccana**
5. Madère1e. subsp. **cerasiformis**
 Iles Canaries.....1f. subsp. **guanchica** »
 N.B. : la numérotation (1a, 1b, 1c ... 1f renvoie au texte de Green (2002).

Puis viennent 5 sous-espèces : « *Olea europaea* subsp. *cuspidata* (Wall ex G. Don) Cif. (Fig. 6 et 7), *O. europaea* subsp. *laperrinei* (Batt. & Trabut), *O. europaea* subsp. *maroccana* (Greuter & Burdet) P. Vargas & *al.*, *O. europaea* subsp. *cerasiformis* G. Kunkel & Sunding, et *O. europaea* subsp. *guanchica* Vargas. *et al.* » (Green, 2002).

⁴ Certains oliviers de Nice (ou Cailletier), « arbres exceptionnels » (Ereteo 1988) mesurent plus de 30 m de haut et fournissent jusqu'à 220 kg d'olives (la récolte se faisait en grim pant encordés dans l'arbre).

⁵ Il s'agit de l'abréviation de variété au sens botanique du terme, à ne pas confondre avec le cultivar (variété cultivée). *Olea europaea europaea europaea*, ou Olivier cultivé, comprend de nombreux cultivars reconnus récemment grâce à des études biochimiques et génétiques.

Section *Ligustroides*

La section « *Ligustroides Benth. & Hook. f., Gen. Pl. 2 : 679 (1876). Type : O. capensis L. (lectotype)* » comprend 12 taxons (7 espèces et 5 sous-espèces). Les caractéristiques communes, selon Green (2002, p. 100, trad. RG) sont :

« Arbres ou buissons. Feuilles entières, glabres, sans domaties. Inflorescences terminales ou axillaires. Tube de la corolle court. »

Le groupe est composé des taxons suivants : *Olea ambrensis* H. Perrier, *Olea woodiana* Knobl. qui inclut les sous-espèces *woodiana* et *disjuncta* P. S. Green (*nov.*), *Olea exasperata* Jacq., *Olea lancea* Lam., *Olea chimanimani* Kupicha, *Olea capensis* L. avec trois sous-espèces *capensis*, *enervis* (Harv.) I. Verd. et *macrocarpa* (C. H. Wright) I. Verd. et *Olea welwitschii* (Knobl.) Gilg & Schellenb.

L'espèce *Olea capensis* (Fig. 8, feuilles et fleurs) a été examinée par Green (2002). Il a crédité la sous-espèce *capensis* de 15 synonymes, la sous-espèce *enervis* d'un seul et la sous-espèce *macrocarpa* de 8 synonymes.

Sous-genre *Tetrapilus*

Le sous-genre *Tetrapilus* (Lour.) P. S. Green (Fig. 9 : *Olea dioica*) comprend 23 espèces sans aucune sous-espèce. Les caractéristiques communes, selon Green (2002, p. 111, trad. RG) sont :

« Buissons ou arbres Feuilles entières ou dentées, glabres ou pileuses, sans domaties. Inflorescences axillaires. Tube de la corolle bien développé.

Les fleurs de ce sous-genre sont remarquables par leur proche uniformité, avec peu ou pas de différenciation spécifique.

Johnson (1957, p. 407) a proposé que ce sous-genre soit classé comme un genre, un statut apparemment appuyé par quelques récentes études moléculaires. Cependant, cette reconnaissance taxonomique comme taxon distinct est reflétée de manière adéquate au rang de sous-genre sans avoir besoin d'alourdir, par le fardeau de la création d'un nombre de nouvelles combinaisons, sous un autre nom générique, de surcroît peu connu. »

Ce sous-genre comprend 23 espèces dont Green donne une clef de détermination (non reproduite ici). Ne seront citées ici que les plus représentatives d'un territoire géographique : *Olea brachiata* (Lour) Merr., *Olea yuennannensis* Hand.-Mazz., *Olea tsoongii* (Merr.) P.S. Green, *Olea salicifolia* Wall. Ex G. Don, *Olea borneensis* Boerl., *Olea hainanensis* H. L. Li, *Olea dioica* Roxb. (Fig. 9), *Olea nighiana* Wall. ex. G. Don, *Olea moluccensis* Kiew, *Olea javanica* (Blume) Knobl et *Olea palawanensis* Kiew.

Les 23 espèces sont presque toutes essentiellement asiatiques (voir ci-après).

Sous-genre *Paniculatae*

Le sous-genre *Paniculatae* ne comprend qu'une espèce. Green (2002, p. 129), décrit le sous-genre comme suit :

« Subgen. *Paniculatae* P. S. Green subgen. *nov.* Arbores ; folia utraque squamas peltatas dispersas gerentia, infra in axillis venarum principalium domatifera ; tubus corollae brevis Typus : *Olea paniculata* R. Br. »

L'espèce unique est *Olea paniculata* R. Br. (Fig. 10), avec sept synonymes. Le type de cette espèce « R. Brown (holotype, BM) » est australien. L'arbre est encore connu localement sous le nom de « native olive ». Ses fruits sont très appréciés par les oiseaux sauvages et consommés par les aborigènes australiens.

Organisation des fiches de taxons

Chaque espèce fait l'objet d'une fiche numérotée de **1** (*Olea europaea*) à **33** (*Olea paniculata*). Une sous-espèce reçoit une lettre, par exemple **1a** pour *Olea europaea europaea*, ainsi de suite. *Olea europaea europaea sylvestris* est le **1a (ii)**. Chaque fiche comporte la description du taxon type avec éventuellement son auteur, sa bibliographie, une description en latin s'il est créé par Green, la révision des synonymes, une description morphologique portant sur l'appareil végétatif et l'appareil reproducteur, la description des matériels examinés (exsiccatae) classés par pays d'origine, avec les auteurs de la récolte localisée géographiquement. Ce dernier point nous a permis de dessiner virtuellement la biogéographie du genre *Olea* et de ses taxons spontanés.

La lecture du travail de Green et sa traduction font parcourir une partie du monde comprise entre le sud de l'Europe et le nord de l'Australie. Nous allons parcourir cette aire.

Le panorama biogéographique des taxons

La localisation des exsiccatae examinés par Green, dessine une aire au sud et à l'est de l'Europe méditerranéenne, vers l'Afrique australe, l'Asie et, au sud de celle-ci, vers l'Australie. Un taxon retient en premier l'attention, par son caractère ubiquiste.

Un taxon ubiquiste

Olea europaea subsp. *cuspidata* est omniprésent sur trois continents. L'aire de répartition va de l'Égypte vers l'Arabie Saoudite, le Yémen, Oman, l'Iran, l'Afghanistan, le Pakistan, le Cachemire, l'Inde, la Chine (Sichuan), le Soudan, l'Érythrée, l'Éthiopie, la Somalie, le Congo (Kinshasa), l'Ouganda, le Ruanda, le Burundi, le Kenya, la Tanzanie, l'Angola, la Zambie, le Malawi, le Zimbabwe, le Mozambique, le Botswana, le Swaziland, le Lesotho et l'Afrique du Sud. La sous-espèce franchit l'Océan Indien vers l'Île Maurice et l'Île de la Réunion. Un olivier sauvage dont l'aire, selon Green (2002, p. 97),

« va du sud au nord-est de l'Afrique et du sud-ouest de l'Asie aux parties les plus sèches du Yunnan et du Sichuan, en Chine (voir les cartes figures 1 & 2 dans Green & Wickens, 1989) ».

Il souligne combien les feuilles de ce taxon ressemblent à celles de l'Olivier cultivé. Selon Bervillé, (comm. verb.) « Green n'a pas pu observer la couleur de la face inférieure des feuilles d'un spécimen vivant (du jaune au brun selon la région), motivant l'attribution de plusieurs noms (*O. xanthophylla*, *O. lutea*, ...) ». Il faut ajouter que cette sous-espèce a été introduite comme brise-vent puis s'est naturalisée en Australie, en Nouvelle-Zélande, dans l'île d'Hawaï et dans l'île Norfolk (*Norfolk Island*) (Breton *et al.*, 2008). Citant Collenette (1988), Green (2002) souligne « l'importance économiquement significative de cette plante comme bois de chauffage et source de charbon de bois », dont l'aire de répartition est comparable à celle de notre Olivier cultivé (appartenant à la même espèce).

Aire du pourtour méditerranéen et Afrique du Nord prolongée

L'Oléastre, *Olea europaea europaea sylvestris*, a survécu, lors de la dernière glaciation, de part et d'autre de la Méditerranée, dans des zones refuges (cf. Breton & Bervillé, 2012 ; Bronzini *et al.*, 2009 ; Terral *et al.*, 2012). Puis il a colonisé, lors du recul des glaces, l'est et l'ouest de cette mer (ornithochorie, probablement). Il a colonisé le nord de la Méditerranée, aidé par l'espèce humaine. Ce modeste buisson à l'aspect épineux fournit les échantillons du Portugal (Cintra), d'Espagne (Alicante-Denia), d'Italie (Sardaigne), de Grèce (Lokris-Thermopyles), de Turquie (Mugla) et de Libye (Cyrénaïque) (Green ne cite aucun échantillon de France ni du Maroc: cf. Fig. 5). L'olivier cultivé qui lui succède (*Olea europaea europaea europaea*) se trouve historiquement tout autour de la Méditerranée.

Sud du Sahara et Océan Atlantique

Olea europaea subsp. *maroccana* (Greuter & Burdet) P. Vargas *et al.* se présente sous forme de peuplements disjoints à l'extrémité du Haut-Atlas du Maroc en sympatrie avec l'Oléastre (Fig. 5). La sous-espèce *Olea europaea* subsp. *laperrinei* (Batt. & Trabut) Cif. (Herbier Maire, Institut de Botanique de l'Université de Montpellier) se présente sous forme de peuplements disjoints en Algérie (Hoggar), au Niger (Monts de l'Air) et au Soudan (Darfour). Ces zones ne sont plus accessibles (pour des motifs géopolitiques). Green souligne la proximité des caractères morphologiques avec ceux de l'*O. europaea cuspidata*. Un article récent de Baali-Chérif & Besnard (2005) précise la diversité de cette espèce. Cependant leurs aires géographiques sont disjoints. Dans l'océan Atlantique, *Olea europaea* subsp. *cerasiformis* G. Kunkel & Sunding vit à Madère (île de l'Atlantique). Il est relayé par *Olea europaea* subsp. *guanchica* P. Vargas *et al.* qui vit dans les Îles Canaries. Ces deux taxons, très voisins morphologiquement, ont été discriminés par des études biochimiques. Ces quatre sous-espèces (*maroccana*, *laperrinei*, *cerasiformis* et *guanchica*) ont des territoires très réduits comparés à celui d'*Olea europaea cuspidata* (voir *supra*).

Afrique australe et Océan Indien

La section *Ligustroides* occupe un territoire austral important en Afrique du Sud et au Swaziland, avec la sous-espèce *woodiana*. La sous-espèce *disjuncta* (créée par Green) vit au Kenya et en Tanzanie. Avec *Olea ambrensis*, nous arrivons à Madagascar avec plus de 20 stations citées (Antsirana : Montagne d'Ambre ; Nosi Be, Parc National de Masoala, Rasoavimbahoaka, etc.). Vers l'est, *Olea lancea* vit dans les îles de l'océan Indien (Îles Mascareignes : île Rodrigues, île Maurice, île de la Réunion) et à Madagascar près d'*O. ambrensis*.

Olea exasperata vit en Afrique du Sud, dans la province du Cap et dans plus de 20 stations où il a été récolté de 1935 à 1965, *Olea chimanimani* est une espèce très localisée dans les monts Chimanimani sur des sols très inhospitaliers, de part et d'autre de la frontière entre le Zimbabwe et le Mozambique et *Olea schliebenii* est une espèce endémique très localisée en Tanzanie, dans le district de Morogoro, dans les monts Uluguru où en 1956, « elle fut décrite comme "un arbre assez commun" ». Un peu différent, *Olea capensis* avec deux sous-espèces, *capensis* et *enervis*, vit dans une large zone de l'Afrique du Sud. La sous-espèce *enervis* a été reconnue dans une station du Swaziland (petit pays enclavé), dans les Monts Lebombos en 1848. La sous-espèce *macrocarpa* s'étend de la République de Guinée (massif de Ziame) jusqu'au Swaziland en passant par les crêtes des massifs montagneux de la Sierra Léone, la Côte d'Ivoire, le Nigéria, le Cameroun, le Congo (Kinshasa), le Ruanda, le Burundi, le Soudan, l'Éthiopie, la Somalie, l'Ouganda, le Kenya, la Tanzanie et l'Afrique du Sud. Elle franchit le Canal du Mozambique : on la retrouve à Madagascar et aux Comores. *Olea capensis* et ses quatre sous-espèces forment un vaste peuplement plus ou moins continu.

Pakistan et Inde

Avec le sous-genre *Tetrapilus*, *Olea* passe en Asie. Le Sikkim (nord de l'Inde, au pied de l'Himalaya), l'Inde, la Birmanie voient des représentants du sous-genre habiter une aire qui s'étend vers l'ouest : *Olea gamblei* R. BR., petit arbre, localisé au pied de l'Himalaya (Sikkim : 2 spécimens), *Olea polygama* Wight, vit en Inde (Tamil Nadu) et au Sri-Lanka (4 spécimens localisés), *Olea dioica* Roxb, vit en Inde (région du Bengale : Dalka Ghar et Darjeeling ; Assam ; Haut-Assam ; Nagaland). Cette espèce a été localisée au Bangladesh et en Birmanie (s.l.). *Olea salicifolia* Wall ex. G. Don, a été localisé au nord-est de l'Inde : Meghalaysia, Arunachal Pradesh (extrême nord-est), Manipur, Mayung. On passe en Birmanie avec deux spécimens localisés (Mindat : état de Chin ; Thaudang : district de Toungoo). L'aire d'*Olea salicifolia* s'étend vers l'est. Les *Olea wightiana* Wall. ex G. Don, sont des arbres pouvant atteindre

30 m localisés à l'ouest et au sud de l'Inde (Maharashtra, Karnataka, Kerala, Tamil Nadu et Madurai).

Indochine et Chine

Olea salicifolia Wall. Ex G. Don s'étend en Chine (Guanxi, Daluo Xian, Guangdong, Yunnan). Il vit également en Thaïlande (Chantaburi), au Laos (Se-lampho), au Cambodge (province de Stung-treng), au Vietnam (province de Baria, Saïgon) et en Malaisie (Penang), *Olea brachiata* (Lour.) Merr. est aussi localisé en Chine (Guangdong, Hainan), en Thaïlande (du nord au sud et de l'est à l'ouest), au Cambodge, au Vietnam, en Malaisie, à Singapour et en Indonésie (îles Anamba, Padang). *Olea hainanensis* H. L. Li est localisé en Chine (Hainan), au Laos (Khammouane) et au Vietnam (Sontay), *Olea rosea* Craib vit en Chine (Yunnan : Szemao) et en Thaïlande (au nord du pays : Chiang Mai et plateau de Bo Luang) et *Olea gagnepainii* Knobl. vit en Thaïlande et au Laos.

Il convient de se pencher sur le cas des endémiques de Chine. En effet, 7 espèces appartenant au sous-genre *Tetrapilus* sont localisées exclusivement en Chine : *Olea yuennanensis* Hand.Mazz. est une espèce du Sichuan ; *Olea tsoongi* (Merr.) P. S. Green est localisé dans le Guangdong ; *Olea parviliba* (Merr & Chun) B. M. Miao est localisé dans le Hainan et la province de Phan Rang ; *Olea laxiflora* H. L. Li est un buisson localisé dans le Yunnan ; *Olea caudatilimba* L. C. Chia est aussi localisé dans le Yunnan, Maupi, le district de Xiangyang et le "comté" de Menghai ; *Olea neriifolia* H. L. Li est un buisson ne dépassant pas 5 m de haut, localisé dans le Hainan et le Po-Ting ; *Olea tetragonoclada* L. C. Chia est localisé dans le Guanxi (2 spécimens examinés).

Du continent asiatique, on passe aux îles de l'Insulinde.

Insulinde

Olea borneensis Boerl., un arbre de plus de 15 m de haut, est localisé en Malaisie (Sabah, Ranau et Kulat) ainsi qu'aux Philippines (Luzon, Sibuyan et Mindanao). *Olea moluccensis* Kiew vit dans les Îles Moluques (île Taliabu et île Buru). *Olea obovata* (Merr.) Kiew est un arbuste qui se trouve aux Philippines (Luzon, Nueva Ecija, Tayabas et nord Ilocos), *Olea palawanensis* Kiew est localisé aux Philippines, *Olea javanica* (Blume) Knobl. est à cheval sur les Philippines, la Malaisie-Sarawak, le Brunei, le Sabah, l'Indonésie-Kalimantan, Java et les Petites Îles de la Sonde, dans les « forêts primaires, en pied de montagnes et dans les forêts mixtes à diptérocarpes, entre 205 m et 1800 m » (Green, 2002). L'aire de cette espèce, est fractionnée sur un archipel (Asie du sud-est insulaire).

Un ubiquiste asiatique – australien

Le nouveau sous-genre *Paniculatae*, vient compléter l'aire mondiale du genre *Olea* avec la seule espèce *Olea paniculata* R. Br. dont l'aire de répartition recoupe celle des espèces que nous venons de citer. Il se trouve en Chine (Yunnan : Szemao), au Pakistan (Rawalpindi, env. 25 km au nord), en Inde (Kumaun, Tamil Nadu, Kerala et Nagaland), au Népal (s.l., *Wallich* 2871), au Sri Lanka (Haputale), en Thaïlande (Nakhon Ratsachima et Kao Sisiat), en Indonésie (Petites îles de la Sonde, Bali, Moluques), en Papouasie Nouvelle Guinée ("Eastern Highlands", Papua et District Central), au Vanuatu (Efaté, Narabut), en Australie (Queensland et Nouvelles Galles du sud) et dans l'Île de Lord Howe (Malabar).

Une telle aire interpelle le biologiste (la disparition de l'auteur en 2009 nous laisse sur notre faim, supposant qu'il y avait encore matière à continuer). Comment les diaspores des espèces du genre *Olea* ont-elles franchi l'obstacle des déserts et océans puis se sont différenciées et adaptées ? Bervillé (com. verb.) indique que « le Sahara était une zone humide jusqu'il y a 6000 ans », et que « les changements climatiques anciens expliquent la répartition actuelle de l'*O. laperrini*. ». Selon Lemarchand (2008), « il y a 10.500 ans le renforcement des pluies de la mousson ont fait verdier la région » : la barrière du Sahara n'existait pas, elle

s'est refermée entre -5000 et - 2700 ans. Plus au sud, au bord des océans atlantique et indien (voir paysage de la Montagne de la Table, Fig. 11), plusieurs oléacées cohabitent, à la pointe sud de l'Afrique. La route se poursuit vers l'est, vers Madagascar et l'Asie.

En conclusion : l'importance du genre *Olea*

Green « a fait le ménage » dans le genre *Olea*. Il lui a consacré un long et patient travail de taxonomiste. Avait-il un travail en cours à connotation plus écologique ou biochimique ? La bibliographie qui appuie son travail (21 références) se réfère à des travaux de chercheurs actuels (F. K. Kupicha, P. Vargas) qui ont fait progresser la biochimie.

Il apparaît, à la fin de cette révision, que les *Olea* spontanés sont absents du continent américain, tant au nord qu'au sud, « néanmoins *Osmanthus fragrans* anciennement *Olea fragrans* est assez proche des *Olea* d'après les données génétiques » selon Bervillé (com. verb.).

La présentation du travail et l'intérêt que nous avons porté à sa lecture ont fait ressurgir les anciens cours de géologie historique où il était question du Gondwana. Nous avons vu se dessiner, au sud de l'Europe et en Afrique un phénomène de vicariance des *Olea*, entre *Olea europaea europaea sylvestris* (et consorts) et *Olea capensis* (et consorts). Car, il existe en Afrique australe une zone au climat tempéré où pousse une flore qui pourrait être qualifiée de biome abritant des espèces vicariantes, zone homologue de notre zone européenne tempérée. Cela concerne aussi les insectes parasitoïdes des parasites des *Olea* : des *Psytalia lounsbury* ont été introduits pour suppléer à la quasi-disparition des *Psytalia concolor* français. La forêt d'Fromontane (Fig. 11) est une illustration de la diversité des *Olea*, sur une côte tournée vers l'Asie. L'ubiquité du taxon *Olea europaea cuspidata* mérite aussi d'être soulignée, ainsi que sa plasticité et son adaptabilité.

La barrière qui a divisé les populations de l'ancêtre des *Olea* serait-elle apparue quand l'évolution climatique a initié la désertification du Sahara à une date malaisée à déterminer (cependant, un consensus scientifique s'est dégagé, fixant le début de la désertification à environ - 7000 ans), les spéculations s'arrêteront ici, pour le moment (voir Breton *et al.*, 2006). On voit cependant se dessiner virtuellement sur la mappemonde une zone en forme de grand « S » horizontal qui va de l'Europe à l'Australie, avec les taxons spontanés du genre *Olea*. Cette zone ignore le continent américain où, pourtant, la culture de l'olivier a réussi après introduction, tant au nord qu'au sud.

