



# Approche éco-anatomique du bois de vigne (*Vitis vinifera* L.) pour une meilleure connaissance de l'histoire de la viticulture en Méditerranée nord-occidentale

Bertrand Limier

## ► To cite this version:

Bertrand Limier. Approche éco-anatomique du bois de vigne (*Vitis vinifera* L.) pour une meilleure connaissance de l'histoire de la viticulture en Méditerranée nord-occidentale. Sciences de l'environnement. 2018. hal-01912697

**HAL Id: hal-01912697**

**<https://ephe.hal.science/hal-01912697>**

Submitted on 5 Nov 2018

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

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

**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE**

**ÉCOLE PRATIQUE DES HAUTES ÉTUDES**

**Sciences de la Vie et de la Terre**

**MÉMOIRE**

**présenté**

**par**

**LIMIER Bertrand**

**pour l'obtention du diplôme de l'École Pratique des Hautes Études**

**TITRE : « Approche éco-anatomique du bois de vigne (*Vitis vinifera* L.) pour une meilleure connaissance de l'histoire de la viticulture en Méditerranée nord-occidentale ».**

**soutenu le 23 Mai 2016 devant le jury suivant :**

**Sophie Montuire (DE - EPHE, UMR Biogéosciences, Dijon) – Présidente**  
**Jean-Frédéric Terral (PR - Université de Montpellier, UMR ISEM) – Tuteur scientifique**  
**Laurent Brémond (MC - EPHE, UMR ISEM, Montpellier) – Tuteur pédagogique**  
**Véronique Zech-Matterne (CR - CNRS, UMR AASPE, Paris) – Rapporteur**  
**Thierry Lacombe (IR – INRA, UMR AGAP, Montpellier) – Examineur**

**Mémoire préparé sous la direction de :**

**Jean-Frédéric Terral**  
**Laboratoire de : Institut des Sciences de l'Evolution de Montpellier**  
**Directrice : Agnès Mignot (PR, Université Montpellier)**

**et de**

**Laurent Brémond**  
**Laboratoire : Paléoenvironnement et Chronoécologie**  
**Directrice : Christelle Hély-Alleaume (DE-EPHE)**



**à Perrine et Florian .....**

*Il est assez aisé de montrer que l'on sait à ceux qui ne savent pas.*

*Mais lorsque c'est à ceux qui savent, c'est une toute autre histoire... (réflexion personnelle)*

**Pantagruel estime « qu'il n'est pas breuvage meilleur que le vin pour  
être en sang transmué, vous espanouir le cerveau, esbaudir  
les esprits amicaux, ouvrir l'appetit, resjouir le palais  
et mille autres rares avantages » (Rabelais)**

**Pris en quantité modérée, le vin est la plus saine et  
la plus hygiénique des boissons (Louis Pasteur)**

**J'aime le vin d'ici mais pas l'eau de là (Pierre Dac)**

**Je regarde la carte des vins  
pour éviter les bouchons (Raymond Devos)**

**Plus il y a de marches,  
meilleure est la cave (Proverbe bourguignon)**

## Remerciements

Et bien voilà !! Je suis arrivé à la fin de mon mémoire, il me faut donc maintenant penser à remercier toutes les personnes (amis, famille, relations...) qui m'ont soutenu, écouté, compris, conseillé, recadré, bichonné durant ces quatre années (et +....) qui ont passé à une vitesse faramineuse.

Chacun(e) ayant sa petite part d'importance, le problème est de commencer par qui ???? Je pense que chronologiquement je ne devrais oublier personne...

Merci donc d'abord, hors chronologie, à Jean-Frédéric Terral, Professeur à l'Université de Montpellier et (à mon arrivée) Directeur du Centre de Bio-Archéologie et d'Ecologie (CBAE pour simplifier...), et à Laurent Brémond, Maître de Conférence à l'Ecole Pratique des Hautes Etudes (EPHE, toujours pour simplifier...) et (toujours à mon arrivée) Directeur Adjoint du CBAE, de m'avoir accueilli au sein de leur unité ; l'un et l'autre étant mes tuteurs scientifique et pédagogique, merci à eux deux, ainsi que Laurent Bouby que je remercierai dans quelques lignes, de m'avoir proposé un sujet en adéquation avec mes aspirations. Depuis, le CBAE a fusionné avec l'Institut des Sciences de l'Evolution de Montpellier (ISE-M).

JFred, Merci de la confiance que tu m'as accordée, de ton soutien, et de ton humanité, j'espère avoir été à la hauteur. J'espère également qu'en plus de l'espoir de continuer à travailler ensemble nous aurons encore maintes occasions de parler et d'échanger des CDs de nos bons vieux groupes de rock ; Merci également d'avoir assumé la charge supplémentaire de travail qu'ont représenté les corrections de mon mémoire, car j'ai bien conscience qu'il y a eu du travail..... Laurent, Merci également à toi pour ton accompagnement, et aussi d'avoir comme JFred maintenu la barre haute durant tout ce temps; ça n'a pas toujours été facile à digérer, et malgré tout de même quelques moments de découragement et de doutes vous avez toujours été présents.

Et bien évidemment, un grand Merci aux membres du jury qui ont immédiatement accepté de superviser mon travail lorsque je leur ai demandé. Leur enthousiasme m'a sincèrement fait plaisir.

Reprenons la chronologie :

Un grand Merci à Jacques-Marie Bardintzeff, Professeur de volcanologie à l'Université de Paris-Sud qui, lorsque je me suis senti prêt à retrouver une activité professionnelle après une longue absence et avais envie de m'engager dans une de mes passions, m'a dit : « Bertrand, recommence avec ce que tu sais faire, et parallèlement prépare une reconversion ». Je l'ai écouté, et après un court passage à l'Ecole des Mines d'Alès (Merci Miguel !!) j'en suis là aujourd'hui à écrire mes remerciements.

Je viens de le citer, Merci donc à Laurent Bouby, Grand Prêtre de la carpologie, d'avoir conféré au Préhistorama à Rousson au printemps 2011, et transmis mon Cv à JFred à l'issue de notre rencontre. Merci aussi à toi d'avoir assumé comme JFred la lourde charge supplémentaire de travail quant aux corrections nécessaires à l'élaboration de mon mémoire. Votre collaboration aussi efficace qu'amicale aura sans nul doute contribué à rendre mon travail personnel moins imparfait.

Merci à Marie-Louise Houlier, Conseillère en orientation professionnelle au Centre INRA de Montpellier, pour m'avoir judicieusement suggéré d'une part de garder et utiliser mes expériences

professionnelles dans le cadre de mes futures activités dans un des domaines de l'archéologie, et d'autre part d'avoir glissé dans la conversation les lettres « EPHE ».

Merci à Thierry Dupressoir, Directeur d'Etude EPHE à l'Université de Montpellier, pour m'avoir lui aussi écouté et poussé dans mes retranchements (« Bertrand, l'archéologie c'est bien beau, mais tu veux y faire quoi ? La Préhistoire ? L'Antiquité (envers quelle civilisation) ? Le Moyen-Âge ? Les monnaies ? Les armes ? Les objets domestiques ? »).

Merci à Laurent Bruckler, Président du Centre INRA de Montpellier, qui a largement cautionné ma démarche ; que ses collaborateurs et collaboratrices soient également ici remerciés : les 2 Magali, qui ont depuis rejoint l'IRD, Dominique, Florence, Monique, Emmanuelle (partie au Rectorat), Martine. Et Merci bien évidemment à Christophe, via la Formation Permanente, pour le financement de ce diplôme Svt de l'EPHE sans lequel tout ceci n'aurait pas été possible.

Merci à Jean-Michel, Sylvie, Jacky, Patrick, Gilles, et Michel, « mes potes de Carpentras, la bande des 100% », qui eux aussi m'ont encouragé et félicité dans ma démarche d'obtention de ce diplôme.

Merci à Jean-Marie et Carole, et Christian, pour m'avoir soutenu à distance (notre belle Mayenne), à la Diorissime Sylvie, l'attentive Marielle, l'olivériste André, aux Préhistoramiques Mélanie et Yannick (Yan, merci pour le Mercurey !!), aux adorables Sylvie et Marc, ainsi qu'à Sandrine, Véro, Noëlla, Cathy, Marie-Line, Denis, Alain, Gérard, Chloé, Fred(s), Gérard, Louise, Nadia, José, Ginette, Julie et Aurore, mes collègues de train avec lesquels les allers-retours Alès-Montpellier sont bien conviviaux et joyeux (petits déjeuners, apéros, crêpes,...).

Au tour du CBAE / ISEM, maintenant.....

Merci à vous tous de votre gentillesse, de votre compréhension, de votre bon esprit, et de m'avoir accueilli de façon on ne peut plus sympathique. JFred et les 2 Laurent, c'est fait !! Lucie, Merci de ton agréable compagnie et de nos éclats de rire dans notre bureau commun. Thierry, j'espère qu'avec toi aussi on continuera à parler de musique et boire du café (un p'tit café, M'sieur Thierry ?). Benoît, avec toi c'est plutôt de whisky dont on a le plus souvent discuté ; peut-être qu'un jour je réussirai à t'initier au rock, c'est complémentaire avec la boisson pré-citée..... Laure, ta décontraction et ton franc-parler sont un régal ; Merci de m'avoir fait profiter de tes compétences en cartographie. Isabel, je te promets qu'un jour tu finiras par trouver un charbon de bois aussi joli que tous ceux que je t'ai montrés, un charbon de bois qui ne soit pas de la m..... ; si, si, je te le promets !!!!! Et merci pour l'anglais !! Vincent, continues à jouer de ton humour et surtout que tes stagiaires n'oublient pas de t'apporter des pains au chocolat, « ils » le valent bien..... Adam, que le labo serait silencieux sans ton rire tonitruant. Il en va de même pour toi, Philippe, avec ton célèbre rire moins tonitruant certes mais ô combien reconnaissable. Sandrine, nos conversations autour de la musique classique (merci de m'avoir fait écouter pour la première fois de la viole de gambe) et des plantes furent bien sympathiques. Chantal, Reine du scrabble, toujours souriante. Nicole, qu'est-ce qu'on a pu philosopher et refaire le monde lors de nos trajets à pied vers la gare !!!! Walter, avec toi on n'a jamais vraiment discuté ; ça n'est probablement que partie remise. Christelle, ton enthousiasme, ta vitalité, et ton humeur égale font plaisir à voir. Odile, jamais sans ton chocolat !!

Je n'oublie pas non plus les stagiaires quels qu'ils soient (thésards, masters, licences, invités) : Vincent(s), Xavier, Julie, Olivier, Samira, Bérangère, Muriel, Thomas, Sophie, Lisa, Stéphanie, Jessica,

Alexandre(s), Benjamin(s), Alfred, Sandrine, Laurianne(s), Jordan, Lucie, Margaux, Clémence, Fanny, Cécile(s), Nadine, Léonor, Jérôme, Christophe, Claire, Marie, Merci également à vous.

Merci aussi à Michel, pour nos discussions d'avant et d'après matchs entre Montpellier et Saint-Etienne. Michel, Allez les Verts!!!!

Tiens, c'est bizarre, on dirait qu'il manque quelqu'un..... Bon sang mais c'est bien sûr !! Que voulez-vous, je garde bien évidemment la meilleure pour la fin : un grand, un énorme Merci à toi, Sarah, pour ton accompagnement, ta générosité, tes explications (ta patience, surtout...), ta disponibilité malgré un emploi du temps parfois des plus fous et surtout l'heureux évènement arrivé il y a un an et demi déjà, nos missions « Vigne » au Pic Saint-Loup (Vous partez vous balader ?? C'est ça, oui.....) avec les sempiternelles interrogations orales (Bertrand, c'est laquelle, celle-là ?). J'espère que j'aurai bien appris mes leçons ! De toute façon, tu pourras maintenant me faire réviser dans notre bureau commun !!!

Je vous l'ai dit et vous l'ai écrit, j'ai passé quatre excellentes années en votre compagnie, j'espère continuer ainsi.

Donc à vous tous, Merci, Merci, Merci !!!

Merci à Thierry Lacombe, Ingénieur de Recherche à l'Institut National de la Recherche Agronomique de Montpellier, UMR AGAP - Equipe Diversité, Adaptation et Amélioration de la Vigne. Tes explications concernant la génétique de la vigne et les comparaisons entre les cépages antiques et actuels m'ont évité d'écrire des âneries. Merci aussi d'avoir accepté de superviser mon travail en étant examinateur dans mon jury. Thierry est également le responsable scientifique du Domaine de Vassal, Conservatoire mondial des ressources génétiques de la Vigne à Marseillan-plage dans l'Hérault.

Merci à Sabine et Sophie, du Centre International de Pomologie d'Alès, à Christiane Roure pour m'avoir ouvert les portes de la bibliothèque de Supagro et permis la consultation d'un certain nombre d'ouvrages, et à mes copines de la MNE d'Alès (Isabel, Sophie, Stéphanie, Audrey, Hélène).

Il ne me faut pas oublier mes ex-collègues de la station de Pathologie Comparée de Saint-Christol-lez-Alès, de l'Ecole des Mines d'Alès, et de DGIMI à l'UM2, qui eux aussi m'ont encouragé et soutenu dans ma démarche : Janick (Merci pour les Anges !!), Nadège, Sylvie P, Sylvie G, Sylvie J, Nath, Véronique, Clotilde, Doriane, Mylène (Ah, la Corse...), Mouna, Max, Emmanuelle, Annick, Marie-Anne, Dominique (et Colette), Anne, Alain, Sophie, Pierre-Alain, Philippe, Stéphane, Maryline, Bernard, Marc, Pascal, Jean-Marc, Nadine, François, Simone, Monique, Miguel, Christine, Cathy B, Cathy G, Andrée, Ingrid, Sandrine, Guillaume, Véronica, Roro, Sylvie, ainsi que les involontairement oublié(e)s qui voudront bien me pardonner de ne pas les avoir mentionné(e)s.

Encore un dernier Merci à Thierry, Valérie, Sophie, Bénédicte, et Marraïne pour leur soutien permanent depuis ce terrible drame, ainsi que leurs encouragements dans le suivi de ce diplôme.

Et Madame Limier, dans tout ça ? Bien évidemment, Merci à ma petite femme d'avoir été compréhensive et particulièrement patiente lors de la rédaction de ce mémoire qui a nécessité beaucoup de travail à la maison à des moments où on aurait pu faire toute autre chose compte-tenu des circonstances que l'on connaît.

## Table des matières

|                                                                                     |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Lexique .....</b>                                                                | <b>11</b> |
| <b>Liste des abréviations .....</b>                                                 | <b>14</b> |
| <b>Liste des figures .....</b>                                                      | <b>15</b> |
| <b>Liste des tableaux.....</b>                                                      | <b>17</b> |
| <b>1/ Introduction.....</b>                                                         | <b>19</b> |
| <b>2/ La vigne, <i>Vitis vinifera</i> L. ....</b>                                   | <b>21</b> |
| 2.1. Systématique de l'espèce .....                                                 | 21        |
| 2.2. Témoignages du passé (registre fossile).....                                   | 22        |
| 2.3. Domestication .....                                                            | 23        |
| 2.4. Ecologie de la vigne .....                                                     | 27        |
| 2.5. Morphologie et anatomie générale de l'espèce <i>Vitis vinifera</i> .....       | 30        |
| 2.5.1. Morphologie de la racine .....                                               | 30        |
| 2.5.2. Anatomie de la racine .....                                                  | 30        |
| 2.5.3. Morphologie de la tige .....                                                 | 31        |
| 2.5.4. Description anatomique du bois de vigne.....                                 | 32        |
| 2.5.5. Morphologie de la feuille .....                                              | 33        |
| 2.5.6. Morphologie de la fleur.....                                                 | 34        |
| 2.5.7. Morphologie du fruit.....                                                    | 36        |
| 2.5.8. Morphologie de la graine .....                                               | 36        |
| 2.6. Utilisations de la vigne.....                                                  | 37        |
| <b>3/ Histoire de la viticulture .....</b>                                          | <b>39</b> |
| 3.1. Inventaire non exhaustif des sources écrites .....                             | 39        |
| 3.2. Sources archéologiques et bioarchéologiques.....                               | 44        |
| 3.2.1. Quelques représentations de la vigne dans l'iconographie .....               | 44        |
| 3.2.2. Vestiges archéologiques en Narbonnaise et dans les territoires connexes..... | 47        |
| 3.3. Sources génétiques.....                                                        | 52        |
| <b>4/ Matériel et méthodes .....</b>                                                | <b>55</b> |
| 4.1. Matériel de référence.....                                                     | 55        |
| 4.1.1. Vigne sauvage.....                                                           | 56        |
| 4.1.2. Vigne cultivée-domestiquée (cépages) .....                                   | 57        |
| 4.1.3. Vigne férale ou ensauvagée .....                                             | 58        |
| 4.2. Matériel archéologique .....                                                   | 59        |

|                                                                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.2.1. Présentation des charbons de bois potentiellement exploitables.....                                           | 59        |
| 4.2.2. Nettoyage des charbons de bois .....                                                                          | 64        |
| 4.2.3. Considérations taphonomiques .....                                                                            | 64        |
| 4.3. Méthodes .....                                                                                                  | 65        |
| 4.3.1. L'éco-anatomie, une application quantitative de l'anthracologie .....                                         | 65        |
| 4.3.2. Principe de l'éco-anatomie quantitative .....                                                                 | 67        |
| 4.3.3. Protocole de carbonisation du matériel de référence .....                                                     | 67        |
| 4.3.4. Protocole méthodologique : de l'examen microscopique à la prise de mesures .....                              | 69        |
| 4.3.5. Analyses statistiques .....                                                                                   | 72        |
| 4.3.5.1. Tests d'erreurs de mesures .....                                                                            | 72        |
| 4.3.6. Procédures statistiques descriptives, exploratoires et décisionnelles.....                                    | 73        |
| <b>5/ Résultats.....</b>                                                                                             | <b>75</b> |
| 5.1. Tests préliminaires .....                                                                                       | 77        |
| 5.2. L'âge du bois, facteur majeur de la variation anatomique .....                                                  | 77        |
| 5.3. Distinction vigne sauvage / vigne cultivée-domestiquée.....                                                     | 80        |
| 5.3.1. Dans le bois immature.....                                                                                    | 80        |
| 5.3.2. Dans le bois mature.....                                                                                      | 80        |
| 5.4. Variations anatomiques en fonction de l'écologie de la vigne sauvage .....                                      | 81        |
| 5.5. Allocation des échantillons de vigne férale.....                                                                | 81        |
| 5.5.1. Allocation au compartiment bois immature / mature.....                                                        | 81        |
| 5.5.2. Allocation au statut sauvage ou cultivé-domestiqué .....                                                      | 81        |
| 5.5.2.1. Bois immature.....                                                                                          | 81        |
| 5.5.2.2. Bois mature.....                                                                                            | 81        |
| 5.6. Affiliation des charbons de bois archéologiques à des ensembles mis en évidence dans le référentiel actuel..... | 81        |
| 5.6.1. Allocation au bois immature / mature.....                                                                     | 82        |
| 5.6.2. Allocation au statut sauvage ou cultivé-domestiqué.....                                                       | 83        |
| 5.6.2.1. Bois immature.....                                                                                          | 83        |
| 5.6.2.2. Bois mature.....                                                                                            | 84        |
| <b>6/ Discussion.....</b>                                                                                            | <b>85</b> |
| 6.1. Le référentiel éco-anatomique moderne .....                                                                     | 85        |
| 6.1.1. Bois immature et bois mature.....                                                                             | 85        |
| 6.2. Discrimination entre les statuts sauvage et cultivé-domestiqué .....                                            | 86        |
| 6.3. Analyse de l'allocation de la vigne férale aux statuts sauvage et cultivé-domestiqué .....                      | 87        |

|                                                                                          |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 6.4. Vigne sauvage ou vigne cultivée-domestiquée dans le corpus bioarchéologique ? ..... | 87         |
| 6.5. L'analyse éco-anatomique au regard des données carpologiques .....                  | 89         |
| <b>7/ Conclusions et perspectives</b> .....                                              | <b>92</b>  |
| <b>8/ Bibliographie</b> .....                                                            | <b>97</b>  |
| <b>9/ Annexes</b> .....                                                                  | <b>112</b> |
| Annexe 1 : Erreurs potentielles de mesures liées à l'opérateur.....                      | 112        |
| Annexe 2 : Erreurs potentielles de mesures réalisées par le même opérateur .....         | 113        |
| Annexes 3 et 4 : Comparaisons de moyennes.....                                           | 114        |
| Annexe 5 : Tableau de données éco-anatomiques quantitatives .....                        | 115        |
| Annexe 6 : Poster présenté au Symposium de Morphométrie et Evolution des Formes .....    | 122        |

## Lexique

**AD** : Anno Domini (équivalent d' « **ap. JC** » (après Jésus-Christ)).

**Ampélographe** : personne qui étudie, identifie et classe les variétés de vignes selon des descripteurs tels que la taille et la forme de la feuille ou les caractères de la baie.

**Anaérobie** : qualifie un milieu ambiant ne contenant pas d'air ou d'oxygène.

**Angiospermes** : plantes à fleurs, avec ovules enclos dans l'ovaire qui donnera le fruit.

**Anémophile** : plante pollinisée par le vent.

**Anthracologie** : étude des charbons de bois de contextes archéologique ou sédimentaires naturels, par l'**anthracologue**.

**Anthropique** : due à l'Homme.

**Aperture** : sur le grain de pollen, pore de l'exine permettant l'émission du tube pollinique.

**Apyrène** : sans pépins.

**Archéobotanique** : ensemble de disciplines (anthracologie, carpologie, palynologie) qui s'intéressent aux vestiges d'origine végétale (pollens, bois, charbons de bois, graines, ...).

**Atlas xylogique** : recueil contenant des photographies, descriptions, et clefs d'identification anatomiques microscopiques du bois, espèce par espèce.

**Autolyse** : processus d'autodestruction cellulaire par les enzymes produits par la cellule, et qui aboutit à la dégradation d'un tissu ou d'un organe.

**Bioagresseur** : maladie ou parasite susceptible d'infecter très fortement une plante.

**BC** : Before Christ (équivalent d' « **av. JC** » (avant Jésus-Christ)).

**Bois (xylème secondaire)** : matériau massif ou tissu complexe (hétéroxylé chez les Angiospermes dicotylédones et homoxylé chez les Gymnospermes) constitué de cellules qui assurent les fonctions de soutien et de rigidité, de conduction de la sève brute et de stockage des réserves.

**Bois initial** : bois produit dans le cerne au début de la période annuelle de végétation. Appelé « bois de printemps ».

**Bois final** : bois (généralement plus dense que le bois initial) produit dans le cerne à la fin de la période annuelle de végétation. Appelé « bois d'été ».

**Caducifoliée** : se dit d'une plante qui perd ses feuilles à l'approche de la mauvaise saison lorsque celles-ci ont rempli leur fonction.

**Cambium libéro-ligneux** : assise génératrice responsable de la croissance en épaisseur de la tige et de la racine (il peut être présent et fonctionnel dans la feuille). Il produit le bois et le liber.

**Canopée** : étage supérieur de la forêt, directement influencé par le rayonnement solaire.

**Carpologie** : étude et analyse des fruits et graines conservés (**carporestes**) dans les sédiments naturels et archéologiques, par le **carpologue**.

**Débourrement** : stade phénologique correspondant au début du développement des bourgeons.

**Eco-anatomie quantitative** : méthode de mesures comparatives des éléments structuraux et vasculaires du bois.

**Edaphique** : relatif au sol.

**Entomophile** : plante pollinisée par les insectes.

**Essence** : pour les arbres et arbustes, synonyme d'espèce, selon une terminologie employée par les forestiers.

**Férale** : plante domestiquée retournée à l'état sauvage, mais qui biologiquement ne l'est pas.

**Fibre** : dans le bois, cellule végétale très allongée, lignifiée et morte. Elle assure le soutien chez les Angiospermes dicotylédones et a également une fonction de conduction (fibre trachéide) chez les Gymnospermes.

**Génotype** : ensemble ou partie donnée de l'information génétique d'un individu.

**Héliophile** : qui a besoin de soleil.

**Hermaphrodisme** : coexistence d'organes mâles et d'organes femelles dans une même fleur.

**Inerme** : sans épines.

**Indéhicent** : qui reste fermé à maturité.

**Inflorescence** : ensemble des fleurs regroupées sur un même axe.

**Lambrusque** : terme vernaculaire donné à la vigne sauvage *Vitis vinifera* L. ssp. *sylvestris*.

**Lianescent** : qui a le port d'une liane.

**Macrorestes** : se dit d'un fragment d'un organisme vivant, de dimension macroscopique (bois, feuille, graine, os, ...) que l'on peut voir à l'œil nu.

**Médullaire** : relatif à la moelle.

**Microrestes** : se dit d'un fragment d'un organisme vivant, de dimension microscopique (pollen, ...) que l'on ne peut pas voir à l'œil nu.

**Moelle** : tissu mou (parenchyme médullaire) remplissant l'intérieur du cylindre central d'une tige.

**Morphométrie** : discipline qui décrit, analyse, et interprète les variations de taille et de forme d'objets ou d'organes.

**Oppositifoliée** : opposée aux feuilles.

**Parenchyme** : dans le bois, tissu associé aux tissus conducteurs, fonctionnels mais morts.

**Pérenne** : organisme durable ne subissant que peu de modifications tout au long de l'année.

**Phelloderme** : tissu parenchymateux.

**Phénologie** : étude de l'apparition d'évènements périodiques dans le monde vivant, déterminée par les variations saisonnières du climat.

**Phloème** : tissu vasculaire constitué de tubes criblés servant à la distribution des éléments nutritifs contenus dans la sève élaborée.

**Phyllotaxie** : terme botanique employé pour décrire la disposition des feuilles sur la tige et dans l'espace.

**Point pétioleaire** : lieu de rattachement du pétiole à la feuille.

**Provignage** : multiplication végétative de la vigne qui consiste à coucher et enterrer un sarment jusqu'à enracinement et obtention d'un nouveau plant. Equivalent du marcottage.

**Pyrolyse (carbonisation)** : décomposition thermique de la matière organique réalisée en l'absence d'oxygène ou en atmosphère pauvre en oxygène durant laquelle le bois est transformé en charbon de bois.