L'importance économique de deux sous-espèces d'*Olea* justifie amplement la poursuite d'études sur le genre entier, réserve de gènes. La production d'olives de table et d'huile alimentaire de qualité est un enjeu économique important pour l'oléiculture européenne en général, pour la nôtre en particulier. Le bois des *Olea* est aussi apprécié en objets divers dont décoratifs. Un aspect important pour nos horticulteurs est aussi la production de bonsaïs, à partir d'*Olea*. Les taxons exotiques fournissent un matériel apprécié et très recherché. Ces taxons, hormis l'Olivier de Laperrine, ne semblent pas être menacés de disparition

Références bibliographiques

- Baali-Cherif D. & Besnard G., 2005. High genetic diversity and clonal growth in relict populations of *Olea europaea* subsp. *laperrinei* from Hoggar, Algeria. *Annals of Botany* **96** : 823-830.
- Breton C., 2006. *Reconstruction de l'histoire de l'olivier (Olea europaea subsp. europaea) et de son processus de domestication en région méditerranéenne, étudiés sur des bases moléculaires*. Thèse Doctorat Biologie des populations et Ecologie, 210 p., Université Paul Cézanne, France.
- Breton C., Besnard G., & Bervillé A., 2006. Using multiple types of molecular markers to understand olive phylogeography : 143-152. In : Zeder MA, Bradley DG, Emshwiller E. & Smith BD. *Documenting domestication: new genetic and archeological paradigms*. University of California Press, California.

- Breton C. & Bervillé A. (coordonnateurs), 2012. Histoire de l'Olivier reconstituée à partir de données génétiques: 47-87. In: Breton C. & Berville A. *Histoire de l'Olivier*, Éditions Quae, Versailles.
- Brunini V., Gianettini J., Maury J., Gambotti C., Luciani A. & Berti L., 2009. Aux origines de l'Olivier de Corse. *Le Nouvel Olivier* **72** : 19-24
- Chiapetta A., & Muzzaluppo I., 2012. *Olive germplasm – The olive cultivation, Table olive and Olive Oil Industry in Italy : [Olea] Botanical description*, t. Chapter 2, University of Calabria (INTEC), coll. « Project Certolio », pdf, pp. 23-38.
- Ereteo F., 1988. L'olivier : Plantation, taille, entretien, récolte, le gel de 1985, p. 101.
- Flora of China, 1996.. 15: 295-298. (éd. élec. internet : http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=2&taxon_id=122774).
- Gimilio R., 1966. Étude de la végétation ligneuse de la vallée de l'Oued Mellah, région de Casablanca - Rabat (Maroc), Faculté des Sciences : Mémoire de DESS de Botanique (ronéo), 90 p., cartes, photos.
- Green P. S., 2002. A revision of *Olea* L. (Oleaceae) . *Kew Bulletin* **57** : 91-140.
- Le Bourdellès J., 2002. L'olivier en république populaire de Chine - Conservatoire des Collections Végétales Spécialisées.
- Lemarchand F., 2008. La lente désertification du Sahara. *La Recherche* **421**.
- Martre A., Roger J-P., Khadari B., Burgevin J-F., Ollivier D. et Artaud J. 2004. *Identification des variétés d'oliviers cultivées en France*, Naturalia Publications, (n° tome I), 246 p. Turriers (04250, France).
- Moutier N. (coordinatrice), Pinatel C., Martre A., Roger J.--P., Khadari B., Burgevin J.-F., Ollivier D. & Artaud J., 2011. *Identification des variétés d'oliviers cultivées en France*, Naturalia Publications, (n° tome II), 248 p. Turriers (04250, France).
- Terral J-F, 1996. *La domestication de l'Olivier (Olea europaea L.) en Méditerranée nord-occidentale : approche morphométrique et implications paléoclimatiques*, Montpellier, Thèse de doctorat, Université Montpellier2.
- Terral J-F., Newton C., Durand A., Bouby L. & Ivorra S. , 2012. La domestication de l'olivier en Méditerranée nord-occidentale révélée par l'archéobiologie : 74-87. In : Breton C & Berville A. *Histoire de l'Olivier*. Éditions Quae, 224 p. Versailles.

Crédit photo

Figures 1, 3 à 5 : photos de l'auteur.

Figure 2 : Anaïs Boura (MNHN, communication 16/09/2013 et montage R.G.).

Sites internet

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Olea_europaea_ssp_cuspidata_Bra38.png : Fig. 6.

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Olea_europaea_cuspidata-africana_Cape_Town..jpg : Fig. 7

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Olea_capensis_Ironwood_tree_flowers.jpg : Fig. 8.

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Olea_dioica.jpg : Fig. 9.

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Olea_paniculata_leaves.jpg : Fig. 10.

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Afromontane_forest_-_Table_Mountain_-_Cape_Town.jpg : Fig. 11.

Citations bibliographiques (extraits) de P. S. Green

Collenette S., 1988. The sweet olives of Saudi Arabia. *Kew Mag.* **5** : 36 - 38.

Green P. S. & Wickens G. E., 1989. The *Olea europaea* complex : 287-299. In : Kit Tan. The Davis and Hedge Festschrift. Edinburgh University Press.



Fig. 1 : Olives (drupes) du cultivar Olivière (Claret, Hérault), *Olea europaea europaea europaea* (photo R.G.).

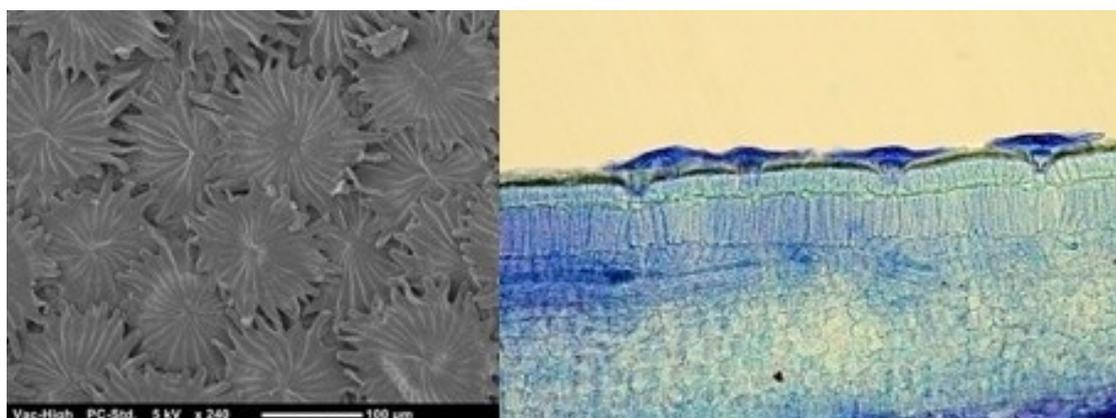


Fig. 2 : Trichome pelté et feuille en coupe © Anaïs Boura (MNHN, montage R.G., avec l'aimable autorisation de l'auteur 14/08/2013 et 12/09/2013).

Fig. 3 : Olivier repoussé de souche après le gel de 1956, non-greffé (Noirette), *Olea europaea europaea europaea* (Claret, Hérault, photo R. G.).



Fig. 4 : Cultivar Cailletier (olive de Nice) : feuillage et fruits, *Olea europaea europaea europaea* (Claret, Hérault ; photo R. G.).



Fig. 5 : Oléastre [supposé tel en 1966 : DESS de Botanique R. Gimilio, Oued Mellah (Maroc)], *Olea europaea europaea sylvestris* (photo R. G.).

Fig. 6 : *Olea europaea* subsp. *cuspidata*, (planche extraite de Wikimedia : domaine public, © copyright expiré 70 ans).



Fig. 7 : *Olea europaea* subsp. *cuspidata* : Ville du Cap (Afrique du Sud), (photo Wikimedia, placée dans le domaine public par son auteur Abu Shawka).

Fig. 8 : *Olea capensis capensis* en fleurs, Afrique du Sud, ville du Cap (forêt d'Fromontane), (photo Wikimedia, placée dans le domaine public par son auteur Abu Shawka).





Fig. 9 : Infrutescence d'*Olea dioica* (subgen. *Tetrapilus*), (photo Vinayaraj : Wikimedia ; licence *Creative Commons paternité* – partage à l'identique 3.0).

Fig. 10 : *Olea paniculata* (écorce et feuillage), (auteur : Peter Woodard : Wikimedia, licence *Creative Commons CC0*, don universel au domaine public).

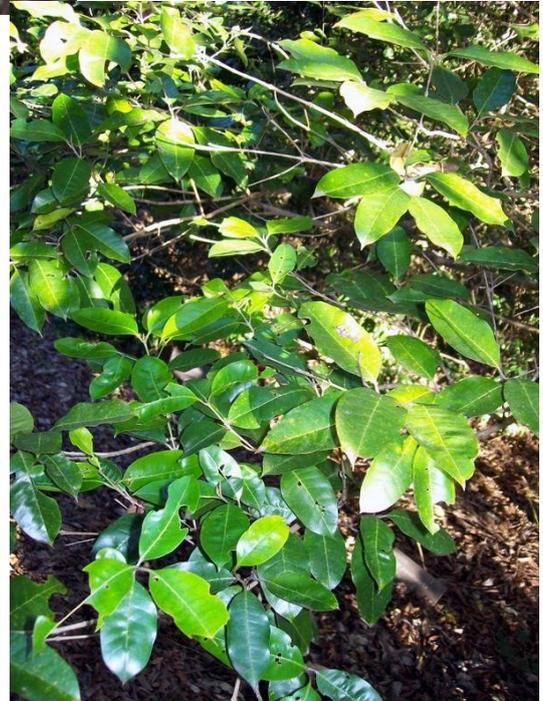


Fig. 11 : Forêt d'Afromontane, Montagne de la Table (cap de Bonne-Espérance), photo Wikimedia, placée dans le domaine public par son auteur Abu Shawka).

Chez l'olivier la production de fruits dépend du système d'auto-incompatibilité avec dominance entre les allèles-S : faut-il réorganiser les vergers ?

Catherine Breton ^a & André Bervillé ^b

^a Université de Montpellier 2 (catherine.marie.breton@gmail.com)

^b Directeur de recherche INRA e.r., Montpellier (andre.berville@orange.fr)

Résumé

La production de fruits chez l'olivier dépend d'un système d'auto-incompatibilité qui limite l'autofécondation. Les deux types d'incompatibilité, gamétophytique (GSI) et sporophytique (SSI), sont décrits ainsi que les spécificités de l'olivier quant à la variabilité des fleurs, hermaphrodites ou mâles (femelles stériles), en proportions diverses selon les variétés. Les résultats expérimentaux de croisements de variétés deux à deux ainsi que d'autofécondations de chaque variété, ont révélé que le modèle GSI n'explique qu'une faible proportion des résultats de nouaison. En revanche, le modèle SSI explique la totalité des résultats et notamment les résultats opposés de nouaison selon le sens du croisement entre deux variétés. En effet, les relations de dominance entre les six allèles-*S* permettent le croisement dans un sens et pas dans l'autre. De plus, le niveau d'auto-fertilité d'une variété dépend de sa paire d'allèles-*S*. On peut maintenant choisir le pollinisateur compatible avec la variété principale d'un verger, mais il reste à étudier par modélisation la répartition et le nombre de pollinisateurs requis pour une production optimale en vergers.

Mots-clés : compatibilité, nouaison, *Olea europaea*, pollinisateur, rendement, reproduction.

Abstract

Fruit yield in the olive tree is based upon a functional self-incompatibility system. The two gametophytic and sporophytic (SSI) types are described as well as the specificities of the olive dealing with variability of flowers, hermaphrodite (complete) or male (female sterile), depending on the variety. Field-results of factorial mates using the diallel design as well as the rate of self-fertility of each variety, pointed out that the GSI model explains a weak proportion of fruit set only. In contrast, the SSI model explains all the results, and namely, the opposite results of fruit sets for a pair of variety. Indeed, dominance relationships between the six *S*-alleles enable mate in one direction, whereas it fails in the other direction. Furthermore, the self-fertility rate of a variety depend on the *S*-allele pair. It is now possible to choose a pollinizer compatible with the principal variety, but it remains to model the spreading of pollinizers and their number to ensure optimal production in orchards.

Keywords : compatibility, fruit set, *Olea europaea*, pollinizer, reproduction, yield.

Introduction

La fécondation de l'ovule d'une fleur d'olivier est réalisée par le tube pollinique produit par un grain de pollen qui a atterri sur le stigmate et qui a été filtré lors de sa progression dans les tissus du style.

La nature de ce filtre reste encore inconnue chez l'olivier au niveau fonctionnel. Toutefois, le mécanisme génétique de la reconnaissance stigmate / pollen a été déduit de l'échec et de la réussite des croisements réciproques entre quelques variétés, ainsi que de leur capacité à s'autoféconder. Nous avons ainsi analysé les résultats de croisements entre variétés d'olivier publiés par d'autres équipes et restés inexplicables, en considérant les deux mécanismes génétiques fonctionnels possibles de l'auto-incompatibilité chez les plantes à fleurs.

Nous exposerons successivement :

1. Les mécanismes principaux (A : architecture, B : fonctionnel) qui empêchent le pollen d'une fleur de féconder l'ovule de la même fleur ou d'une autre fleur sur un même individu.
2. L'organisation du locus d'auto-incompatibilité chez les végétaux. Chaque individu porte deux allèles, ils spécifient les protéines portées par le pollen et par les tissus du stigmate qui conditionnent le filtre : capacité ou non du tube pollinique à croître jusqu'à féconder l'ovule.
3. Selon que le pollen porte un ou les deux déterminants spécifiés par les allèles-*S* de la plante qui l'a produit, respectivement, on dit que le mécanisme est gamétophytique (GSI, le grain de pollen, haploïde, porte le déterminant produit par l'allèle *S*) ou sporophytique (SSI, le grain de pollen porte les 2 déterminants produits par les allèles *S* de la plante diploïde qui l'a émis).
4. Ce qu'il en est pour l'olivier.

Avec le modèle GSI, les croisements réciproques entre deux variétés sont attendus identiques, soit l'échec, soit le succès. Or, chez l'olivier, il est très fréquent que dans un sens du croisement ce soit le succès, et dans l'autre sens l'échec. Le modèle GSI a donc été rejeté et tous les résultats expérimentaux ont été ré-examinés avec le modèle SSI. Ce modèle est maintenant validé pour des dizaines de variétés (Breton, Farinelli *et al.*, non publié). De plus, la paire d'allèles-*S* portée par une variété indique son taux d'auto-fertilité.

Les mécanismes principaux qui empêchent l'autofécondation

Les plantes à fleurs sont généralement hermaphrodites¹, mais plusieurs mécanismes permettent d'éviter l'autofécondation². En effet, dans les espèces qui ne pratiquent pas l'autofécondation généralisée, l'autofécondation d'un individu a des conséquences très négatives sur la vigueur de sa descendance et sur le nombre de descendants. La propension à l'autofécondation est strictement contrôlée par deux facteurs :

L'un de ces facteurs dépend de l'architecture de la fleur et de la morphologie florale :

- 1 - notamment la disposition, la présence ou l'absence des étamines et des pistils [chez la primevère, des individus portant des fleurs à long style et d'autres à style court (d'où le nom d'hétérostylie) ne peuvent s'autoféconder, c'est un mécanisme d'auto-incompatibilité, ils doivent se croiser] ;
- 2 - les plantes à sexes séparés [une population est constituée d'individus à fleurs femelles et d'individus à fleurs mâles (= dioécie) avec des variantes] ;
- 3 - l'androdécie [la population est constituée d'individus mâles ou hermaphrodites, comme chez la Filaire (Saumitou-Laprade *et al.*, 2010)] ;
- 4 - l'andromonodioécie [la population est constituée d'individus à fleurs en majorité femelles, mais il existe toujours quelques fleurs mâles, des individus à fleurs en majorité mâles, mais il existe toujours quelques fleurs femelles : c'est le cas de l'olivier (Fig. 1)]. Chez les frênes (*F. excelsior* et *F. angustifolia*), on dit qu'il y a polygamie (trioécie et subdioécie) car coexistent dans les populations des individus entièrement mâles, hermaphrodites, et femelles.

¹ Quand chaque fleur porte un ovule, partie femelle, et du pollen, partie mâle, fonctionnels.

² Quand le pollen d'une fleur féconde l'ovule d'une autre fleur sur un même individu.

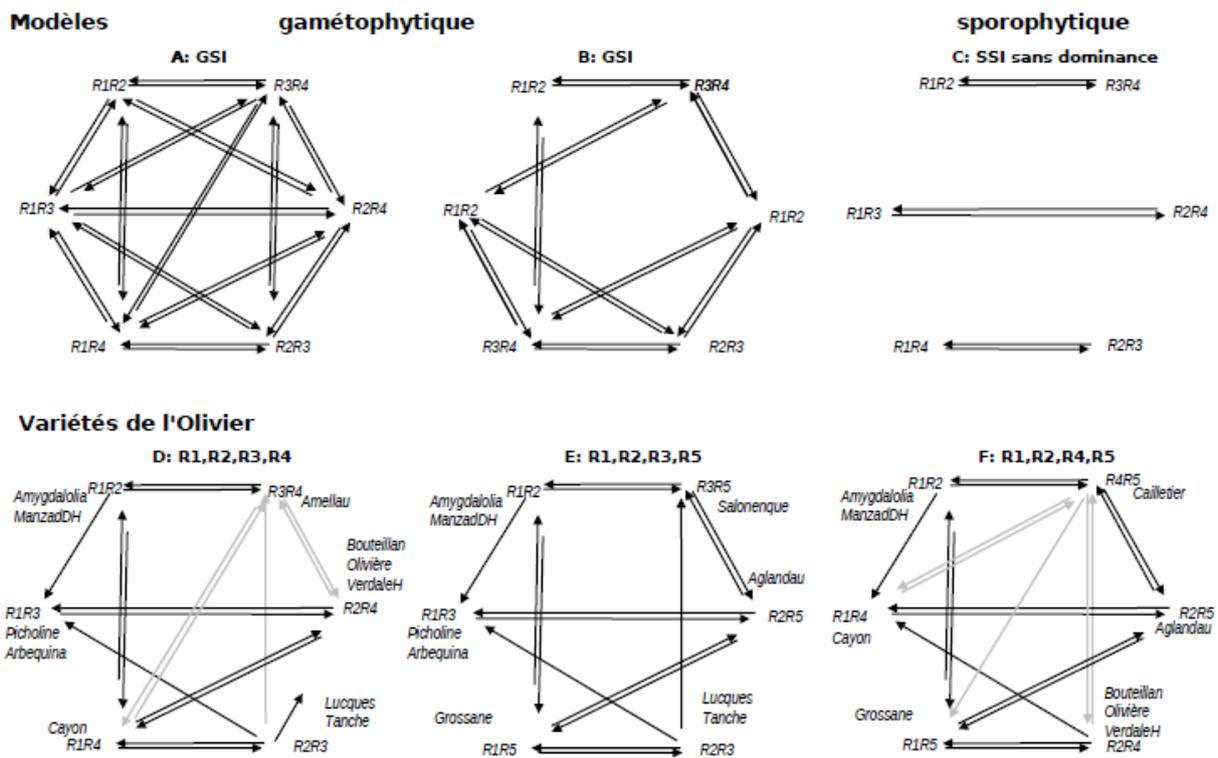


Fig. 1 : Croisements entre 2 individus qui diffèrent par la paire de *S*-allèles.

A - Dans le cadre du modèle gaméophytique GSI. Tous les croisements sont intercompatibles.

B - À moins que les variétés portent les mêmes *S*-allèles alors les croisements sont impossibles.

C - Modèle sporophytique sans relations de dominance entre les *S*-allèles, la plupart des croisements échoueront. Avec des relations de dominance le modèle SSI augmente le nombre de croisements possible. Ici $R2 > R1$; $R3 > R4$; $R2 > R3$. Exemple de *S*-allèles donnés à quelques variétés.

D - Quarteron $R1R2R3R4$.

E - Quarteron $R1R2R3R5$.

F - Quarteron $R1R2R4R5$. *ManzadDH*: *Manzanilla de Dos Hermanos* (Espagne) ; *VerdaleH* : *Verdale de l'Hérault*.

Une ligne noire correspond à un croisements effectivement réalisé, une ligne grise est une prédiction.

Une double flèche dans les deux directions signifie la compatibilité totale dans les deux directions des croisements.

L'absence de ligne signifie l'incompatibilité totale dans les deux directions.

Une flèche simple indique la compatibilité seulement dans la direction de la flèche.

L'autre facteur, concerne les mécanismes génétiques contrôlant la réaction du pollen avec le stigmate et le style, d'où le terme de mécanismes fonctionnels. Le pollen est en effet accepté ou rejeté, respectivement, selon que les protéines qu'il porte à sa surface et celles portées par le style sont différentes ou identiques^{3,4}.

³ Les protéines spécifiées par les allèles-*S* ne sont pas apparentées aux protéines causant l'allergie au pollen.

⁴ Le vecteur du transport (ou pollinisateur) de pollen depuis l'étamine jusqu'au pistil (vent, insectes, autres) n'a aucun rôle dans le mécanisme d'auto-incompatibilité.