**Ripisylve** : formation végétale arborée, buissonnante ou herbacée, poussant en bordure d'un cours d'eau.

**Spinescence** : présence d'épines.

**Taphonomie** : étude des mécanismes d'enfouissement, de formation, des gisements fossilifères.

**Taxon** : toute unité de la classification des êtres vivants (espèce, genre, famille, ...).

**Trachéide** : Chez les Angiospermes dicotylédones, cellule imperforée du xylème, morte mais fonctionnelle (soutien).

**Travertin** : roche sédimentaire calcaire née de la précipitation des carbonates contenus dans l'eau.

**Typologie** : étude des traits caractéristiques dans un ensemble de données, ou système de classification des traits.

**Vaisseau** : élément cellulaire fonctionnel du xylème, assurant la conduction de la sève brute (eau et sels minéraux puisés dans le sol).

**Véraison** : stade phénologique de la vigne correspondant au changement de couleur du raisin, donc le début de la maturation du fruit.

**Vitrification** : phénomène qui se manifeste comme une fusion des structures anatomiques du bois jusqu'à les rendre inidentifiables.

**Xylème** : tissu conducteur des végétaux supérieurs, comprenant des vaisseaux (feuillus) ou des trachéides (conifères), du parenchyme, et souvent des fibres.

## **Liste des abréviations**

ACP : Analyse en Composantes Principales.

AFD : Analyse Factorielle Discriminante.

CBAE : Centre de Bio-Archéologie et d'Ecologie.

CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique.

Col. : Collaborateurs.

Com. pers. : Communication personnelle.

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique.

INRAP : Institut National de Recherches Archéologiques Préventives.

ISEM : Institut des Sciences de l'Evolution de Montpellier.

J.O : Journal Officiel.

Ma : Millions d'années.

Obs. pers. : Observation personnelle.

OIV : Organisation Internationale de la Vigne et du Vin.

sp. : species (espèce).

ssp. : subspecies (sous-espèce).

µm : Micromètre.

Us : Unité stratigraphique.

PO : Trou de poteau.

PT : Puits.

SP : Sépulture.

FS : Fosse.

**Remarque** : les noms de variétés cultivées (cépages) de *Vitis vinifera* sont écrits selon les règles du Code International de Nomenclature des Plantes Cultivées, c'est-à-dire avec une majuscule et entre guillemets simples (ex : 'Carignan').

**Avertissement de l'auteur** : Pour une simplification de lecture et **seulement dans le cadre de ce mémoire**, les appellations botaniques de *Vitis* sont réduites et volontairement erronées. Ainsi *Vitis vinifera* L. ssp. *sylvestris* Gmelin (Hegi) devient *Vitis vinifera sylvestris* et *Vitis vinifera* L. ssp. *vinifera* Hegi DC devient *Vitis vinifera vinifera*.

## Liste des figures

|                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure 1</b> : Positionnement taxonomique de la vigne, <i>Vitis vinifera</i> L.....                                | 21 |
| <b>Figure 2</b> : Syndrome de domestication chez la vigne.....                                                        | 25 |
| <b>Figure 3</b> : Aire de répartition de <i>Vitis vinifera</i> L. <i>sylvestris</i> .....                             | 28 |
| <b>Figure 4</b> : Système racinaire chez la vigne .....                                                               | 30 |
| <b>Figure 5</b> : Coupe transversale de racine de <i>Vitis vinifera</i> L .....                                       | 31 |
| <b>Figure 6</b> : Position oppositifoliée des fleurs et vrilles .....                                                 | 32 |
| <b>Figure 7</b> : Description anatomique du bois de vigne sur charbon de bois de vigne actuelle .....                 | 33 |
| <b>Figure 8</b> : Schéma d'une feuille de vigne .....                                                                 | 34 |
| <b>Figure 9</b> : Sexe des fleurs de vigne .....                                                                      | 35 |
| <b>Figure 10</b> : Grappes et fruits de vigne sauvage et de vigne cultivée-domestiquée .....                          | 36 |
| <b>Figure 11</b> : Pépins de vigne sauvage et de vigne cultivée-domestiquée.....                                      | 37 |
| <b>Figure 12</b> : Tablette en écriture linéaire A ou B .....                                                         | 39 |
| <b>Figure 13</b> : Dolium .....                                                                                       | 42 |
| <b>Figure 14</b> : Vigne cultivée sur échalas .....                                                                   | 43 |
| <b>Figure 15</b> : Vigne cultivée sur arbre .....                                                                     | 43 |
| <b>Figure 16</b> : Vigne cultivée sur pergola .....                                                                   | 43 |
| <b>Figure 17</b> : Couvercle de sarcophage d'enfant, 2 <sup>e</sup> s. AD.....                                        | 44 |
| <b>Figure 18</b> : Cratère mis au jour à Pompéï, 1 <sup>er</sup> s. AD .....                                          | 44 |
| <b>Figure 19</b> : Flacon en verre, 1 <sup>er</sup> – 2 <sup>e</sup> s. AD.....                                       | 45 |
| <b>Figure 20</b> : Licurgue pris dans lianes de vignes, 6 <sup>e</sup> s. BC.....                                     | 45 |
| <b>Figure 21</b> : Mosaïque aux pampres de vigne, 4 <sup>e</sup> s. AD .....                                          | 45 |
| <b>Figure 22</b> : Mosaïque au paon et sarment, 4 <sup>e</sup> s. BC .....                                            | 46 |
| <b>Figure 23</b> : Stèle funéraire de vigneron, 1 <sup>er</sup> – 2 <sup>e</sup> s. AD .....                          | 46 |
| <b>Figure 24</b> : Bas-relief, 1 <sup>er</sup> s. AD .....                                                            | 46 |
| <b>Figure 25</b> : Carte des vignobles préromains et romains .....                                                    | 48 |
| <b>Figure 26</b> : Serpette époque romaine .....                                                                      | 48 |
| <b>Figure 27</b> : Restes de <i>Vitis vinifera</i> L.....                                                             | 49 |
| <b>Figure 28</b> : Structures interprétées comme des fosses de provignage.....                                        | 50 |
| <b>Figure 29</b> : Empreintes du vignoble de Lattara .....                                                            | 50 |
| <b>Figure 30</b> : Courson de vigne, 1 <sup>er</sup> s. BC.....                                                       | 51 |
| <b>Figure 31</b> : Exemple de généalogie chez quelques cépages .....                                                  | 53 |
| <b>Figure 32</b> : Répartition géographique des échantillons de vignes sauvages, de cépages et de vignes férales..... | 55 |

|                                                                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure 33</b> : Situation géographique des sites archéologiques.....                                                                         | 62 |
| <b>Figure 34</b> : Œufs et coprolithes de parasites sur échantillon archéologique.....                                                          | 63 |
| <b>Figures 35 et 36</b> : Comparaisons entre l'état de conservation de 2 échantillons archéologiques .....                                      | 63 |
| <b>Figure 37</b> : Origines des charbons de bois archéologiques.....                                                                            | 65 |
| <b>Figure 38</b> : Représentation en 3 dimensions de l'anatomie du bois chez un feuillu ou Angiosperme dicotylédone.....                        | 66 |
| <b>Figure 39</b> : Phases physico-chimiques et thermiques de la combustion du bois, en conditions aérobies et sous pression atmosphérique ..... | 68 |
| <b>Figure 40</b> : Effets secondaires de la carbonisation.....                                                                                  | 69 |
| <b>Figure 41</b> : Microscope à réflexion et station d'analyse d'image .....                                                                    | 70 |
| <b>Figure 42</b> : Caractères anatomiques mesurés.....                                                                                          | 71 |
| <b>Figure 43</b> : Zones canaliculées, transects, sens de mesure.....                                                                           | 72 |
| <b>Figure 44</b> : Exemple de courbe « effort-rendement » sur la largeur du bois final.....                                                     | 75 |
| <b>Figure 45</b> : Exemple de courbe « effort-rendement » sur la densité des rayons ligneux.....                                                | 75 |
| <b>Figure 46-1</b> : Représentation des individus de bois de vigne dans le plan de l'ACP « immaturité-maturité ».....                           | 78 |
| <b>Figure 46-2</b> : Représentation des individus de bois de vigne dans le plan de l'ACP « sauvage-cultivé » .....                              | 79 |
| <b>Figure 47</b> : Exemple de disposition des vaisseaux dans le bois final : en files radiales.....                                             | 94 |
| <b>Figure 48</b> : Exemple de disposition des vaisseaux dans le bois final : isolés.....                                                        | 95 |

## Liste des tableaux

|                                                                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tableau I</b> : Nombre d'échantillons de vigne sauvage prélevés.....                                                                                                   | 56 |
| <b>Tableau II</b> : Nombre d'échantillons de vigne cultivée-domestiquée prélevés.....                                                                                     | 58 |
| <b>Tableau III</b> : Nombre d'échantillons de vigne ensauvagée prélevés.....                                                                                              | 59 |
| <b>Tableau IV</b> : Origines, contextes, et nombre de charbons de bois archéologiques .....                                                                               | 60 |
| <b>Tableau V</b> : Nombre de mesures correspondant au maximum asymptotique horizontal .....                                                                               | 76 |
| <b>Tableau VI</b> : Récapitulatif du nombre de mesures effectuées.....                                                                                                    | 76 |
| <b>Tableau VII</b> : Récapitulatif du nombre d'échantillons utilisés .....                                                                                                | 76 |
| <b>Tableau VIII</b> : Tests univariés de comparaison de moyenne issus de l'AFD1 destinée à tester la discrimination entre bois immatures et bois matures.....             | 79 |
| <b>Tableau IX</b> : Tests univariés de comparaison de moyenne issus de l'AFD2 destinée à tester la discrimination entre vigne sauvage et cépage sur le bois immature..... | 80 |
| <b>Tableau X</b> : Tests univariés de comparaison de moyenne issus de l'AFD3 destinée à tester la discrimination entre vigne sauvage et cépage sur le bois mature.....    | 80 |
| <b>Tableau XI</b> : Allocation par l'AFD3 des échantillons de vigne férale (bois mature) au statut Sauvage                                                                | 81 |
| <b>Tableau XII</b> : Allocation des échantillons archéologiques aux deux groupes définis (bois immature – bois mature) par l'AFD1 .....                                   | 82 |
| <b>Tableau XIII</b> : Allocation par l'AFD2 des échantillons archéologiques (bois immature) au statut Sauvage ou Cultivé-Domestiqué .....                                 | 83 |
| <b>Tableau XIV</b> : Allocation par l'AFD3 des échantillons archéologiques (bois mature) au statut Sauvage ou Cultivé-Domestiqué.....                                     | 84 |
| <b>Tableau XV</b> : Statut des pépins et charbons de bois issus de sites communs ( $ic \geq 0.75$ ) .....                                                                 | 90 |
| <b>Tableau XVI</b> : Statut des pépins et charbons de bois issus de sites communs ( $ic \geq 0.65$ ) .....                                                                | 91 |



## 1/ Introduction

Viticulture. Mot magique qui, dans l'esprit du commun des mortels, signifie juste ce qu'il veut dire (la culture de la vigne), et dont la notion apparaît avec la pratique de la taille (Dion, 1959). Mais ce n'est pas seulement cela. La viticulture est tout un contexte humain, environnemental, historique, symbolique, socio-économique, religieux et rituel (Dietler, 1990). Pour subvenir aux besoins de l'Homme, aucune autre culture n'a eu une telle aura dans son esprit. Des fruits cueillis sur les vignes sauvages et consommés par nos « pas si lointains que ça » ancêtres du Paléolithique jusqu'aux toutes dernières créations variétales de la vigne cultivée, aussi bien pour la production de raisin de table que de raisin destiné à la fabrication de vin, c'est tout un long et complexe processus qui est associé à l'histoire de l'humanité. Et peut-être que quelques centilitres de jus de raisin fermenté, même accidentellement, et ses conséquences euphorisantes ont suffi pour que la culture de la vigne prenne l'ampleur que l'on connaît aujourd'hui. En effet, de par ses qualités fruitières médiocres, la vigne sauvage ne se prêtait à priori pas particulièrement à une mise en culture précoce ; il faut ainsi toujours garder à l'esprit que la domestication et l'amélioration de la vigne ont été intimement liées à la production de vin (Lacombe, 2012) car que ce soit drogue, médicament, ou nourriture, le vin était la boisson alcoolisée de base des pays méditerranéens (Brun, 2010) et a pendant longtemps joué un rôle crucial dans les échanges (Mc Govern *et al.*, 2013). « On ne saurait ainsi méconnaître l'influence du vin sur les peuples qui en font usage, si on les compare à ceux qui boivent de la bière ou d'autres liqueurs fermentées » a ainsi écrit Lortet en 1847. Les sociétés complexes de l'âge du Bronze avaient déjà parfaitement maîtrisé la culture d'une plante pérenne telle que la vigne, de même que la fabrication du vin (Mangafa et Kotsakis, 1996). Même si beaucoup de denrées alimentaires pouvaient fermenter et donner des breuvages alcooliques, aucune n'a été autant exploitée que les céréales pour fabriquer la bière, ou la vigne pour produire du vin (Barnard *et al.*, 2010). Bien que l'on ne dispose pas d'éléments tangibles, il semblerait qu'au tout début de la viniculture, le vin était issu de raisins juste pressés, et que certains édulcorants comme le miel y auraient été rajoutés assez vite (Rivera Nùnez et Walker, 1989).

L'étude de l'histoire et de l'évolution de la viticulture n'est pas nouvelle. De nombreux spécialistes y ont travaillé et y travaillent encore ; ces botanistes, ampélographes, généticiens, archéologues, carpologues, anthracologues, historiens et autres associent leurs efforts, leurs travaux et leurs résultats afin de tenter de documenter l'histoire de la culture de *Vitis vinifera* L. En 1975, JR. Harlan écrivait « La plus grande difficulté pour comprendre les origines de l'agriculture vient d'une carence en informations et aucune spéculation ne pourra jamais se substituer aux faits ». Les découvertes faites depuis quarante ans améliorent progressivement cette carence et aident les spécialistes à mieux comprendre les étapes de l'histoire de la viticulture.

Parmi les domaines disciplinaires récents en bioarchéologie, tels que l'archéobotanique et ses embranchements que sont la carpologie (milieu 19<sup>ème</sup> s. - essor fin 20<sup>ème</sup> s. (Bouby, 2000)), l'anthracologie et la palynologie, une discipline supplémentaire a fait son apparition il y a une vingtaine d'années, il s'agit de l'éco-anatomie quantitative. Malgré les travaux effectués ces dernières années sur l'olivier (Terral et Arnold-Simard, 1996 ; Terral, 1997a, b ; Terral *et al.*, 2004), peu d'études anatomiques ont été consacrées à d'autres espèces végétales liées à l'histoire de l'humanité et notamment à la vigne, hormis Terral (2002) et Chabal, Terral (2007).

Le but de ce mémoire est d'apporter des éléments complémentaires à la connaissance de l'histoire de la viticulture, et de contribuer à une meilleure compréhension de l'évolution de la culture de la vigne en fonction des lieux et des périodes. Une étude de la plasticité anatomique du bois de la vigne en fonction de ses conditions écologiques de développement (croissance en conditions naturelles ou contrôlées) est considérée. Ainsi dans un premier temps, une collection de référence a été constituée à partir de bois mature (bois âgé) et de bois immature (bois jeune, sarment) de vignes sauvages, férales, et cultivées-domestiquées actuelles. Ces bois ont été carbonisés en conditions contrôlées afin de pouvoir, dans un deuxième temps, servir de référence pour une confrontation aux matériels archéologiques d'époques différentes issus de sites de l'ancienne Narbonnaise.

A l'aide d'un microscope à réflexion connecté à une station d'analyse d'image, des mesures de caractères anatomiques du bois ont été effectuées sur ces échantillons. Les données éco-anatomiques ont été traitées à l'aide de méthodes statistiques multivariées (Analyses en Composantes Principales (ACP) et Analyses Factorielles Discriminantes (AFD)). Les résultats issus de ces analyses ont permis dans un premier temps de compartimenter la vigne en fonction de l'immaturité ou de la maturité du bois, puis au sein des deux groupes, de tester la discrimination entre les échantillons sauvages et les échantillons de cépages. Dans un deuxième temps le classement d'une partie des échantillons archéologiques étudiés au sein des groupes définis par le référentiel obtenu a également été possible. Et enfin, une confrontation de nos résultats sur les charbons de bois avec ceux issus de l'étude de pépins imbibés ou carbonisés (Bouby *et al.*, 2010 ; Bouby *et al.*, 2013) issus de sites archéologiques communs a été réalisée. Ces démarches nouvelles en bioarchéologie devraient permettre une meilleure appréhension de la longue et complexe histoire de la viticulture, histoire dans laquelle beaucoup d'erreurs et de conclusions hâtives peuvent très facilement être commises (Imazio *et al.*, 2006).

## 2/ La vigne, *Vitis vinifera* L.

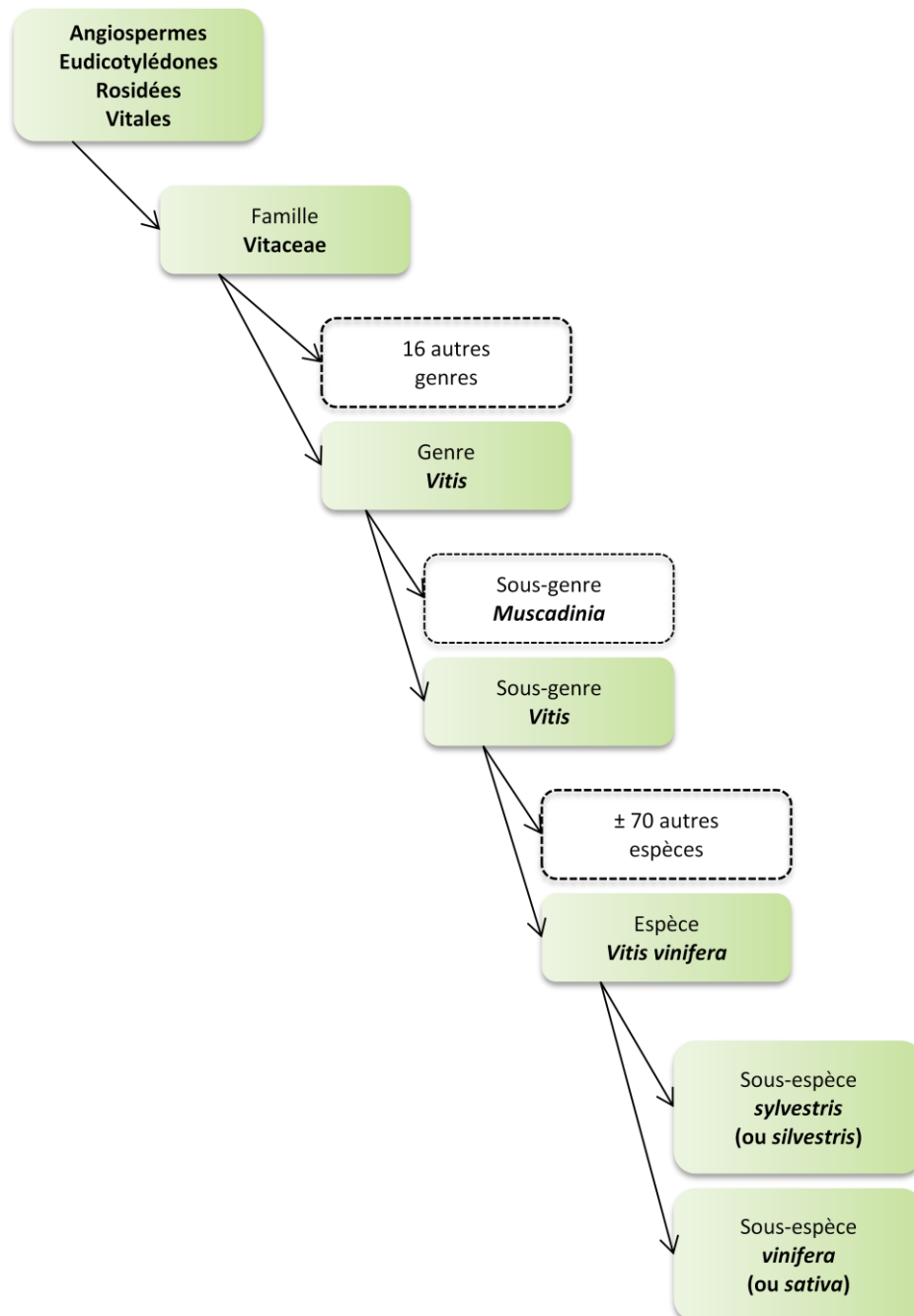
### 2.1. Systématique de l'espèce (cf : figure 1) :

Clade : Angiospermes eudicotylédones (ou eudicots).

Sous clade : Rosidées.

Ordre : Vitales.

Famille : *Vitaceae*.



**Figure 1** : Positionnement taxonomique de la vigne, *Vitis vinifera* L. (d'après Lacombe, 2012).

La famille des *Vitaceae* compte 17 genres et regroupe plus d'un millier d'espèces présentes en Afrique, Asie, Amérique et Océanie. Ce sont des plantes pérennes, lianescentes ou herbacées, adaptées à des environnements variés et qui vivent principalement en zone intertropicale. Quelques espèces sont commercialisées à des fins ornementales (*Ampelopsis* sp. ou *Parthenocissus* sp. par exemple) mais seul le genre *Vitis*, composé d'environ 70 espèces, est utilisé en agriculture car il est le seul à produire des fruits consommables par l'Homme (Levadoux *et al.*, 1962 ; Galet, 1988 *in* Lacombe, 2012).

*Vitis vinifera* L., étymologiquement « vigne donnant du vin », est la seule espèce indigène du genre *Vitis* en Europe et Asie occidentale. Deux sous-espèces peuvent être distinguées : *Vitis vinifera* L. ssp. *sylvestris* (Gmelin) Hegi qui relève du compartiment sauvage, et *Vitis vinifera* L. ssp. *vinifera* Hegi DC qui constitue le compartiment cultivé-domestiqué et donc correspond à l'ensemble des cépages (variétés cultivées ou cultivars). *Vitis vinifera vinifera* comprend environ 6000 cépages (cuve, table et usage mixte) dont à peu près 400 présentent un intérêt économique et commercial (Galet, 2000). L'appellation « cépage » mérite une précision : un cépage correspond rarement à un clone unique, mais peut être défini comme « l'ensemble des individus qui ont en commun des caractères morphologiques et technologiques amenant les viticulteurs à les désigner sous le même nom » (Reynier, 1991 *in* Bouby, 2010), ou bien comme « une population de clones suffisamment apparentés entre eux pour que le vigneron puisse les confondre » (Bouquet, 1982). C'est en fait un terme viticole qui correspond à une variété cultivée, issue du long processus de domestication.

## **2.2. Témoignages du passé (registre fossile):**

Les premières formes de la famille des *Vitaceae* seraient apparues au Tertiaire (-65 Ma à -2.6 Ma). La plus ancienne décrite, *Vitis sezannensis*, date du Paléocène (de -65 Ma à environ -55 Ma) (Fregoni, 1991). Dans plusieurs endroits du monde, notamment en Europe, en Asie et en Amérique, ont été retrouvées des traces du genre *Vitis* datées du Néogène (de -23 Ma à -2.6 Ma). Mais sans pouvoir leur donner un nom spécifique d'espèce, ces vestiges sont mentionnés en tant que *Vitis* sp. En 1888, De Saporta (*in* Billiard, 1913) nomme *Vitis praevinifera* des fossiles de feuilles de vigne qu'il trouve à Montcharray dans l'Ardèche, car il la considère comme l'ancêtre présumé direct de la vigne cultivée. Comme il l'écrit, « Il n'est pas d'arbre ou d'arbuste en Europe, dans l'Amérique du Nord, aux Canaries, dans la région méditerranéenne, qu'on ne rencontre à l'état fossile sous une forme spécifique plus ou moins rapprochée de celle d'aujourd'hui ». Il reprend ainsi le principe d'actualisme inventé par Lyell en 1830 (« le présent est la clé pour comprendre le passé ») et qui définit que les lois régissant les relations entre les organismes vivants et le milieu de vie n'ont pas changé au cours du temps.

Les restes mis au jour consistent essentiellement en des empreintes de feuilles de travertins, voire quelques graines (Mai et Walther, 1988, *in* Roiron, 1992). En Europe occidentale, des macrorestes attestent la présence du genre *Vitis* depuis le début du Quaternaire (-2.6 Ma) (Planchais, 1973). *Vitis vinifera* a été retrouvée sous forme fossile dans le gisement travertineux daté d'environ 2 Ma de Bernasso, dans l'Hérault (Suc, 1978 ; Roiron, 1992 ; Leroy et Roiron, 1996). Toujours dans l'Hérault, des empreintes de feuilles datées de l'Eémien (environ 100 000 BC) ont été retrouvées vers Castelnau-le-Lez et Le Gasconnet (Planchon, 1864 *in* Galtier, 1959 ; Farizier, 1980), ou encore à St Guilhem-le-Désert (Ali *et al.*, 2008), datées du début de l'Holocène (8 000 BC). Mais les grains de

pollen (microrestes), témoins du développement de la vigne à toutes les périodes interglaciaires (Planchais, 1973 ; Farizier, 1980), sont très faiblement représentés. Une des caractéristiques du taxon *Vitis* est justement la faible production et la faible dissémination de son pollen qui est d'environ 7 % au milieu d'un vignoble jusqu'à 1 % à un mètre de distance (Brown et Turner, 2002 in Figueiral *et al.*, 2014); ce dernier ne se disséminant pas sur de longues distances ou de grandes surfaces, son occurrence prouve donc la présence locale du genre (Planchais, 1973 ; Gauthier, 2000).