L'organisation du locus d'auto-incompatibilité chez les végétaux

On sait depuis peu, par le séquençage du génome de plusieurs espèces végétales, que le locus-*S* chez les plantes est équivalent au locus qui détermine le sexe chez les animaux (régions communes aux chromosomes X et Y chez l'homme). Le locus-*S* porte les gènes qui spécifient des protéines qui couvrent le pollen et qui sont dans les tissus du style, impliquées dans la reconnaissance du pollen par le stigmate. Nous ne donnerons pas de détails sur les mécanismes moléculaires, le lecteur en trouvera dans plusieurs revues très récentes (Iwano & Takayama, 2012 ; Allen *et al.*, 2011 ; Ivanov *et al.*, 2010). L'hérédité du caractère d'auto-incompatibilité est simple (un seul locus, le *S*-locus). Néanmoins, plusieurs dizaines d'allèles-*S* existent à ce locus pour chaque espèce, et donc, dans les populations naturelles, les combinaisons permettant la compatibilité pollen-style, sont nombreuses limitant la fréquence des croisements stériles.

Un ou deux déterminants chez le pollen

Quand le pollen ne porte que le déterminant protéique de l'allèle-*S* qu'il porte dans son génome, on dit que l'auto-incompatibilité est gamétophytique.

Pour la grande majorité des familles de plantes et notamment chez les Rosacées, pour les arbres fruitiers sauvages à noyaux (abricotier, amandier...) et à pépins (pommier, poirier...), le système génétique qui fonctionne au locus-*S* est connu depuis une cinquantaine d'années et la plupart des mécanismes moléculaires ont été élucidés. On appelle ce mécanisme « système gamétophytique d'auto-incompatibilité » (abréviation : GSI) puisque c'est le gamétophyte, c'est-à-dire le petit organisme issu du grain de pollen, qui va produire le tube pollinique et qui, à la fin, assure la fécondation, qui détermine la réaction d'incompatibilité. Elle se manifeste le long du tube pollinique qui se développe du grain de pollen jusqu'au sac embryonnaire où il ira féconder l'oosphère. Elle est de type tout ou rien : un arbre produit ou non des fruits, sans intermédiaire. Chez les Rosacées et Solanacées, une *S-RNase* spécifiée dans le style détruira tous les ARN messagers du pollen incompatible, ce qui entraînera sa mort programmée. Le pollen doit donc d'abord germer sur le stigmate pour que la réaction d'auto-incompatibilité se manifeste. Les allèles-*S* chez chaque espèce sont caractérisés souvent séquencés, catalogués, et les pépiniéristes peuvent diffuser des couples compatibles variété / productrice – pollinisateur⁵ qui doivent être plantées au vent dominant. Les insectes pollinisateurs effectuent des circuits répétitifs ce qui augmente l'efficacité des arbres pollinisateurs pour effectuer des croisements entre les individus.

Dans les vergers, il en va autrement, car les individus sont tous identiques : une variété est un clone. Une variété a hérité du système d'auto-incompatibilité des formes sauvages et elle est auto-incompatible. Comme chaque individu porte 2 allèles-*S* dans son génome, il suffit pour une paire d'individus qu'ils diffèrent par un allèle-*S* pour être inter-compatibles (ICO) (Fig. 2A). Le grain de pollen qui porte l'allèle partagé avec celui du style germera puis sera bloqué, mais le tube pollinique d'un grain de pollen portant l'autre allèle pourra aller jusqu'à l'ovule (Fig. 2A, B). Supposons que le pollinisateur porte *SaSb* au locus-*S*. Le grain de pollen portera soit *Sa* soit *Sb* (le gamétophyte est haploïde). Si le style récepteur appartient à un individu qui porte *SaSc* ou *SbSd* (les tissus du style sont diploïdes et, donc, 2 allèles s'y expriment), le grain de pollen *Sa* ne germera pas sur un style *SaSc*, mais il germera parfaitement sur un style *SbSd* (Fig. 2C). De même, le grain de pollen *Sb* ne germera pas sur le style *SbSd*, mais il progressera parfaitement sur le style *SaSc*. De plus, il existe entre les grains de pollen compatibles une forte compétition dont les bases sont mal connues et un seul fécondera l'ovule.

⁵ Le terme « pollinisateur » est réservé aux organismes qui transportent le pollen, comme les abeilles, les fourmis, et le vent.

Quand le pollen porte les deux déterminants protéiques des allèles-*S* du sporophyte, on dit que le l'auto-incompatibilité est sporophytique.

Pour un petit nombre de familles dont les Brassicaceae (les choux) et les Asteraceae (laitues, chicorées, tournesol), le système génétique similaire (un seul locus, le locus-*S*), avec de nombreux allèles-*S*, mais il fonctionne différemment. En effet, le grain de pollen porte sur sa paroi externe les protéines spécifiées par les deux allèles-*S* du parent mâle (ou sporophyte). Si la même protéine est présente sur le pollen et le stigmate la réaction sera inter-incompatible (IIC). Le grain de pollen est donc reconnu dès son atterrissage sur le stigmate. Ce qui nous intéresse pour comprendre ce qui se passe chez l'olivier est la façon dont le système fonctionne. Le sporophyte étant diploïde, il porte les allèles *SsSt*, le grain de pollen qui porte l'allèle *Ss* exprime les déterminants *Ss* et *St* sur sa paroi. Ainsi, un individu *SsSt* produira du pollen de génotype soit *Ss* soit *St*, mais le phénotype étant *SsSt* le tube pollinique ne pourra pas progresser chez les individus femelles *SsSt* du fait de la présence des deux protéines dans le stigmate. Ce fonctionnement réduit considérablement l'autofécondation et l'inter-compatibilité entre variétés. En effet, si on représente sur un schéma les 6 paires des 4 allèles (*S1*, *S2*, *S3*, et *S4*) on voit que sur 30 croisements possibles, seulement 3 seront compatibles (Fig. 2D).

Toutefois, des relations de dominance⁶ entre les allèles-*S* se sont établies au cours de l'évolution. Elles fonctionnent pour l'acceptation ou le rejet des grains de pollen chez ces espèces. Par exemple, si *S2* est dominant sur *S1* (schématisé $S2 > S1$), alors une variété *S1S2* n'est pas fécondée par *S1S3* ($S1 = S3$) puisque l'allèle *S1* du pollen est reconnu par le *S1* du style. Mais la variété *S1S3* peut être fécondée par la variété *S1S2*, car *S1* (récessif) du pollen est masqué par *S2* (dominant) ; il n'est pas reconnu par le *S1* du style et il peut donc progresser et féconder l'oosphère. Ce modèle explique parfaitement qu'entre variétés chez les espèces qui fonctionnent avec un modèle sporophytique, le croisement réussisse dans un sens et échoue dans l'autre sens. On pourra donc obtenir des homozygotes *S1S1* qui seront auto-incompatibles. En revanche, toutes les variétés qui portent *S2* seront inter-incompatibles entre elles.

Qu'en est-il pour l'olivier ?

La profession oléicole (IOOC, 2009) estime à 30% les pertes mondiales en fruits dues à la mauvaise pollinisation. Pour l'olivier, la pollinisation est anémophile (assurée par le vent). Certaines années, par exemple 2011 en Languedoc-Roussillon, la récolte de certaines variétés (dont Lucques) a été inexistante, du fait de fortes chaleurs au moment de la floraison. Malgré de nombreux travaux de recherche en ce domaine, il n'existait toujours pas de support théorique aux expérimentations sur la pollinisation. Jusqu'à présent les chercheurs n'ont pu attribuer aux variétés d'olivier la paire convenable d'allèles-*S* qui puisse expliquer les croisements avec succès et les croisements avec échec réalisés de façon contrôlée dans les vergers. Les variétés d'olivier ne peuvent être classées en auto-fertile ou en auto-stérile : on observe des croisements plus ou moins fertiles. La réponse est quantitative. Du fait de la proportion variable de fleurs hermaphrodites entre variétés, pour comparer l'efficacité de l'autofécondation et d'une fécondation croisée, il faut standardiser le nombre de fruits en le ramenant à 100 fleurs hermaphrodites⁷.

Tous les documents sur l'auto-incompatibilité chez l'olivier se réfèrent au système d'auto-incompatibilité exposé pour les Rosacées soit le modèle GSI. Les polliniseurs ne peuvent donc être choisis qu'au travers d'essais expérimentaux onéreux et aléatoires très limités par le coût en nombre de

⁶ Un allèle dominant masque l'effet de l'autre allèle, récessif.

⁷ Le rapport du taux de nouaison d'un croisement sur celui en pollinisation libre détermine le $R2$. $R2 (> 0,8)$ permet d'estimer le croisement compatible ; en dessous de cette valeur, il est incompatible. Un polliniseur très efficace élève le $R2$ jusqu'à 6 ou plus.

variétés. De plus, il n'y a aucun *a priori* possible sur la paire de variétés à choisir, et une fois choisies et la compatibilité connue pour la paire, elle n'a aucun pouvoir de prédiction pour d'autres variétés productrices (pour des revues récentes chez l'olivier, voir Seifi *et al.*, 2012 ; Serrano *et al.*, 2010 ; Suarez *et al.*, 2012).

Les chercheurs de l'INRA ont accumulé des données sur les croisements contrôlés entre une vingtaine de variétés (Moutier *et al.*, 2006). Un raisonnement simple par l'absurde fait comprendre que le modèle GSI ne peut fonctionner chez l'olivier. La plupart des variétés d'olivier ne peuvent polliniser les Lucques. Avec le modèle GSI, elle devraient toutes porter la même paire d'allèles-*S* que la variété Lucques (Fig. 2A, B). Or, quelques unes de ces variétés se croisent parfaitement bien entre elles : elles portent donc des allèles-*S* différents. Le modèle GSI ne s'applique donc pas, et il faut en élaborer un qui rende les résultats des croisements cohérents.

Le fonctionnement chez l'olivier

Le modèle SSI offre un cadre, mais encore faut-il avoir des résultats fiables de croisements pour vérifier s'il s'applique à l'olivier. Nous avons d'abord analysé les résultats de croisements de l'INRA et du groupe pollinisation piloté par Moutier *et al.* (2006) afin d'établir les relations de dominances entre les allèles-*S*, compatibles avec une explication cohérente des résultats obtenus dans les vergers expérimentaux. La dominance doit être établie pour chaque allèle par rapport à tous les autres et elle ne dépend pas de la variété qui porte l'allèle.

Nous avons d'abord raisonné sur 4 allèles-*S* (pour l'olivier ils seront nommés *R1* à *R4*), ce qui correspond aux 6 géotypes *R1R2*, *R1R3*, *R1R4*, *R2R3*, *R2R4*, et *R3R4*. Nous avons construit le schéma des relations de compatibilité des 6 géotypes en introduisant des relations de dominance entre les allèles-*S*, puis cherché à placer les variétés afin qu'elles satisfassent au mieux les relations de compatibilité ICO et IIC entre elles (Fig. 2B, C, D).

Pour la série de relations de dominance entre allèles-*S* ($R2 > R1$; $R3 > R4$; $R1 = R3$; et $R2 > R3$), la correspondance entre résultats attendus et observés est parfaite. *Manzanilla* et *Amygdalolia* correspondent à *R1R2*, *Picholine* et *Arbequina* à *R1R3*, *Cayon* à *R1R4*, *Lucques* et *Tanche* à *R2R3*, *Bouteillan*, *Verdale de l'Hérault* (*VerdaleH*), *Olivière*, et *Cornicabra* à *R2R4*, et *Amellau* à *R3R4* (Fig. 2A). Puis, comme *Aglandau*, *Cailletier*, *Grossane* et *Salonenque* donnent des résultats spécifiques, nous avons introduit *R5*. Nous avons retenu les relations de dominance $R2 > R5$ et $R3 = R5$; ils portent respectivement *R2R5*, *R4R5*, *R1R5* et *R3R5*. Enfin, pour expliquer le comportement de *Belgentier* et *Sevillano*, nous avons introduit *R6* ; ils sont tous deux *R2R6* avec $R6 > R2$, car ils fécondent *Manzanilla de Dos Hermanos* (*ManzadDH*). A ce jour, les relations de dominance *R6* sur les autres allèles (*R1* à *R5*) n'ont pu être toutes vérifiées et validées sur le terrain, car des variétés de toutes les combinaisons d'allèles-*S* n'ont pas (encore) été caractérisées.

Avec 6 allèles-*S*, il y a 15 paires possibles d'allèles et donc 15 classes de variétés (avec les 6 classes homozygotes *R1R1*, ... et *R6R6* cela en fait 21). En effet, il n'y a que 6 classes de pollen, le géotype du pollen est soit *R1*, soit *R2* ... soit *R6*, mais les grains de pollen *R1* pourront selon la variété dont ils proviennent porter aussi les déterminants *R2* à *R6*, et de même pour *R2*, *R3*, ... et *R6*. Donc, il y a 225 types de combinaisons (442 avec les homozygotes) que l'on peut (presque) toutes estimer pour IIC ou ICO *in silico*, mais beaucoup restent à valider sur le terrain.

Nous donnons dans la note (voir Breton & Bervillé, 2012) les formules pour les variétés étudiées par l'INRA ainsi que pour des variétés dont les résultats sont publics dans la littérature (États-Unis, Australie, Espagne), mais étaient jusqu'à maintenant restés inexplicables. La diversité des résultats est grande, mais ce n'est pas surprenant avec 442 classes possibles.



Fig. 2 : A - Cliché d'une fleur en train de s'épanouir (photo A. Olmedilla).
B - Cliché d'une fleur hermaphrodite épanouie (photo A. Olmedilla).
C - Détails du pistil (stigmata et style) et de l'ovaire (photo A. Olmedilla).
D - Fleurs hermaphrodites et sans pistil (corolle tombée) (photo C. Breton).

En considérant les résultats d'auto-pollinisation

On constate que la paire $R2R4$ ou $R4R5$ a été attribuée aux variétés les plus auto-fertiles du panel étudié par Moutier *et al.* (2006). Par ailleurs, les paires $R1R3$, $R1R5$ et $R3R5$ sont attribuées aux variétés très auto-stériles. Or $R2$ et $R5$ sont $>R4$, tandis que les autres allèles sont équivalents en dominance. Ceci suggère que pour une paire d'allèles donnée, le degré d'auto-fertilité de la variété dépend de la différence du niveau de dominance de ses allèles- S . Il reste à valider l'hypothèse en utilisant les données expérimentales d'autres études de pollinisation sur davantage de variétés. Récemment, les résultats d'Italie communiqués par D. Farinelli (Farinelli *et al.*, 2006) soutiennent la forte auto-fertilité des variétés qui portent $R2R4$ ou $R4R5$ et la forte auto-stérilité des autres paires.

Les conséquences pour la conduite des vergers

Les résultats des tests de paternité⁸ réalisés en Australie (Wu, Guerin et Sedgley, Mookerjee, Seifi), en Espagne (Dias), et en France (Moutier) (voir la note déjà citée), sont décevants quant aux conclusions qu'ils entraînent sur la détermination du choix du pollinisateur afin d'assurer l'inter-compatibilité des variétés. Ils dépendent surtout de la position relative des arbres dans le verger. En revanche, ils pourraient être utiles pour mesurer le niveau d'auto-fertilité ainsi que les effets de compétition entre les grains de pollen qui portent des allèles- S différents lors de croisements contrôlés.

La situation des vergers en continent (plantation continue) ou en île (verger très isolé) crée des conditions différentes pour la pollinisation. En effet pour polliniser *Lucques* ($R2R3$), le pollen de *Picholine* ($R1R3$) est inefficace (IIC du fait de $R3$ commun à *Lucques* et à *Picholine*), mais en outre, lors de la pollinisation les grains de pollen $R1$ de *Picholine* entrent en compétition pour la place sur le stigmate avec le pollen $R1$ de *Cayon* ($R1R4$) qui est compatible. *Cayon* sera donc plus efficace en île pour polliniser *Lucques* en l'absence de *Picholine* qu'en sa présence (en continent). Il faudrait donc reconsidérer la proportion pollinisateur - variété principale sur la base du modèle et prendre en compte cette compétition, voire l'estimer au travers de nouveaux programmes, car il y a peu de données disponibles. Les pollinisateurs qui portent $R1R1$ et $R5R5$, seraient très efficaces mais il faudrait les créer.

Les préconisations par les pépiniéristes et les centres de recherche de l'olivier d'un pollinisateur adapté à chaque variété d'olivier sont contradictoires car elles sont basées sur des essais réalisés avec des protocoles très différents et les sources d'erreurs expérimentales sont nombreuses quant à l'identification même des variétés et aux tests de viabilité du pollen. Notamment, lorsque le pollen est transporté pour l'expérimentation, il perd rapidement le pouvoir fécondant mais il peut germer et donc laisser croire qu'il est IIC. L'autofécondation n'est jamais suffisante en production : même pour les variétés les plus auto-fertiles, il faut rajouter des pollinisateurs.

Jusqu'à présent, il n'y avait aucun moyen de prédiction des pollinisateurs : à ce jour, les allèles- S sont identifiés pour une quarantaine de variétés à répartition mondiale. Le choix des pollinisateurs pourra donc se faire *in silico* sur la base du modèle pour l'inter-compatibilité, mais dans tous les cas il faut s'assurer expérimentalement que la coïncidence de floraison, la quantité de pollen produite, ... et bien d'autres facteurs, ... sont satisfaisants.

Les variétés étudiées par N. Moutier serviront de référence pour identifier la paire d'allèles- S d'un plus grand nombre de variétés, puis on peut prédire que la biologie moléculaire identifiera les allèles- S comme chez les choux et permettra de prédire la compatibilité réduisant d'autant la lourdeur de la validation expérimentale chez cette espèce.

⁸ Le génotype de l'embryon d'un fruit récolté sur une variété portera un des deux allèles de l'arbre, et un allèle du pollen. Dans certains cas, l'allèle du pollen peut être attribué univoquement à une variété : elle est un pollinisateur possible de la variété.

Enfin les situations en vergers en île ou en continents, conduisent à des proportions de pollen variables dans les différentes classes. Un gros travail de modélisation reste donc à accomplir pour déterminer les paramètres d'une pollinisation optimale, car jusqu'à présent, on s'est contenté d'introduire quelques polliniseurs plus ou moins compatibles dans les vergers.

Conclusion

Un mécanisme d'auto-incompatibilité sporophytique est compatible avec tous les résultats obtenus chez l'olivier. Il ne sera probablement pas remis en cause, mais rien ne permet de penser que les protéines impliquées soient similaires à celles trouvées chez les Brassicaceae. Il faut maintenant compiler les résultats des croisements et de l'autofécondation du plus de variétés possibles avec celles utilisées ici pour révéler les allèles-*S* qu'elles portent et donc pouvoir choisir les bons polliniseurs *in silico*. Il restera toujours à expérimenter pour vérifier les coïncidences de floraison variété à polliniser / pollinisateur. On doit aussi s'interroger sur l'adéquation des polliniseurs qui auront donc tous la capacité à féconder la variété principale dans les vergers de production quant à leur nombre, leur diversité, et leur position. De nombreux travaux restent à réaliser pour restructurer les vergers et contrôler la pollinisation.

Remerciements

Un grand merci à Maurice Folcher et Pierre Villemur pour la relecture critique du texte et à Adéla Olmedilla (CSIC, Grenade, Espagne) pour l'autorisation de publication des photographies.

Références bibliographiques

- Breton C.M. & Bervillé A., 2012. New hypothesis elucidates self-incompatibility in the olive tree regarding *S*-alleles dominance relationships as in the sporophytic model. *CR Biologies* **335** : 563-572.
- Farinelli D., Boco M. & Tombesi A., 2006. Results of four years of observations on self – sterility behaviour of several olive cultivars and significance of cross – pollination. *Proceedings of the First Olive BioTechnology Conference I* : 275-282.
- Hiscock S.J., 2011. Sexual Plant Reproduction. *Annals of Botany* **108** (4): 585-587. doi: 10.1093/aob/mcr217.
- IOOC, 2009. Anonymous. In : *IOOC letter* october 2009, Madrid, Spain.
- Iwano M. & Takayama S., 2012. Self/non-self discrimination in angiosperm self-incompatibility. *Trends in Plant Science* **15** : 387-394.
- Moutier N., Terrien E., Pécout R., Hostalnou E. & Margier J.-F., 2006. Un groupe d'étude des compatibilités polliniques entre variétés d'olivier. *Le Nouvel Olivier* **51** : 8-11.
- Saumitou-Laprade P., Vernet P., Vassiliadis C., Hoareau Y., de Magny G., Dommée B. & Lepart J. 2010. A Self-Incompatibility System Explains High Male Frequencies in an Androdioecious *Plant Science* **327** : 1648-1650.
- Seifi E., Guerin J., Kaiser B. & Sedgley M., 2011. Sexual compatibility and floral biology of some olive varieties. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* **39** : 141-151.
- Serrano I., Pelliccione S. & Olmedilla A., 2010. Programmed-cell-death hallmarks in incompatible pollen and papillar stigma cells of *Olea europaea* L. under free pollination. *Plant Cell Reports* **29** : 561-572.
- Suárez C., Zienkiewicz A., Castro A.J., Zienkiewicz K., Majewska-Sawka A. & Rodríguez-García M.I., 2013. Cellular localization and levels of pectins and arabinogalactan proteins in olive (*Olea europaea* L.) pistil tissues during development : implications for pollen-pistil interaction. *Planta* **237**(1) : 305-19. doi: 10.1007/s00425-012-1774-z.