### **2.3. Domestication :**

« La domestication d'une espèce végétale peut être définie comme l'isolement (sélection) et le maintien dans la variabilité des formes sauvages (primo-domestication) de variants répondant aux critères de sélection. Une plante est donc domestiquée, lorsque depuis l'état sauvage (développement sans l'intervention de l'Homme), elle subit des modifications génétiques importantes, et à la limite lorsqu'elle ne peut subsister en tant que telle dans la nature » (Zohary, 2004). Ces modifications ont entraîné des changements de traits ou l'acquisition de critères morphologiques et/ou physiologiques définissant le syndrome de domestication. Ces critères distinguent donc les taxons domestiqués de leurs ancêtres sauvages (Purugganan et Fuller, 2009 ; Fuller *et al.*, 2011), et facilitent la culture et améliorent l'utilisation par l'Homme. Il ne faut pas confondre plante domestiquée et plante cultivée, termes souvent employés à tort et sans distinction. Ainsi certaines plantes sauvages peuvent être mises en culture sans être domestiquées, comme par exemple la ronce (*Rubus fruticosus* L.), même si des formes actuelles domestiquées et inermes sont proposées (Duvivier et Gosselin, in Le Bon Jardinier, 1992), ou encore le seigle (*Secale cereale* L.) pour lequel les données archéobotaniques au Proche-Orient proposent une culture sur des périodes trop brèves (environ 10 500 BC, environ 6 600 BC, environ 2 500 BC) pour qu'il soit question de domestication à proprement parler (Weiss *et al.*, 2006).

Déjà au 1<sup>er</sup> s. BC, le poète Virgile (70-19 BC) mentionne que « Ces espèces (sauvages), greffées et transplantées, confiées à des fosses profondément ameublées, auront vite dépouillé leur naturel sauvage et, grâce à des soins assidus, ne tarderont pas à se plier à toute discipline que l'on voudra » (Brun, 2003). Il fait ainsi état des étapes successives amenant un végétal à répondre aux exigences de l'Homme.

C'est donc le processus par lequel les végétaux ou les animaux recueillis à l'état naturel s'adaptent à un habitat particulier créé à leur intention par l'Homme, qui s'efforcera également de mettre cet habitat à l'abri des risques naturels. Ce dernier prend le contrôle de leur reproduction en sélectionnant, de façon consciente ou inconsciente, certains attributs favorables à ses besoins vitaux (Leclerc et Tarrête, in Leroi-Gourhan, 1994 ; Vouillamoz, 2004 ; Vouillamoz, 2012). C'est ainsi que les cépages obtenus au fil du temps répondront aux objectifs de qualité, de productivité, d'adaptation au climat et au sol, et de résistance aux maladies et parasites (Boursiquot, 2012). Il est de plus à noter que le processus de domestication est toujours en cours dans la mesure où les races animales, les céréales, les légumineuses, et les variétés fruitières ou légumières alimentaires sont en incessante amélioration afin de répondre aux objectifs précédemment cités. Un exemple parmi tant d'autres :

- il y a une quarantaine d'année, la pastèque (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Mansf.) n'était pas très agréable à consommer du fait du nombre important de pépins. De nos jours, c'est un régal car à

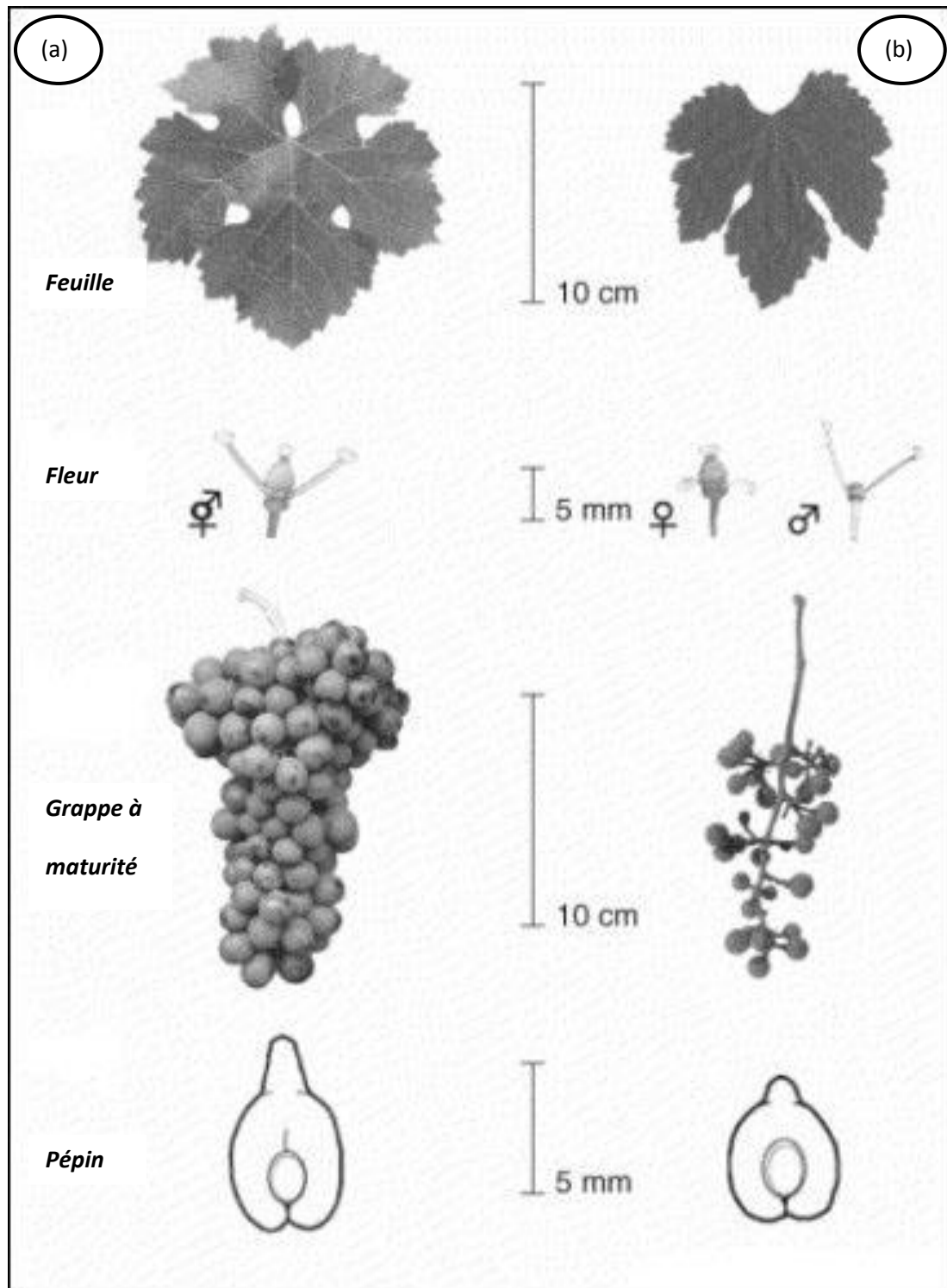
la suite de sélections et améliorations successives (Foury, *in* Le Bon Jardinier, 1992 ; Pitrat, 2014), ces pépins sont quasiment absents de la pulpe désaltérante de ce fruit originaire d'Afrique australe.

Les premiers cas de domestication (« primo-domestication ») des plantes et animaux seraient apparus à la Révolution Néolithique (environ 8 500 BC) dans le Croissant Fertile, lorsque de chasseur-cueilleur nomade l'Homme, au fur et à mesure des millénaires, est devenu agriculteur et sédentaire (Purugganan et Fuller, 2010). L'exploitation de la force animale conjointe à l'utilisation des métaux a permis à l'Homme d'utiliser d'autres énergies que le corps humain (Harlan, 1975) pour améliorer des pratiques culturelles (travail et fumure du sol, ...), jusqu'alors probablement archaïques, adaptées aux cultures désirées pour subvenir à ses besoins (Fuller *et al.*, 2011) liés à une démographie sans cesse croissante. L'introduction de nouvelles plantes et les connaissances apportées progressivement par les phéniciens, les grecs, et les romains au fil de leurs conquêtes de la Méditerranée occidentale contribueront à la mise en place et au développement de cultures rentables, notamment grâce à un savoir-faire en progrès constant concernant la conduite des végétaux cultivés (taille, modes de multiplication, apports de fumure...).

Ainsi, les caractères de la domestication, globalement appelés « syndrome de domestication », sont révélateurs de ces modifications (Terral, 1999 ; Purugganan et Fuller, 2009 ; Picq, 2012), bien qu'indifféremment associés ou non en fonction des espèces (annuelles ou pérennes) :

- des organes consommés plus gros (hypertrophie), donc plus de rendement productif.
- une dispersion limitée des semences due à la diminution (perte) de l'égrenage naturel, donc une récolte plus facile.
- une modification de l'architecture de la plante, donc obtention de végétaux à port ramifié, de forme naine, ...
- une perte de la spinescence, donc des plantes plus facilement manipulables.
- une perte des composés toxiques ou désagréables, donc des végétaux consommables et une saveur plus douce.
- une diminution de la dormance des graines, donc une homogénéité de la germination des semences et de leur maturité.
- l'autofécondation, ou la reproduction végétative (bouturage, greffage), à la place de la reproduction sexuée (semis), et qui permettent donc de conserver les génotypes. La multiplication végétative aurait été un élément décisif dans la rapidité de domestication de certaines plantes pérennes telles la vigne, l'olivier, le figuier, ou le palmier-dattier (Zohary et Spiegel-Roy, 1975).

Chez la vigne, le syndrome de domestication est ainsi révélé sur la morphologie de la feuille (bien que cet organe soit très plastique en fonction de l'environnement), de la fleur, de la grappe, du fruit ainsi que sa couleur, son contenu en sucres et sa saveur, et du pépin (Janick, 2005 ; Di Vecchi, 2007 ; Myles *et al.*, 2011 ; Terral *et al.*, 2010 ; Lacombe, 2012 ; Picq, 2012 ; Terral et Bouby, 2012) (cf : paragraphe 2.5. et figure 2 ci-après).



**Figure 2 :** Syndrome de domestication chez la vigne. Différences morphologiques entre la feuille, la fleur, la grappe, et le pépin entre (a) la vigne domestiquée *Vitis vinifera* L. ssp. *vinifera* et (b) la vigne sauvage *Vitis vinifera* L. ssp. *sylvestris* (d'après This et al., 2006).

Le syndrome de domestication implique également un mode de reproduction allant de la diécie qui implique une fécondation croisée chez la vigne sauvage, à l'hermaphrodisme qui permet

l'autofécondation chez l'immense majorité des cépages (Aradhya *et al.*, 2003). Toutefois, à partir de vignes sauvages, mâles ou femelles, qui pour pallier la stérilité de l'autre sexe deviendraient hermaphrodites pour le maintien de l'espèce, certains auteurs (*in* Picq, 2012) argumentent sur l'utilisation du faible pourcentage de ces vignes sauvages hermaphrodites (cf : paragraphe 2.5.6.) comme point de départ de la domestication de la vigne (Bouvier, 2007 ; Cipriani *et al.*, 2010). Et bien que la fabrication du vin soit vraisemblablement antérieure à la viticulture (Mc Govern *et al.*, 1996 ; Barnard *et al.*, 2010), cette dernière à partir de la vigne domestiquée a produit en quantités considérables un breuvage sur lequel ont été bâties les économies et communautés d'une bonne partie du pourtour méditerranéen (Cappellini *et al.*, 2009).

Le processus de domestication émerge à partir de plusieurs centres (ou foyers) et peut être résumé en trois étapes fondatrices principales (Weiss *et al.*, 2006) :

- la cueillette, à partir d'individus sauvages.
- la culture de ces individus sauvages dans des champs préalablement travaillés.
- la domestication au sens strict, à partir de la sélection successive des plants montrant des améliorations dans le développement et l'obtention des critères désirés.

La culture est l'étape la plus importante. Elle relève de plusieurs cycles successifs de cultures qui permettent une sélection progressive des plants cultivés, sélection effectuée au fur et à mesure des modifications acquises lors de la conduite des végétaux et amenant donc à la domestication. Il semblerait d'ailleurs qu'après la primo-domestication et la diffusion de la viticulture en Europe, le rôle de *Vitis vinifera sylvestris* dans l'histoire évolutive de *Vitis vinifera vinifera* soit secondaire (Di Vecchi, 2007). Parallèlement à la domestication, une dispersion/diffusion de la vigne a été effectuée par les populations, notamment grâce au bouturage. Depuis sa primo-domestication en Transcaucasie (ensemble Géorgie-Arménie-Azerbaïdjan) dans l'est du bassin méditerranéen il y a environ 6 000 - 5 500 ans BC, la vigne a ainsi été propagée en Mésopotamie et dans la Vallée du Jourdain (4 000 BC), en Egypte (3 000 BC), en Crète (2 200 BC), jusqu'à l'ouest du bassin en Italie/Péninsule ibérique (800 BC), et en Gaule (600 BC) (Arroyo-Garcia *et al.*, 2006 ; Imazio *et al.*, 2006 ; Bavaresco et Gardiman, 2012), notamment par les civilisations grecques et romaines qui ont joué un rôle essentiel dans la diffusion de l'arboriculture fruitière (Brun, 2004). Les techniques viticoles auraient ainsi voyagé au gré des déplacements des populations humaines qui auraient emporté avec elles leur propre matériel végétal (Cavalli-Sforza *et al.*, 1997 *in* Di Vecchi, 2007). Du fait de ces déplacements, les plantes cultivées et domestiquées se sont développées loin de leur centre d'origine (Purugganan et Fuller, 2009).

Plusieurs évènements de domestication (primaire et secondaire) ont été proposés. La communauté scientifique admet une domestication primaire de *Vitis vinifera* dans le sud-ouest asiatique en Transcaucasie (Levadoux, 1956 ; Olmo, 1995 ; Ekhvaia *et al.*, 2011 ; Bouby *et al.*, 2013), région caractérisée par une grande diversité génétique. Mais les lambrusques indigènes de l'ouest de la Méditerranée auraient contribué à la mise en place d'un foyer de domestication secondaire qui aurait donné naissance à plus de 70% des cultivars européens (Grassi *et al.*, 2003 ; Arroyo-Garcia *et al.*, 2006 ; De Mattia *et al.*, 2008 ; Lopes *et al.*, 2009). Cette hypothèse rejoint celle d'Olsen et Gross (2008) qui argumentent que, la plupart du temps, grâce à la génétique, on s'aperçoit que les représentants actuels cultivés montrent une similitude génétique avec un sous-ensemble géographique spécifique d'une espèce sauvage. Ainsi, les cépages d'origine française sembleraient

plus apparentés aux lambrusques françaises, et les cultivars provenant du centre de l'Europe sembleraient par contre plus apparentés aux vignes sauvages de cette même région (Lacombe *et al.*, 2003). Le mélange des vignes sauvages et des vignes introduites du fait des migrations humaines aurait donné, selon certains auteurs, des populations où se retrouve la diversité génétique des parents, eux-mêmes à l'origine de la grande diversité des cépages (Branas, 1974 ; Montaigne, 1996 *in* Byé *et al.*, 1998 ; Bouquet, 2008). La vigne sauvage est ainsi unanimement considérée par les botanistes et les généticiens comme l'ancêtre de la vigne cultivée-domestiquée (Zohary, 1995 ; Aradhya *et al.*, 2003 ; Arroyo-Garcia *et al.*, 2006).

On peut également noter que la mise en culture de lambrusques aux côtés de vignes domestiquées ou « en cours de domestication » aurait persisté jusque dans l'Antiquité romaine (Bouby *et al.*, 2010 ; Bouby *et al.*, 2013), hypothèse qui repose sur l'étude morphométrique de pépins archéologiques (Terral et Bouby, 2012). Des croisements auraient provoqué un accroissement de la variabilité des productions (Zech-Matterne, 2010) et l'élargissement du pool génétique en vue d'opérations d'amélioration variétale. La morphométrie est largement utilisée pour discriminer les pépins de raisins de vignes sauvages des pépins de vignes domestiquées et cultivées dans le registre actuel et archéologique, et ce depuis le début du 20<sup>ème</sup> siècle. Après l'indice de Stummer (1911), plusieurs méthodes de mesures ont été élaborées pour effectuer ces discriminations (Mangafa et Kotsakis, 1996) tout en tenant compte des effets de la carbonisation (Smith et Jones, 1990 ; Ruas et Bouby, 2010). Des études plus récentes (Bouby *et al.*, 2010 ; Bouby *et al.*, 2014) autorisent par exemple une interprétation sur l'évolution de l'utilisation de la vigne sauvage vers la vigne cultivée-domestiquée en Languedoc sur les sites de Lattara et Port Ariane. Ainsi sur le site de Port Ariane un prélèvement correspondant au 7<sup>ème</sup> s. BC fournit plus de pépins d'apparence sauvage et moins d'apparence cultivée, alors que deux autres nous renvoyant au 4<sup>ème</sup> s. BC nous fournissent l'inverse, ce qui est confirmé par huit prélèvements datés du 4<sup>ème</sup> s. BC au 2<sup>ème</sup> s. AD à Lattara. Trois siècles durant lesquels le basculement d'un statut à l'autre s'est effectué.

#### **2.4. Ecologie de la vigne :**

La vigne sauvage, *Vitis vinifera sylvestris*, est une plante héliophile, caducifoliée et pérenne affectionnant les bois clairs. Elle se développe également en lisière des forêts plus denses, surtout en zone alluviale (Arnold *et al.*, 1998 ; Bouby et Marinval, 2001). Si les lisières ensoleillées lui conviennent bien (Branas, 1974), elle aime les milieux frais et humides (Lacombe *et al.*, 2004) mais aussi les sols caillouteux calcaires ou acides, ainsi que les contextes édaphiques et climatiques plus stressants puisqu'on la trouve dans la garrigue nord montpelliéraine (Bourse, 2000 ; Terral, 2002). Son aire de répartition (cf : figure 3 ci-après) s'étend du sud de la mer Caspienne à la Méditerranée nord occidentale, suite à une recolonisation effectuée à la fin de la dernière glaciation (environ 11 000 BC) (Richard, 1988 ; Grassi *et al.*, 2008) à partir de zones refuges (Caucase, Péninsule des Balkans, Espagne, Italie). Elle tolère le sel (Ocete *et al.*, 2008), et résiste bien au froid jusqu'à -15°C (Dion, 1959 ; Larcher, 1970 *in* Planchais, 1973) voire moins puisqu'elle a résisté à une température de -23°C lors de l'hiver 1879-1880 (Bouvier, 2007). Elle se développe de façon générale en-dessous de 400 m d'altitude (Renfrew, 1973).



**Figure 3 :** Aire de répartition potentielle de *Vitis vinifera* L. *sylvestris*, (Zohary-Hopf, 2000).

Sous nos climats, la phénologie de la vigne commence avec le débourrement, généralement au début du mois de Mars, pour s'achever à la fin du mois de Novembre avec la défeuillaison ; la maturité des fruits arrive en fin d'été (Galet, 1993 *in* Lacombe, 2012).

Décrite en 1805 pour la première fois par le naturaliste allemand Carl Christian Gmelin (Gmelin, 1805), la vigne sauvage est une liane vigoureuse qui peut atteindre plus de 20 m de long en grimpant jusqu'à la canopée des forêts à l'aide de vrilles et de sarments ou en se développant sur le sol. Certains sujets âgés peuvent avoir un tronc jusqu'à 30 cm de diamètre, voire exceptionnellement 50 cm (Sebald *et al.*, 1992). Elle colonise les rives des cours d'eau (la ripisylve), mais cette colonisation est d'autant plus difficile que *Vitis vinifera sylvestris* est confrontée à la concurrence de végétaux plus performants, tels la clématite (*Clematis vitalba* L.), le lierre (*Hedera helix* L.), la salsepareille (*Smilax aspera* L.), le houblon (*Humulus lupulus* L.), ou encore la ronce des bois ou des haies (*Rubus fruticosus* L.) (Arnold *et al.*, 1998 ; Di Vecchi, 2007).

Sur certains individus, quelques maladies et ravageurs ont été observés à plusieurs reprises, mais sans dégâts importants : L'Erinose (*Colomerus vitis*) ou le Black-rot (*Guignardia bidwellii*) (Ocete *et al.*, 1995 ; Di Vecchi, 2001). Elle a probablement été atteinte par le Phylloxera (*Viteus vitifoliae*) à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle, et subit régulièrement le développement de l'oïdium (*Erysiphe necator*) et du mildiou (*Plasmopara viticola*) (Di Vecchi, 2007).

Si la vie d'un individu est de quelques dizaines d'années, voire dépasse le siècle (Oberlin, 1880 *in* Branas, 1974), *Vitis vinifera sylvestris* est actuellement une plante menacée essentiellement à cause d'activités anthropiques détruisant son habitat naturel, telles la déforestation au profit d'urbanisation ou d'élevage agricole, les incendies de forêts, les travaux de voirie, ou encore les aménagements de cours d'eau (Arnold *et al.*, 1998 ; Lacombe *et al.*, 2004 ; Snoussi *et al.*, 2004 ; Fournioux et Adrian, 2011). Quelques stations qui abritent ce taxon sont bien connues des chercheurs, mais ne sont peuplées que de quelques dizaines d'individus si bien que la vigne sauvage est considérée comme rare, ce qui lui confère donc un statut de plante protégée (Convention de Berne – J.O. 1993) (Arnold *et al.*, 1998 ; This *et al.*, 2001 ; Bouvier, 2007 ; Yobregat, 2010 ; Picq, 2012).

Vernaculièrement, *Vitis vinifera sylvestris* est la vigne sauvage autochtone européenne (This *et al.*, 2001 ; Lacombe *et al.*, 2003 ; Lacombe *et al.*, 2004) ; elle est régulièrement confondue avec (Levadoux, 1956 ; Delarze, 2009) :

- la vigne sauvage « sub-spontanée » (issue de pépins de cultivars de vigne cultivée).
- la vigne sauvage « post-culturelle » (vestiges d'anciennes cultures laissées à l'abandon).
- la vigne sauvage « spontanée coloniale » (espèces du genre *Vitis*, ou restes de vieilles cultures).
- la vigne sauvage « spontanée métisse » (issue de croisements naturels entre la vigne sauvage et la vigne cultivée, puisque les échanges polliniques, même faibles, entre les deux sous-espèces sont prouvés) (Aradhya *et al.*, 2003 ; Di Vecchi *et al.*, 2008 ; Lopes *et al.*, 2009 ; Zecca *et al.*, 2009 ; Myles *et al.*, 2011).

Bien qu'elles portent par erreur le nom de « sauvages », ces vignes sont en fait « férales » ou « ensauvagées », et restent hermaphrodites (Mangafa et Kotsakis, 1996 ; Ocete *et al.*, 2008).

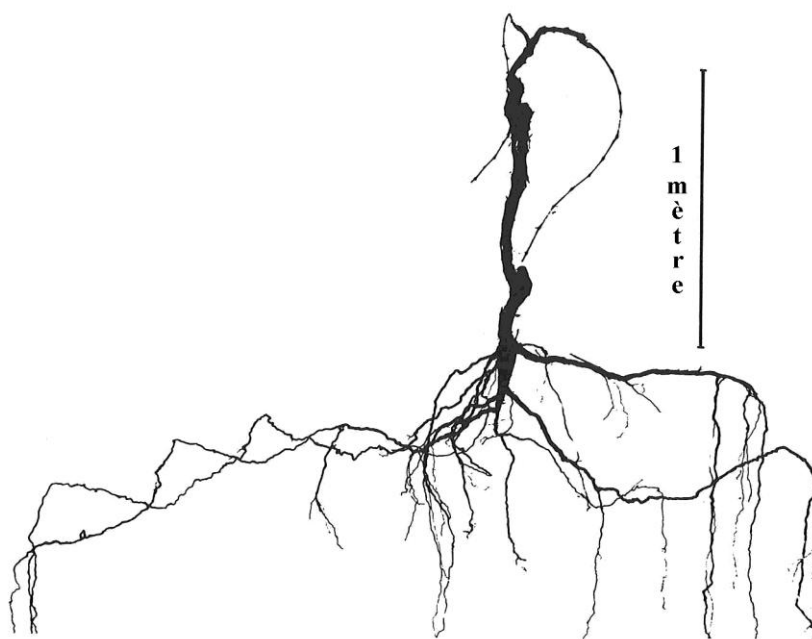
Les étapes successives de la domestication ont abouti à des exigences écologiques différentes concernant *Vitis vinifera vinifera*. Par exemple, le 'Chenin' se complaît dans la douceur angevine alors que la 'Clairette', cépage méridional, affectionne plutôt les conditions climatiques méditerranéennes. Si *Vitis vinifera vinifera* est également une plante héliophile et pérenne, elle est généralement plantée sur des sols secs et bien drainés. Il est d'ailleurs reconnu qu'elle fournit le meilleur d'elle-même lorsqu'elle croît à la limite de ses possibilités, sa culture est donc tout à fait possible dans des lieux à priori défavorables (Marinval, 1997). Chez la vigne sauvage la multiplication allie la propagation végétative (marcottage) et la reproduction sexuée (semis) (Lacombe *et al.*, 2004 ; Delarze, 2009). La capacité à la multiplication végétative a été interprétée par certains auteurs comme un mécanisme mis en place pour pallier une multiplication sexuée peu performante (Bruehl et Lieberman, 2001 - Wilcock et Neiland, 2002 - Rasmussen et Kollman, 2004 in Di Vecchi, 2007). La population de *Vitis vinifera sylvestris* du Pic St Loup semble principalement issue de semis. Par simple curiosité, un essai de multiplication par bouturage a été effectué, avec un résultat assez peu concluant puisqu'un tiers seulement des boutures ont raciné et pu être rempotées (Limier, obs. pers.).

Chez la vigne cultivée-domestiquée la multiplication est végétative grâce au marcottage, et surtout aux divers procédés de greffage (en fente, à œil poussant ou œil dormant, à l'anglaise) sur des boutures de porte-greffes américains (ex : *Vitis labrusca* L., *Vitis rupestris* Scheele, *Vitis riparia* Michx ; (Branas, 1974 ; Gosselin et Feuillas, in Le Bon Jardinier, 1992)) résistants au phylloxera. Ces porte-greffes ont été importés des Etats-Unis après la destruction du vignoble français à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle. L'avantage de la multiplication végétative est une production de fruits plus rapide à partir de matériel végétal défini et contrôlé (Harlan, 1975). Un inconvénient subsiste cependant : si la multiplication végétative permet le maintien des caractères recherchés, qui représente l'avantage principal, et le contrôle de la variabilité génétique, elle est également « responsable » d'une « non-évolution » de cette même variabilité permise par le semis (Myles *et al.*, 2011).

## **2.5. Morphologie et anatomie générale de l'espèce *Vitis vinifera* :**

### **2.5.1. Morphologie de la racine :**

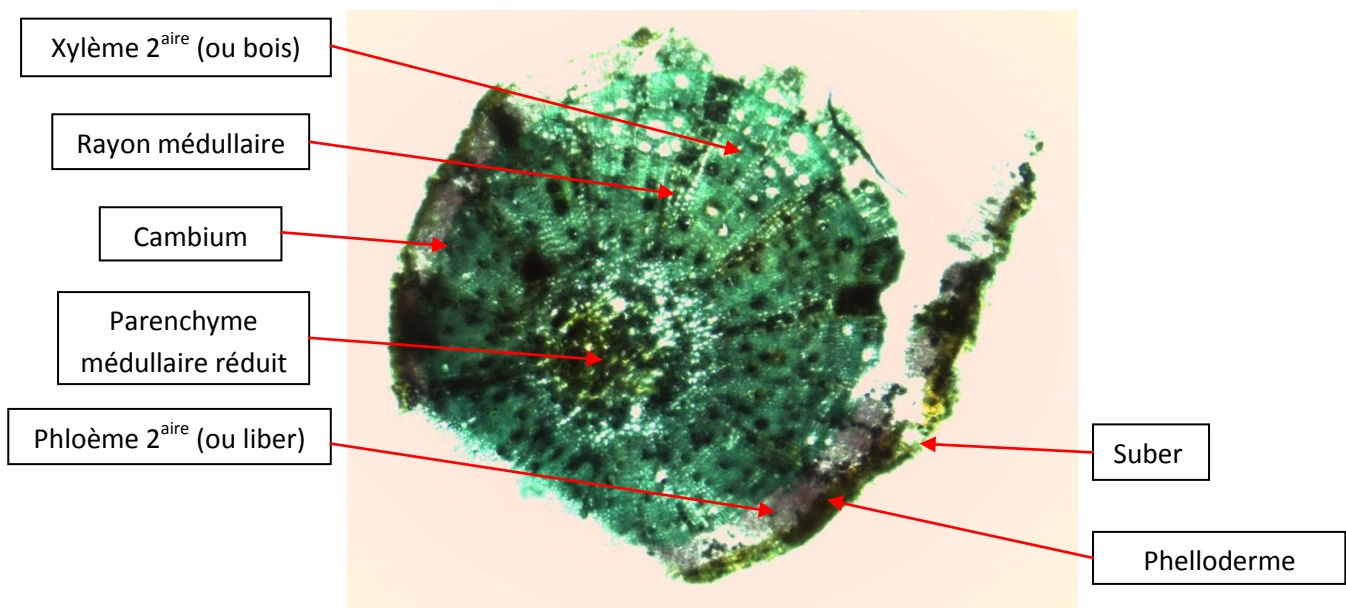
Le système racinaire est fasciculé (cf : figure 4 ci-après). Il se met en place à partir de 2 ou 3 racines principales qui se ramifient par la suite en racines secondaires, tertiaires, etc... (Huglin, 1986) terminées par une coiffe. Les racines portent des radicelles dont l'ensemble constitue le chevelu. C'est par le chevelu que sont absorbées l'eau et les matières minérales utiles et nécessaires à l'alimentation de la vigne. Le système racinaire atteint généralement 2 à 5 mètres de longueur, mais peut s'enfoncer dans le sol jusqu'à 10-12 mètres (Galet, 1993). La vigne a également une forte propension à former des racines adventives. Ces racines se mettent en place sur la tige, généralement au niveau des nœuds de sarments ou d'axes caulinaires plus vieux en contact avec le sol (marcottage). Cette capacité à produire des racines adventives est utilisée en viticulture sous le nom de provignage. Equivalent du marcottage, le provignage est une méthode de multiplication de la vigne utilisée pour compléter ou agrandir des parcelles de culture, régénérer des ceps trop âgés, ou encore remplacer des individus improductifs (Puig, 2011).



**Figure 4 : Système racinaire chez la vigne (Huglin, 1986).**

### **2.5.2. Anatomie de la racine (cf : figure 5 ci-après) :**

La zone médullaire est très réduite, voire absente par rapport à celle de la tige. Les cellules parenchymateuses du bois (ou xylème secondaire) sont fortement lignifiées. Les files de vaisseaux sont séparées par les rayons médullaires épais. Les cernes de croissance sont plus étroits que dans la tige. Du phelloderme (parenchyme de réserves) est présent et parfois abondant. Le rhizoderme, tissu de protection, protège la racine et est remplacé par du suber dès lors que le phellogène (non visible sur l'illustration ci-dessous) entre en fonction.



**Figure 5 :** Coupe transversale de racine de *Vitis vinifera* L. (coloration carmino-vert) (cliché : B. Limier / B. Sembeil, 2012).

### 2.5.3. Morphologie de la tige :

Le rameau annuel (unité de croissance de l'année), appelé « sarment » lorsqu'il est aoûté, présente une circonférence elliptique de diamètre plus important à la base qu'au sommet. Il est constitué d'une succession d'entre-nœuds (mérithalles) séparés par des nœuds qui sont les lieux d'insertion des feuilles, des bourgeons (yeux) latents et prompts-bourgeons, des inflorescences et des vrilles. L'intérieur du rameau est constitué de moelle, partiellement interrompue à chaque nœud par une cloison, le diaphragme. Sur les parties âgées (le cep pour la vigne exploitée), la couche externe d'écorce (rhytidome) se présente en languettes desséchées se détachant du reste de la plante.

La phyllotaxie est alterne distique. Les feuilles sont disposées sur un plan longitudinal à raison d'une feuille par nœud avec un angle de divergence de  $180^\circ$  entre chaque feuille, angle qui peut toutefois varier et seulement atteindre  $144$  ou  $154^\circ$  (Huglin, 1986). Les inflorescences et les vrilles sont oppositifoliées (cf : figure 6 ci-après) ; les premières se situent à partir des 3ème et 4ème nœuds alors que les secondes se trouvent sur les nœuds supérieurs. Les vrilles sont des organes spécialisés qui se ramifient généralement en deux lors de leur elongation, et se lignifient au même titre que les sarments. Avant leur lignification, les vrilles sont donc souples et se développent de manière linéaire jusqu'au moment où elles rencontrent un obstacle et se courbent alors par croissance différentielle ; ce phénomène est appelé le thigmotropisme. D'autre part, leur souplesse leur permet de s'enrouler autour de supports grâce à des mouvements de circumnutation (Darwin, 1875).



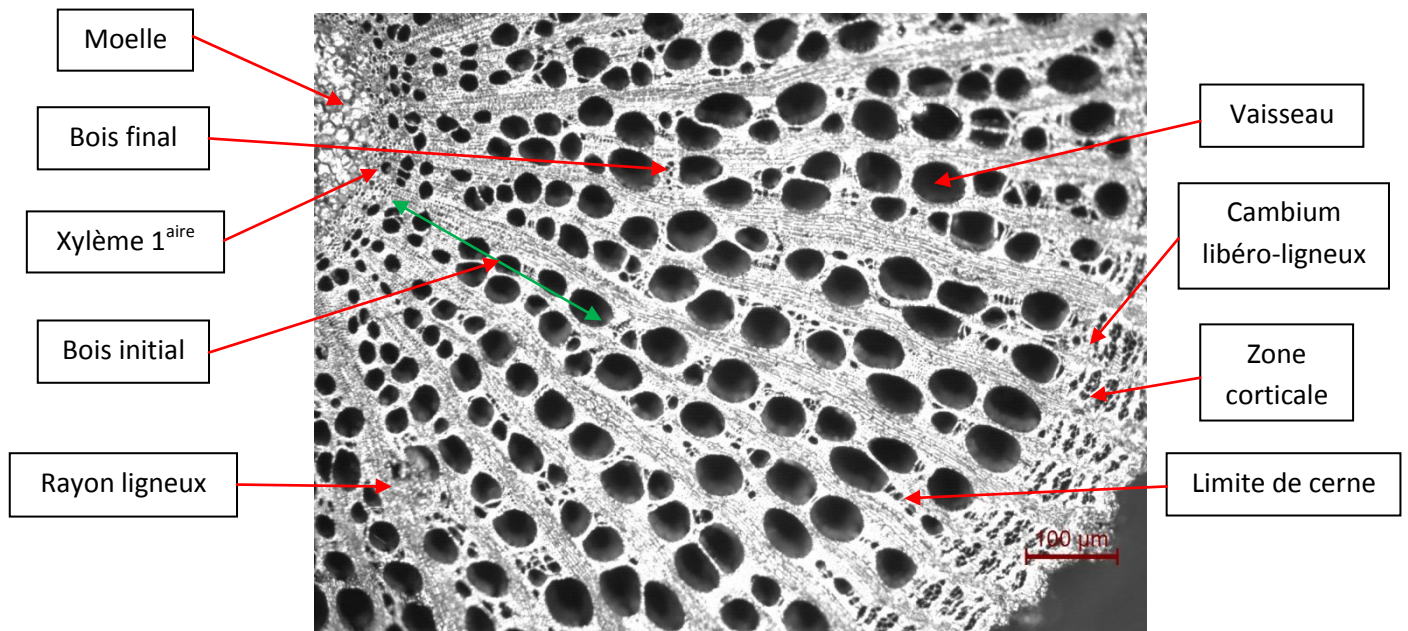
**Figure 6** : Position oppositifoliée des fleurs et vrilles (d'après Viala et Vermorel, 1901-1910).

**2.5.4. Description anatomique du bois de vigne** (d'après Schweingruber, 1978, 1990 ; Chabal et Terral, 2007) :

L'anatomie du bois de vigne est décrite dans les trois plans ligneux caractéristiques :

- plan transversal (cf : figure 7 ci-après): le bois est hétéroxylé (typique des Angiospermes Dicotylédones) à zone poreuse, rarement à tendance semi-poreuse. Les vaisseaux du bois initial (appelé « bois de printemps ») sont très larges et généralement solitaires. Ils augmentent progressivement de diamètre de la moelle au bois final (appelé « bois d'été ») pour ce qui est du premier cerne de croissance, et de la limite de cerne au bois final pour les autres cernes. Dans le bois final, les vaisseaux sont en files radiales ou en groupes. La transition entre le bois initial et le bois final est abrupte. Les limites de cernes sont ondulées, marquées par une à trois bandes de cellules radialement aplaties. Des résidus de xylème primaire écrasé sont présents entre la moelle et le bois du premier cerne. Le cambium libéro-ligneux produit du bois (ou xylème secondaire) vers l'intérieur de la tige, et du liber (ou phloème secondaire) vers l'extérieur. Les cellules sont à parois épaisses. Du parenchyme paratrachéal (associé aux vaisseaux) remplit l'espace entre les vaisseaux. Les rayons larges et

plurisériés occupent une grande partie de la surface transversale. La zone corticale est constituée de parenchyme, de liber secondaire, de tubes criblés et de cellules compagnes. La tige est protégée par un tissu de protection, l'épiderme (rapidement remplacé par du suber issu du fonctionnement de l'assise subéro-phellodermique), qui se détache durant la carbonisation.



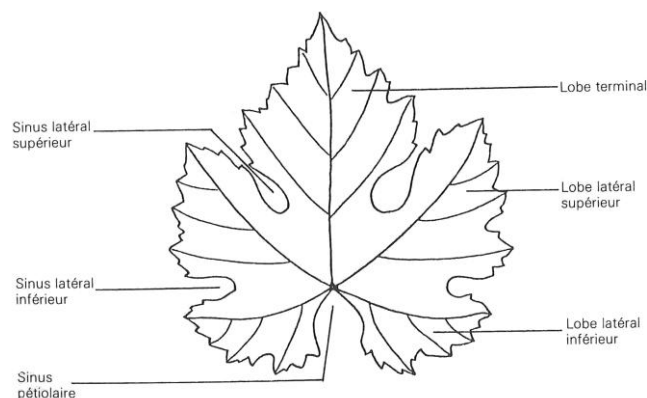
**Figure 7 :** Description anatomique du bois de vigne sur coupe transversale d'un charbon de bois de vigne actuelle. Le rhytidome est absent, s'étant détaché durant la carbonisation (cliché : B. Limier).

- plan radial : des perforations simples sont présentes dans les grands vaisseaux. Occasionnellement des perforations scalariformes (sous forme de bandes parallèles) peuvent se trouver dans les petits vaisseaux du bois final. Les perforations sont des ouvertures situées aux extrémités des éléments de vaisseaux, qui permettent la circulation de la sève brute d'un vaisseau à l'autre et dans le vaisseau. Les rayons sont homogènes à hétérogènes, souvent avec une ou deux rangées de cellules marginales carrées. Des fibres libriformes (cellules mortes et vides), parfois cloisonnées sont présentes. Des trachéides vasculaires (cellules) se trouvent à la fin du bois final.
- plan tangentiel : les rayons sont multisériés, de cinq à vingt sériés. La hauteur moyenne du rayon est de 2 mm, souvent jusqu'à 5 mm. De faibles cellules dans les rayons sont fréquemment présentes.

#### 2.5.5. Morphologie de la feuille :

La feuille de vigne comporte deux parties, le pétiole et le limbe. Le pétiole rattache le limbe à la tige au niveau du point pétiolaire, et le limbe est la partie plane parfois lisse et légèrement velue, où s'effectuent la photosynthèse, la transpiration, et la respiration. La feuille de vigne est palmatilobée (entière, simple, palmée (Fournioux et Adrian, 2011)), et présente de trois à cinq lobes plus ou moins échancrés (sinus) et dentés sur les contours (cf : figure 8 ci-après). Par lobe, une nervure principale

part du point pétiole et se divise en nervures secondaires. Une spécificité cependant : les nervures secondaires se situent de chaque côté de la nervure principale sur le lobe terminal, alors que sur les lobes latéraux elles ne se situent que sur le côté inférieur de la nervure principale.



**Figure 8** : Schéma d'une feuille de vigne (Rebmann D., in Huglin, 1986).

Chez la vigne sauvage le sinus pétiole est très largement ouvert, les dents sont courtes et peu nombreuses (Lacombe *et al.*, 2004), et sur la surface foliaire on trouve plus de poils couchés que sur celle des cultivars (Di Vecchi, 2007). La feuille rougit prématurément à l'automne, en particulier sur les individus mâles. Tandis que chez la vigne cultivée-domestiquée le sinus pétiole est nettement moins ouvert, les lobes se chevauchent parfois chez certains cépages, et la surface foliaire individuelle est très variable entre cépages (Galet, 1971 *in* Pallas, 2009).

#### **2.5.6. Morphologie de la fleur** (cf : figure 9 ci-après) :

Groupées en inflorescences (grappes de cymes), les fleurs sont de petite taille (environ 3 à 4 mm) et apparemment peu odorantes prises individuellement. Par contre, lorsque l'on se trouve à proximité d'un individu mâle (d'une vigne sauvage...) en pleine floraison l'odeur peut être enivrante (Ivorra et Limier, obs. pers.).

La fleur de la vigne est pentamère, hétérochlamyde et actinomorphe, et est formée (Huglin, 1986 ; Fournioux et Adrian, 2011) :

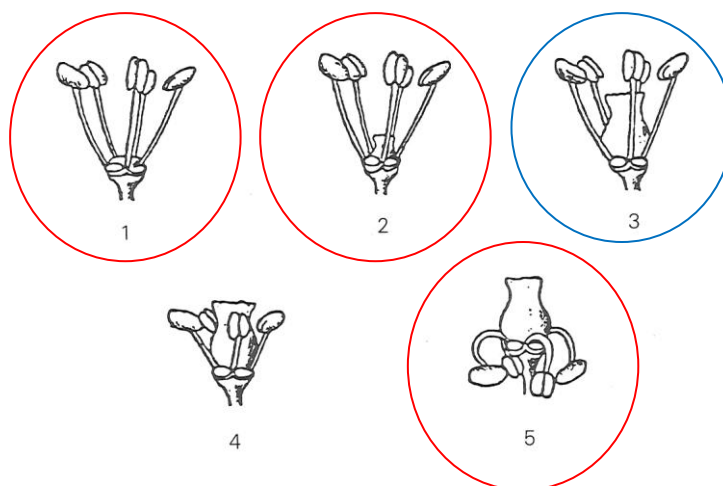
- d'un calice qui comprend 5 sépales soudés entre eux.
- d'une corolle constituée par 5 pétales soudés également entre eux et qui donne à la fleur juvénile de vigne la forme d'un capuchon appelé calyptra; lors de la floraison, la corolle s'ouvre par la base et le capuchon est ainsi libéré par distension du filet des étamines.
- d'un androcée formé par 5 étamines composées du filet et de l'anthère, elle-même constituée de 2 sacs polliniques ; ces sacs sont composés de 2 loges polliniques à l'intérieur desquelles se trouve le pollen. A maturité, le grain de pollen a une forme ovoïde d'une longueur d'environ 10  $\mu\text{m}$ , et possède 3 apertures.
- du disque composé de 5 nectaires sécrétant un suc sucré et odorant, le nectar.
- d'un gynécée ou pistil à ovaire bicarpellé (2 loges renfermant chacune 2 ovules).

La croissance de l'inflorescence démarre au débourrement et se termine à la véraison, avec le développement d'un axe principal ainsi que des ramifications secondaires, le tout composant la rafle (Huglin, 1986). Au stade de la floraison, un décalage phénologique naturel est constaté entre la vigne

sauvage et la vigne cultivée-domestiquée. Ce décalage ne permet généralement pas de fécondation croisée entre les deux sous-espèces (Lacombe *et al.*, 2004).

La vigne sauvage est une plante dioïque (pieds mâles et femelles distincts) bien qu'une petite proportion d'hermaphrodisme a pu être parfois signalée (Anzani *et al.*, 1990). Même l'existence d'une subdiécie (forme d'hermaphrodisme chez les fleurs mâles) est envisagée (Rivera Nùñez et Walker, 1989 ; Di Vecchi, 2007). La diécie est le caractère indiscutable pour différencier la vigne sauvage de la vigne cultivée (This *et al.*, 2006 ; Di Vecchi, 2007 ; Miller, 2008), c'est même probablement l'évolution majeure intervenue chez la vigne au cours de sa domestication (Picq, 2012). Les inflorescences sont peu nombreuses, l'inflorescence mâle est plus longue que la femelle ; certains sujets peuvent également ne pas en porter et donc rester stériles (Bourse, 2000). Les fleurs sont morphologiquement hermaphrodites mais fonctionnellement mâles (l'ovaire est atrophié) ou femelles (elles portent des étamines réflexes (repliées vers l'extérieur) avec du pollen stérile) (Rathay, 1889 ; Levadoux, 1946 ; Huglin, 1986). Malgré ce qui a été écrit précédemment sur le nombre d'étamines de l'androcée, certaines fleurs mâles ou femelles peuvent porter six étamines, comme cela a été constaté sur certains individus se développant au Pic St Loup, au nord de Montpellier (Limier, obs. pers.). La pollinisation est essentiellement anémophile (sur petites distances), éventuellement entomophile (Miller, 2008), et la grande majorité de cette pollinisation est effectuée par le mâle le plus proche (Di Vecchi *et al.*, 2008). Le sex-ratio (pour les vignes sauvages espagnoles) est d'une femelle pour 4 à 5 mâles (Ocete *et al.*, 1997), et concernant la population de vignes sauvages du Pic St Loup, il n'est pas rare de constater la présence d'un sujet mâle et un sujet femelle très proches l'un de l'autre (Ivorra et Limier, obs. pers.).

La vigne cultivée est presque exclusivement hermaphrodite, c'est-à-dire qu'elle porte des fleurs auto-fertiles (This *et al.*, 2006) à la fois mâle et femelle, avec des étamines érigées et un pollen non stérile ; elle se trouve rarement femelle (Boursiquot *et al.*, 1995 *in* Lacombe, 2012), et très exceptionnellement mâle (Bouby, 2010). La fécondation est donc essentiellement autogame (Heazlewood et Wilson, 2004 *in* Pallas, 2009).



**Figure 9** : Sexe des fleurs de vigne (OIV).

Pour la vigne sauvage (en rouge) : fleur mâle (1), fleur mâle à hermaphrodite (2), fleur femelle à étamines réflexes (5).

Pour la vigne cultivée (en bleu) : fleur hermaphrodite (3).

### 2.5.7. Morphologie du fruit (cf : figure 10 ci-après) :

Les fruits sont des baies (fruit à mésocarpe charnu généralement indéhiscent dont la graine (pépin) est protégée par un endocarpe fin). Ils sont de formes variées ; ils peuvent être aussi bien aplatis qu'arrondis, ou bien ovoïdes, ou encore cylindriques ou elliptiques (Huglin, 1986). L'épicarpe est recouvert d'une très fine couche d'aspect cireux, la pruine.

Si *Vitis vinifera sylvestris* peut fournir beaucoup de fruits sans taille ni entretien (De Candolle, 1883 in Marinval, 1997), les grappes sont petites avec des baies de petite taille (d'environ 5 mm à 8-9 mm de diamètre), noires ou violacées, et peu sucrées. Les baies blanches parfois observées relèveraient en fait de vignes férales (Bouvier, 2007), donc du syndrome de domestication. Bien qu'acides, certaines baies peuvent être agréables à manger (Navilov N.I. in Levadoux, 1956) comme le mentionne Lortet (1847) concernant les lambrusques de la région située entre la mer Noire et la mer Caspienne.

Chez *Vitis vinifera vinifera*, les grappes sont grosses et de formes variables (tronconiques, cylindriques, ailées, ...), avec des baies juteuses globulaires ou ovoïdes de volume important et de couleur variée (noire, violacée, rosée, jaunâtre, verte) et de goût sucré. Leur nombre sur le rameau dépend à la fois de l'âge de la plante et du génotype (Galet, 1971 in Pallas, 2009).



**Figure 10 :** Grappes et fruits de vigne sauvage (à gauche) et de vigne cultivée-domestiquée 'Carignan' (à droite) (clichés : S. Ivorra).

### 2.5.8. Morphologie de la graine (cf : figure 11 ci-après) :

Chez la vigne sauvage, les graines (pépins) sont de forme sphérique à cordiforme avec un bec court. Elles sont généralement au nombre de trois (Mangafa et Kotsakis, 1996 ; Ocete *et al.*, 2008 ; Terral *et*

*al.*, 2010 ; Picq, 2012 ; Bouby *et al.*, 2013) et sont dispersées par les oiseaux frugivores (Grassi *et al.*, 2008).

Chez la vigne cultivée-domestiquée les graines sont de forme allongée ovoïde à piriforme avec un bec long. Elles sont en moyenne au nombre de deux, pour parfois atteindre cinq ou six en fonction des cépages et la taille de la baie (Viala et Vermorel, 1901-1910 ; Mangafa et Kotsakis, 1996 ; Ocete *et al.*, 2008 ; Terral *et al.*, 2010 ; Picq, 2012 ; Bouby *et al.*, 2013).



**Figure 11 :** Pépins de vigne sauvage (à gauche) et de vigne cultivée-domestiquée (à droite) (clichés : S. Ivorra).

## 2.6. Utilisations de la vigne :

Il y a encore quelques décennies en Espagne, la vigne sauvage était utilisée pour fabriquer du vinaigre domestique ou bien colorer les vins clairs (Ocete *et al.*, 2008). Elle est toujours utilisée en Sardaigne par les paysans pour fabriquer du vin qui selon les années peut atteindre 14° (Bouvier, 2007). Les raisins de table sont essentiellement utilisés comme fruits frais, ou à l'état sec en pâtisserie (raisin de Corinthe, apyrène) ; quelques uns peuvent être à usage mixte et donc vinifiés, c'est le cas pour le 'Chasselas' en France ou le 'Greco di Tufo' en Italie par exemple.

Certains cépages servent à la production de jus de fruits, alors que les raisins spécifiquement de cuve servent à la vinification et à la fabrication d'eau de vie.

Les baies sont utilisées pour de nombreuses recettes culinaires et/ou viennoiseries. Les pépins servent à fabriquer de l'huile ou entrent dans la composition de fromages. Les feuilles de vigne farcies sont célèbres en Grèce.

D'autre part, la forte érosion génétique du compartiment cultivé depuis le milieu du 19<sup>ème</sup> s. (Alleweldt, 1983 *in* Lacombe, 2012) fait prendre conscience du potentiel de *Vitis vinifera sylvestris* comme seule et unique ressource génétique pour l'amélioration variétale (Sefc *et al.*, 2003). Leur maintien actuel en milieu naturel pourrait suggérer l'existence de gènes de résistance à certains bioagresseurs (Bourse, 2000), d'autant plus que la greffe de *Vitis vinifera vinifera* sur *Vitis vinifera sylvestris* est attestée dès 1871 (Rives, 1974). Des efforts doivent donc être faits pour sauvegarder les populations restantes et leur diversité génétique, cruciale pour les stratégies de conservation

(Negrul, 1938 ; Rives, 1974 ; Ocete *et al.*, 1997 ; Grassi *et al.*, 2006 ; Grassi *et al.*, 2008 ; Lopes *et al.*, 2009 ; Barth *et al.*, 2009 ; Arroyo-Garcia et Revilla, 2013).

### **3/ Histoire de la viticulture**

La vigne fait partie du plus vieux groupe de plantes cultivées pérennes dans le bassin méditerranéen avec l'olivier (*Olea europaea* L.), le palmier-dattier (*Phoenix dactylifera* L.), et le figuier (*Ficus carica* L.) (Zohary et Spiegel-Roy, 1975 ; Olmo, 1995). En dépit d'un corpus disponible important, dont quelques exemples suivent, de données archéologiques, historiques, génétiques et archéobiologiques permettant d'établir un modèle de développement, d'expansion et de diffusion de la viticulture et de la viniculture en France, notamment en Méditerranée nord-occidentale, la longue et complexe histoire de la viticulture demeure encore énigmatique. Ce corpus comprend :

- données historiques (textes et iconographie) (Billiard, 1913 ; Dion, 1959 ; Bouquet, 1982 ; ...).
- données biologiques et archéobiologiques (Zohary, 1995 ; Mc Govern *et al.*, 1996 ; Bouby *et al.*, 2005-2006, 2010, 2013 ; Miller, 2008 ; Barnard *et al.*, 2010 ; Terral *et al.*, 2010 ; Fuller *et al.*, 2011 ; Zohary *et al.*, 2012 ; ...).
- données archéologiques (sites viticoles, traces de plantations, amphores) (Buxo, 1992, 1996 ; Marinval, 1997, 1999 ; Monteil *et al.*, 1999 ; Boissinot, 2001 ; Brun, 2001a, b ; Buffat *et al.*, 2001 ; Py et Buxo, 2001 ; Mauné, 2003 ; Chabal, 2005 ; Jung *et al.*, 2008 ; Figueiral *et al.*, 2010a, b, c ; Ruas et Bouby, 2010 ; ...).
- données génétiques (Arroyo-Garcia *et al.*, 2006 ; Imazio *et al.*, 2006 ; This *et al.*, 2006 ; Bouquet, 2008 ; De Mattia *et al.*, 2008 ; Cappellini *et al.*, 2009 ; Myles *et al.*, 2011 ; ...).