Fougères et parfumerie

Françoise Fons ^a, Didier Froissard ^b, Jean-Marie Bessière ^c,
Alain Fruchier ^d, Bruno Buatois ^c & Sylvie Rapior ^a

^a Laboratoire de Botanique, Phytochimie et Mycologie, Faculté de Pharmacie, Université Montpellier 1, UMR 5175 CEFE, B.P. 14 491, 15 avenue Charles Flahault, F-34093 Montpellier cedex 5. (francoise.fons@univ-montp1.fr), (sylvie.rapior@univ-montp1.fr)

^b Laboratoire de Botanique, Faculté de Pharmacie de Limoges, 2 rue du Dr Marcland, F-87025 Limoges cedex. (didier.froissard@unilim.fr)

^c Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive – Plateforme d'analyses chimiques en écologie, UMR 5175 CEFE, 1919 Route de Mende, F-34293 Montpellier cedex 5. (jeanmarie.bessiere@gmail.com), (bruno.buatois@cefe.cnrs.fr)

^d ENSCM, UMR 5253, 8 rue de l'École Normale, F-34296 Montpellier cedex 5. (alain.fruchier@enscm.fr)

Résumé

Les composés organiques volatils ont été identifiés chez une vingtaine de fougères françaises. Certains d'entre eux ont été reliés à l' "accord fougère" décrit par les parfumeurs. Bien que la dénomination « fougère » très prisée en parfumerie, en cosmétique et dans les produits d'hygiène se réfère à une odeur qualifiée de fantaisiste par les parfumeurs, la coumarine, le (*E*)-2-hexénal, le (*Z*)-3-hexénol et le 1-octène-3-ol sont couramment utilisés dans les parfums appartenant à l'accord fougère. Cela démontre que l'imagination des parfumeurs rejoint en fait la nature et que leur représentation olfactive de "la fougère" est finalement proche de la réalité.

Mots-clés : fougères, Monilophytes, ptéridophytes, composés organiques volatils, parfumerie.

Abstract

More than twenty French ferns were investigated for their volatile organic compound (VOC) content. Some of them were used by perfumers in the Fougere note. While the "Fougère" fragrance well-known in perfumery, cosmetics and hygiene products is claimed by the perfumers to be a fantasy scent, coumarin, (*E*)-2-hexenal, (*Z*)-3-hexenol and 1-octen-3-ol are the main odorous components of the perfumes belonging to the fougere accord family. This suggests that the fougere scent from the perfumers' imagination is a natural fragrance.

Keywords : ferns, Monilophytes, pteridophyta, volatile organic compounds, perfumery, fougere scent.

Introduction

Les fougères et plantes alliées sont regroupées par la nouvelle classification botanique dans les Monilophytes qui comptent dans le monde plus de 10 000 espèces d'aspects très différents. Apparues à la fin du Silurien, elles ont connu leur essor au Dévonien et au Carbonifère pour régresser jusqu'à notre époque (Prelli & Boudrie, 2001). Si leur cycle de développement les rend dépendantes de l'eau, l'adaptation de celui-ci au climat a permis à certaines espèces xérophytes comme le Cétérach officinal ou le Polypode du pays de Galles de survivre à la sécheresse de la région méditerranéenne, implanté à même les rochers. Cependant la Fougère-aigle, la Fougère mâle ou la Fougère femelle, communes à nos sous-bois ou en bordure des ruisseaux, nous sont beaucoup plus familières.

Il existe plus d'une centaine d'espèces de fougères en France métropolitaine due à la variété des sols,

aux altitudes contrastées, aux différentes influences climatiques, et aux nombreux écosystèmes. Peu d'espèces françaises sont connues pour leur fragrance agréable : l'Oréoptéris à odeur citronnée, le Dryoptéris de Villars à odeur balsamique après froissement et le Dryoptéris atlantique à odeur de foin. La Fougère-aigle (toxique) dégage une odeur d'amande amère après broyage à cause de la prunasine, hétéroside cyanogénétique produit en défense contre l'herbivorie (Kofod & Eyjolfsson, 1966 ; Vetter, 2009).

Les ptéridophytes ont été utilisées en médecine traditionnelle pour leurs propriétés anthelminthiques, antivirales, diurétiques, reminéralisantes... Les fougères ont aussi été étudiées pour leurs nombreux composés organiques (composés phénoliques, acides aminés, alcaloïdes) mais peu de travaux (Miyazawa *et al.*, 2007) ont porté sur leur composés organiques volatils (COV). Dans le cadre des recherches que nous menons sur les COV des plantes et des champignons depuis 1994 (Fons *et al.*, 1998 ; Rapior *et al.*, 1997 ; Rapior *et al.*, 2000), nous avons décidé de concentrer notre attention depuis trois ans sur les fougères et les prêles de France.

Les COV montrent une grande diversité de structures (composés aromatiques, dérivés d'acides gras, terpènes). C'est cette richesse insoupçonnée des composés volatils chez de telles plantes que nous avons choisi de vous présenter et de la relier à « l'accord fougère » projeté dans l'imaginaire du public par les parfumeurs au travers de leurs créations.

Les espèces étudiées et la méthode d'analyse des composés organiques volatils

Les différentes espèces appartenant à huit familles différentes ont été récoltées en France métropolitaine de 2009 à 2011 sur des stations consignées et des échantillons de chaque plante sont conservés au Laboratoire de Botanique de la Faculté de Pharmacie de Limoges : *Adiantum capillus-veneris* L. (*Pteridaceae*) ; *Athyrium filix-femina* (L.) Roth, *Gymnocarpium dryopteris* (L.) Newman (*Woodsiaceae*) ; *Blechnum spicant* (L.) Roth (*Blechnaceae*) ; *Dryopteris filix-mas* (L.) Schott, *D. dilatata* (Hoffm.) A. Gray, *D. affinis* (R. Lowe) Fraser-Jenkins, *D. borrieri* (Newm.) Newm. ex Oberh. & Tavel, *D. cambrensis* (Fraser-Jenkins.) Beitel & W.R. Buck, *D. ardechensis* Fraser-Jenkins, *D. remota* (A. Braun ex Döll) Druce, *Polystichum setiferum* (Forsk.) Woynar, (*Dryopteridaceae*) ; *Oreopteris limbosperma* (Bellardi ex. All.) J. Holub, *Phegopteris connectilis* (Michx) Watt (*Thelypteridaceae*) ; *Asplenium trichomanes* subsp. *trichomanes* L. (*Aspleniaceae*) ; *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn (*Dennstaedtiaceae*) ; *Equisetum arvense* L., *E. palustre* var. *americana* Vict., *E. telmateia* Ehrh., *E. hyemale* L., *E. ramosissimum* Desf., *E. scirpioides* Michx (*Equisetaceae*).

Les parties aériennes fraîches sont découpées en petits fragments et extraites par macération dans de l'éther éthylique. Après concentration, les extraits sont analysés par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CG-SM). Les composés volatils sont identifiés par comparaison entre les spectres de masse obtenus et les données de la bibliothèque de spectres de masse du NIST (NIST, 2005). Sont également utilisés les spectres de notre propre banque de données, les indices de rétention et les différents spectres publiés dans la bibliographie. La quantité de chaque COV est exprimée en pourcentage de la fraction volatile totale.

Les composés organiques volatils des fougères et des prêles

Les analyses CG-SM sur les fougères et les prêles sont en cours sur une quarantaine d'espèces. Pour les vingt-trois fougères et prêles déjà publiées, une centaine de composés volatils (dérivés d'acides gras, composés aromatiques, dérivés terpéniques, dérivés des caroténoïdes) ont été identifiés (Fons *et al.*, 2010 ; Fons *et al.*, 2013 ; Froissard *et al.*, 2011 ; Froissard *et al.*, 2013). Les profils des COV peuvent être très différents d'une espèce à l'autre. Comme il serait fastidieux de tous les détailler, seuls quatre d'entre eux seront présentés.

La diversité entre espèces

Adiantum capillus-veneris (Planche 1) accumule près de 88 % de dérivés d'acides gras (ou polykétides) dont 32,1 % de (*E*)-2-décénal (Fig. 1) à odeur de plastique, caoutchouc mais également responsable de celle de la punaise. La capillaire de Montpellier partage avec cet insecte (Fons *et al.*, 2010) la capacité de produire deux isomères du 2,4-décadiénal (Fig. 1) présentant, en fonction de leur concentration, des variantes dans la tonalité lipidique (herbe verte, agrumes, huile, friture). On trouve ces trois COV en quantité plus faible dans *Asplenium trichomanes* subsp. *trichomanes* et deux prêles (*E. ramosissimum* et *E. scirpioides*) (Fons *et al.*, 2013).

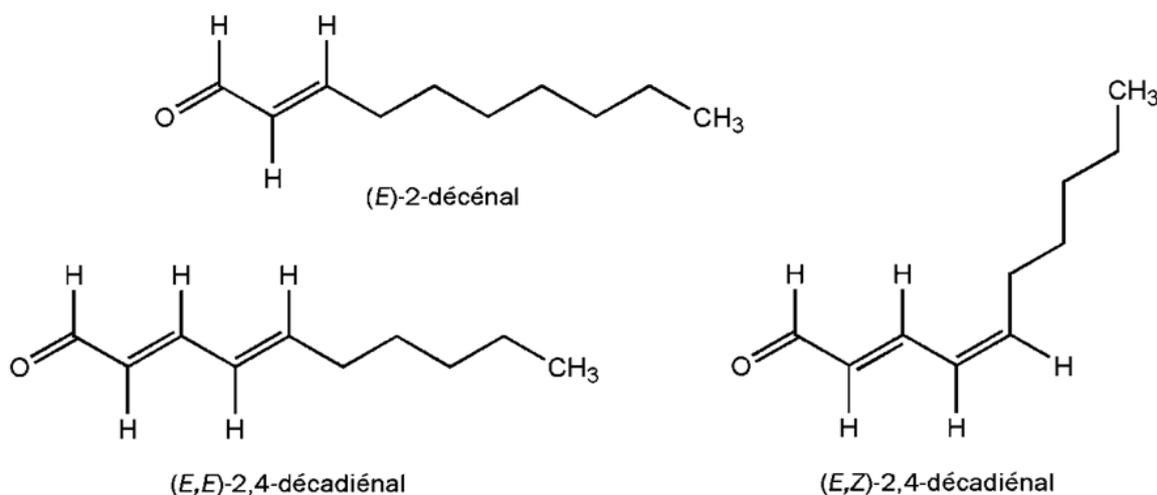


Fig. 1 : Les COV majoritaires de la Capillaire de Montpellier.

Pour d'autres fougères comme *Athyrium filix-femina*, *Blechnum spicant* ou *Phegopteris connectilis* (Planche 1), les dérivés d'acides gras et les composés aromatiques sont majoritaires (deuxième profil). Le 2-phényléthanal (Fig. 2) à odeur florale (retrouvé aussi chez *E. arvense*) et le 1-octèn-3-ol (Fig. 2) représentent respectivement à eux deux, 70,4 % et 62,3 % de la fraction volatile de la Fougère femelle et du *Blechnum* en épi. Les deux énantiomères de ce dernier composé ont été étudiés séparément (Mosandl *et al.*, 1986). L'isomère (*R*)(-) a une odeur fongique, douce et fruitée, tandis que l'arôme du (*S*)(+) est

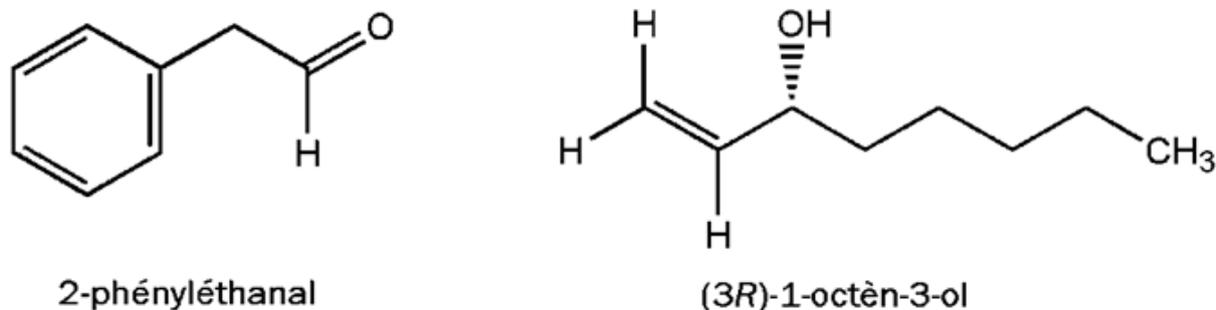


Fig. 2 : Les COV majoritaires de la Fougère femelle et du *Blechnum* en épi.

plutôt herbacé avec odeur de moisi. D'autres COV en C₈ (3-octanol, 3-octanone, 1-octèn-3-one, 2,3-octanedione, (*E*)-2-octénol) ont été largement retrouvés dans les fougères ou prêles déjà étudiées (*Polystichum setiferum*, *Pteridium aquilinum*, *Dryopteris dilatata*, *D. remota*, *Equisetum palustre*...). Ces différents composés en C₈ participent à l'odeur fongique type et ont été isolés dans de nombreuses espèces de champignons (Fons *et al.*, 2003 ; Fons *et al.*, 2006 ; Rapior *et al.*, 2003) mais certains comme la 2,3-octanedione se sont vus attribuer des notes très variables (fruitées, légume cuit, foin, crème, lait) en fonction des descripteurs (Lipka & Greenleaf, 2011).

En revanche, pour *P. connectilis*, les COV de senteur agréable sont beaucoup plus nombreux comme le (*E*)-2-hexénal (odeur d'herbe coupée ; 9,1 %), la coumarine (Fig. 3 ; odeur de foin ; 7,4 %), le 1-octèn-3-ol (odeur de champignon ; 6,8 %), l'acide vanillique (odeur de vanille ; 5,9 %), le 2-phényléthanal (5,3 %) à odeur florale (lilas, jacinthe), le nonanal à odeur fruitée-fleurie de rose ou d'orange (4,6 %), ou le 4-vinylguaiacol (1,9 %). Ce composé aromatique, à odeur de clou de girofle, a également été retrouvé en quantité importante chez *E. telmateia* (18,1 %) et *E. hyemale* (5,9 %). Cette deuxième prêle produit majoritairement le (*E*)-2-hepténal (22,4 %) à odeur de légume vert. Le 2-phényléthanal est également produit par *Gymnocarpium dryopteris*, *P. connectilis*, *E. scirpioides* et *E. arvense*.

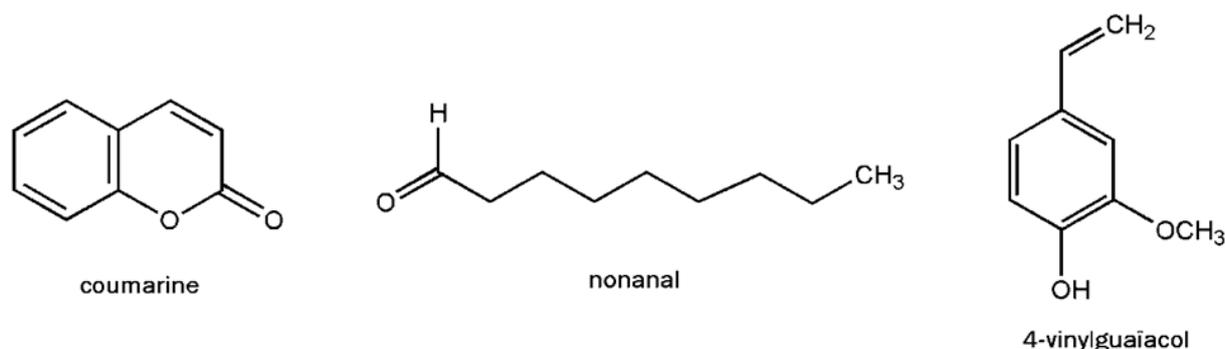


Fig. 3 : Les COV majoritaires du Phégoptéris vulgaire.

On trouve un troisième profil de composés volatils pour *Dryopteris filix-mas* (Planche 1), caractérisé par la présence importante de dérivés terpéniques (67,4 %) et de dérivés d'acides gras (30,8 %). Le sesquiterpène majoritaire, le (*E*)-nérolidol (Fig. 4) à odeur boisée, d'écorce (38,7 %) a été également détecté en quantité importante (> 10 %) chez *D. borrieri* et *D. cambrensis*. D'autres dérivés terpéniques ont été

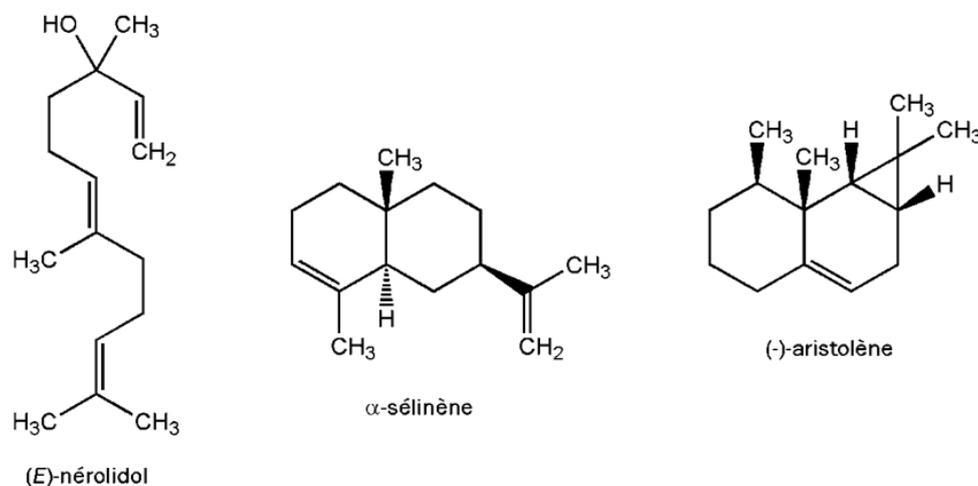


Fig. 4 : Les COV majoritaires de la Fougère mâle.

identifiés chez les *Dryopteris* (Froissard *et al.*, 2013) comme l' α -sélinène (> 7 % pour *D. ardechensis* ; odeur épicee-boisée), et l'aristolène (12,8 % pour *D. affinis* ; odeur sucrée-fleurie).

Quatrième profil présenté, celui de *Oreopteris limbosperma* à odeur d'agrume (Fons *et al.*, 2010) accumulant plus de 78 % de dérivés terpéniques dans la fraction volatile dont l' α -terpinéol, monoterpène à odeur florale type lilas (Fig. 5 ; 13,5 %), et deux sesquiterpènes : le (*E*)-nérolidol (Fig. 4 ; 14,7 %) et le β -caryophyllène à odeur épicee (Fig. 5 ; 5,0 %). D'autres monoterpènes minoritaires (linalol, pinènes, limonène, γ -terpinène-7-al) participent aussi à la fragrance de cette fougère à odeur citronnée. Le benzaldéhyde (amande amère) (Fons *et al.*, 2006 ; Rapior *et al.*, 2002), l'acide vanillique (vanille) et le 2-phényléthanol (rose) font également partie des composés aromatiques retrouvés pour 10,1 % des COV de cette fougère.

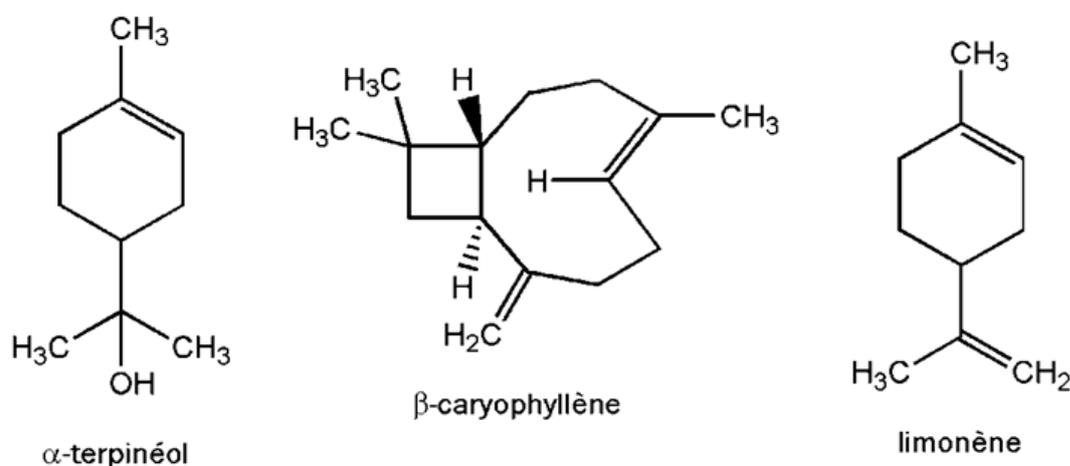


Fig. 5 : Les COV majoritaires de l'Oréoptéris.