#### **3.1. Inventaire non exhaustif des sources écrites :**

Les plus anciennes sources écrites dont nous disposons remontent au 3<sup>ème</sup> millénaire avant notre ère. En Grèce et en Crète aux temps des civilisations minoennes (2700-1200 BC) et mycéniennes (1400-1100 BC) (Treuil, *in* Leroi-Gourhan, 1994), les quantités de vin attribuées aux dieux sont déjà mentionnées sur des tablettes en linéaire B (cf : figure 12 ci-après) (Brun, 2003).



**Figure 12 :** Tablettes en écriture linéaire A ou B, Musée d'Héraklion, Crète (cliché : B. Limier).

Certains écrits religieux contribuent à l'histoire de la viticulture, même s'ils sont sans aucun fondement scientifique. Dans la Bible par exemple, Noé est considéré comme le 1er viticulteur au monde (Genèse IX) (Fregoni, 1991 ; Brun, 2003 ; Bouvier, 2007) puisqu'il est censé avoir planté les premières vignes au pied du Mont Ararat.

Les textes anciens écrits par les agronomes et/ou naturalistes grecs et latins (qui placent la vigne au-dessus des autres plantes et lui vouent un respect quasi religieux) (Dion, 1959) sont relativement nombreux dans le domaine de l'agriculture. Ceux qui mentionnent différents cépages s'avèrent pour le moment inexploitable pour caractériser les formes cultivées ou les cépages anciens (Terral et Bouby, 2012).

On peut ainsi citer Homère, qui déjà au 8<sup>ème</sup> s. BC décrit des vignobles plantés de façon ordonnée, et l'apport de fumure organique lors du comblement des fosses au moment de la plantation (Billiard, 1913 in Monteil *et al.*, 1999).

Au Maroc, seules des données textuelles avec les écrits de *Pseudo-Scylla* font part d'une viticulture probable dès le 6<sup>ème</sup> s. BC (Marinval, 1997). Il semblerait que ces sources soient les seules dont nous disposions pour documenter la viticulture en Afrique du nord à cette période.

L'historien grec Hérodote (5<sup>ème</sup> s. BC) affirme dans ses écrits qu'il n'y avait pas de viticulture et de viniculture en Basse-Egypte, et que les égyptiens buvaient un vin fabriqué avec de l'orge car ils ne possédaient pas de vignes (Bertrand, 1891 in Billiard, 1913). En fait, des attestations de culture de la vigne et de production de vin remontent à des périodes beaucoup plus anciennes telles que la première dynastie (2900 cal. BC) ou la troisième dynastie (2600 cal. BC) (Zohary, 1995).

Aux 4<sup>ème</sup> – 3<sup>ème</sup> s. BC, dans son « *De Causis Plantarum* », le philosophe grec Théophraste décrit les différences anatomiques existant entre les variétés de vigne. Il mentionne également les soins à apporter à la vigne en précisant que celle-ci doit être taillée annuellement, contrairement à d'autres espèces fruitières qui n'ont pas une croissance aussi rapide.

Quant à Caton l'Ancien (*Marcus Porcius Cato*, 234-149 BC), il préconise dans son « *De Agricultura* » un système de drainage au fond des fosses de plantation constitué de cailloux, coquillages, et branchages. Il décrit aussi le principe et la technique du greffage en fente. Quant au nombre de variétés de vigne existantes, il n'en mentionne que sept (Bronner, 2003). Pour la fabrication du vin, il semble le premier à mentionner le pressoir à levier pour presser les résidus d'après foulage, dont un exemplaire a été reconstitué au Mas des Tourelles à Beaucaire dans le Gard (Brun *et al.*, 2009 ; Limier, obs. pers.).

Considéré comme le premier ampélographe (Lacombe, 2012), Columelle (2 BC-65 AD), dans son « *Res Rustica* » mentionne les boutures racinées, le marcottage, la greffe en fente pour la multiplication, et la conduite en gobelet (qu'il considère comme la meilleure) pour la plantation de variétés à maturité échelonnée afin d'éviter des pertes dues aux intempéries (Billiard, 1913). Il insiste sur la dégénérescence causée par la pratique du semis, contrairement à l'agronome arabo-andalou Ibn Al-Awwâm dix siècles plus tard (Bouby *et al.*, 2010). Il définit également un protocole de plantation et d'entretien (préparation du terrain, défrichage, nettoyage, travail du sol, distances de plantation, fosses (*alvei*) allongées, conduite, épamprage, ...), tout en mettant l'accent sur les précautions sanitaires à prendre en compte lorsqu'une culture de vigne doit succéder à une

plantation malade afin de « détruire le poison » (*venenum*) (Boissinot, 2001). Il précise aussi qu'en tous lieux les plaines produisent un vin plus abondant, mais que les collines produisent un vin plus fin (Brun, 2003). Columelle prétend que les vignes des Allobroges (*Vitis allobrogica/Allobrigica frigidis*) perdent leurs qualités gustatives si elles sont cultivées ailleurs que dans leur région de production située autour de la cité de Vienne (Brun, 2001b). Il dresse également un inventaire des vignes connues et utilisées alors, tout en différenciant les cépages de table et ceux de cuve : vénucule (scirpule, sticule), numisiennes (pompéienne, murgentine), aminées (petite et grande variété), aminées jumelles, de Nomentum (rubelliennes, féciniennes), apiennes (aux saveurs exquises de fruits, qui « attirent les mouches »), biturique, royale (les deux très fécondes), visule, petite argitis, helvoles (bigarrées), albuélis, spionie, balisque, oléaginie, frégellane noire, mérique, rhétique, grande arcelaque, pergulane, irtiole, féréole, dracontion, allobrogique, arcelle, élvenaque, duracine, ainsi que des petites vignes grecques (maréotiques, thasiennes, psithiennes, sophorties, inerticule noire). Selon lui, le rendement d'une plantation en vigne pouvait atteindre 30 hl/ha, soit le rendement actuel d'une vigne de qualité, à condition toutefois que les viticulteurs ne commettent pas certaines erreurs comme un mauvais choix du cépage ou du terrain, ou bien encore un mauvais élevage du jeune plant (Tchernia, 1986). Il assure également que plus on traite la vigne, plus elle prend de maladies (Bouvier, 2007), ce qui est encore vrai de nos jours.

Plinie l'Ancien (23-79 AD) fait probablement mention de la vigne sauvage sous le nom de « lambrusque » dès le 1<sup>er</sup> s. AD (« *Labrusca* ») (Levadoux, 1956). Dans son « *Naturalis Historia* » il estime le nombre de cépages à plus de 400, préconise la plantation en fosses (*alvei*) et mentionne la taille nécessaire de la vigne. Il assure que la technique du greffage de la vigne de Caton est dépassée par les Gaulois, auxquels les Romains empruntèrent une tarière perfectionnée (Dion, 1959). Il considère la Narbonnaise comme lieu de culture intense de la vigne pour la production de « posca » (mélange de vinaigre et d'eau) destinée aux classes moyennes et aux soldats (Bouvier, 2007) ; le vin de Béziers (produit par la vigne aminée), supérieur, était lui envoyé à Rome dès le début du 1<sup>er</sup> siècle BC (Buffat *et al.*, 2001 ; Figueiral *et al.*, 2010a ; Bouby *et al.*, 2013). Il mentionne également, toujours dans son « *Naturalis Historia* », un cépage originaire de Sicile et planté abondamment au pied du Vésuve (le « *Murgentina* » qui prendra plus tard le nom de « *Pompeiana* » (Tchernia, 1986)), ainsi qu'un cépage importé du littoral basque par les Bituriges Vivisques (peuple habitant au sud de l'estuaire de la Gironde) pour constituer le vignoble bordelais (Lavignac, 2001 *in* Bordenave *et al.*, 2007). Ce cépage appelé « *Biturica* » est probablement issu de lambrusques autochtones de la zone atlantique humide (Bouquet, 1982). Il prétend également que les cépages italiens antiques seraient plutôt dus à une importation de l'Est qu'à une utilisation des vignes sauvages locales (Dion, 1959 ; Grassi *et al.*, 2003). Plinie écrit aussi quelques recommandations concernant le stockage et la conservation du vin en *dolia*, afin d'éviter que celui-ci ne s'abîme et contamine la production, et développe également les nombreuses propriétés médicinales du raisin (Brun, 2003).

Les *dolia* étaient des grandes jarres en poterie stérilisées et imperméabilisées avec de la poix bouillante (Bouvier, 2007) et utilisées pour le stockage de denrées diverses et variées telles le vin, l'huile, ou encore les céréales. Ils étaient généralement d'une contenance comprise entre 200 et 450 litres, mais certains pouvaient avoir une capacité beaucoup plus importante, de l'ordre de 1700 ou même 2100 litres, voire jusqu'à 2500 litres ; un exemple est celui exposé au Musée Henri Prades à Lattes (cf : figure 13 ci-après), d'une capacité estimée à 1840 litres (Carrato, 2014). Le transport des denrées était plutôt assuré avec des amphores ou des outres, beaucoup plus légères et maniables que les *dolia* (Brun, 2003). Des amphores, entières ou brisées, ont été abondamment découvertes

dans des contextes différents (Tchernia, 1986 ; Laubenheimer, 2005 ; Olmer, 2008), contrairement aux outres, récipients étanches en peau d'animal cousue qui sont par contre abondamment représentées sur les vases grecs (Bouvier, 2007).



**Figure 13** : *Dolium* à Lattara, 1<sup>er</sup> s. AD, Musée H. Prades, Lattes (cliché : B. Limier).

Pline et Columelle attirent l'attention sur un cépage résistant au froid et donnant un vin abondant et d'une qualité honorable : *Vitis biturica* (Columelle) et *Vitis biturigiaca* (Pline). En effet, ces deux appellations concernent probablement un seul et même cépage (Balmelle *et al.*, 2001). Les deux auteurs mentionnent déjà à leur époque un classement des cépages en fonction de leur qualité, robustesse, et fécondité (Tchernia, 1986), des vins résinés (Barnard *et al.*, 2010), ainsi que l'utilisation des fleurs et racines de vigne pour parfumer les vins ou guérir certaines maladies (Bouvier, 2007).

Palladius (5<sup>ème</sup> s. AD) souligne les différences existant entre les types de vigne, et que seule l'expérience fera que telle ou telle vigne sera utilisée dans tels lieux et expositions pour pallier les problèmes climatiques. Dans son « *De Re Rustica* » il décrit également la culture de la vigne sur hautain (arbre) de rumpotin (peuplier, *Populus* sp.) spécifique à la Gaule (Boissinot, 2001), mais précise que les ormes (*Ulmus* sp.), chênes (*Quercus* sp.), frênes (*Fraxinus* sp.), charmes (*Carpinus* sp.) et cornouillers (*Cornus* sp.) sont également utilisés. L'abondante bibliographie relate les différents modes de conduite de la vigne (Amouretti, 1988 ; ...). En effet, cette dernière pouvait être cultivée soit rampante à même le sol (« en foule »), procédé que l'on retrouve encore actuellement sur l'île cycladique de Santorin en Grèce (Limier, obs. pers.), soit sur tige, soit tout simplement en gobelet (c'est une forme classique, d'origine carthaginoise (Tchernia, 1986)), voire encore sur support (sur joug, sur échalas, sur arbre (cf : figures 14, 15, 16 ci-après)) comme cela est refait au Mas des Tourelles (Tchernia et Brun, 1999 ; Limier, obs. pers.). Cette conduite est appelée « *arbustum* », qui signifie « vigne mariée aux arbres » (Tchernia, 1986).



**Figure 14 :** Vigne cultivée sur échelas au Mas des Tourelles à Beaucaire, Gard (cliché : B. Limier).



**Figure 15 :** Vigne cultivée sur arbre (olivier) au Mas des Tourelles à Beaucaire, Gard (cliché : B.Limier).



**Figure 16 :** Vigne cultivée sur pergola au Mas des Tourelles à Beaucaire, Gard (cliché : B. Limier).

Palladius mentionne également la greffe en couronne, en fente, en écusson, et préconise le mélange de variétés. Le greffage de la vigne, présenté au 19<sup>ème</sup> siècle comme une découverte fondamentale, était donc déjà bien connu des agronomes latins « dont les œuvres sont parvenues jusqu'à nous » (De Mondenard, 1898 in Byé *et al.*, 1998).

Dans leurs traités agricoles, les auteurs n'omettent pas de mentionner les ravageurs (oiseaux, mammifères, insectes) et les maladies de la vigne qui étaient donc déjà connus, ainsi que les traitements adéquats pour lutter contre. Ainsi, des esclaves étaient chargés de faire fuir les étourneaux en Egypte, et les Hébreux construisaient des murs de pierre pour protéger leurs vignobles des renards (Billiard, 1913).

Dion (1959) mentionne que les Grecs connaissaient et pratiquaient la conduite fondamentale de la taille. Il argumente, en se basant sur les actions de divers empereurs romains successifs, que « le

vignoble français est un monument romain, et des mieux conservés ». Ainsi, sous Cicéron (106-43 BC), le droit de planter la vigne était réservé en Gaule aux hommes jouissant de droit de cité romaine. De son côté, Domitien (51-96 AD), contrairement aux idées reçues, n'impose pas l'arrachage des vignes gauloises qui soi-disant concurrençaient les vignes romaines, mais plutôt l'arrachage de cépages « grossiers » qui produisaient un vin certes abondant mais d'une exécration qualité, et évidemment de garder les bons (Dion, 1959).

L'établissement de la paix romaine permet alors l'épanouissement vinicole du pays des Allobroges, avec l'implantation de vignobles d'élite autour de Vienne, surnommée « *Vitifera Vienna* » (Vienne la vineuse) (Martial, 40-104 AD ; André et Levadoux, 1964). Plus tard, Probus (232-282 AD) se chargera d'encépager le reste du territoire gaulois non encore planté en vignes (Victor, 4<sup>ème</sup> s. AD in Brun, 2001b).

### **3.2. Sources archéologiques et bioarchéologiques :**

#### **3.2.1. Quelques représentations de la vigne dans l'iconographie :**

Parmi les sources archéologiques nombreuses et variées provenant de divers sites méditerranéens, les représentations de vigne sur objets domestiques (miroirs en bronze, coupes à boire), bas-reliefs rupestres, poteries, sarcophages, fresques et mosaïques murales sont nombreuses. Les figures 17 à 24 ci-après en présentent quelques exemples.

**Figure 17 :** Couvercle de sarcophage d'enfant, 2<sup>e</sup> s. AD, Musée Lapidaire, annexe du Musée Calvet, Avignon (cliché : B. Limier).



**Figure 18 :** Cratère mis au jour à Pompéi, 1<sup>er</sup> s. AD, Antiquarium Boscoreale (cliché : B. Limier).

**Figure 19** : Flacon en verre en forme de grappe, 1<sup>er</sup>-2<sup>e</sup> s. AD, Musée de l'Arles Antique (cliché : S. Ivorra).



**Figure 20** : Licurgue pris dans des lianes de vignes, 6<sup>e</sup> s. BC, fresque murale au Musée archéologique de Délos (Grèce) (cliché : B. Limier).

**Figure 21** : Mosaïque aux pampres de vigne, 4<sup>e</sup> s. AD, Loupian (Hérault) (cliché : B. Limier).





**Figure 22 :** Mosaïque comprenant un paon posé sur un sarment de vigne avec grappes et vrilles, 4<sup>e</sup> s. BC, Musée archéologique de Naxos (Grèce) (cliché : B. Limier).



**Figure 23 :** Stèle funéraire de vigneron, 1<sup>er</sup> – 2<sup>e</sup> s. AD, Musée archéologique de Nîmes (cliché : B. Limier).



**Figure 24 :** Bas-relief, 1<sup>er</sup> s. AD, Pompéi (cliché : B.Limier).

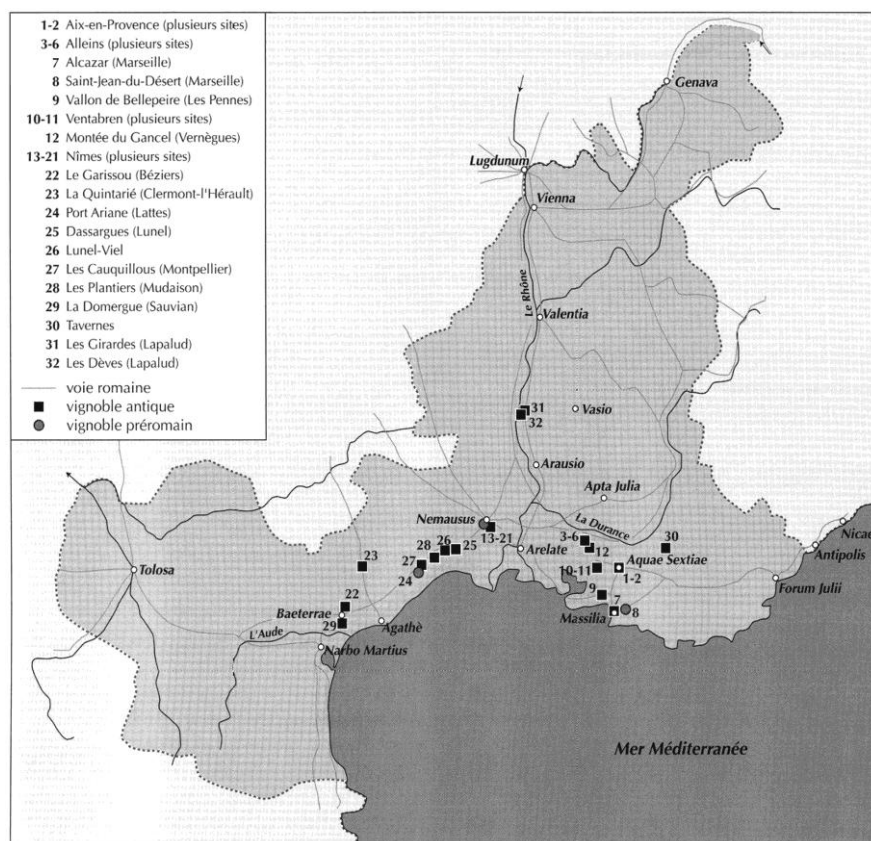
Un autre exemple peut être également pris en considération : dans plusieurs tombeaux égyptiens datant des différentes dynasties d'avant notre ère, la vigne est toujours représentée avec des baies de couleur foncée (Guasch-Jané *et al.*, 2006) et cultivée sur tonnelles ou treilles disposées dans les jardins en rangs parallèles assez espacés (Loret, 1892). Des pressoirs sont également représentés sur des hiéroglyphes (Rivera Nùnez et Walker, 1989).

Mais l'iconographie est une discipline qui fait l'objet d'études effectuées par des spécialistes car l'interprétation est primordiale pour la compréhension de l'Histoire. Nous nous en tiendrons donc qu'à ces quelques exemples. Pour avoir une idée bien représentative de la dévotion de l'Homme envers la vigne, il est donc conseillé de consulter le magnifique ouvrage « Le Vin, Nectar des Dieux, Génie des Hommes » paru en 2009 sous la direction de JP. Brun, M. Poux, et A. Tchernia, ou encore celui de M. Bouvier paru en 2007, « Les Vins de l'Antiquité ». Les sources écrites et iconographiques de l'âge du Bronze (3 000 BC) signalent la culture de la vigne, la production de vin, son stockage et son transport (Terral et Bouby, 2012).

### **3.2.2. Vestiges archéologiques (immobiliers, mobiliers, et d'ordre biologique) en Narbonnaise et dans les territoires connexes :**

Il semblerait que les premières preuves de cueillette de lambrusques remontent au Paléolithique inférieur (avant 300 000 BC) (Marinval, 1999 ; Zohary *et al.*, 2012), voire même 400 000 BC puisque sur le site de Terra Amata, à Nice, ont été trouvés plusieurs pépins (Marinval, 1997). Cette cueillette aurait perduré jusqu'à l'âge du Fer (environ 700 BC) voire même après. C'est à partir du milieu de ce même âge du Fer (environ 5<sup>ème</sup> s. BC), qu'une amélioration des plantes indigènes serait intervenue grâce à une mise en culture supposée d'après les restes de plus en plus nombreux de pépins de type cultivé-domestiqué retrouvés dans les fouilles archéologiques. Cette mise en culture aurait peut-être été effectuée sous l'influence de colons. L'augmentation du pollen de vigne dans les diagrammes polliniques (Planchais, 1982 ; Py et Buxo, 2001) traduit l'expansion locale de la culture de la vigne. Quoiqu'il en soit, il est fort probable que les raisins de vignes sauvages aient d'abord été consommés comme n'importe quel autre fruit, c'est-à-dire à l'état frais, voire sous forme de réserves séchées (Firmin, *in* Leroi-Gourhan, 1994). La fabrication du vin est arrivée plus tard, et c'est la preuve archéologique la plus ancienne et la plus substantielle du changement de la nature de l'utilisation de la vigne par l'Homme (Pagnoux *et al.*, 2014).

Sur la carte présentée ci-après (figure 25) sont indiqués les principaux sites de Narbonnaise où, grâce aux traces de plantation mises au jour, la culture de la vigne est attestée au cours de la période préromaine (5<sup>ème</sup>-2<sup>ème</sup> s. BC : Lattes-Port Ariane, Nîmes, Marseille-St Jean du Désert) jusqu'au 3<sup>ème</sup> s. AD (Béziers, Clermont-l'Hérault-La Quintarié, Lunel Viel, Nîmes, Aix en Provence, Lapalud-Les Girardes, etc...). On constate une nette évolution du nombre d'exploitations viticoles identifiées, depuis les quelques sites préromains jusqu'à l'Antiquité tardive, avec un développement particulièrement rapide de la viticulture durant la deuxième moitié du 1<sup>er</sup> s. BC (Boissinot et Puig, 2005-2006).



**Figure 25 :** Carte des vignobles préromains et romains (d'après Boissinot, 2001).

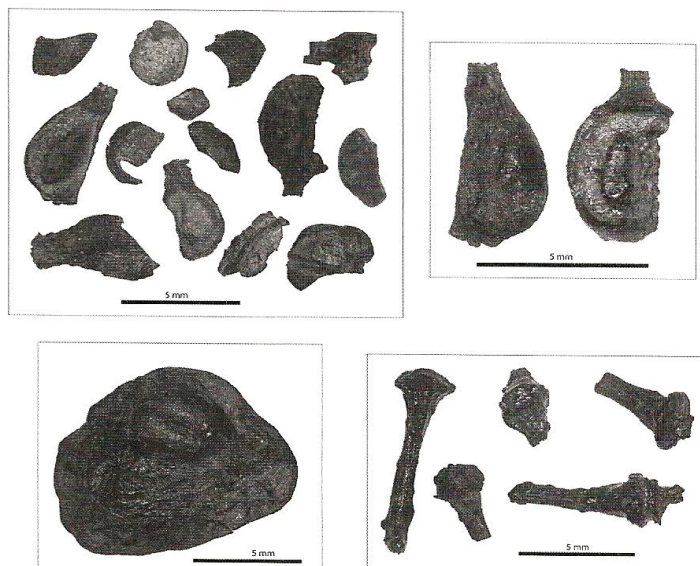
La seule découverte de pépins (conservés soit gorgés d'eau, soit carbonisés, soit minéralisés) possédant une morphologie de type cultivé ne suffit pas à prouver une production *in situ* ; ils peuvent très bien avoir été importés. L'hypothèse d'une viticulture locale est en revanche favorisée par l'abondance et la multiplication de ce genre de découverte dans des contextes et des sites différents. Ainsi la découverte sur un même site d'un nombre élevé de pépins et de charbons de bois de vigne ne présentant qu'un seul cerne suggère, même s'il ne s'agit pas d'une preuve tangible, que la plante est taillée chaque année (Marinval, 1997 ; Chabal et Terral, 2007). De même, un pourcentage élevé de grains de pollen de *Vitis* plaide en faveur d'une culture de la vigne, ou d'un essor de la viticulture (Puertas, 1998). L'association de pépins à d'autres restes botaniques de vigne (bois, rafles, pollen), ainsi qu'à des objets et/ou des structures archéologiques liées à la viticulture (pressoirs, serpettes, ... cf : figure 26 ci-après) témoigne de l'existence d'une production de vin (Bouby et Marinval, 2001). Toutefois, la découverte au Proche-Orient des plus anciennes unités de fabrication de jus alcoolisé datées d'environ 5 500 ans (Hajji Firuz Tepe - Iran) ou 4 000 ans (Areni Cave - Arménie) avant notre ère (Zohary, 1995 ; Mc Govern *et al.*, 1996 ; Barnard *et al.*, 2010) ne



**Figure 26 :** Serpette époque romaine. Musée de l'Ephèbe, Agde (cliché : B. Limier).

prouvent en rien une mise en culture de la vigne, la production de vin étant possible à partir de jus de baies de vigne sauvage (Miller, 2008 ; Casanova, 1998 *in* Bouby *et al.*, 2010 ; Picq, 2012).