La diversité des structures chimiques des COV

Bien que n'étant pas connues pour être des plantes riches en composés volatils, les fougères et plantes alliées synthétisent une diversité de COV de structures chimiques très variées : composés aromatiques, dérivés d'acides gras, monoterpènes, sesquiterpènes, dérivés de caroténoïdes dont un grand nombre présentent des notes parfumées. Les principaux composés ont été récapitulés ci-après avec quelques indications de notes caractéristiques des molécules pures, variables en fonction de leurs concentrations.

Composés aromatiques (Proust, 2006)

Benzaldéhyde (amande amère), 2-phényléthanol (rose), 2-phényléthanal (lilas, jacinthe), 4-vinylguaiacol (clou de girofle), acide vanillique et isovanilline (vanille), coumarine (foin coupé).

Dérivés d'acides gras (Hatanaka, 1993 ; Surburg & Panten, 2006)

C₆ : (odeur d'herbe coupée) ; hexanol (balsamique), (*E*)-2-hexéanal (légume, fruité à herbacé), (*Z*)-3-hexéanol, acide 2-hexanoïque (fruité), acide (*E*)-2-hexenoïque (fruité), acide (*E*)-3-hexenoïque (miel, fruit).

C₇ : (*E*)-2-heptéanal (légume vert, herbacé, notes fruitées-florales, graisse), heptanal (fruité).

C₈ : (odeur fongique) ; 1-octène-3-ol, 1-octène-3-one, acide octanoïque (savon, gras).

C₉ : nonanal (orange, rose, herbe), (*E*)-2-nonéanal (herbe, gras).

C₁₀ : (*E*)-2-décéanal (plastique, punaise), (*E*)-2-décéanol (cireuse).



La Capillaire de Montpellier
Adiantum capillus-veneris



La Fougère femelle
Athyrium filix-femina



Le Blechnum en épi
Blechnum spicant



Le Phéoptéris vulgaire
Phegopteris connectilis



La Fougère mâle
Dryopteris filix-mas



L'Oréoptéris
Oreopteris limbosperma

Planche 1: Photos de quelques fougères étudiées

Monoterpènes (Breheret *et al.*, 1997 ; Surburg & Panten, 2006)

α -Terpinéol (lilas), terpinèn-4-ol (lilas, boisé-terreux, muscade), γ -terpinèn-7-al, linalol (floral, orange), α -pinène (résineux) et β -pinène (résineux), limonène [citron (S), orange (R)], myrcène (épicé, balsamique, herbacé).

Sesquiterpènes (Surburg & Panten, 2006)

(E)-Nérolidol (floral, boisé, écorce), β -caryophyllène (épicé).

Dérivés de caroténoïdes (Proust, 2006)

Dérivés de l' α -ionone (violette) et de la β -ionone (framboise).

La fougère, une source d'inspiration pour les parfumeurs

« Cléopâtre remonta le Cydnus, sur un navire à la poupe d'or, avec des voiles de pourpre déployées et des rames d'argent manœuvrées au son de la flûte mariée à celui des syrinx et des cithares : De merveilleuses odeurs exhalées par de nombreux parfums embaumaient les deux rives »

PLUTARQUE, Les Vies parallèles, « Antoine », XXVI-XXVII.

(Traduction de R. Flacelière, Plutarque, Vies, Tome XIII,

Ed. Les Belles Lettres, Paris, 1977)

Le parfum accompagne l'homme et évolue avec lui depuis des millénaires, témoin des différentes civilisations, sur tous les continents sous forme d'huile, de baume, de fumigation (Bodiou *et al.*, 2008 ; Munier, 2003). Remède ou poison, intégré à la vie quotidienne, outils de séduction ou associé à des rites sacrés, il fait partie de notre environnement (Gangler, 2011 ; Le Guéner *et al.*, 2009).

Les parfums historiques

Parmi les fragrances actuelles préférées de l'amateur de parfum, la fougère occupe une place privilégiée au sein des autres senteurs. La fougère inspire depuis longtemps les parfumeurs comme Paul Parquet qui a créé pour Houbigant en 1882, « Fougère Royale » (Bedoukian, 1993), le premier parfum (Planche 2) contenant de la coumarine de synthèse à odeur de foin coupé (De Nicolai, 2008). Il a ainsi révolutionné la parfumerie et la cosmétique et ouvert la voie à l'utilisation de molécules synthétiques pour la création de compositions (parfum, savon, poudre, brillantine...) alliant le naturel à la chimie. Équilibre réussi puisqu'il aurait enthousiasmé de grands noms du XIX^e siècle parmi lesquels Guy de Maupassant qui écrivit : « Respirez la Fougère Royale et vous me direz qu'il y a une prodigieuse évocation des forêts ou des landes, non de leur flore mais de leur verdure... » (De Feydeau, 2011 ; Le Guéner, 2005).

Autre précurseur, Aimé Guerlain, à l'origine du parfum moderne (Planche 2) et qui a créé, en 1889, « Jicky ». Lui aussi a marié avec bonheur deux molécules synthétiques, la coumarine (Fig. 3) et la vaniline (Fig. 6) avec le bois de rose (linalol ; Fig. 6), des notes fraîches de lavande, de bergamote et des notes animales (Bedoukian, 1994 ; Gaborit, 1985). C'est la première composition sophistiquée dont les multiples facettes d'origine synthétique, végétale ou animale se dévoilent au cours du temps selon une pyramide olfactive à trois niveaux par des notes de tête, de cœur et de fond. Imaginé pour les femmes à l'origine, ce parfum a également été adopté par les hommes.

La fougère véhiculant les senteurs mystérieuses des sous-bois a donné son nom à de nombreuses autres créations (Planche 2) : « Fougère » [*D'Armor, Fragonard, M. du Mont*], « Fougère au Crépuscule » [*Coty, 1933*], « English Fern » [*Penhaligon's, 1911*], « Dans la Fougère », « Fougère souvenir » [*Monternier C.*], Fougère Bengale [*Makakis, 2007*] (Courset, 2009)...

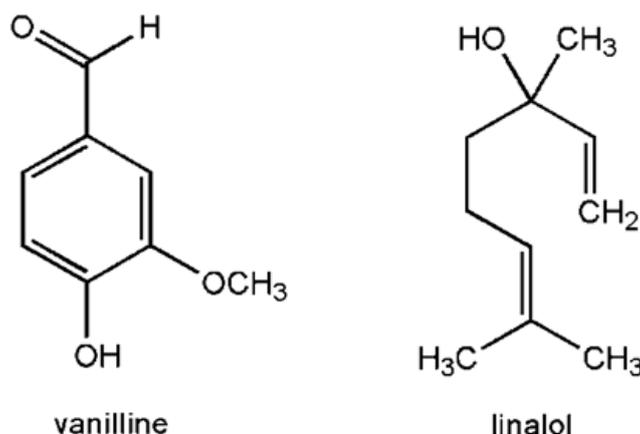


Fig. 6 : Deux COV précurseurs en parfumerie.

Au vingtième siècle comme de nos jours, la dénomination fougère très prisée en parfumerie et en cosmétique notamment dans les produits d'hygiène (savons, soins après-rasage) se réfère à une odeur qualifiée de fantaisiste par les parfumeurs (Anonis, 1994a ; Anonis, 1994b) mais présentant des réminiscences herbacées, de feuilles, de foin, de lavande, d'ambre, de mousse de chêne ou de champignons : cet accord évoque les sous-bois dans l'imaginaire olfactif du public.

L'accord fougère en parfumerie

Dans la classification des parfums réalisée par la Société Française de Parfumeurs^{1,2}, la fougère est l'une des sept familles d'odeurs permettant la description olfactive d'une fragrance : Hespéridée, Florale, **Fougère**, Chypre, Boisée, Ambrée, Cuir (De Nicolaï, 2008). L'accord fougère est essentiellement composé de notes lavandées, boisées, mousse de chêne, coumarine, bergamote et géranium.

Différents caractères ou sous-familles peuvent se distinguer en fonction des créations (Veuillet-Gallot, 2013) :

- Fougère classique : **Mouchoir de Monsieur** (Guerlain).
- Fougère ambrée douce (vanille, foin).
- Fougère fleurie ambrée : **Canoë** (Dana), **Emballages** (Clinique), **Givenchy III**.
- Fougère épicée : **Alliage** (Estée Lauder), **Jules** (Dior), **Kouros** (Yves Saint-Laurent).
- Fougère aromatique ou Fruitée : **Drakkar Noir** (Guy Laroche), **Captain** (Molyneux).
- Fougère boisée : **la Toscane** (Aramis), **Pour Homme** (Paco Rabanne), **Edition** (Dunhill).
- Fougère Cuir : **Minotaure** (Paloma Picasso), **Brut** (Fabergé), **Tabac blond** (Caron).

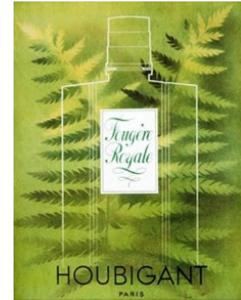
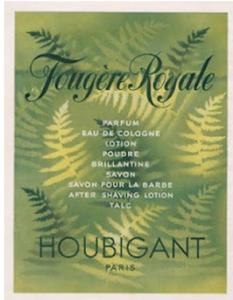
D'autres qualificatifs plus parlants pour le consommateur (même s'ils ne sont pas valides) sont également passés dans le langage courant :

- Fougère frais : **Ô** (Lancôme), **Lavande anglaise** (Yardley).
- Fougère vert : **Eau fraîche** (Davidoff).

Si, a priori, on pense spontanément à des parfums masculins quand on parle de l'accord fougère, les femmes comme les hommes ont pu trouver un parfum à leur convenance au cours des années et certaines créations seraient portées par les deux sexes (**Jicky** de Guerlain, **Eau Noire** de Christian Dior).

¹ Société Française des Parfumeurs (2013). La classification des Parfums, <http://www.parfumeurs-createurs.org>

² <http://www.parfumdegrasse.com/classification/>



Fougère royale (Houbigant) déclinée en 1882 selon une gamme partant du parfum au savon.



Jicky (Guerlain) précurseur du parfum moderne avec l'affiche publicitaire d'époque.



English Fern (Penhaligon's) :

de l'eau de toilette au talc en passant par le savon à barbe toujours d'actualité.



La gamme « Fougère » de Roger&Gallet : du parfum des années 30 aux savons lancés en 1965 puis relookés en 2007, mais n'étant plus proposés à la vente de nos jours.



Planche 2 : Accord fougère en cosmétique et dans les parfums d'ambiance : quelques exemples de produits qui ont marqué l'histoire de la parapharmacie (Anne de Péraudel) ou toujours en vente dans le commerce (Le Petit Marseillais, Maison du Savon de Marseille).

Moins nombreux, voici cependant quelques parfums pour femmes présentés par certains à dominante Fougère mais revendiqués par d'autres de la famille florale, ambrée ou chypre (Anonis, 1994a ; Girard, 2013). Rares sont donc les parfums féminins qui sont classés unanimement dans l'accord fougère contrairement aux parfums masculins :

Eau de Givenchy.
Ivoire de Balmain.
Moment Suprême de Patou.
Emeraude de Cotty.
Individuel de Montblanc.
So Pretty de Cartier.
N°19 de Chanel.

Symbolisant la fragrance masculine, les parfums Fougère pour hommes restent incontournables et trop nombreux pour pouvoir être tous cités (Girard, 2013 ; Veillet-Gallot, 2013). En voici quelques-uns, mais la liste est loin d'être exhaustive :

Pour Homme : Azzaro, Yves Saint-Laurent...
Platinum, Egoïste : Chanel.
Jazz : Yves Saint-Laurent.
Instinct Cool : Airness.
Monsieur : Rochas.
Equipage : Hermès.
Ho Hang : Balenciaga.
Le Mâle : Jean-Paul Gaultier.
Boss : Hugo Boss.

Pour mieux décrire l'enchaînement des fragrances au cours du temps après vaporisation d'un parfum, voici un exemple de pyramide olfactive de l'accord fougère masculin (Haluk, 2005) :

Notes de tête
Basées sur un équilibre entre lavande, géranium et agrumes (bergamote).
Notes de cœur
Prédominance de la « verdure » par rapport aux fleurs : vétiver, mousse de chêne, patchouli...
Notes de fond
Persistance des accords boisés en finale accompagnés de la coumarine.

Les composés naturels des parfums de l'accord fougère

Parmi les centaines de composants naturels des parfums ou des produits d'hygiène de la famille Fougère, on peut trouver, en fonction des créateurs, un éventail important d'agrumes, de fleurs ou de plantes aromatiques (bergamote, néroli, géranium, violette, rose, tubéreuse, jasmin, ylang-ylang, romarin, thym, vétiver, estragon, patchouli, hysope...) mais aussi des épices : coriandre, cannelle, girofle, cardamome (Bourny-Romagné, 2006). Les formules des parfums ont évolué entre le XIX^e et le XX^e siècle. Les huiles essentielles ont rapidement supplanté les volumes importants d'infusions végétales utilisés lors des siècles précédents. De plus, les chimistes ont apporté une aide ponctuelle puis sont devenus indispensables à l'élaboration des parfums modernes, même si les consommateurs demandent actuellement un retour au naturel.

Les extraits de mousse de chêne constituent une des notes de fond des parfums de l'accord "Fougère" mais aussi de l'accord "Chypre". Cette deuxième famille de fragrance a été créée par François Coty lorsqu'il a composé en 1917 "Chypre", parfum éponyme associant avec la mousse de chêne, le labdanum, le patchouli et la bergamote (Veillet-Gallot, 2013). La mousse de chêne est en fait un lichen, *Evernia prunastri* (L.) Ach. (*Usneaceae*), association symbiotique d'un champignon et d'une algue, dont

l'odeur décrite comme puissante, boisée, fongique, terreuse rappelle l'humus et le champignon, donc la forêt (Joulain & Tabacchi, 2009 ; Lecomte, 1987).

L'incorporation de produits d'origine animale (musc, civette, castoreum, ambre gris) dans les parfums notamment pour enrichir les notes de fond ou comme fixateurs a beaucoup régressé depuis le XIX^e siècle (Piesse, 1877 ; Rimmel, 1995) au profit de succédanés synthétiques (Teisseire, 1994).

La chimie au service de la parfumerie

Enrichissant la fragrance des matières premières naturelles, il existerait actuellement plusieurs milliers de composés de synthèse susceptibles de participer à l'arôme final des parfums.

En plus de la coumarine (Fig. 3), de la vanilline et du linalol (Fig. 6), voici quelques-uns de ces composés (accompagnés de leurs principaux descripteurs olfactifs) très souvent intégrés au cours du temps par les chimistes (Anonis, 1994a ; Arctander, 1969 ; De Nicolai, 2008 ; Teisseire, 1994), dans les parfums présentant en particulier l'accord fougère et dont certains ont été identifiés dans les COV naturels des fougères (Fig. 7).

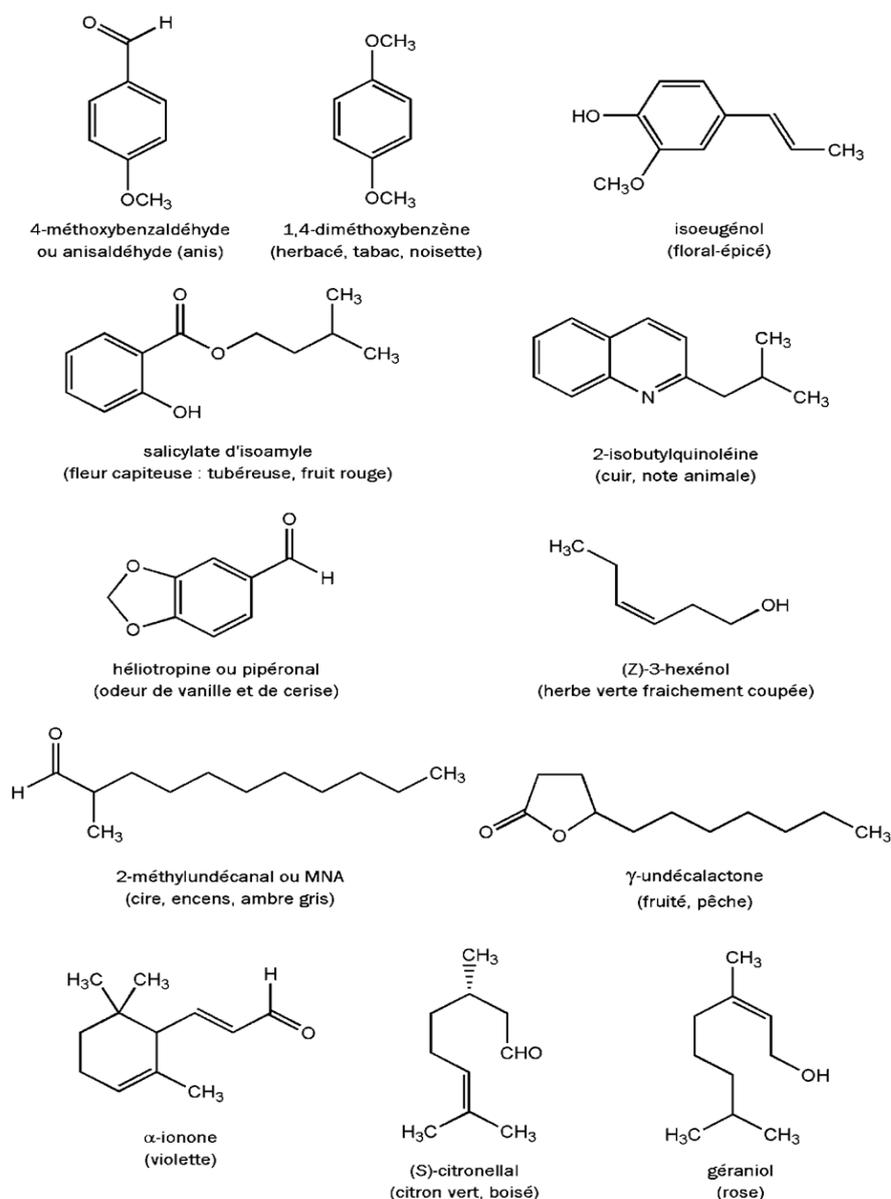


Fig.7 : Les COV synthétiques, incontournables dans les parfums de l'accord Fougère.

Conclusion

Les fougères, plantes archaïques d'un point de vue botanique, ne portent pas de fleurs et n'ont donc pas, en grande majorité, d'odeur caractéristique qui pourrait attirer les insectes utiles à la pollinisation.

Plante mystérieuse dans l'imaginaire collectif et assimilée à la végétation des sous-bois, la fougère symbolise aussi certains senteurs imaginées par les parfumeurs. L'accord fougère est composé de notes fraîches, boisées, vertes souvent associées aux parfums masculins, plus rarement à des parfums féminins.

Certains composés organiques volatils que nous avons identifiés chez une dizaine de fougères françaises, ont été également décrits dans des parfums appartenant à la famille fougère. *Phegopteris connectilis* et *Oreopteris limbosperma* pourraient donc tout à fait symboliser des représentants modèles odorants de ces plantes pour la diversité de leurs composés organiques volatils.

L'imagination des parfumeurs rejoint ainsi la nature: la représentation olfactive de l'accord fougère qu'ils ont créé étant assez proche de la réalité. Grâce à la magie des parfums, l'odeur fougère a été finalement rendue perceptible et accessible au public.

Références bibliographiques

- Anonis D.P., 1994a. Fougère in fine fragrances. *Perfumer and Flavorist* **19** : 1-5.
- Anonis D.P., 1994b. Fougère in colognes, cosmetics and soaps, and in men's fragrances. *Perfumer and Flavorist* **19** : 35-39.
- Arctander S., 1969. *Perfume and flavor chemicals. vol. 1 et vol. 2*. Steffen Arctander Publisher, Elizabeth, USA.
- Bedoukian P., 1993. Fougère Royale (1882) by Houbigant. *Perfumer and Flavorist* **18** : 35-37.
- Bedoukian P., 1994. Jicky by Guerlain. *Perfumer and Flavorist* **19** : 25-26.
- Bodiou L., Frère D. & Mehl V., 2008. *Parfums et odeurs dans l'antiquité*. Presses Universitaires de Rennes, 279 p. Rennes.
- Bourny-Romagné B., 2006. *Des épices au parfum*. Aubanel, 224 p. Luçon.
- Breheret S., Talou T., Rapior S. & Bessière J.M., 1997. Monoterpenes in the aromas of fresh wild mushrooms (Basidiomycetes). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **45** : 831-836.
- Courset J.M., 2009. *5000 miniatures de parfum – La marché de l'échantillon de collection*. Milan, 158 p. Toulouse.
- De Feydeau E., 2011. *Les parfums – Histoire, anthologie, dictionnaire*. Lafont, 1206 p. Paris.
- De Nicolai P., 2008. A smelling trip in the past: the influence of synthetic materials on the history of perfumery. *Chemistry and Biodiversity* **5** : 1137-1146.
- Fons F., Rapior S., Gargadennec A., Andary C. & Bessière J.M., 1998. Volatile components of *Plantago lanceolata* (Plantaginaceae). *Acta botanica Gallica* **145** : 265-269.
- Fons F., Rapior S., Eyssartier G. & Bessière J.M., 2003. Volatile compounds in the *Cantharellus*, *Craterellus* and *Hydnum* genera. *Cryptogamie, Mycologie* **24** : 367-376.
- Fons F., Rapior S., Fruchier A., Saviuc P. & Bessière J.M., 2006. Volatile composition of *Clitocybe amoenolens*, *Tricholoma caligatum* and *Hebeloma radicosum*. *Cryptogamie, Mycologie*, **27** : 45-55.
- Fons F., Froissard D., Bessière J.M., Buatois B. & Rapior S., 2010. Biodiversity of volatile organic compounds from five French ferns. *Natural Product Communications* **5** : 1655-1658.
- Fons F., Froissard D., Bessière J.M., Fruchier A., Buatois B. & Rapior S., 2013. Volatile organic composition of six fresh Horsetails. *Natural Product Communications* **8** : 509-512.
- Froissard D., Fons F., Bessière J.M., Buatois B., Rapior S., 2011. Volatiles of French ferns and "fougère" scent in perfumery. *Natural Product Communications* **6** : 1723-1726.
- Froissard D., Rapior S., Bessière J.M., Fruchier A., Buatois B. & Fons F., 2013. Volatile organic compounds of six French *Dryopteris* species: natural odorous and bioactive resources. *Natural Product*

Communications (envoyé pour publication).