En Languedoc, jusqu'à la colonisation romaine, la viticulture est semblée cantonnée à de petites zones géographiques. Ensuite, de la fin du 2<sup>ème</sup> s. BC jusqu'au début du 3<sup>ème</sup> s. AD, les exploitations viticoles se développent et de nombreux vestiges attestent leur présence (Mauné, 2003). Déjà dès la fin du 2<sup>ème</sup> s. BC des traces de culture précoce de la vigne sont présentes à Nîmes (Monteil *et al.*, 1999) ou encore au Castel des Nages (Buxo, 1996). A la fin du 1<sup>er</sup> s. BC la vigne s'étend et couvre de larges territoires (Brun, 2010 ; Bouby *et al.*, 2013). Dans la région, les traces d'une réelle expansion de la culture de la vigne sont datées des 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> s. AD (Buffat *et al.*, 2001). Le site de 15 ha du Gasquinoï à Béziers (Figueiral *et al.*, 2010a) où ont été découverts en abondance des restes de *Vitis* (bois et charbons de bois, pépins, baies, fragments de peau, ...) (cf : figure 27 ci-après) ainsi que des vestiges d'activités humaines liées à la vigne (cuves, *dolia*, traces de plantations et de provignage, ...) (Bouby *et al.*, 2010) est un bon exemple.



**Figure 27 :** Restes de *Vitis vinifera* (fragments de pépins, baie desséchée avec pépins, pédicelles) (cliché : S. Ivorra).

Le site de La Quintarié à Clermont-l'Hérault (1<sup>er</sup> s. AD) est également révélateur. Des parcelles consacrées à la culture de la vigne assez petites (de l'ordre de l'hectare) et un important chai pouvant accueillir près d'une trentaine de *dolia*, des cuves, et un pressoir y ont été découverts (Boissinot, 2001 ; Pomarède *et al.*, 2008). Ces exemples illustrent ainsi la préface du traité de Columelle : « Nous faisons les vendanges dans les Cyclades, en Bétique, et en Gaule » (Brun, 2001b ; Brun, 2010).

Des dispositifs de plantations en tranchées et en fosses essentiellement allongées, des empreintes de provignage ainsi que l'évidence d'apports de fumure (tessons, charbons de bois, os, ...) ont été mis au jour (Boissinot, 2001 ; Boissinot et Puig, 2005-2006). En Narbonnaise, le positionnement des parcelles de culture et des traces de plantation est en adéquation avec les prescriptions des agronomes antiques (Jung *et al.*, 2008), ce qui n'est pas forcément le cas ailleurs (Jashemski, 1979, 1991).

Sur le site de Lattara, qui a été occupé depuis la moitié du 6<sup>ème</sup> s. BC jusqu'au 3<sup>ème</sup> s. AD, la culture de vigne est progressive (Buxo, 1992, 1996), qu'elle soit destinée à la production de raisin de cuve ou de table. Cette progression fait suite à une déforestation systématique au profit de nouvelles terres cultivables (Chabal, 1991 *in* Buxo, 1996) s'étendant jusqu'au site tout proche de Port Ariane. Ainsi, des traces de plantations (tranchées) (cf : figure 28 ci-après) et de provignage datées du 2<sup>ème</sup> âge du Fer (du 4<sup>ème</sup> au 1<sup>er</sup> s. BC) ont été retrouvées sur les deux sites.

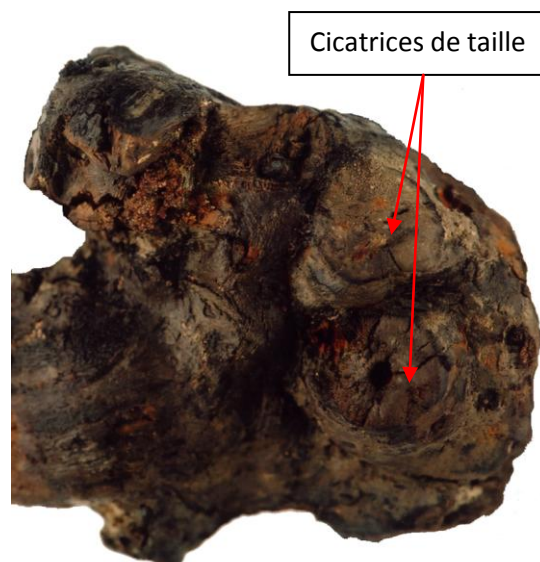


**Figure 28 :** Structures interprétées comme des fosses de provignage (cliché : V. Léa, *Lattara 20*, 2007).



**Figure 29 :** Empreintes du vignoble de Lattara (2<sup>e</sup> s. BC) (cliché : C. Jung, *Lattara 20*, 2007).

On peut compter une densité d'environ 9600 plants de vigne/hectare (Jung, 2007 ; Brun, 2010 ; cf : figure 29 ci-avant). De même, de nombreux outils en rapport avec la viticulture et la viniculture ont été mis au jour, telles des serpettes attestées depuis la fin du 5<sup>ème</sup> s. BC ou encore une maie de pressoir datée du dernier quart du 5<sup>ème</sup> s. BC comportant des traces d'acide tartrique (Mc Govern *et al.*, 2013). L'acide tartrique, contenu dans le raisin mais pas dans l'olive, permet d'affirmer un pressage pour la production de vin. Les découvertes progressives et les études des carporestes ont montré un considérable développement de la culture et l'utilisation de la vigne sur le territoire lattois entre le 4<sup>ème</sup> s. et la fin du 2<sup>ème</sup> s. BC. Selon les unités stratigraphiques correspondant aux périodes données, les restes de *Vitis* représentent 18 à 30 % des carporestes à la fin du 4<sup>ème</sup> s. et au début du 3<sup>ème</sup> s. BC pour atteindre 75 à 85 % et jusqu'à 99 % vers la fin du 2<sup>ème</sup> s. BC (Py et Buxo, 2001). Sur la totalité du site, 15 à 25 % des restes de plantes cultivées et 80 % des fruits retrouvés sont de la vigne (Mc Govern *et al.*, 2013). Des bois gorgés d'eau (fragments de ceps et sarments) ont été découverts, des traces de coupe correspondant à un témoignage de la pratique de la taille sont présentes sur un courson daté du 1<sup>er</sup> s. BC (-30/-15) (Chabal, 2005 ; cf : figure 30 ci-après).



**Figure 30 :** Coursion de vigne (1<sup>er</sup> s. BC) avec cicatrices de taille (cliché : L. Chabal).

Des restes de pédicelles et même quelques baies, des charbons de bois de vigne (Chabal, 1997) ainsi que de nombreux pépins conservés soit carbonisés, soit imbibés, soit minéralisés ont également été trouvés. Un récipient en terre rempli de pépins de raisin daté du 5<sup>ème</sup> s. BC (-450, -425) a été mis au jour. Son contenu a été interprété comme un résidu de pressurage stocké en vue de fabrication de farine ou d'huile utilisables pour l'alimentation ou la cosmétique (Alonso et Rovira, 2010). Les restes d'un tonneau ont également été découverts dans un puits daté du 1<sup>er</sup> s. BC (Py, 1988 *in* Desbat, 1991), ce qui permet d'envisager des échanges *via* le Rhône entre Lattara et Lyon où se trouvait une grosse production de tonneaux de la fin du 1<sup>er</sup> s. BC jusqu'à la fin du 1<sup>er</sup> s. AD. Le tonneau a progressivement remplacé l'amphore pour des raisons évidentes de manutention et d'économies (Marlière, 2001).

Sur le site d'Ambrussum occupé depuis la fin du 3<sup>ème</sup> s. BC jusqu'au début du 1<sup>er</sup> s. AD (Chabal, 1989), des charbons de bois de vigne ont été prélevés dans une structure identifiée comme étant un four. Des traces de plantations datées du 1<sup>er</sup> s. BC y ont également été mises au jour (Buxo, 1996).

On peut également mentionner le site de Sauvian-La Lesse, à quelques kilomètres au sud de Béziers, occupé de la moitié du 1<sup>er</sup> s. BC jusqu'au début du 3<sup>ème</sup> s. AD. Des restes de pressage de raisin (pépins et pédicelles), des charbons de bois et des tessons de poterie enduits de poix (Figueiral *et al.*, 2014) y ont été découverts.

En Provence, les plus anciens indices de viticulture en Gaule proviennent de la cité phocéenne de Marseille, à partir de l'arrivée des Grecs fondateurs de la ville de Phocée au 6<sup>ème</sup> s. BC (Bouby et Marinval, 2001). Une certaine forme de viticulture semble se répandre dès le 5<sup>ème</sup> s. BC chez les indigènes de l'étang de Berre qui, peut-être sous le contrôle de Marseille, exploitaient des vignes de façon probablement rudimentaire. Les Phocéens auraient alors appris aux indigènes la pratique de la taille (Bouvier, 2007). A ce titre, des restes de marc de raisin ont été retrouvés sur l'île de Martigues (Bouby et Marinval, 2001 ; Py et Buxo, 2001). Des traces de plantation de vigne telles que des fosses allongées ou des traces de provignage datées entre le 4<sup>ème</sup> et le 2<sup>ème</sup> s. BC (Boissinot, 2001) ont été retrouvées sur le site de Saint Jean du Désert, près de Marseille. D'autres indices tels que des installations viticoles, des vestiges de pressoirs ou encore des *dolia* ont été mis au jour à Montjean (4<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> s. BC), à Cavaillon et au Canet des Maures (1<sup>er</sup> s. BC) (Buxo, 1996). La viticulture

provençale s'est énormément développée pendant le 1<sup>er</sup> s. AD notamment aux environs des cités d'Arles, Avignon, ou encore autour de Fréjus (Brun, 2001a).

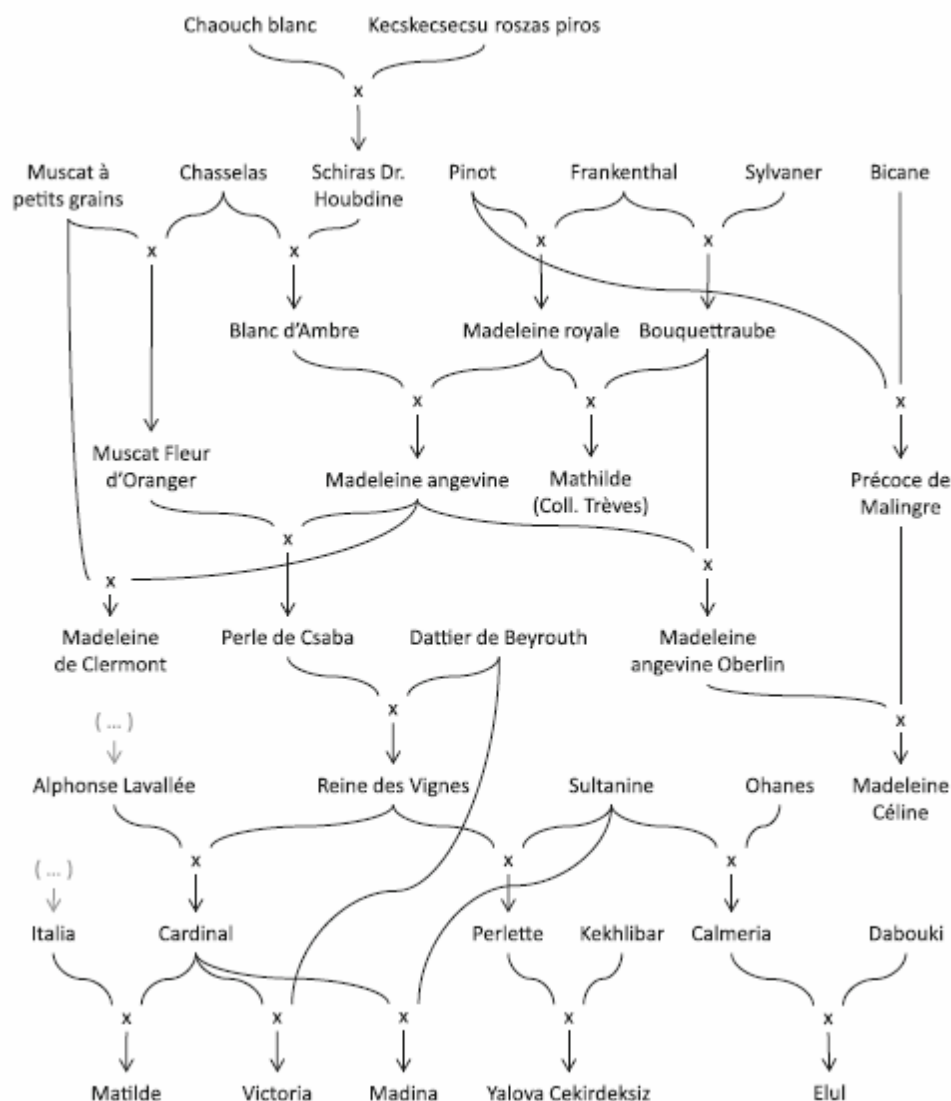
Parallèlement, durant les 6<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> s. BC une diffusion de vin s'est effectuée à partir de Marseille vers le Languedoc, la Provence, et la vallée du Rhône (Brun, 2001a ; Py et Buxo, 2001).

Dans la vallée du Rhône et plus précisément dans le Tricastin (Jung *et al.*, 2001), la production viticole se développe entre la seconde moitié du 1<sup>er</sup> s. et la première moitié du 2<sup>ème</sup> s. AD, en atteste la mise en évidence de plusieurs *villae* viticoles réparties en une douzaine de sites comprenant des fouloirs, des pressoirs, et des celliers. Certaines exploitations étaient tournées vers l'exportation grâce au Rhône qui permettait le transport du vin par voie fluviale. Dans le même secteur, le site des Girardes à Lapalud, daté du 1<sup>er</sup> s. AD, comprend une surface d'environ 20 ha de viticulture autour d'une ferme (Boissinot, 2001), surface remplie de fosses rectangulaires et de traces de provignage.

Du 1<sup>er</sup> au 6<sup>ème</sup> s. AD, la viticulture se développe dans un premier temps en Aquitaine où cinq ceps datés de la seconde moitié du 1<sup>er</sup> s. AD et portant des traces de taille ont été trouvés à Bordeaux (Balmelle *et al.*, 2001). Ces traces suggèrent une conduite de la vigne pour la production de raisin destiné à la table ou à la cuve. Puis ce développement de la viticulture s'est poursuivi dans le pays arverne (Vallat et Cabanis, 2009) jusqu'à Bourges (*Avaricum*), conjointement sur les 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> s. AD (Ferdrière *et al.*, 2000), ou encore en Bourgogne (Garcia et Chevrier, 2010), dans le Val de Loire (Brun et Gilles, 2001), et dans le nord de la Gaule (Zech-Matterne, 2010).

### 3.3. Sources génétiques :

La vigne a suscité de nombreux travaux de génétique visant à reconstituer l'origine des cépages et leur généalogie. La génétique peut permettre de révéler certains ancêtres communs des cépages grâce aux analyses moléculaires, spécialement à l'aide de marqueurs microsatellites nucléaires (*nuclear Short Sequence Repeat* ou nSSR) qui sont très fiables pour l'identification des cultivars modernes (Boursiquot *et al.*, 2009 ; Di Vecchi *et al.*, 2009 ; Vouillamoz et Arnold, 2009). Ainsi 828 cépages ont vu leur ascendance directe précisée. Des géniteurs clés tels que le 'Pinot noir', le 'Savagnin' ou bien le 'Muscat à petits grains' ont été révélés, de même que l'importance de géniteurs insoupçonnés tels que le 'Fer' (géniteur de 'Gros Cabernet') ou encore le 'Grec rouge' (géniteur de 'Raisaine') (Lacombe, 2012). Des marqueurs microsatellites chloroplastiques (cpSSR), ou plus récemment les polymorphismes nucléotidiques simples (*Single Nucleotide Polymorphism* ou SNP) sont également utilisés (Cabezas *et al.*, 2011 ; Lacombe *et al.*, 2012). La généalogie de quelques cépages actuels a pu ainsi être mise en évidence dans la mesure où un grand nombre de cépages cultivés aujourd'hui résulte de l'hybridation de cépages préexistants, donc plus anciens (Boursiquot, 2012). Exemple parmi tant d'autres, le croisement entre la 'Perle de Csaba' et le 'Dattier de Beyrouth' a produit la 'Reine des Vignes' qui, croisée avec l'Alphonse Lavallée a produit le 'Cardinal' (Lacombe *et al.*, 2012 ; cf : figure 31 ci-après).



**Figure 31 :** Exemple de généalogie chez quelques cépages de *Vitis vinifera* L. (d'après Lacombe *et al.*, 2012).

Présentant un grand intérêt pour étudier la diversité et l'histoire évolutive des espèces, les SNP ont été utilisés pour étudier le rôle de certains gènes d'intérêt liés à la saveur, à la taille de la baie ou au sexe (Houel, 2011 ; Emmanuelli *et al.*, 2010 - Houel *et al.*, 2010 - Picq, 2012 in Lacombe, 2012). Le développement des techniques en génétique et en génomique a logiquement conduit à tenter de les appliquer à des restes archéologiques de vigne afin de rechercher des traces d'ADN ancien dans le but, notamment, de rechercher, voire d'identifier la parenté d'un ou plusieurs de nos cépages contemporains (Manen *et al.*, 2003 ; Cappellini *et al.*, 2009). La condition *sine qua non* est que cet ADN contenu dans les restes archéologiques ne soit pas trop dégradé ni fragmenté par le temps et les facteurs biologiques et physico-chimiques environnementaux (pH, température, humidité, pression, lumière) (Barriel, 1997). A la mort d'un organisme, l'ADN des cellules se dégrade automatiquement par autolyse. Pour atténuer ou ralentir l'inexorable dégradation de son ADN, un organisme doit ainsi être conservé à l'état frais, de préférence en conditions anaérobies soit très sèches chaudes ou froides, soit humides, l'idéal étant la congélation. Dans le cas d'un pépini

minéralisé, donc transformé, celui-ci aura perdu la totalité de son matériel génétique. Cependant, des essais d'extraction d'ADN ancien à partir de matériel carbonisé ont bien été tentés, avec des résultats encourageants malgré la très infime quantité d'ADN présent et utilisable (Brown *et al.*, 2014 ; Wales, 2015). L'ADN ancien est très fragile et infinitésimal, généralement très fragmenté et donc difficilement exploitable. Lors des prélèvements ou des manipulations il est donc impératif d'être extrêmement attentif et précautionneux afin d'éviter toutes contaminations éventuelles causées par de l'ADN moderne de l'espèce *Vitis vinifera* L. Lorsque des séquences d'ADN ancien peuvent être amplifiées avec succès, il est alors possible de les comparer à des références de cultivars actuels.

En revanche, l'étude de la parenté des cépages réalisée sur l'actuel ne donne qu'un âge relatif d'apparition de ceux-ci. La vigne cultivée étant majoritairement reproduite par voie végétative, les temps de génération sont très variables et on peut difficilement extrapoler une durée absolue à partir des quelques générations qui peuvent être reconstruites (généralement 3 à 4 maximum, exceptionnellement 7 (Lacombe *et al.*, 2012)). Pour positionner un cépage dans le temps, seuls les textes historiques peuvent être utilisés jusqu'à présent. Par exemple, certains cépages tels le 'Chenin', le 'Pinot', le 'Gouais' ou bien encore le 'Grenache' semblent déjà bel et bien exister au Moyen-Âge car des citations de noms reliés avec les cépages actuels sont mentionnés dans les textes (Bouquet, 1982 ; Lacombe, 2012 ; Lacombe, com. pers.).

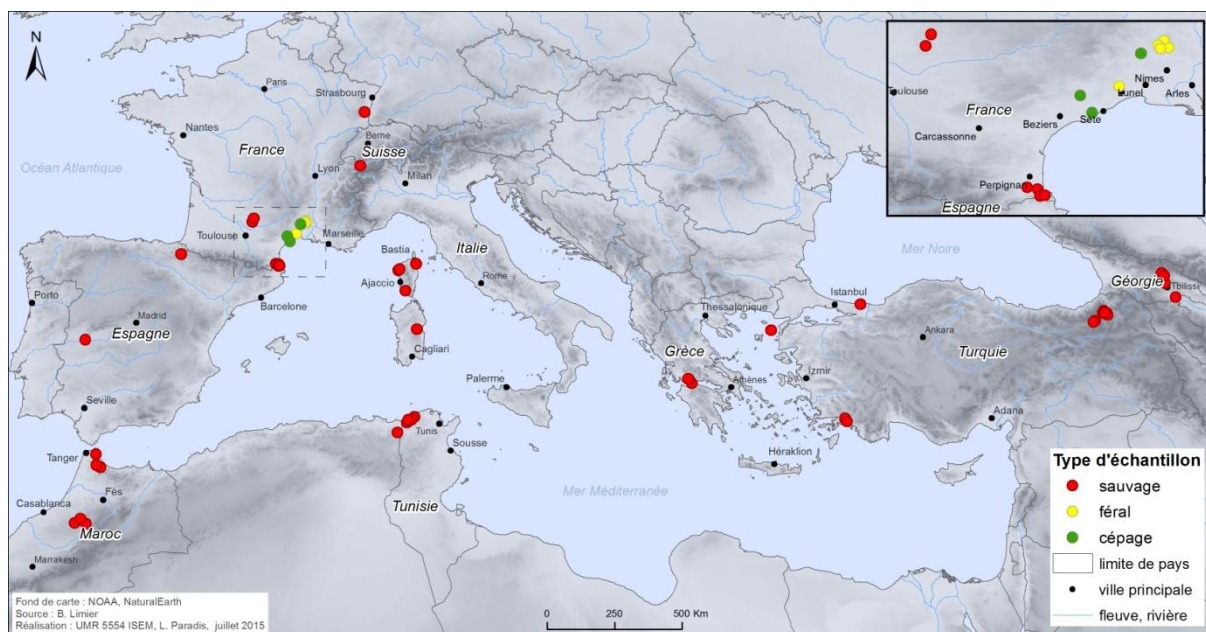
Actuellement, en dépit des nombreuses théories et hypothèses, il n'existe aucune preuve effective de parenté jusqu'à l'Antiquité, d'autant moins que les noms cités par les agronomes antiques ne correspondent pas à ceux de nos variétés actuelles. Même si les écrits de certains auteurs mentionnent le 'Gouais blanc' comme cépage préromain que Probus aurait fait planter en masse au 3<sup>ème</sup> s. AD en croyant faire planter du 'Gamay noir' (Bouvier, 2007), ou bien encore le 'Pinot' qui aurait déjà été présent en Bourgogne au temps de la conquête romaine (Bowers *et al.*, 1999), il n'y a, dans l'état actuel de nos connaissances et l'avancée des travaux scientifiques, aucune identification avérée de cépages antiques. Le 'Muscat à petits grains' pourrait correspondre avec une forte probabilité au *Vitis apianae* (vigne qui attire les mouches) décrit entre autre par Pline, donc remontant au moins au 1<sup>er</sup> s. de notre ère (Branas, 1974 ; Bronner, 2003 ; Lacombe, com. pers.). Ce cépage est le géniteur direct ou indirect de la quasi-totalité des variétés muscatées actuelles (Crespan et Milani, 2001), il est donc plus ancien que tous ces cépages dont certains sont mentionnés depuis très longtemps. Le 'Muscat à petits grains' a été et est encore très largement diffusé dans tous les vignobles bordant la Méditerranée.

Quoiqu'il en soit, à l'aperçu de la longue liste de cépages cités par les agronomes antiques, il est permis de suggérer qu'une certaine part d'entre eux puisse encore exister de nos jours, grâce à la multiplication végétative (greffage, bouturage). Malgré tout, en l'état actuel des recherches, il est encore difficile de reconstituer l'arbre généalogique d'un cépage, ne serait-ce qu'à cause de l'érosion génétique naturelle ayant affecté ses ancêtres, leur disparition pouvant être due aux pathogènes, aux phénomènes climatiques, voire à leur manque d'intérêt dans des contextes économiques ou socioculturels changeants (Bouquet et Boursiquot, 1996 *in* Lacombe, 2012 ; Bouby, 2010).

## 4/ Matériel et méthodes

### 4.1. Matériel de référence :

Les échantillons de bois de vigne actuelle utilisés dans le cadre de cette étude ont été prélevés à partir de vignes sauvages, de cépages (vignes cultivées-domestiquées), et de vignes férales (formes ensauvagées) (cf : figure 32 ci-après).



**Figure 32 :** Répartition géographique des échantillons de vignes sauvages, de cépages et de vignes férales utilisées dans le cadre de cette étude.

Ces échantillons ont été classés dans 4 groupes définis *a priori* à partir des vignes sauvages et des cépages. Les échantillons de vigne férale n'ont, dans un premier temps, pas été considérés dans ce classement (cf : paragraphe 4.1.3.) :

- vigne sauvage/bois immature (ou juvénile).
- vigne sauvage/bois mature.
- vigne cultivée-domestiquée/bois immature.
- vigne cultivée-domestiquée/bois mature.

La notion de maturité du bois a été établie de la façon suivante (cf : Huglin, 1986 ; Terral, 2000) :

- bois immature : bois de 1 à 2 ans (bois de sarments et d'axes porteurs de 2 ans).
- bois mature : âge  $\geq 3$  ans.

Nous avons effectué une catégorisation liée à l'âge de la branche car ce dernier est reconnu comme le facteur majeur de variation anatomique chez les ligneux, en particulier les arbres (Nicaut *et al.*, 2010). En effet, il est admis que la variation des caractéristiques anatomiques réponde au modèle théorique suivant :

Anatomie =  $f(\text{âge})$  + résidus du modèle + aléas + erreurs de mesure, où :

Résidus du modèle = facteurs endogènes naturels, facteurs exogènes (écologie (climat, sol, ressources hydriques, compétition), influence de l'Homme, ...).

#### 4.1.1. Vigne sauvage :

A partir de 50 stations, 1 501 échantillons de vigne sauvage, répartis en 1379 échantillons de bois immature et 122 échantillons de bois mature, ont été prélevés sur 189 individus lors de plusieurs missions organisées entre 2003 et 2012 dans divers pays d'Europe, du sud-ouest asiatique, et d'Afrique du Nord (cf : tableau I ci-après). Ce déséquilibre de taille d'échantillonnage s'explique par l'accessibilité des échantillons et parce que la vigne sauvage est une espèce protégée dans la plupart des pays qui ont fait l'objet de prélèvements. Il convenait d'éviter autant que possible de couper des axes de gros calibre.

**Tableau I :** Nombre d'échantillons prélevés/individu/station/zone géographique + contexte écologique.

| Pays    | Région/Dép <sup>t</sup> | Station               | Nb individus | Contexte écologique   | Nb ech. bois immature | Nb éch. bois mature |
|---------|-------------------------|-----------------------|--------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| Espagne | Pays Basque             | Olave                 | 1            | Bocage                | 5                     | 2                   |
|         | Caceres                 | St Nicolas del Puerto | 2            | Ripisylve             | 17                    | 2                   |
| France  | Pyrénées Orientales     | Casa Brugat           | 3            | Forêt                 | 25                    | 0                   |
|         |                         | Farga                 | 2            | Ripisylve             | 14                    | 2                   |
|         |                         | Lavall                | 8            | Ripisylve             | 58                    | 5                   |
|         |                         | Roca Vella            | 4            | Ripisylve             | 25                    | 5                   |
|         |                         | Valbonne              | 17           | Ripisylve             | 114                   | 1                   |
|         | Tarn                    | Belaygues             | 4            | Bocage                | 47                    | 0                   |
|         |                         | Grésigne              | 5            | Forêt décidue         | 68                    | 2                   |
|         | Corse                   | Col de la Croix       | 1            | Maquis                | 0                     | 0                   |
|         |                         | La Marana             | 2            | Bordure étang         | 7                     | 1                   |
|         |                         | Loreto                | 8            | Ripisylve             | 53                    | 1                   |
|         |                         | Palmarella            | 2            | Chênaie verte         | 11                    | 0                   |
|         | Hérault                 | Pic St Loup           | 3            | Garrigue              | 30                    | 2                   |
|         | Alsace                  | Ste Croix en Plaine   | 1            | Lisière forêt décidue | 0                     | 6                   |
| Suisse  | Valais                  | Ottan / Salvan        | 4            | Forêt décidue         | 37                    | 2                   |
| Italie  | Sardaigne               | Locoe                 | 1            | Ripisylve             | 5                     | 0                   |
| Tunisie |                         | Babouch               | 2            | Maquis                | 24                    | 0                   |
|         |                         | Cap Negro             | 8            | Maquis                | 55                    | 4                   |
|         |                         | El Houimdia           | 2            | Ripisylve             | 6                     | 0                   |
|         |                         | Ouchtata              | 8            | Ripisylve             | 47                    | 6                   |
|         |                         | Oued Titria           | 2            | Ripisylve             | 6                     | 1                   |
|         |                         | Tabarka               | 5            | Ripisylve             | 37                    | 1                   |
| Turquie |                         | Dereçi                | 1            | Ripisylve             | 2                     | 2                   |
|         |                         | Dögüsbelen            | 6            | Lisière forêt         | 49                    | 5                   |
|         |                         | Eskiköy               | 3            | Ripisylve             | 27                    | 3                   |
|         |                         | Gökçeada              | 11           | Ripisylve             | 103                   | 2                   |
|         |                         | Ispir                 | 9            | Ripisylve             | 61                    | 1                   |
|         |                         | Kandira               | 3            | Forêt                 | 32                    | 0                   |
|         |                         | Tekkale               | 1            | Bordure étang         | 2                     | 1                   |
|         |                         | Tortum                | 3            | Ripisylve             | 17                    | 2                   |

|              |          |                 |            |            |             |            |
|--------------|----------|-----------------|------------|------------|-------------|------------|
|              |          | Yucari          | 1          | Ripisylve  | 11          | 0          |
|              |          | Yusufeli        | 7          | Ripisylve  | 81          | 3          |
|              | Anatolie | Cirali          | 3          | Maquis     | 7           | 0          |
|              |          | Tekk Kilesi     | 4          | Forêt      | 13          | 2          |
|              |          | Yenikoğ         | 4          | Ripisylve  | 14          | 0          |
| Géorgie      |          | Gardabani       | 8          | Forêt      | 5           | 18         |
|              |          | Meneso          | 1          | Bord route | 3           | 2          |
|              |          | Tsitsamuri      | 1          | Bord route | 5           | 0          |
|              |          | Zhenvali        | 3          | Bord route | 9           | 1          |
| Maroc        |          | Akchour         | 2          | Ripisylve  | 20          | 4          |
|              |          | Alguemous       | 2          | Ripisylve  | 23          | 4          |
|              |          | Beni Hassan     | 3          | Ripisylve  | 31          | 0          |
|              |          | Moulay Bouazza  | 5          | Ripisylve  | 70          | 15         |
|              |          | Oued Smir       | 2          | Ripisylve  | 19          | 0          |
|              |          | Oulmes          | 4          | Ripisylve  | 63          | 10         |
|              |          | Oulmes 2        | 1          | Ripisylve  | 9           | 1          |
| Grèce        |          | Nafpaktos       | 3          | Ripisylve  | 6           | 1          |
|              |          | Sella Pausanias | 1          | Bord route | 3           | 2          |
|              |          | Vlachomandra    | 2          | Ripisylve  | 3           | 0          |
| <b>Total</b> |          | <b>50</b>       | <b>189</b> |            | <b>1379</b> | <b>122</b> |

Les contextes écologiques des vignes sauvages sont catégorisés en 9 classes environnementales, finalement regroupés en trois catégories principales :

- Sous la dénomination de « Forêt décidue » ont été regroupées les vignes sauvages se développant en conditions non méditerranéennes de forêt, lisière de forêt, bord de route, et haies de bocage.
- Sous la dénomination de « Ripisylve-conditions humides » ont été regroupées les vignes sauvages se développant dans les ripisylves proprement dites ainsi qu'aux bordures d'étangs, quelles que soient les conditions climatiques.
- Sous la dénomination « Forêt méditerranéenne-conditions chaudes et sèches » ont été regroupées les vignes se développant en forêt méditerranéenne, garrigue et maquis.

L'influence potentielle de ces conditions environnementales sur l'anatomie du bois est traitée dans le paragraphe 5.4.

#### 4.1.2. Vigne cultivée-domestiquée (cépages) :

Les échantillons de vigne cultivée-domestiquée ont été prélevés par S. Ivorra et moi-même en 2012 à Cardet dans le Gard, en 2012 et 2013 au Domaine « Château Malautié » à Aspiran dans l'Hérault, et en 2014 au Domaine de Vassal (INRA, <http://www1.montpellier.inra.fr/vassal/>) à Marseillan-Plage dans l'Hérault (cf : tableau II ci-après). Le Domaine de Vassal est un des plus grands conservatoires mondiaux des ressources génétiques de la vigne. Les cépages provenant d'Aspiran et de Cardet sont greffés, alors que ceux provenant de Marseillan-plage sont issus de boutures, donc communément appelés « francs de pied ».

Ces échantillons ont été prélevés sur 33 cépages, quarante trois individus ont fourni un total de 143 échantillons.

**Tableau II :** Nombre d'individus prélevés de vigne cultivée-domestiquée / lieu de culture et nombre d'échantillons (à noter que la taille d'échantillonnage entre le bois immature et le bois mature est équivalente).

| Lieu de culture  | Cépages                      | Nb d'individus | Nb éch. bois immature | Nb éch. bois mature |
|------------------|------------------------------|----------------|-----------------------|---------------------|
| Cardet           | 'Grenache blanc'             | 1              | 2                     | 3                   |
|                  | 'Viognier'                   | 1              | 2                     | 3                   |
| Aspiran          | 'Syrah'                      | 2              | 2                     | 3                   |
|                  | 'Carignan'                   | 2              | 5                     | 5                   |
|                  | 'Vermentino'                 | 3              | 4                     | 4                   |
|                  | 'Chasselas'                  | 1              | 2                     | 3                   |
|                  | 'Grenache blanc'             | 1              | 3                     | 1                   |
|                  | 'Mourvèdre'                  | 1              | 3                     | 2                   |
|                  | 'Grenache noir'              | 1              | 3                     | 1                   |
|                  | 'Chenanson'                  | 1              | 3                     | 1                   |
|                  | 'Clairette'                  | 2              | 2                     | 1                   |
|                  | 'Cinsault'                   | 1              | 3                     | 1                   |
|                  | 'Aramon'                     | 1              | 3                     | 1                   |
|                  | 'Merlot'                     | 1              | 2                     | 2                   |
|                  | 'Cabernet-Sauvignon'         | 1              | 2                     | 1                   |
|                  | 'Muscat petits grains'       | 1              | 2                     | 0                   |
|                  | 'Sauvignon'                  | 1              | 2                     | 1                   |
|                  | 'Muscat Alexandrie'          | 1              | 2                     | 0                   |
|                  | 'Dattier Beyrouth'           | 1              | 2                     | 1                   |
|                  | 'Grenache'                   | 1              | 0                     | 1                   |
| Marseillan-plage | 'Sauvignon'                  | 1              | 3                     | 2                   |
|                  | 'Riesling'                   | 1              | 2                     | 4                   |
|                  | 'Mondeuse blanche'           | 1              | 1                     | 1                   |
|                  | 'Gouais blanc'               | 1              | 1                     | 1                   |
|                  | 'Dureza'                     | 1              | 1                     | 2                   |
|                  | 'Colombard'                  | 1              | 1                     | 2                   |
|                  | 'Piquepoul blanc'            | 1              | 2                     | 4                   |
|                  | 'Muscat petits grains roses' | 1              | 1                     | 2                   |
|                  | 'Chasselas'                  | 1              | 1                     | 1                   |
|                  | 'Tibouren'                   | 1              | 2                     | 2                   |
|                  | 'Pinot noir'                 | 1              | 1                     | 2                   |
|                  | 'Cinsault'                   | 1              | 1                     | 1                   |
|                  | 'Roussane'                   | 1              | 1                     | 2                   |
|                  | 'Petit Verdot'               | 1              | 1                     | 2                   |
|                  | 'Syrah'                      | 1              | 1                     | 2                   |
|                  | 'Savagnin blanc'             | 1              | 1                     | 2                   |
|                  | 'Cabernet franc'             | 1              | 1                     | 2                   |
|                  | 'Ugni blanc'                 | 1              | 1                     | 2                   |
| <b>Total</b>     | <b>33</b>                    | <b>43</b>      | <b>72</b>             | <b>71</b>           |

#### 4.1.3. Vigne férale ou ensauvagée :

Enfin, les échantillons de vigne férale ont été prélevés par JF. Terral et ses étudiants en 1999 dans le Gard (Alès, Générargues, Saint Sébastien d'Aigrefeuille, Maruéjols-les-Gardons) et l'Hérault (Montferrier-sur-Lez) (cf : tableau III ci-après). Treize individus ont fourni 126 échantillons.

**Tableau III** : Nombre d'échantillons prélevés/individu/zone géographique.

| Pays   | Région                   | Nom                         | Nb d'ind. | Nb éch.<br>bois immature | Nb éch.<br>bois mature |
|--------|--------------------------|-----------------------------|-----------|--------------------------|------------------------|
| France | Languedoc/<br>Roussillon | Alès                        | 3         | 10                       | 4                      |
|        |                          | Généralgues                 | 3         | 6                        | 12                     |
|        |                          | Maruéjols-les-Gardons       | 3         | 33                       | 10                     |
|        |                          | St Sébastien d'Aigrefeuille | 3         | 31                       | 8                      |
|        |                          | Montferrier                 | 1         | 4                        | 8                      |
|        | <b>Total</b>             |                             | <b>13</b> | <b>84</b>                | <b>42</b>              |

Ces échantillons de vigne férale seront analysés au même titre que les échantillons archéologiques (cf : paragraphe 5.5.). Ils seront considérés comme des individus statistiques supplémentaires, c'est-à-dire qu'ils ne participent pas à l'établissement du modèle éco-anatomique de référence mais y seront confrontés. Il est attendu (hypothèse de travail) que ces échantillons possèdent des caractéristiques anatomiques de vigne sauvage. La réponse du bois à l'environnement est argumentée dans le chapitre 6.

#### 4.2. Matériel archéologique :

##### 4.2.1. Présentation des charbons de bois potentiellement exploitables :

Les charbons de bois mis au jour lors de campagnes de fouilles (de sauvetage ou programmées) sont considérés comme des vestiges archéologiques, au même titre que les ossements, monnaies, poteries, armes, bijoux, gravures, sculptures et peintures. Le matériel étudié provient de sites archéologiques abrités (abris sous roche, grottes) ou de plein air et de périodes différentes. Il est issu de contextes divers, tels que des foyers domestiques, des niveaux d'incendies ou des bûchers funéraires (cf : tableau IV et figure 33 ci-après). Après leur prélèvement, les sédiments ont été tamisés, la plupart du temps sur site. Les charbons de bois récupérés ont été identifiés en laboratoire par des anthracologues, puis séparés par taxon.

La datation des échantillons a été effectuée grâce à la typologie du mobilier trouvé en association avec les charbons de bois dans les couches archéologiques, notamment les céramiques dont les critères autorisent une datation précise sur la (ou les) période(s) correspondante(s) (Chabal et Figueiral, com. pers.). De part sa précision, ce mode de datation est essentiellement utilisé pour les échantillons issus de sites du second âge du Fer (à partir du début du 4<sup>ème</sup> s. BC) jusqu'à la Renaissance (16<sup>ème</sup> – 17<sup>ème</sup> s. AD), quoique les charbons de bois de la Grotte du Hasard, antérieurs au second âge du Fer, ont également été datés par le mobilier présent dans la couche stratigraphique (Roudil, com. pers.). En effet, dans tout assemblage archéologique, il existe des pièces (combinaisons d'attributs) ou des attributs (techniques de fabrication, formes, matières premières, etc...) considérés comme caractéristiques d'un ensemble chrono-culturel donné. Ils permettent de le différencier d'ensembles plus récents ou plus anciens, ou d'ensembles contemporains attribués à des groupes culturels différents. C'est pour mettre en évidence ces différences (ou ressemblances) que

l'archéologue élabore une typologie, ou utilise une typologie déjà existante (Perlès, *in* Leroi-Gourhan, 1994).

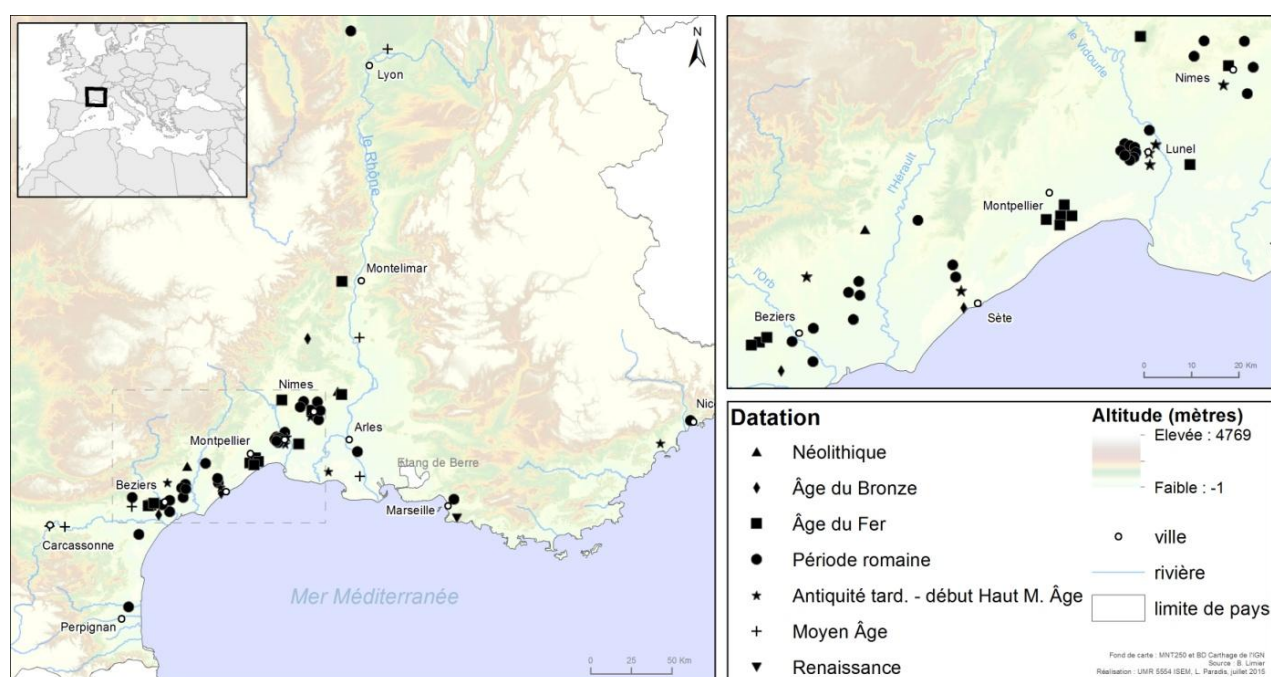
La datation des échantillons du site d'Alba-la-Romaine en Ardèche (5<sup>ème</sup> s. BC) a été effectuée conjointement par la typologie céramique et par le radiocarbone sur les charbons de bois (Cabanis, 2015).

**Tableau IV :** Origines, contextes archéologique et chrono-culturels, et nombre de charbons de bois mis à disposition par les archéobotanistes et/ou les archéologues :

| Localité/Site archéologique (Dép')   | Contexte              | Période         | Datation                                                     | Nb charbons observés | Nb charbons mesurés | Anthracologue          |
|--------------------------------------|-----------------------|-----------------|--------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------|------------------------|
| Remoulins/Grotte du Tai (30)         | Habitat, grotte       | Néolithique     | Env. 5 000 BC                                                | 1                    | 0                   | L. Chabal              |
| Fontes/Fontcouverte (34)             | Four                  | Néolithique     | Néolithique final (non daté)                                 | 1                    | 0                   | L. Chabal              |
| Lespignan/Camp Redoun (34)           | Fosse                 | Âge du Bronze   | Bronze ancien/moyen (env. 1 800 BC)                          | 5                    | 1                   | I. Figueiral           |
| Sète/La Fangade (34)                 | Habitat palafittique  | Âge du Bronze   | Bronze moyen/final                                           | 5                    | 0                   | L. Chabal              |
| Tharaux/Grotte du Hasard (30)        | Habitat, grotte       | Âge du Bronze   | Bronze final II B (env. 1 000 BC)                            | 4                    | 3                   | L. Chabal              |
| Alba la Romaine/La Grande Terre (07) | Fosse-Foyer           | Âge du Fer      | 5 <sup>e</sup> s. BC                                         | 102                  | 14                  | M. Cabanis/V. Bellavia |
| Montady/Pied d'Ensérune (34)         | Comblement dépression | Âge du Fer      | Milieu 6 <sup>e</sup> -début 4 <sup>e</sup> s. BC            | 1                    | 0                   | L. Chabal              |
| Montady/Pied d'Ensérune (34)         | Comblement dépression | Âge du Fer      | Milieu 4 <sup>e</sup> s. BC                                  | 2                    | 0                   | L. Chabal              |
| Montady/Pied d'Ensérune (34)         | Comblement dépression | Âge du Fer      | Début 4 <sup>e</sup> -fin 3 <sup>e</sup> s. BC               | 3                    | 0                   | L. Chabal              |
| Nîmes/Jean Jaurès (30)               | Funéraire             | Âge du Fer      | 5 <sup>e</sup> -3 <sup>e</sup> s. BC                         | 4                    | 0                   | I. Figueiral           |
| Lattes/Saint Sauveur (34)            | Incendie habitat      | Âge du Fer      | 500/475 BC                                                   | 11                   | 4                   | L. Chabal              |
| Lattes/Saint Sauveur (34)            | Sédimentation sol     | Âge du Fer      | 475/450 BC                                                   | 1                    | 0                   | L. Chabal              |
| Lattes/Saint Sauveur (34)            | Remblai               | Âge du Fer      | 450/425 BC                                                   | 1                    | 0                   | L. Chabal              |
| Lattes/Saint Sauveur (34)            | Incendie habitat      | Âge du Fer      | 425/400 BC                                                   | 1                    | 1                   | L. Liottier            |
| Lattes/Saint Sauveur (34)            | Incendie, Puits       | Âge du Fer      | 400 BC - 100 AD                                              | 235                  | 5                   | L. Chabal              |
| Montmirat/La Jouffe (34)             | Habitat palafittique  | Âge du Fer      | 450 à 425/400 BC                                             | 2                    | 0                   | L. Chabal              |
| Le Cailar (30)                       | Remblai               | Âge du Fer      | 425 - 400 BC                                                 | 2                    | 0                   | L. Chabal              |
| Remoulins/Le Marduel (30)            | Couche habitat        | Âge du Fer      | 475 - 250 BC                                                 | 4                    | 0                   | L. Chabal              |
| Viletelle/Ambrussum (34)             | Four, Foyer           | Période romaine | Fin 3 <sup>e</sup> s. BC-20 AD                               | 34                   | 0                   | L. Chabal              |
| Narbonne/Oppidum Montlaures (11)     | Comblement silo       | Période romaine | 200/50 BC                                                    | 1                    | 0                   | L. Chabal              |
| Claira/St Jaume del Crest (66)       | Puits                 | Période romaine | 2 <sup>e</sup> -1 <sup>er</sup> s. BC - 2 <sup>e</sup> s. AD | 9                    | 0                   | I. Figueiral           |
| Plaissan/La Gure IIA (34)            | Fosse                 | Période romaine | 120 - 50 BC                                                  | 1                    | 0                   | L. Chabal              |
| Loupian/Les Prés Bas (34)            | Fosse, Sol pièce      | Période romaine | 25 BC - 6 <sup>e</sup> s. AD                                 | 21                   | 0                   | L. Chabal/I. Figueiral |

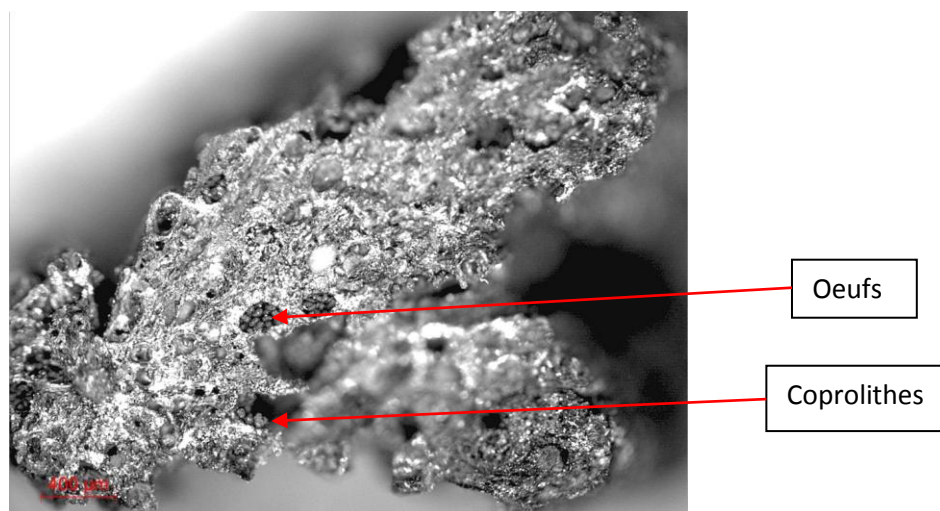
|                                      |                        |                                     |                  |     |    |                        |
|--------------------------------------|------------------------|-------------------------------------|------------------|-----|----|------------------------|
| Marseille/Allée des Vaudrans (13)    | Foyer                  | Période romaine                     | 1er s. AD        | 18  | 0  | I. Figueiral           |
| Nice/Cimiez (06)                     | Fosse                  | Période romaine                     | 1er s. AD        | 14  | 1  | I. Figueiral           |
| Anse/La Citadelle (01)               | Four à chaux           | Période romaine                     | 1er s. AD        | 8   | 0  | I. Figueiral           |
| Caissargues/Moulin Villard II (30)   | Exploitat° agricole    | Période romaine                     | 1/100 AD         | 25  | 0  | L. Chabal              |
| Nîmes/Mas Vignoles 9 (30)            | Bûchers funéraires     | Période romaine                     | 1er-2è s. AD     | 164 | 29 | I. Figueiral           |
| Valros/Vigne de Bioaux (34)          | Funéraire              | Période romaine                     | 1er-2è s. AD     | 14  | 4  | I. Figueiral           |
| Valros/Rec de Ligno (34)             | Funéraire              | Période romaine                     | 1er-2è s. AD     | 20  | 1  | I. Figueiral           |
| Tourbes/Montferrier (34)             | Puits                  | Période romaine                     | 1er-3è s. AD     | 41  | 5  | I. Figueiral           |
| Béziers/Le Gasquino (34)             | Puits                  | Période romaine                     | 1er-2è s. AD     | 20  | 3  | I. Figueiral           |
| Nîmes/Mas des Abeilles (30)          | Funéraire              | Période romaine                     | 1er-2è s. AD     | 44  | 0  | I. Figueiral           |
| Béziers/Avenue Kléber (34)           | Funéraire              | Période romaine                     | 1er - 2è s. AD   | 3   | 0  | I. Figueiral           |
| Montblanc/Cresses Basses (34)        | Funéraire              | Période romaine                     | 1er-2è s. AD     | 8   | 0  | I. Figueiral           |
| Nîmes/Mas Vignoles 13 (30)           | Puits                  | Période romaine                     | 2è s. AD         | 46  | 1  | I. Figueiral           |
| Nîmes/Georges Besse (30)             | Bassin                 | Période romaine                     | 2è s. AD         | 7   | 1  | I. Figueiral           |
| Quarante/Souloumiac (34)             | Fosse                  | Période romaine                     | 2è s. AD         | 1   | 0  | L. Chabal              |
| Arles/Le Carrelet (13)               | Sédimentation fluviale | Période romaine                     | Fin 2è s. AD     | 1   | 0  | L. Chabal              |
| Sauvian/La Lesse (34)                | Puits                  | Période romaine                     | Fin 1er-3è s. AD | 26  | 6  | I. Figueiral           |
| Loupian/Le Bourbou (34)              | Fosse                  | Période romaine                     | 50 - 425 AD      | 20  | 0  | L. Chabal/I. Figueiral |
| Lunel Viel/Quartier central (34)     | Remblai                | Période romaine                     | 50/70 AD         | 14  | 1  | L. Chabal              |
| Lunel Viel/Quartier central (34)     | Sol                    | Période romaine                     | 60/80 AD         | 4   | 0  | L. Chabal              |
| Lunel Viel/Quartier central (34)     | Sol                    | Période romaine                     | 60/90 AD         | 12  | 0  | L. Chabal              |
| Lunel Viel/Quartier central (34)     | Remblai                | Période romaine                     | 70/90 à 100 AD   | 7   | 0  | L. Chabal              |
| Lunel Viel/Quartier central (34)     | Sol                    | Période romaine                     | 70/100 AD        | 2   | 0  | L. Chabal              |
| Lunel Viel/Quartier central (34)     | Destruction            | Période romaine                     | 220/250 AD       | 2   | 0  | L. Chabal              |
| Lunel Viel/Quartier central (34)     | Sol                    | Période romaine                     | 250/300 AD       | 1   | 0  | L. Chabal              |
| Lunel Viel/Quartier central (34)     | Sol                    | Période romaine                     | 250/350 AD       | 1   | 0  | L. Chabal              |
| Caissargues/Moulin Villard II (30)   | Exploitat° agricole    | Période romaine                     | 348/400 AD       | 11  | 0  | L. Chabal              |
| Lunel Viel/Quartier central (34)     | Sol                    | Antiquité tard. - début Haut M. Âge | 370 - 600 AD     | 1   | 0  | L. Chabal              |
| Puissalicon/Les Jurières Basses (34) | Fosse, Fossé           | Antiquité tard. - début Haut M. Âge | 375/400 AD       | 24  | 0  | L. Chabal              |
| Lunel/Dassargues                     | Cabane                 | Antiquité                           | 470/520 AD       | 3   | 0  | L. Chabal              |