- Gaborit J.Y., 1985. *Parfums - Prestige et haute couture*. Editions Vilo, 174 p. Lausanne.
- Gangler B., 2011. *Parfums de Collection - Deux siècles parfumés*. Editions du Chêne E/P/A, 384 p. Paris.
- Girard C., 2013. *Les parfums dans les produits cosmétiques*. Thèse de Pharmacie, Université de Lorraine, Nancy, 98 p.
- Haluk, J.P., 2005. Les arbres à parfum. *Bulletin de l'Académie Lorraine des Sciences* **44** : 1-32.
- Hatanaka A., 1993. The biogeneration of green odour by green leaves. *Phytochemistry* **34** : 1201-1218.
- Joulain D. & Tabacchi R., 2009. Lichen extracts as raw materials in perfumery. Part 1: Oakmoss. *Flavour and Fragrance Journal* **24** : 49-61.
- Kofod H. & Eyjolfsson R., 1966. The isolation of the cyanogenic glycoside prunasin from *Pteridium aquilinum* (L.) Kühner. *Tetrahedron Letters* **7** : 1289-1291.
- Le Guérer A., 2005. *Le parfum – Des origines à nos jours*. Odile Jacob, 406 p. Paris
- Le Guérer A., Andrier D. & Ropion D., 2009. *Quand le parfum portait remède*. Editions du Garde-Temps, 95p. Paris.
- Lecomte B., 1987. *L'évaporation du parfum – Etude des fixateurs – Evernia prunastri L. – Mousse de chêne*. Thèse de Pharmacie, Université Montpellier 1, 138 p.
- Lipka C. & Greenleaf S., 2011. Ingredient profile: 2,3-octanedione. *Perfumer and Flavorist* **36** : 22.
- Miyazawa M., Horiuchi E. & Kawata J., 2007. Components of the essential oil from *Matteuccia struthiopteris*. *Journal of Oleo Science* **56** : 457-461.
- Mosandl A., Heusinger G. & Gessner M., 1986. Analytical and sensory differentiation of 1-octen-3-ol enantiomers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **34** : 119-122.
- Munier B., 2003. *Le parfum à travers les siècles – Des dieux de l'Olympe au cyber-parfum*. Le félin, 191 p. Paris.
- National Institute of Standard and Technology, 2005. *PC version of the NIST / EPA / NIH Mass Spectra Database*, Gaithersburg, Maryland, U.S.A.
- Piesse S., 1877. *Des odeurs, des parfums et des cosmétiques*. J.B. Baillièrre et fils, 580 p. Paris.
- Prelli R. & Boudrie M., 2001. *Les fougères et plantes alliées de France et d'Europe occidentale*. Belin, 429 p. Paris.
- Proust B., 2006. *Petite géométrie des parfums*. Seuil, 130 p. Paris.
- Rapior S., Breheret S., Talou T., & Bessière J.M., 1997. Volatile flavor constituents of fresh *Marasmius alliaceus* (Garlic *Marasmius*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **45** : 820-825.
- Rapior S., Fons F. & Bessière J.M., 2000. The fenugreek odor of *Lactarius behvus*. *Mycologia* **92** : 305-309.
- Rapior S., Breheret S., Talou T., Péliissier Y. & Bessière J.M., 2002. The anise-like odor of *Clitocybe odora*, *Lentinellus cochleatus* and *Agaricus essettei*. *Mycologia* **94** : 373-376.
- Rapior S., Fons F. & Bessière J.M., 2003. Volatile flavor constituents of *Lepista nebularis*. *Cryptogamie, Mycologie* **24** : 159-166.
- Rimmel E., 1995. *Le livre des Parfums* (reprise de l'édition de 1870). Comédit, 432 p. Paris.
- Surburg H. & Panten J., 2006. *Common Fragrance and Flavor Materials*. Wiley-VCH, Weinheim.
- Teisseire P.J., 1994. *Chimie des substances odorantes*. Tec&Doc, Lavoisier, 480 p. Paris.
- Vetter J., 2009. A biological hazard of our age : bracken fern [*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn] - A review. *Acta Veterinaria Hungarica* **57** : 183-196.
- VeUILlet-Gallot R., 2013. *Le guide du parfum pour elle et lui*. Presses de la Cité, 173 p. Paris.

Crédit Photographique.

- Les photos de fougères sont de Didier Froissard.
- Les photos de parfums, produits cosmétiques et les affiches publicitaires ont été imprimées avec l'aimable autorisation des sociétés suivantes qui nous les ont fournies : Guerlain, Houbigant, Klorane (Anne de Péraudel), Penhaligon's, Le Petit Marseillais, Roger&Gallet et la maison du savon de Marseille. Nous les en remercions.

La nature ne se décrète pas

Jacques Grelu

Ingénieur général honoraire du Génie rural des eaux et forêts,
La Gloriette, 589 route de Nages, F – 30980 Langlade
(jacques.grelu@wanadoo.fr)

Résumé

Le changement de climat est une réalité, même si les données mesurées en sont parfois contradictoires. Depuis la dernière grande glaciation, les temps quaternaires oscillent entre des séquences froides ou chaudes. La phase de réchauffement actuel, sans doute naturelle, est néanmoins exacerbée par l'explosion incontrôlée des activités humaines. Les phénomènes climatiques extrêmes marquent les esprits plus fortement que les changements lents du climat, mesurés avec précision depuis moins d'un siècle. Le contour géographique des stations végétales et forestières naturelles subit la double pression des événements brutaux et de la dérive climatique, un doublon que chacun interprète à sa façon. En particulier, nous ne savons pas si les maladies et le parasitisme subis par les arbres forestiers sont aggravés par les crises climatiques et /ou par le libre-échange mondial des produits, mais la société ne s'en soucie guère. L'urbanisme, souvent dispersé et gaspilleur d'espace, se poursuit dans les zones à risques. Pendant ce temps, l'agriculture néglige sa mission d'entretien du territoire rural pour s'enfoncer dans des pratiques industrielles polluantes ou inversement, abandonner les espaces ingrats aux friches et aux incendies. Les déplacements de certaines plantes invasives, ainsi que les parasites et les ravageurs qui visitent nos forêts sont plutôt des témoins que des marqueurs : on comprend que les échanges internationaux et le changement climatique activent ce brassage et il serait intéressant de regarder les poids relatifs de ces deux courants. L'observation, plus que les mesures, suggère que le libre-échange et les égocentrismes pèsent indirectement sur la biologie végétale, le climat ayant à peine égratigné les milieux forestiers naturels. Le pire est-il devant nous ?

Mots-clés : changements climatiques, activités humaines, échanges internationaux, forêts naturelles, plantes invasives, parasites, ravageurs.

Le « Grenelle de l'environnement » et les « Assises de la forêt »

A la charnière des XX^e et XXI^e siècles, les travaux scientifiques relatifs au changement de climat se multiplient. La bibliographie en énumère des dizaines, souvent consacrés à des thèmes ou à des spécialités pointues : une vision d'ensemble est loin d'être acquise, sans doute ne le sera-t-elle jamais. Nous rapprochons ci-après pour un difficile essai de synthèse quelques extraits de bibliographie, travaux scientifiques ou actes de tables rondes spécialisés, notamment ceux de Déqué (1999), du projet CARBOFOR (2001), IMFREX (2002), Info DFCI n° 55 (2005), Conseil Général de Saône-et-Loire (2006), Inventaire Forestier National (2007), Office National des Forêts – RENECOFOR (2007), Roman-Amat (2007), Assises de la forêt (2008), Peyron (2008), Chevassus-au-Louis (2009), Rigolot (2012), Sauvagnargues (2012) et Keeling (2013).

A compter de l'hiver 2007-2008, le « Grenelle de l'environnement » décide d'élargir la prévention des incendies de forêt au-delà de l'Aquitaine et du Grand Sud-Est en direction du centre de la France. Le ministère de l'agriculture propose cette mission à l'auteur du présent article. Le plan d'actions défini par les « Assises de la forêt » doit *évaluer l'extension potentielle des zones à risques d'incendie*, ainsi que les mé-

thodes de prévention plus douces qui conviendraient aux régions nouvellement menacées. La lettre de mission nous demande de « participer aux enquêtes, investigations, auditions et réunions de la mission pilotée par cette inspection générale et de proposer des orientations au ministre sur le plan législatif et réglementaire, l'expertise et le suivi des risques d'incendie auxquels de nouveaux territoires sont exposés, ainsi que les mesures à prendre prioritairement ».

J'ai ainsi remis trois rapports successifs au ministère de l'agriculture en 2009. A l'époque, le réchauffement climatique était présenté sous forme de courbes probables, de tendances pessimistes inéluctables, assorties de données scientifiques pressenties dont chacun s'efforçait de matérialiser un scénario crédible. À ce titre, nous avons évalué les contours et les échéances possibles de nouvelles mesures concrètes de la prévention, de l'anticipation, de la lutte active, de la police et du droit juridique, de l'aménagement et de l'occupation du territoire, de l'urbanisme, de la surveillance sanitaire des forêts, de l'agriculture de montagne, des travaux de recherche à réaliser, des résultats scientifiques à transcrire dans l'action publique. Ces travaux font état de points forts restitués dans les extraits ci-dessous.

Les incendies de végétation pourront menacer des régions non méridionales

L'analyse des statistiques d'incendies observés dans les départements du Grand Arc ligérien entre 1981 et 2002 y révèle l'existence « d'années rouges ». Leur nombre moyen suggère un niveau de risque d'ores et déjà non négligeable dans le Morbihan (9 journées par an), le Finistère et la Haute-Loire (5), les Côtes d'Armor et le Puy-de-Dôme (3), l'Ille- et-Vilaine et la Haute-Vienne (2).

Ce lot suggère deux axes potentiels de menace climatique, l'un en direction de la Bretagne et le second vers le sud des régions Limousin et Auvergne.

Notre « mille-feuille » administratif fragmente et complique la conception des cartes d'aléas

Nous superposons aux régions des modèles climatiques de Météofrance, une opération qui tend malheureusement à marginaliser l'impact des grandes composantes du climat que nous subissons (topographie continentale, températures et courants océaniques, hautes pressions). Les applications laissent espérer l'émergence d'indices exploitables en région. La conception des plans de protection des forêts contre les incendies ne pourra donc pas se poursuivre à la seule échelle départementale, dont le détail échappe aux modèles climatiques. Du reste, les réformes probables destinées à rapprocher régions et départements militent en faveur de plans régionaux, mieux ouverts aux données de deuxième génération.

Au-delà de son modèle économique, la politique forestière devra rétablir l'état boisé remis en cause après chaque crise majeure

Les forêts naturelles de première génération, ultérieurement transformées par substitution d'essences souvent résineuses (génération 2) sont très fragiles. Les essences de substitution (génération 3) ne vont pas apparaître spontanément. Si les propriétaires n'accompagnent pas le renouvellement nécessaire, ce qui est à craindre, les peuplements « périmés » seront encombrés de bois déperissants, de chablis et de rémanents où s'installeront des espèces pionnières sans intérêt sylvicole. L'augmentation des risques (sanitaires et feux) sera rapide. L'impact en a été mesuré après les tempêtes de 1999 partout où les nettoiements, puis la reconstitution, n'ont pas été faits. Par ailleurs, dans le sud de la France, des étés comme celui de 2003 ont entamé des enrésinements installés en basse altitude (Alpes-Maritimes, Aveyron, Tarn).

Les grands réseaux scientifiques forestiers (IFN, DSF, RENECOFOR) alimentent des indicateurs de risques objectifs

Il est nécessaire de suivre et de comprendre les modalités de ces bouleversements écologiques au travers d'un faisceau d'indicateurs de risques : ils sont seuls capables de renseigner sur l'évolution de l'activité chlorophyllienne, l'apparition de trouées de dépérissement du fait de maladies ou de parasites. Dans cette situation, l'adaptation aux milieux naturels du futur sera assistée : la politique forestière devra choisir entre le maintien d'un état boisé et l'investissement forestier classique à la production.

L'extension des friches et broussailles, même plus ou moins boisées, ne génère pas des forêts aménagées ou aménageables

L'augmentation désordonnée des risques naturels menace l'état boisé sur un pourcentage croissant du territoire. En marge des indicateurs de végétation, la nuisance des aléas est étroitement liée au mode d'occupation des sols. La déprise agricole et l'extension désordonnée des agglomérations en constituent deux menaces bien installées.

Dans les régions non méridionales, les outils de prévention d'incendies du futur ne peuvent être ni conçus, ni pré-positionnés longtemps à l'avance

Il est utopique d'anticiper la carte des futures isothermes et d'en déduire des choix géographiques de prévention pré-datés... Nous proposons d'inverser le raisonnement avec la rédaction de modèles de prévention de série, prêts à servir et gradués sur des échelles de risque. Chaque territoire grignoté par les séquelles climatiques pourrait alors se composer un menu « prévention » sur mesure au bon moment. Comme cela, il n'y aura ni mesures intempestives ou anticipées, ni gaspillage d'argent investi pour rien... Les modèles de prévention des risques naturels ne seraient pas anticipés sur des lignes de réchauffement imaginaires. Installés plus ou moins prématurément en fonction de leur complexité, ils valoriseraient les données réelles de nos indicateurs d'environnement.

Un pavé dans la mare ?

Dans une tribune du 24 mai 2010 intitulée « *Le droit au doute* » et publiée dans le quotidien *Le Monde*, Claude Allègre a écrit : « Le comportement de deux facteurs essentiels du climat : les nuages et l'océan, reste incompris. D'ailleurs, ces modèles numériques sont désormais mis en échec par les faits. Contrairement à leurs prédictions, la température du globe n'augmente plus depuis dix ans et même baisse légèrement ! Cet arrêt du réchauffement, nié par personne, a d'ailleurs conduit toute une série de climatologues dûment adoués à affirmer que les modèles actuels devaient être radicalement revus. Je cite Mojib Latif, de l'Institut Leibniz en Allemagne, Jochem Marotke, directeur de l'Institut météorologique Max Planck de Hambourg, Don Easterbrook de l'Université de Washington, Kevin Trenberth, Judith Curry et bien d'autres. Laisser croire que l'on a compris les mécanismes du climat et qu'on peut en prédire l'avenir est une illusion présomptueuse ».

Ce constat est partagé outre-Rhin par le météorologue et mathématicien Hans von Storch, qui travaille sur les modèles du Max-Planck-Institut à Hambourg. Lors d'un entretien recueilli par l'hebdomadaire *Der Spiegel*, le savant déclare que les températures n'augmentent plus depuis quinze ans. Si le réchauffement global devait prolonger sa pause cinq années de plus, c'est qu'une erreur fondamentale fausserait nos modèles et que les prévisions devraient être revues (« *Wir stehen vor einem Rätsel/Une énigme à résoudre* », cf. *Der Spiegel* du 17 juin 2013). L'entretien a soulevé une grande émotion parmi les lecteurs, comme en attestent les commentaires recueillis (traduits en français par l'auteur). Von Storch ne trouve actuellement aucune explication crédible à cette pause. Les simulations ne révèlent presque jamais des durées de pause aussi longues, ce qui est d'autant plus étonnant que les dégagements de CO₂ sont toujours aussi puissants. Si la situation se prolongeait au-delà de vingt ans (ce que les modèles n'ont

pas anticipé), il faudrait « rechercher une erreur fondamentale ». Nous avons peut-être surévalué l'impact des rejets de CO₂ sur l'élévation des températures, ou sous-estimé l'impact des oscillations climatiques naturelles sur notre système, à moins que les océans profonds aient capté plus de chaleur que nous le pensions, ce que révèlent des augmentations de températures en eaux profondes, au-dessous de 700 mètres. De toute façon, l'augmentation des températures en océans profonds et l'accumulation de CO₂ en haute atmosphère restent des sujets de préoccupation particulièrement graves.

Livrons enfin les commentaires suivants, traduits de l'allemand par J.G., et qui ont suivi la remise du rapport du GIEC (groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), en septembre 2013 : « Les discussions qui entourent la remise du rapport GIEC illustrent le souci des délégués allemands de minimiser toute pause du réchauffement général. On devrait simplement mentionner le ralentissement de l'élévation des températures, une formulation qui ne reflète toutefois pas exactement les révélations de la science. Le physicien J. Marotzke, responsable scientifique du programme climatique allemand, promet une intervention frontale à Stockholm. Le GIEC ne peut pas évacuer purement et simplement une prise de position sur cette stagnation des températures renchérit-il. Marotzke soutient qu'une stagnation trentenaire des températures n'a aucune signification scientifique, car ce laps de trente ans est artificiellement sorti du contexte général. Beaucoup de phénomènes climatiques reviennent à des rythmes plus courts, d'autres plus longs. Les savants ne sont pas à la botte de l'opinion mais ils doivent la vérité, ce qui les oblige à rendre clairement compte des incertitudes de leurs prévisions ».

Les indicateurs du changement d'environnement : nature et exploitation

Les facteurs constitutifs d'un risque naturel doivent être identifiés, étalonnés et cartographiés. Leur synthèse repose sur un croisement de critères liés au climat, à la topographie, à la végétation, au retour d'expérience et au mode d'occupation des sols (pratiques agronomiques et sylviculture, organisation de l'urbanisme et de sa desserte). Le changement de climat, les catastrophes naturelles et la pression humaine modifient ces synthèses en permanence ce qui explique la fragilité de la cartographie des risques pour la nature. Le repérage et le suivi des indicateurs permettent une actualisation des dispositifs de prévention et d'anticipation.

L'Indice Forêt Météo (IFM)

C'est un indicateur fiable et très utilisé pour décrire l'état de la végétation dans son milieu naturel. L'archivage des résultats est possible sur de longues périodes et pour des régions aussi disparates que le Midi de la France ou le Québec, qui en est à l'origine. La rigueur des résultats rend cet indice incontournable pour comprendre l'évolution des risques d'incendies de végétation.

Les calculs de chaque point d'IFM s'effectuent sur trois étages :

- L'indice de l'horizon superficiel du sol et de sa couverture en combustibles légers. Il mémorise les précipitations récentes, l'humidité relative de l'air, la vitesse du vent et la température. Sa valeur reflète le degré d'inflammabilité.
- L'indice de l'humus, lié à la teneur en eau de la couche organique est sensible aux pluies, à l'humidité relative et à la température.
- L'indice de sécheresse est représentatif des couches plus profondes, il est sensible aux pluies et températures.

On y intègre ensuite la vitesse du vent et un indice de combustibilité disponible. Le croisement de ces données donne l'indice final IFM. Les valeurs courantes de l'IFM se situent entre 0 et 40.

Les résultats archivés sur le territoire français donnent une très bonne idée des conditions subies par la

végétation au fil des saisons. La valeur moyenne de l'IFM a progressé de 18% (19,6 pour les étés) entre les périodes 1961-1980 et 1982-2008. Le nombre de jours d'indices forts, supérieurs à 20, a augmenté de 10 à 25 en secteur ligérien et de 50 en région méditerranéenne. Mais cette évolution ne traduit pas une augmentation des surfaces brûlées sauf pour les années catastrophiques de 1989-90 et 2003. Les politiques publiques de prévention et de lutte semblent efficaces, surtout lors des cycles climatiques d'intensité moyenne.

Il est traditionnel d'imputer les bons résultats à la politique de prévention initiée depuis 1987, à quelques brèves années de rémission et... à la chance. En période rouge, la saturation des moyens de lutte fait basculer les bilans car aucun département français ne paraît en mesure d'assumer plus de deux grands incendies simultanés (Fig. 1).

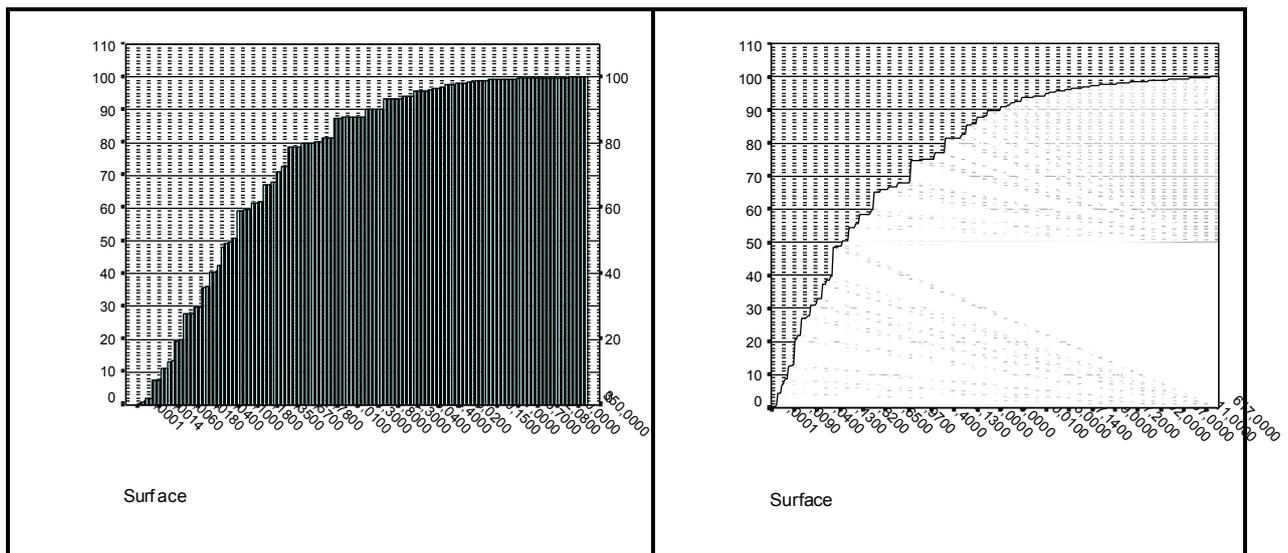


Fig. 1 : Fonction de répartition de la variable « Surface brûlée » lorsque la surface à l'attaque est inférieure à 1 ha et que le délai d'intervention est inférieur à 10 min (à gauche) et lorsque la surface à l'attaque est supérieure à 1 ha ou le délai d'intervention supérieur à 10 min (à droite).

Une étude particulière de ces feux a effectivement montré que pour 99% d'entre eux, la surface brûlée est inférieure à 17 ha tandis que pour 99% des feux ne remplissant pas ces conditions, la surface brûlée est inférieure à 193 ha : les deux diagrammes sont de formes sensiblement identiques mais se distinguent par la graduation de l'axe des abscisses.

Le suivi du changement de climat reposait sur deux variables fondamentales, la teneur de l'atmosphère en gaz carbonique et l'évolution des températures moyennes, dont les valeurs ont semblé corrélées sur plusieurs décennies. Nous constatons depuis quelques années que ces données se désolidarisent comme le soulignent, avec d'autres chercheurs, C. Allègre et H. von Storch. L'équation à deux variables était-elle simpliste ? Mais-saurions nous démêler l'injection d'autres variables complexes comme les températures des océans, la topographie continentale, les grands défrichements forestiers, la capture du gaz carbonique par la végétation et son stockage dans le bois sur pied ou charpenté ?

D'autres indices peuvent être présentés dont les mesures pourraient être rapprochées de l'effet de serre.

Le taux de boisement : un indicateur attrayant mais ambigu

Exprimé très simplement en hectares, cet indice évolue lentement mais en permanence, puisque la surface forestière brute est passée en métropole de 9,9 à 15,6 millions d'hectares sur un siècle. Ces chiffres recouvrent pourtant des situations incomparables.

En zone forestière dense, la présence de très grands massifs modifierait légèrement leur environnement climatique : cette perception ne serait perceptible qu'à partir de plusieurs milliers, voire dizaines de milliers d'hectares, ce qui reste néanmoins difficile à évaluer, tant en matière d'évaporation que de ruissellement des eaux sauvages. L'évapotranspiration consomme beaucoup d'énergie calorifique, ce qui abaisse un peu la température au-dessus des cimes. Lorsque l'air est presque saturé d'humidité relative, le point de rosée peut être atteint plus vite qu'en milieu déboisé. L'auteur a vécu les grands défrichements de la Champagne crayeuse entre 1960 et 1980 (Marne et Aube septentrionale). Les services forestiers, qui ne purent sauver que les camps militaires, auraient aimé évaluer l'incidence de ces arrachages sur la pluviométrie annuelle (moins de 600 mm) et sur le lessivage des sols. Malgré un acharnement méritoire, aucune étude scientifique ne fut concluante sous la pression céréalière.

La comparaison des cycles de l'eau entre régions très boisées ou déboisées reste d'autant plus subjective que les très grands massifs forestiers ont souvent été cantonnés dans des régions excentrées, accidentées et difficiles à cultiver. Or, il pleut préférentiellement en montagne et ce serait plutôt le facteur « relief » qui réglerait l'hygrométrie, la couverture des arbres ne jouant qu'un rôle secondaire. En revanche, le régime des eaux ruisselées dépend étroitement de la couverture forestière et même des modèles de sylviculture pratiqués. Les indicateurs devront être affinés et simplifiés pour être en mesure de renseigner sur les données climatiques et hydrologiques dans leurs relations avec le milieu boisé.

Les conséquences de l'extension forestière sont beaucoup plus graves en contexte de désertification agricole et de ses conséquences sur l'embroussaillage (voir l'histoire des grands reboisements ; J. Grellu, 2011). La déprise agricole est une autre histoire au terme de laquelle la petite agriculture de montagne disparaît faute de rentabilité. Une série de cartes IGN schématisant l'évolution des taux de boisements entre 1908 et 1997 a été proposée (cf. Inventaire Forestier National, 2013). Ces taux augmentent fortement dans les massifs montagneux du quart Sud-Est de la France où ils additionnent les forêts traditionnelles, les grands reboisements et les friches agricoles abandonnées et passées à l'état de landes plus ou moins boisées et non entretenues. Une des cartes précédentes montre l'évolution de la superficie forestière entre 1981 et 2009, très forte en Languedoc-Roussillon, Provence et sud du Massif central où la désertification a commencé très tôt avec l'envahissement du pin en Margeride, Causse Méjean et Ardèche. A contrario, nous visionnons très bien la position des sites de la Champagne crayeuse défrichés entre 1960 et 1980.

Le processus de désertification a été étudié à la demande de l'administration forestière en région méditerranéenne, qui s'est attachée à comprendre l'évolution de ce que nous appelons la biomasse.

Les indicateurs de biomasse culturale et de biomasse naturelle

La *biomasse culturale* accompagne une gestion forestière. C'est une production qui s'ajoute automatiquement aux opérations de coupes forestières et aux travaux sylvicoles pratiqués en forêt ou dans les parcs boisés. La *biomasse naturelle*, spontanée, est activée en absence ou par carence d'intervention humaine. Ses territoires de prédilection se concentrent dans les zones de déprise agricole, en périphérie des agglomérations et, plus généralement, partout où la société ne valorise plus les espaces ruraux.

Une étude de l'extension spatiale des friches méditerranéennes fut commandée en 1998 à l'Inventaire Forestier National (IFN) grâce aux moyens dégagés par le Conservatoire de la Forêt méditerranéenne. L'analyse a été conduite sur quatre sites, tous affectés par une forte déprise agricole : canton de Banon dans les Alpes-de-Haute-Provence (14 400 ha), communes d'Entrecasteaux (8 600 ha) et de Solliès-Pont (9 900 ha) dans le Var, et site du Boulou dans les Pyrénées-Orientales (11 700 ha) où la déprise agricole était partiellement suivie d'une extension urbaine. La méthode a reposé sur la comparaison des couvertures photographiques aériennes espacées de 16 ans pour les Alpes-de-Haute-Provence, 15 ans dans le Var et 10 ans dans les Pyrénées-Orientales.

L'interprétation de la transformation des parcelles fournit la clef du passage des friches agricoles à tous les stades de leur évolution vers la forêt sauvage fermée, ainsi qu'une durée moyenne de cette mutation, plus rapide qu'on ne l'imaginait. Une productivité ligneuse se dessine de façon assez précoce, dès l'apparition sur les landes d'un couvert formé au minimum de 10% de ligneux à forme forestière et d'au moins 25% de matériel ligneux bas. L'IFN prend en compte cet accroissement, qui n'est presque jamais exploité dans la réalité.

Une étude réalisée pour la Délégation pour la Protection de la Forêt Méditerranéenne (cf. IFN, 1994) recensait 2 876 000 ha de *forêts* et 2 691 000 ha d'*espaces naturels combustibles (ENC)*, cette dernière catégorie regroupant à la fois les landes (majoritaires), les terrains rocheux incultes, les garrigues et les maquis bas ainsi que les parcelles en début de boisement naturel. Selon les données de l'IFN, la surface boisée a augmenté de 378 000 ha entre les 2^e et 3^e séries d'inventaires. Dans ce laps de temps évalué à 12 ans, l'extension forestière ressort à 30 000 ha par an, soit un taux d'augmentation annuel légèrement supérieur à un point. Dans la même période, 253 000 ha de landes ont « disparu » et sont passées à l'état de forêts claires, une formation naturelle que la Zone de Défense classe plutôt dans les ENC. L'étude de l'IFN, consacrée aux quatre pays en désertification rurale, oriente ses conclusions vers un taux de passage comparable. Le transit continu des landes vers un état forestier de plus en plus fermé suit donc un rythme régulier de sorte que la surface des ENC reste constante dans le temps, mais son contour se modifie sans cesse. Les terres abandonnées évoluent en nouvelles friches pendant que les landes classées en ENC se chargent d'arbustes pionniers pour être comptabilisées en forêts par simple comptabilité statistique. La migration continue des friches vers des forêts non aménagées ne tarira pas aussi longtemps que se maintiendra la déprise agricole.

Indicateurs d'étiages et de crues

Les modèles relatifs aux précipitations sont liés aux pressions qui règnent sur l'océan, à la confrontation de masses d'air de températures et de taux d'humidité différents, à l'aérogologie et à la topographie des zones au vent. Les modèles d'anticipation dressés par saison ne peuvent livrer que des tendances : encore faut-il distinguer entre les quantités d'eaux « utiles » à la végétation, les eaux simplement ruisse-lées qui alimentent les bassins versants et au-delà, les débits de crues. A l'inverse, l'évaluation des débits d'étiage présente beaucoup d'intérêt en prévision d'une raréfaction de l'eau consommable, toujours plus sollicitée. Ces études sont complexes et nous ne sommes guère surpris d'en prendre connaissance dans le « Plan Loire » qui a livré énormément d'informations sur le comportement de ce dernier fleuve sauvage européen.

Ce magnifique bassin est porteur d'indices précieux pour notre environnement. Les changements de climat ont des effets directs sur l'hydrologie notamment sur les débits d'étiages extrêmes, trop dépendants des activités humaines qui perturbent le signal hydrologique naturel. C'est particulièrement visible dans les hauts sous-bassins de la Loire à Bas-en-Basset, à Chadrac et de l'Allier à Vieille-Brioude qui livrent des anomalies par rapport au temps présent simulé. Au terme de ces recherches, les trois hauts bassins subiraient au milieu du XXI^e siècle un décalage de la saison des extrêmes vers l'hiver avec une baisse des débits d'automne (ICC-HYDROQUAL, 2010).

Allongement de la saison de végétation et teneur de l'air en dioxyde de carbone

Le réseau RENECOFOR (ONF) conserve la mémoire des cycles de végétation et de leurs données phénologiques. Les forestiers croient souvent que l'augmentation de la teneur en CO₂ et que l'allongement de la durée annuelle de végétation activent la production forestière. Il sera très difficile d'évaluer cette stimulation de l'accroissement des volumes par le seul fait de la composition chimique de l'air. En conditions de stations forestières identiques, difficiles à repérer, interviennent beaucoup de phénomènes susceptibles de modifier continuellement l'accroissement courant des volumes d'une année sur

l'autre : nombre de tiges à l'hectare et rythme des éclaircies sylvicoles (densité des surfaces terrières), diminution de l'accroissement courant des futaies avec l'âge, stress hydrique ponctuel dont les effets perdurent au-delà d'une seule année sèche, distribution mensuelle de la pluie utile même en année normale...

Cette idée ne peut pas être retenue parce que l'allongement de la saison de croissance des arbres est tiraillé entre des phénomènes contradictoires : gelées tardives qui pénalisent les arbres à développement précoce, jaunissement et défoliations anticipées. Il y aurait aussi des éléments positifs dans ce scénario avec un meilleur stockage des sucres végétaux en fin de saison et un décalage entre les cycles naturels des insectes prédateurs et les pics de sensibilité de la végétation (asynchronisme limitant la pointe des dégâts). Combien de temps mettront ces phénomènes à se réordonner ? Peu d'années sans doute... L'augmentation de la production ligneuse est probable mais très difficile à mesurer objectivement parce que les facteurs de productivité sont plus puissants avec la variabilité des saisons. L'exploitation des données de RENECOFOR révèle des comportements de croissance différents entre chênaies et hêtraies (ONF, 2007).

Le déficit foliaire évalué par des observateurs au maximum de feuillaison (juillet-août) a été suivi par le Département Santé des Forêts (DSF) en 2000 et en 2006. Cet indicateur nous renseigne sur le comportement des arbres au fil des années. Sur les sujets aux cimes peu fournies, le pourcentage des feuilles qui manquent est rapproché de celui des arbres sains voisins de même espèce et vivant dans les mêmes conditions de milieu. Le DSF s'efforce d'identifier les causes de ce déficit foliaire (chenilles, pathogènes, pollutions atmosphériques, gelées tardives...). Un arbre est considéré comme endommagé si son déficit foliaire excède 25% (DSF, 2009).

Des mesures scientifiques très récentes semblent d'ailleurs prouver que la végétation et les feuilles gèrent étroitement l'évaporation de l'eau et la fixation du dioxyde de carbone. « Lorsque la concentration de dioxyde de carbone augmente dans l'atmosphère, les plantes ferment partiellement leurs stomates afin de maintenir la concentration de dioxyde de carbone sensiblement constante à l'intérieur des feuilles... L'augmentation de l'efficacité d'utilisation de l'eau des forêts observées dans l'étude est plus élevée que ce qui était prévu par les études théoriques et les modèles actuels. Avec l'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau, les plantes peuvent subsister avec moins d'eau malgré l'augmentation de la photosynthèse » (Keenan *et al.*, 2013).

Variations du climat et de la flore : impact des catastrophes naturelles et effets sanitaires

La *réponse de la végétation aux changements de climat* s'exprime au travers des termes de « résistance », « adaptation » et « résilience ». Je ne peux résister au plaisir de citer ces quelques lignes inédites du Professeur Georges Valdeyron (qui fut mon maître entre 1962 et 1966 à l'Institut National Agronomique de Paris), décédé le 3 septembre 2013 :

« Nous n'acclimatons pas...écrit Flahault en 1928, dans un bilan de son œuvre à l'Aigoual, nous ne réussissons à introduire un végétal d'un pays dans un autre que s'il trouve, dans ce pays nouveau pour lui, un ensemble de conditions de climat et de sol identiques à celles de son pays d'origine, ou très peu différent ».

J'ai raconté comment, cinq ans après, il me disait - et j'imagine qu'il le disait à d'autres, de préférence jeunes et portés, comme moi, à s'amuser de ce qui, surtout en matière de cette évolution qui faisait si volontiers descendre l'homme du singe, pouvait passer pour un paradoxe, voire un mot d'esprit - que, non plus l'acclimatation mais l'adaptation « n'existe pas ».

Il définissait l'adaptation non comme une situation -- par exemple dans la phrase : « le sapin pectiné est une essence adaptée à la France » -- mais comme un processus, une aventure, comme dans le verbe « s'adapter », à une situation plus ou moins confortable, à la température, au mal de mer. En ce sens, il présentait bien la réalité qui nous recouvre maintenant, qui est que l'organisme, en effet, ne s'adapte

pas, qu'il est ou non adapté - depuis longtemps, depuis plusieurs générations, depuis que tel Service Public a été mis en place... Il avait déjà commencé à compléter les facteurs écologiques qu'il prenait en compte en ajoutant le sol au climat. Il en aurait sans doute ajouté beaucoup d'autres, y compris les modes d'association de la forêt à l'homme et aux autres organismes - dont les prédateurs et les maladies. Finalement, il aurait, je crois, reformulé ses conclusions en disant que, « pour qu'une introduction réussisse, il faut et il suffit que l'organisme - en général - ait à satisfaire, dans le lieu d'origine comme dans le lieu d'accueil, le même minimum de contraintes, autrement dit qu'il y soit accueilli par la même niche écologique ».

Les modèles météorologiques qui prévalaient avant la pause thermique que nous traversons suggéraient que certaines stations pourraient être déplacées de 100-200 kilomètres au cours de ce siècle alors que la capacité de mobilité des espèces constitutives, livrées à elles-mêmes, ne dépasserait pas quelques kilomètres, à moins que celles-ci, marginalisées en îlots endémiques, ne finissent par s'éteindre sur place. Les conséquences sont déjà visibles avec le dépérissement d'espèces résineuses introduites en moyenne altitude (Tarn, Aveyron) ou indigènes comme le chêne pubescent en Provence. Nous craignons que l'absence d'une sylviculture alternative, *soutien au repositionnement écologique des espèces forestières*, favorise la multiplication des taches de dépérissement et leur agrégation par massifs. La sensibilité de ces isolats aux insectes ravageurs et aux maladies entraînerait une forte mortalité suivie d'un embroussaillage général.

Selon le DSF, les observations réalisées sur le terrain ne permettent que de mesurer la croissance courante des essences implantées en limite de leur aire naturelle et de ce fait, plus vulnérables que les autres au changement de climat. Si le nombre de mesures est important, des comparaisons effectuées avec les tables de croissance modélisées pourraient livrer des tendances. Mais la résistance des espèces peut être diversifiée, comme l'a prouvé la « maladie des chênes » observée dans le Centre-Est de la France quelques années après la grande sécheresse de 1976. Après la patiente et vaine recherche d'un insecte prédateur ou d'un pathogène, il s'est avéré que dans les mélanges entre chênes sessiles et pédonculés, les seconds étaient nettement plus dépérissants lorsqu'ils avaient colonisé des versants plus chauds. Le phénomène n'avait été repéré qu'à la fin de la décennie et le rapprochement fut effectué à l'occasion des inventaires forestiers (témoignage de l'auteur en Saône-et-Loire).

L'inventaire forestier, la santé des forêts et le réseau RENECOFOR

Ces trois grilles d'observations sont servies par des agents spécialisés. L'exploitation statistique des milliers de placettes régulièrement visitées livre une masse considérable d'informations sur l'évolution et sur la nature des surfaces boisées, les exploitations commerciales ou autoconsommées, les grandes verses de chablis, l'activité des parasites et l'évolution des maladies, les conditions d'environnement de l'air et de l'eau... L'exploitation des mesures recueillies par échantillonnage est serrée et intelligemment conçue de sorte que les sorties statistiques, lorsqu'elles peuvent être rapprochées des chiffres absolus, s'avèrent exactes à quelques centièmes près.

L'*Inventaire forestier* (IF) a modifié sa méthode d'inventaires en novembre 2004. Avant cette date, le service procédait à la description exhaustive des placettes de plusieurs départements, la couverture totale de la France nécessitant un pas de temps d'une dizaine d'années. La sommation des données rapprochait des données espacées de plusieurs années entre elles. « C'est la raison pour laquelle les levés de terrain sont désormais réalisés par fraction annuelle : chaque année, l'ensemble du territoire français est parcouru par les équipes d'inventaire », selon les rapports d'activités de l'IF. Une seconde réforme a suivi en 2011 avec le regroupement des 309 régions forestières traditionnelles en 86 sylvoécotéorégions (SER) pour encadrer les limites climatiques et pédologiques.

Le *département de la santé des forêts* (DSF) est plus récent (1989). C'est un autre service de l'Etat qui regroupe des correspondants observateurs formés à cet effet parmi les forestiers publics et privés, soit environ 220 au total. Le DSF doit son origine au développement de parasites et de maladies répan-

dues, que les gestionnaires forestiers de terrain n'avaient aucun moyen de circonscrire : cochenille du pin maritime et du hêtre, graphiose de l'orme, chancre du châtaignier, chenilles processionnaires... Le réseau systématique couvre 550 placettes et ne constitue qu'une petite partie de ce dispositif. Les agents y notent la mortalité, les traces d'exploitations forestières, les conséquences d'événements climatiques, les dommages causés par des agents pathogènes ou par des insectes, l'allure des feuilles ou des aiguilles... Le DSF a noté que, statistiquement, un quart des arbres a été ou est victime d'une agression d'ordre climatique ou biologique. Les placettes DSF sont clairement identifiées par des numéros peints alors que les points de l'inventaire forestier sont confidentiels.

Lors du colloque organisé à l'occasion des 20 ans de DSF, le rapporteur a indiqué que sur 314 insectes prédateurs, 12 espèces seulement sont à l'origine de 60% des dégâts en forêt française. Pour ce qui concerne les pathogènes, sur 206 espèces répertoriées, seules 13 d'entre elles sont responsables de 70% des dégâts. Nous avons craint que le changement de climat bouleverse les limites écologiques des principales essences, notamment pour les peuplements naturels ou introduits et installés en limite de leur aire normale. Nous avons écrit que ces déplacements entre stations forestières devaient provoquer des stress et des crises sanitaires, surtout après des événements climatiques forts. Quoi qu'il en soit, ces zones de mortalité seraient majoritairement les victimes d'insectes ou pathogènes classiques (voir Tab. 1 et Tab. 2 : listes des principaux agresseurs ; voir aussi DGAL, 2010, Fig. 2, Fig. 3 et Fig. 4).

Ci-après, le témoignage de Monsieur Jean-Luc Flot, directeur du DSF :

« Je considère que les changements climatiques/globaux constituent un risque très important pour la forêt mais que les phénomènes observés durant les dernières décennies, notamment la succession d'aléas climatiques graves, ne constituent pas obligatoirement et simplement un "bon modèle" des contraintes qui peuvent générer ces changements. Un effort constant est à mener pour essayer de modéliser les probabilités d'évolution en évitant les idées préconçues. Si la modélisation est un exercice délicat, elle doit s'assurer d'une certaine validité et s'appuyer sur une description de l'état initial aussi précise et objective que possible. C'est cette précision et cette objectivité que doivent rechercher les dispositifs de surveillance et de suivi dont fait partie le DSF. Il y a une différence significative entre l'état actuel ressenti et l'état actuel observé ou mesuré. Les raisons en sont multiples, tant biologiques (vieillesse généralisée d'une partie des forêts suite à l'extension forestière et au lancement de la conversion au XIX^e siècle, adaptation incertaine d'un certain nombre d'essences introduites, extension des tassements de sol liés à la mécanisation...) que psychosociologiques (pas de frein au noircissement de la situation forestière, "dépérissement généralisé" , dans la mesure où la cause avancée, "changements climatiques" , exonère le forestier de toute responsabilité ...), et probablement aussi lacunes des dispositifs d'observation ».

Le *réseau RENECOFOR* (réseau national de suivi à long terme des écosystèmes forestiers), rattaché à l'ONF, travaille en partenariat avec de nombreux chercheurs français et européens. Il est possible d'en comprendre les missions grâce aux publications « Rendez-vous techniques » qui relatent certains colloques comme celui qui s'est tenu à Beaune les 9-11 mai 2007. A la différence des deux réseaux précédents, les 102 sites RENECOFOR intègrent des matériels d'observation et de mesures scientifiques, situés en position dominante et non accessibles au public. Le réseau a notamment publié des travaux sur les dépôts atmosphériques humides en France, l'évolution de l'acidité et la dynamique des éléments nutritifs en forêt, le calcul des charges critiques en polluants atmosphériques en France, la contamination des écosystèmes forestiers par les métaux lourds, la compréhension de l'impact de l'ozone sur la forêt et sur la végétation de clairière...

Conclusion

Des changements de climats sont survenus aux époques historiques : imaginez cette fin du XIV^e siècle avec sa petite glaciation aggravée par la Guerre de Cent ans et par la peste venue d'Orient ? Les paysans survivants, ruinés, contraints d'abandonner leurs vignes et leurs vergers gelés... La litanie des catastrophes naturelles a frappé, frappe et frappera encore à coups de tempêtes, séismes, incendies,

inondations et famines. La petite agriculture familiale qui entretenait la ruralité entre les montagnes, les forêts et les clairières ne survit que dans les recoins peu accessibles du monde. Ailleurs, on abandonne les terres dont les récoltes ne se vendent plus, trop chères devant la concurrence d'aliments médiocres sortis de fermes-usines. On défriche pour vivre et pour manger quelques années de plus, sans souci de la terre qui s'érode. On traque les dernières réserves poissonneuses des océans. Quand il ne reste plus rien, les hommes fascinés par le mirage des villes vont gonfler ces mégapoles informes et ingouvernables. C'est là que fermentent les maladies, la misère mentale et morale, la drogue, la faim et les catastrophes naturelles qui taillent dans ces fourmilières humaines.

Faut-il craindre ou relativiser les quelques degrés de température ajoutés par la dérive climatique et par nos rejets industriels insensés ? Il est probable que cela aura une fin. On ne peut pas indéfiniment traquer les dernières réserves naturelles de gaz et de pétrole, les forages sous les calottes glaciaires, les énormes exploitations minières qui éventrent la terre et les abîmes océaniques désormais accessibles au génie du pillage : « A nous ce qui reste sous terre, les générations futures se débrouilleront autrement ». Ces générations seront bien obligées de revenir aux pratiques durables de la terre et de l'eau, à la propreté, au rêve et à l'espoir, avec ou sans réchauffement du climat que nous ne maîtriserons jamais. Non, la nature ne se décrète pas, elle ne se gouverne pas. Il y aura des limites définitives à l'irrigation de tous les déserts, à la construction de tours de Babel toujours plus hautes, à la conquête de la Lune ou de Mars, au farniente et aux magots insensés barricadés dans des îles minuscules.

Dans les lignes qui précèdent, l'auteur est revenu sans cesse sur le rôle apaisant des *indicateurs* du climat, des étages, de l'état de la végétation naturelle et de l'occupation de nos sols. Nous avons besoin de morale, de repères, de traditions, de racines retrouvées, de savoir-faire, de prudence et de prévention des risques. La recherche scientifique est capable de nous dire tout cela et d'aider à vivre quand même, entre glaciations et chaleurs.

Nous écartons de la gamme des indicateurs la fréquence du retour, peut-être accélérée, des catastrophes naturelles. La gravité de ces phénomènes n'est pas due à des dérèglements naturels, mais tout simplement au mode d'occupation de nos sols, qu'ils soient urbanisés en zones inondables, bâtis autour de forêts combustibles, surexploités ou laissés en jachères. Les indicateurs utiles doivent être exploités et poursuivis, même, et surtout, si les tendances révélées ne valident pas nos modèles préventifs. L'indice IFM apparaît particulièrement utile, le taux de boisement est un indicateur attrayant mais ambigu, les indicateurs de biomasse peuvent éclairer les ordres d'opérations stratégiques, les indicateurs d'étiage et de crues sont prometteurs, l'allongement de la durée de végétation et la teneur de l'air en CO₂ restent à travailler. Malgré la valeur de ces outils, il n'existe pas encore de modèle de prévision absolu, ni pour l'occurrence des risques naturels, ni pour l'évolution et la dispersion de la flore, notamment celle des Poaceae, avec pour exemple le cas du *Pennisetum villosum*, déjà bien connu en Languedoc-Roussillon.

Nous retiendrons de ces incertitudes un certain nombre d'axes de recherches et d'actions majeures qu'il semble logique d'imposer aux gestionnaires de la nature :

- Notre politique forestière, au-delà de son modèle économique actuel, devra rétablir l'état boisé remis en cause après chaque crise majeure ;
- La prévention des incendies du futur dans les régions non méridionales ne pourra être ni conçue ni pré-positionnée longtemps à l'avance, vu le degré d'incertitude existant et le coût des mesures nouvelles ;
- Il faut continuer et accentuer l'effort de collecte de données déjà entrepris via l'Inventaire Forestier (IF), le Département de la santé des forêts (DSF) et le réseau national de suivi des écosystèmes forestiers (RENECOFOR) ;
- Nous avons besoin de revoir la mission d'entretien du territoire rural quand celle-ci s'abandonne aux friches combustibles, tirer les conséquences des plages de pollution initiées par de mauvaises pratiques

industrielles ou agricoles, valider et intensifier une politique d'urbanisme moins gaspilleuse d'espace et génératrice de risques dont la correction commence à peine.

Références bibliographiques

- Assises de la forêt, 2008. *Plan d'action : évaluation de l'extension potentielle future des zones à risque d'incendie de forêt et des questions nouvelles qui se posent en matière de prévention de ces risques en forêt*. Grenelle de l'Environnement, Paris, 2008.
- Projet CARBOFOR, 2001. *Séquestration du carbone*. Ministère de l'Ecologie, Paris, 2001.
- Conseil Général de Saône-et-Loire, 2006. *Quel climat, quelle forêt pour l'an 2100 ?* Actes du colloque organisé dans le cadre du salon EUROFOREST. Galerie européenne de la Forêt et du Bois, Dompierre-les-Ormes (Saône- et- Loire), 2006.
- Chevassus-au-Louis B., 2009. *Approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes*. Paris, 2009.
- Déqué M., 1999. *Modélisation numérique des impacts climatiques*. Météofrance, Centre National de Recherches Météorologiques, 1999.
- Département Santé des Forêts (Ministère de l'agriculture), 2009. *20 ans d'évolution du paysage sylvo-sanitaire*. Colloque, Beaune, 10-11 mars 2009.
- DGAL, 2010. *Dispositif national de surveillance de la santé des forêts*. Note de Service, Paris, 27 avril 2010.
- Grelu J., 2011. Entre landes et forêts... les grands reboisements : 17-35. In : SHHNH. *La forêt méditerranéenne dans tous ses états*, Actes des Rencontres du Cent cinquantième de la SHHNH. Montpellier et Saint-Pons-de-Thomières (Hérault), 21 et 22 octobre 2010.
- ICC-HYDROQUAL, 2010. *Impact du Changement Climatique sur l'hydrosystème Loire : HYDROlogie, Régime thermique, QUALité des eaux*. Action 1 : Evolution hydroclimatique de la Loire et de ses affluents sous changement climatique. Rapport final, novembre 2010.
- IMFREX, 2002. *Fréquence des phénomènes extrêmes*. Rapport, GIP-ECOFOR, 2002.
- Info DFCI, 2005. *Impacts de la sécheresse de 2003 en région méditerranéenne*. Info DFCI n° 55, Aix-en- Provence, 2005.
- Inventaire Forestier National, 1994. Etude de l'extension spatiale des friches méditerranéennes sensibles aux incendies de forêts basée sur l'utilisation des photos aériennes. Rapport au MAP et à la Délégation à la Protection de la Forêt méditerranéenne (DPFM), Inventaire Forestier National, Nogent-sur- Vernisson (www.ifn.fr), 1994.
- Inventaire Forestier National, 2007. *Dépérissement et mortalité en forêt* . IF (IGN Magazine) n°16, Nogent-sur-Vernisson , 2007.
- Inventaire Forestier National, 2013. *Un siècle d'expansion des forêts françaises*. IF (IGN Magazine) n°31, Nogent-sur-Vernisson, 2013.
- IMFREX, 2002. *Fréquence des phénomènes extrêmes*. Rapport, GIP-ECOFOR, 2002.
- Info DFCI, 2005. *Impacts de la sécheresse de 2003 en région méditerranéenne*. Info DFCI n° 55, Aix-en- Provence, 2005.
- Keeling C., 2013. *Depuis 50 ans, des appareils positionnés à Hawaii enregistrent rigoureusement la teneur en gaz carbonique de l'atmosphère* . Earth system research laboratory, 1960-2013.
- Keenan T.F., Hollinger D.Y., Bohrer G., Dragoni D., Munger J.W., Schmid H.P. & Richardson A.D., 2013. *Increase in forest water-use efficiency as atmospheric carbon dioxide concentrations rise*. Department of Organismic and Evolutionary Biology, Harvard University, Cambridge, Massachusetts 02138 (USA), Nature 2013 July 18.
- Office National des Forêts-RENECOFOR, 2007. *Quinze ans de suivi des écosystèmes forestiers : résultats, acquis et perspectives de RENECOFOR* . Actes de Colloque, Rendez-vous techniques hors série n° 4, Beaune, 2007.
- Peyron J.-L., 2008. *Changement climatique attendu et scénarios possibles pour la sylviculture en Europe*, Action COST européenne « ECHOES », Projet encadré, Union européenne.

Rigolot E., 2012. *Modèles de survie spécifiques à certaines espèces forestières*. Table ronde au *Sylvetum* de Clos Gaillard Nîmes, INRA, avril 2012.

Roman-Amat B., 2007. *Préparer les forêts françaises au changement climatique*. Rapport, décembre 2007.

Sauvagnargues S., Bertrand E., Bozabalian J.-J., Cabane E., Coste N., Duché Y., Giroud F., Grellu J., Jappiot M., Lampin-Maillet C., Picard C., Poppi J.-C., Prodon R. & Taton T., 2012. *Incendies de forêts, défis et perspectives*. Hermès Science/Lavoisier, Alès.

1	<i>Anaplophora chinensis</i>	Capricorne asiatique	Non passé dans les forêts d'Europe	récent
2	<i>Bursaphelenus xylophilus</i>	Nématode du pin	Vecteur : <i>Monochamus galloprovincialis</i>	récent
3	<i>Dendroctonus micans</i>	Dendroctone ou hylésine géant	Extension sur épicéa, Massif central, sur sujets 40/80 ans Régulé par son prédateur	Eur-asiatique
4	<i>Diprion pini</i>	Lophyre du pin sylvestre	Défoliations, marginalisation après plusieurs décennies	
5	<i>Dryocosmus kuriphilus</i>	Cynips du châtaignier	Extension rapide suivie par DSF	récent
6	<i>Ips typographus</i>	Epicéas et résineux voisins	Mort rapide des arbres et dégâts technologiques	
7	<i>Ips sexdentatus</i>	Sténographe des pins affaiblis	Parasite de faiblesse après chablis, gels, sécheresses	
8	<i>Operophtera brumata</i>	Phalène	Chenille arpeuteuse des essences feuillues, les arbres cohabitent avec ce défoliateur	Récent (Canada)
9	<i>Matsucoccus feytaudi</i>	Cochenille des pins maritimes	Certains taxons sensibles (Var, Corse). Mort par parasites secondaires hylésine, pissodes	Cévennes indemnes
10	<i>Lymantria dispar</i>	Bombyx disparate	Chênes	
11	<i>Pissodes notatus</i>	Pissode du pin	Pins affaiblis ou plantations	
12	<i>Pissodes piceae</i>	Charançon du sapin	Actif sur chablis après graves perturbations climatiques	
13	<i>Thaumetopoea pityocampa</i>	Chenille processionnaire	Pins et cèdres Réseau de surveillance	
14	<i>Thaumetopoea processionnea</i>	Chenille processionnaire des chênes	Défoliateur des chênes en moitié nord, poils urticants	
15 et 16	<i>Tomicus piniperda</i> (N et SW) <i>destruens</i> (médit.)	Hylésine des pins	Galeriers médullaires dans les pousses et branches	
17	<i>Tortrix viridana</i>	Tordeuse du chêne	Anomalies au débourrement	

Tab.1 : Sélection de 17 insectes et prédateurs qui réalisent les deux tiers des dégâts (d'après DSF, 2009).

1	<i>Armillaria mellea</i> , basidiomycète	Armillaires ou maladies du «rond »	Toutes espèces en stations difficiles
2	<i>Chalara fraxinea</i>	Chalarose du frêne	Récent, champignon et Pseudomonas
3	<i>Cryphonectria parasitica</i> , ascomycète	Endothiose du châtaignier	Branches et cimes desséchées
4	<i>Ceratocystis ulmi</i> , <i>Graphium ulmi</i> et <i>Ophiostoma novo ulmi</i>	Graphiose des ormes et formes dérivées	2 scolytes vecteurs l'INRA travaille sur formes résistantes
5	<i>Dothistroma septospora</i> , ascomycète	Maladie des bandes rouges des pins	Coloration des aiguilles de l'année
6	<i>Heterobasidion annosum</i> , basidiomycète	« Fomes », maladie du « rond » des pins	Mortel sur pins pourriture rouge sur les autres espèces
7	<i>Melampsora larici-populina</i> , basidiomycète	Rouille des peupliers	défoliations
8	<i>Melampsora pini-torqua</i>	Rouille courbeuse du pin maritime	
9	<i>Melampsora medusae</i>	Rouille des <i>P. balsamifera</i>	Am. du nord
10	<i>Marssonina brunnea</i> , ascomycète	Brunissure des peupliers	défoliations
11	<i>Microsphaera alphitoides</i> <i>Erysiphe alphitoides</i>	Oïdium du chêne	Dessèchement des feuilles
12	<i>Phaeocryptopus gaeumannii</i> <i>Rhabdocline pseudotsugae</i> , ascomycète	« Rouilles suisses » formes variables en extension mondiale	Brunissement des aiguilles ou colorations diverses
13	<i>Sphaeropsis sapinea</i> , <i>Diplodia pinea</i>	Pathogène du « bleuissement » rameaux et pousses malades	
14	<i>Phytophthora ramorum</i>	Champignon « nouveau » sur feuillus, mélèzes du Japon... exsudations, mortalité	A craindre venu d'Asie, itinéraire ?
15	<i>Ceratocystis fagacearum</i>	<i>Oak wilt</i> , le vecteur est un insecte « nitidulids »	A craindre, lethal disease of oaks (US)
16	<i>Fungus fusarium</i> ou <i>Fusarium circinatum</i>	<i>Pitch canker</i> sur <i>Pinus radiata</i>	dégâts spectaculaires sur grosses branches US et NZ

Tab. 2 : Sélection de 16 maladies qui réalisent 70% des dégâts (d'après DSF, 2009).
L'extension potentielle est indiquée par un entourage plus épais.

Fig. 2 : Quelques exemples locaux de plantes invasives. Ces plantes ont été observées par l'auteur dans une pinède de Langlade (Gard) (photos J.G.).



A : *Artemisia verlotiorum* Lamotte.



B : *Conyza sermatrensis* Retz.



C : *Kerneria bipinnata* G.G.

Fig. 3 : Menaces sur les frênes. Symptômes de dépérissement des frênes dans l'île de Port-Marly (Yvelines) (photos J.G.).



A : Dépérissement dû à *Chalara fraxinea*



B : Chancre à *Nectria* sp. (ascomycète)



C : Chancre à *Pseudomonas* sp.

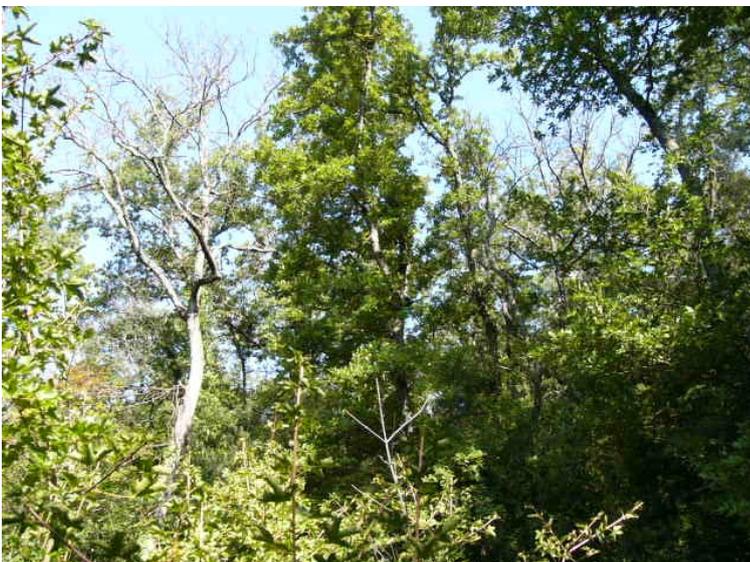


Fig. 4 : Chênes dépérissants en forêt de Valbonne (Gard) (photo J.G.).

Sommaire

Le mot du président	3
Deux cents ans de géologie à travers les paysages languedociens autour du Pic Saint-Loup - M. Seranne	4
Psathyrelles en milieux sableux méditerranéens - M. Broussal	20
Second complément à l'inventaire des rotifères et des microcrustacés de L'Hérault - G. Balvay	27
<i>Maculina alcon</i> (Denis & Schiffermüller, 1775) (Insecta, Lepidoptera), nouvelle espèce du département de l'Hérault - A. Rondeau	34
Les stomoxes (Diptera : Muscidae) : quelques rappels, nouvelles données et nouvelle méthode de lutte - G. Duvallet	36
Des coléoptères remarquables inventoriés à la lisière d'un bois de vieux chênes verts près de Montpellier (Hérault) - M. & G. Debussche.....	47
Compte-rendu de la sortie botanique du 25 mars 2012 dans le massif de la Gardiole (34) - F. Andrieu	56
Les cyclamens en France : espèces spontanées, espèces naturalisées, espèces susceptibles de s'installer dans un jardin méditerranéen - M. Debussche	65
Nouvelle systématique et biogéographie du genre <i>Olea</i> L. (<i>Oleaceae</i>) - R. Gimilio	74
Chez l'olivier la production de fruits dépend du système d'auto-incompatibilité avec dominance entre les allèles- <i>S</i> : faut-il réorganiser les vergers ? - C. Breton & A. Bervillé	87
Fougères et parfumerie - F. Fons, D. Froissard, J.M. Bessière, A. Fruchier, B. Buatois & S. Rapior	96
La nature ne se décrète pas - J. Grelu	109