|                                                    |                        |                                           |                                           |             |           |              |
|----------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------|-----------|--------------|
| (34)                                               |                        | tard. - début<br>Haut M. Âge              |                                           |             |           |              |
| Lunel/Dassargues<br>(34)                           | Cabane                 | Antiquité<br>tard. - début<br>Haut M. Âge | 475/500 AD                                | 1           | 0         | L. Chabal    |
| Nîmes/Mas Vignoles<br>14 (30)                      | Foyer                  | Antiquité<br>tard. - début<br>Haut M. Âge | Antiquité tard. -<br>début Haut M.<br>Âge | 3           | 0         | I. Figueiral |
| Mougins/Château-<br>Curault (06)                   | Foyer                  | Antiquité<br>tard. - début<br>Haut M. Âge | 5è-6è s. AD                               | 2           | 0         | I. Figueiral |
| Loupian/Sainte Cécile<br>(34)                      | Résidus<br>domestiques | Antiquité<br>tard. - début<br>Haut M. Âge | 5è-10è s. AD                              | 2           | 0         | L. Chabal    |
| Les Stes Maries de la<br>Mer/Les Combettes<br>(13) | Habitat                | Antiquité<br>tard. - début<br>Haut M. Âge | 6è-7è s. AD                               | 2           | 0         | L. Chabal    |
| Lunel/Dassargues<br>(34)                           | Zone enlisage          | Antiquité<br>tard. - début<br>Haut M. Âge | 7è s. AD                                  | 4           | 0         | L. Chabal    |
| Carcassonne/La<br>Fajole (11)                      | Cabane                 | Moyen Âge                                 | 7è-8è s. AD                               | 12          | 1         | I. Figueiral |
| Arles/Cabassole (13)                               | Fosse foyer            | Moyen Âge                                 | 8è-10è s. AD                              | 1           | 0         | L. Chabal    |
| Mondragon/Gagne-<br>Pain (84)                      | Fosse                  | Moyen Âge                                 | 9è - 10è s. AD                            | 1           | 0         | I. Figueiral |
| Trèbes/La Sabatière<br>(11)                        | Trou poteau,<br>Fosse  | Moyen Âge                                 | 9è-12è s. AD                              | 47          | 1         | I. Figueiral |
| Beynost/Creux<br>Marceau (01)                      | Fosse                  | Moyen Âge                                 | 10è-12è s. AD                             | 9           | 2         | I. Figueiral |
| Quarante/Souloumiac<br>(34)                        | Silo                   | Moyen Âge                                 | 10è-12è s. AD                             | 23          | 0         | L. Chabal    |
| Marseille/Hôtel Dieu<br>(13)                       | Four                   | Renaissance                               | 16è-17è s. AD                             | 19          | 4         | I. Figueiral |
| <b>Total : 49</b>                                  |                        |                                           |                                           | <b>1139</b> | <b>88</b> |              |



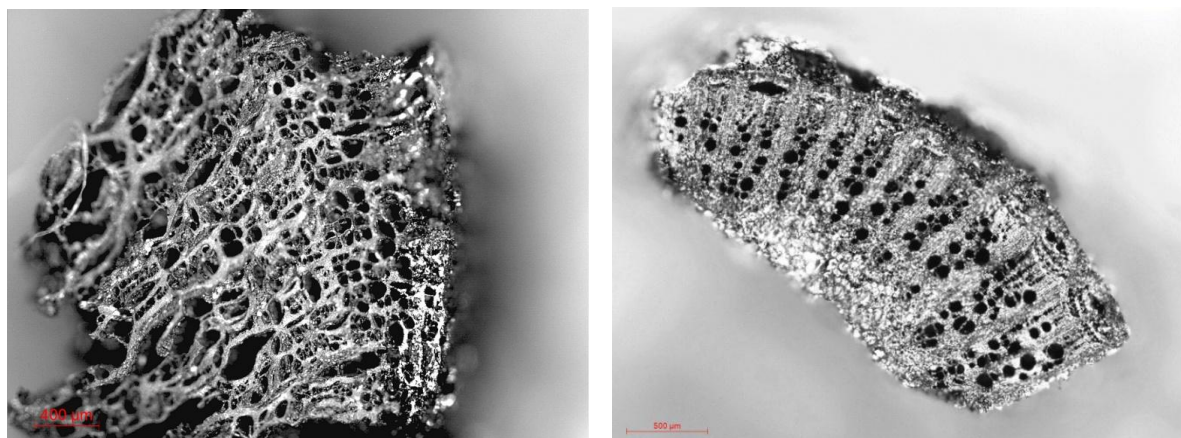
**Figure 33 :** Situation géographique des sites archéologiques d'où proviennent les charbons de bois de vigne.

Sur un total de **1139** échantillons provenant de 49 sites différents, seuls 88 (soit **7.7 %**) ont été utilisés ; les 1062 autres (soit **92.3 %**) se sont avérés inexploitable. Il n'a pas été possible d'y effectuer le nombre de mesures mentionnées dans le protocole (cf : paragraphe **4.3.4.**), essentiellement pour cause de taille insuffisante (souvent inférieure à 2 mm<sup>2</sup>), mais aussi parfois parce-que les phénomènes de vitrification et de fissuration étaient trop importants (cf : paragraphe **4.3.3.**), ou encore du fait de l'obstruction d'un pourcentage élevé de vaisseaux par du sédiment, voire par des œufs ou des coprolithes de parasites (cf : figure **34** ci-après).



**Figure 34** : Œufs et coprolithes de parasites sur un échantillon de charbon de bois de *Vitis* issu du site de Lattes St Sauveur (PT348, Us8174, 75/100 AD) (cliché : B. Limier).

De plus, l'état de conservation (cf : figures **35** et **36** ci-après), quoique très acceptable au regard de l'âge (bon nombre d'échantillons ont conservé partiellement ou totalement leur moelle), n'a pas toujours fourni la possibilité d'effectuer une recoupe transversale correcte. Souvent, les échantillons se sont effrités et sont donc devenus trop petits pour être utilisés.



**Figures 35 et 36** : Comparaisons entre un échantillon archéologique vitrifié et déformé donc non mesurable (à gauche, Vignoles 9\_1b, SP2247, 1er-2è s. AD) et un échantillon archéologique mieux conservé permettant des observations (à droite, Lunel Viel 196, Us 2093, 50/70 AD) (clichés : B. Limier).

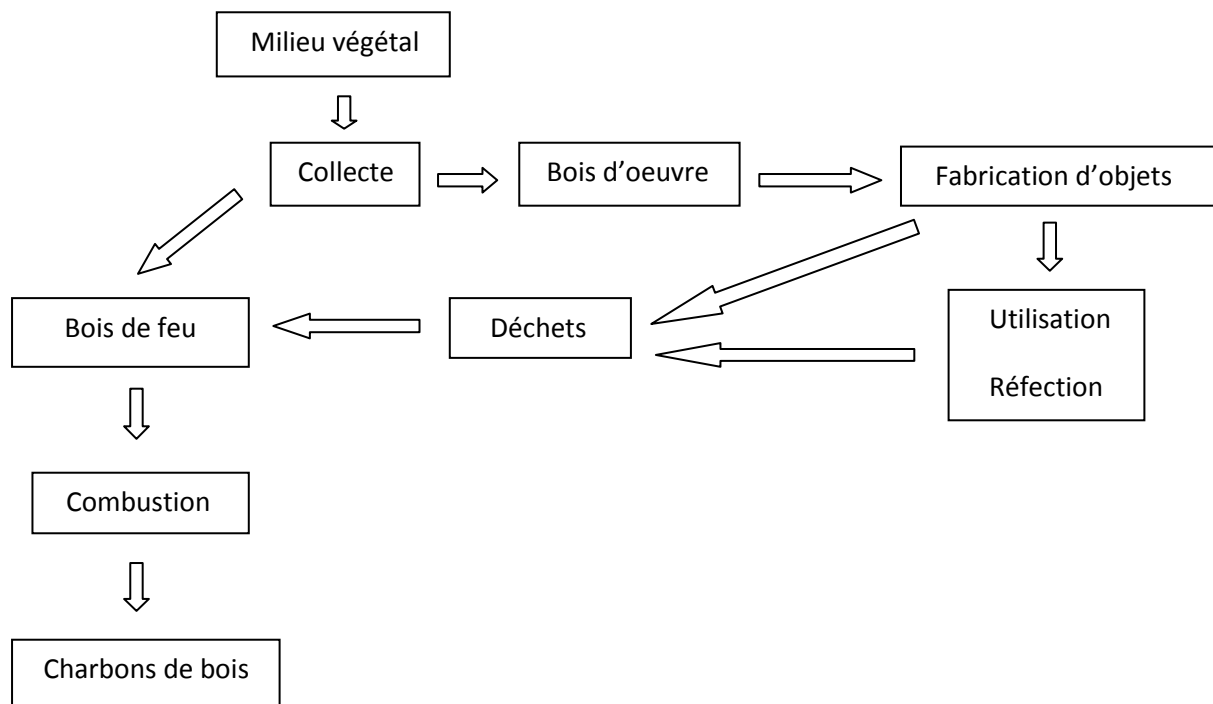
#### **4.2.2. Nettoyage des charbons de bois :**

Comme il vient d'être mentionné, bon nombre de charbons s'est avéré inexploitable du fait de l'obstruction des vaisseaux par du sédiment. A partir de 5 échantillons tests issus du site d'Alba-la-Romaine (cf : tableau **IV**), des essais de nettoyage de ces charbons ont été effectués, jusqu'à mettre au point un protocole satisfaisant. Ainsi l'acide fluorhydrique (HF) dosé à 70 %, utilisé dans les protocoles d'extraction et de purification des grains de pollen, a permis le nettoyage du cinquième échantillon (l'opération s'est révélée infructueuse pour les 4 autres avec 4 acides et solvants différents). Cet échantillon a baigné durant vingt-quatre heures dans une solution d'acide fluorhydrique sous sorbonne. Puis, il a été abondamment rincé et séché. Son observation au microscope a permis de constater qu'il ne subsistait aucune trace de sédiment et que l'échantillon était parfaitement analysable. Cette opération semble prometteuse pour tous les autres charbons issus de ce site ou de celui de Vignoles 9 qui n'ont pas pu être mesurés pour cette raison (cf : tableau **IV**). Les données sur les charbons de bois de vigne archéologiques pourront ainsi être probablement complétées si la taille et l'état de conservation des échantillons permet leur mesure.

Dans la mesure où seul l'acide fluorhydrique a eu une action bénéfique quant au nettoyage des charbons, il est possible d'en déduire que le sédiment est de nature siliceuse. Ces tests se sont avérés nécessaires dans la mesure où aucune information n'a été communiquée concernant le contexte géologique/pédologique du site d'Alba-la-Romaine.

#### **4.2.3. Considérations taphonomiques :**

Les charbons de bois retrouvés dans les niveaux archéologiques sont issus de l'utilisation du feu par l'Homme (Henry, 2011). Ils proviennent du bois utilisé pour le chauffage ou la cuisson des aliments, ou encore des résidus de bois d'oeuvre (cf : figure **37** ci-après). Sur le terrain, l'archéologue peut trouver des charbons de bois dans des niveaux d'habitat (sédimentation de sol), de circulation (rue, cour), dans des comblements associés à des réfections d'un habitat (remblai), des fosses, fossés ou silos, dans les niveaux résultant d'un incendie, ou encore dans les dépôts associés à une activité spécifique consommatrice de combustible (forge, four de cuisson alimentaire ou de potier, bûcher funéraire), etc... (Chabal *et al.*, 1999). La connaissance du contexte de découverte et de la fonction du bois à l'origine des charbons est capitale dans l'interprétation qui sera faite de l'assemblage anthracologique (Marguerie *et al.*, 2010).



**Figure 37 :** Origines des charbons de bois archéologiques (adapté et modifié, d’après Henry, 2011).

Ces charbons sont déjà dégradés et fragmentés sous l’effet de la carbonisation. Mais depuis l’abandon sur le site jusqu’à leur découverte lors de fouilles, plusieurs facteurs sont susceptibles d’avoir encore altéré leur conservation : un remaniement ultérieur naturel ou volontaire des sédiments, par exemple provoqué par le piétinement d’un animal, la dispersion par les agents biologiques vivant dans le sol, ou encore la réutilisation de ces charbons par l’Homme, etc... En revanche, les charbons de bois représentent un matériel organique extrêmement résistant à la minéralisation biologique. Ils sont susceptibles de se conserver dans le sol pendant des centaines d’années, voire des millénaires dans la mesure où ils ne sont pas sensibles aux attaques des micro-organismes responsables de la dégradation du bois (Marguerie *et al.*, 2010).

#### 4.3. Méthodes :

##### 4.3.1. L’éco-anatomie, une application quantitative de l’anthracologie :

L’anthracologie est une des méthodes de l’archéobotanique. Elle consiste en l’étude des charbons de bois trouvés soit en contexte archéologique soit dans les sédimentations naturelles (Chabal *et al.*, 1999), et qui repose sur le fait que chaque ligneux possède sa propre structure anatomique permettant une identification fiable (le plus souvent au genre, parfois jusqu’à l’espèce) grâce à l’anthraco-analyse.

En 1864, G. Passerini et O. Heer perçoivent l’intérêt de l’étude des charbons de bois préhistoriques. Il faudra pourtant attendre le début du 20<sup>ème</sup> siècle en France pour que les travaux de plusieurs auteurs français (P. Dangeard, P. Fliche, et H. Breuil) sur l’étude et l’intérêt ethnologique des charbons de bois provenant de structures de combustion préhistoriques (foyers) fondent les bases de l’anthracologie.

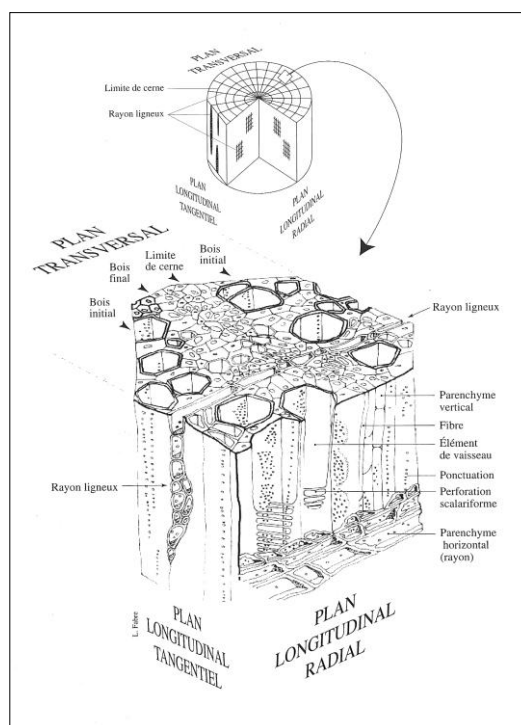
Les années 1940 feront ressortir l'intérêt paléoécologique des charbons de bois grâce aux travaux en Angleterre d'H. Godwin, d'A.G. Tansley, d'E.J Salisbury, et de F.W. Jane.

Les années 1960-1970 verront l'essor de technologies telles que la microscopie à réflexion ou la datation au carbone 14, ainsi que le développement de la discipline dans d'autres pays grâce aux travaux de S. Santa ou M. Couvert en Afrique du nord, M. Follieri en Italie, ou bien F.H. Schweingruber en Suisse.

Puis les années 1980 jusqu'à aujourd'hui seront celles de l'antracologie appliquée aux sites archéologiques avec les travaux fondateurs de J.L. Vernet puis de ses élèves : S. Thiébault, C. Heinz, L. Chabal, I. Figueiral...

Les analyses de charbons de bois et de bois issus de contextes archéologiques (habitats, puits, contextes d'artisanat, funéraire, ...) s'appuient sur une connaissance approfondie de caractères anatomiques distinctifs du bois d'espèces ligneuses et sur l'enrichissement permanent de collections d'échantillons de référence et de bases de données.

Après fracturation manuelle des charbons de bois, l'identification s'effectue à partir d'observations au microscope à réflexion, sur trois plans anatomiques : le plan transversal, le plan longitudinal tangentiel, et le plan longitudinal radial (cf : figure 38 ci-après). Le plan transversal, perpendiculaire au système vasculaire vertical du bois donne une part importante de l'information. Une vérification des échantillons est possible grâce au concours d'atlas xylologiques de référence (Schweingruber, 1978, 1990 ; Vernet, 2001).



**Figure 38 :** Représentation en trois dimensions de l'anatomie du bois chez un feuillu ou Angiosperme dicotylédone (Chabal *et al.*, 1999).

Les acquis méthodologiques démontrent que les sociétés agropastorales et proto-industrielles ont exploité des boisements de proximité, sans exclure d'autres provenances. L'anthracologie dispose alors d'une information paléoécologique synthétique, et peut retracer conjointement les dynamiques forestières, leurs déterminismes ainsi que certains aspects de l'histoire et des comportements des sociétés (conditions de vie, exploitation du milieu, usage et gestion des ressources, introduction d'espèces, ...).

#### **4.3.2. Principe de l'éco-anatomie quantitative:**

L'éco-anatomie quantitative est complémentaire de l'anthracologie. Fondée sur les travaux de S. Carlquist (1988) et développée par JF. Terral (Terral et Arnold-Simard, 1996 ; Terral, 1997a, b ; Terral, 2002), l'éco-anatomie quantitative est une méthode de mesures comparatives des éléments structuraux et vasculaires du bois. Ces éléments enregistrent les variations des paramètres endogènes (âge de l'individu, par exemple) et des facteurs écologiques abiotiques (climat, exposition, sol, ...) ou biotiques (par exemple, l'influence de l'Homme à travers les pratiques culturelles) qui modulent la croissance et le développement de la plante tout au long de sa vie (Terral et Arnold-Simard, 1996 ; Heinz *et al.*, 2004 ; Durand et Terral, 2005-2006). Elle se fonde sur l'étude anatomique quantitative de charbons de bois actuels (bois carbonisés en conditions contrôlées) qui constituent la collection de référence. Les modèles éco-anatomiques quantitatifs obtenus servent de référence aux données issues de l'analyse des charbons de bois archéologiques, témoins fossilisés des conditions écologiques passées.

L'analyse éco-anatomique quantitative peut s'effectuer à partir de coupes transversales préparées sur lames minces et observées au microscope ; dans ce cas là, les travaux ne concernent que l'étude de matériel végétal actuel, sans comparaison directe possible avec les échantillons archéologiques.

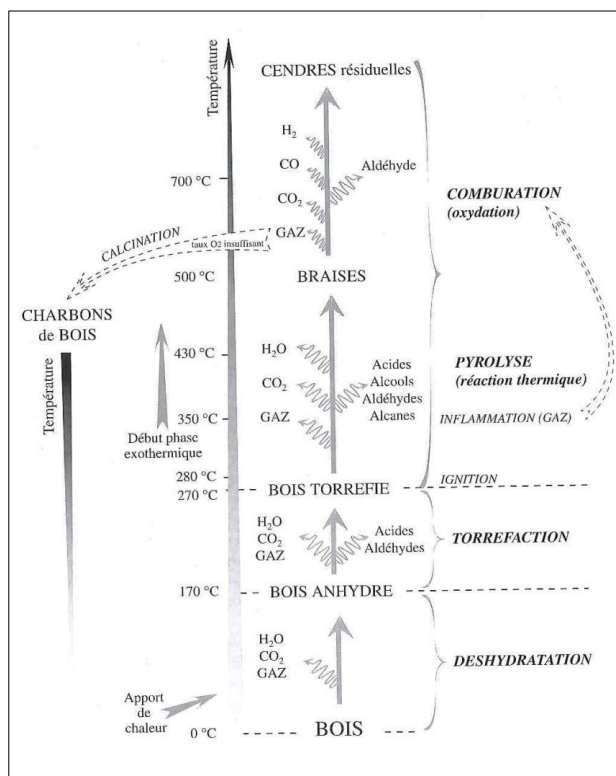
Dans la mesure où, dans l'état actuel des recherches, il n'est pas possible de faire la distinction sans équivoque entre la vigne sauvage et la vigne cultivée par simple observation anatomique du bois des individus actuels ou des vestiges paléobotaniques (Chabal et Terral, 2007), il apparaît du plus grand intérêt de tester l'application de l'éco-anatomie quantitative afin de chercher à dépasser ce verrou. Autorisant l'analyse de la structure du bois à différentes échelles (cernes annuels de croissance, anatomie à l'intérieur du cerne, ...), cette méthode a été testée avec succès sur la problématique de la discrimination sauvage / cultivé chez l'olivier (*Olea europaea* L.) (Terral et Arnold-Simard, 1996 ; Terral et Durand, 2006 ; Marguerie *et al.*, 2010).

#### **4.3.3. Protocole de carbonisation du matériel de référence:**

La carbonisation du matériel actuel de référence est essentielle, car après un enrichissement maximum en carbone lié à la carbonisation (pyrolyse) et donc un retrait de taille maximal, le bois carbonisé est comparable à du matériel archéologique, et vice-versa. Une étude quantitative comparative des traits anatomique est alors possible.

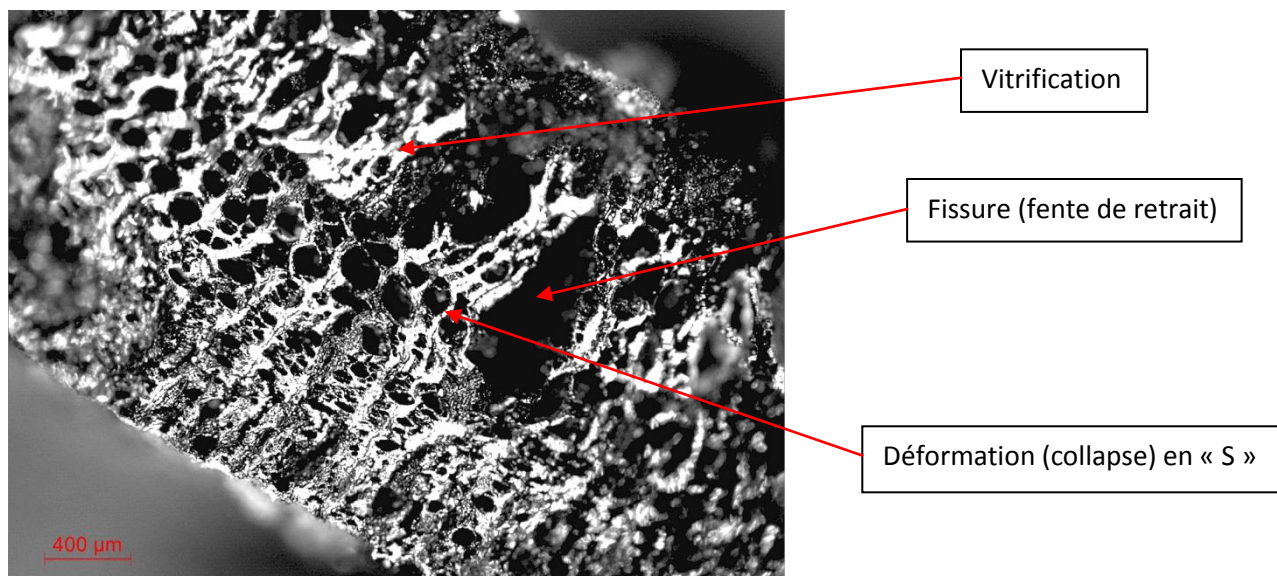
La carbonisation du bois est une dégradation chimique sous l'effet de la chaleur, et une des étapes de la combustion lorsque l'apport d'oxygène devient insuffisant. Il s'agit donc d'une combustion incomplète. La combustion du bois se déroule en quatre étapes : la déshydratation, la torréfaction, la pyrolyse, et la comburation. L'absence d'oxygène permet la transformation de la braise en charbon de bois (Chabal *et al.*, 1999) (cf : figure 39 ci-après), sinon une température plus élevée combinée

avec l'oxygène provoque une oxydo-réduction et le bois est alors réduit en cendres (Ivorra, 2001). Dans ce processus, les structures et microstructures du bois sont peu affectées.



**Figure 39** : Phases physico-chimiques et thermiques de la combustion du bois, en conditions aérobies et sous pression atmosphérique (Chabal *et al.*, 1999).

En fonction de l'influence de plusieurs facteurs, combinés ou non, tels qu'une trop rapide montée en température, la vitesse de refroidissement, la durée de l'exposition à la chaleur, l'état physique du bois (vert, humide, sec, ...), ou encore les composés chimiques présents selon les essences, la carbonisation peut provoquer de nombreuses fissures nommées « fentes de retrait » produites par l'effondrement des parois radiales des cellules des rayons ligneux. Des déformations appelées « collapses » peuvent survenir, ainsi qu'une vitrification (Lacroix, 1961 ; Chabal *et al.*, 1999 ; Terral, 1999 ; Théry-Parisot, 2001 ; Marguerie et Hunot, 2007 ; Henry, 2011 ; Oillic, 2012) (cf : figure 40 ci-après, à partir d'un échantillon archéologique, la carbonisation du matériel de référence ayant été effectuée avec succès). Une carbonisation réussie donne un bois parfaitement noir avec les caractères anatomiques en place.



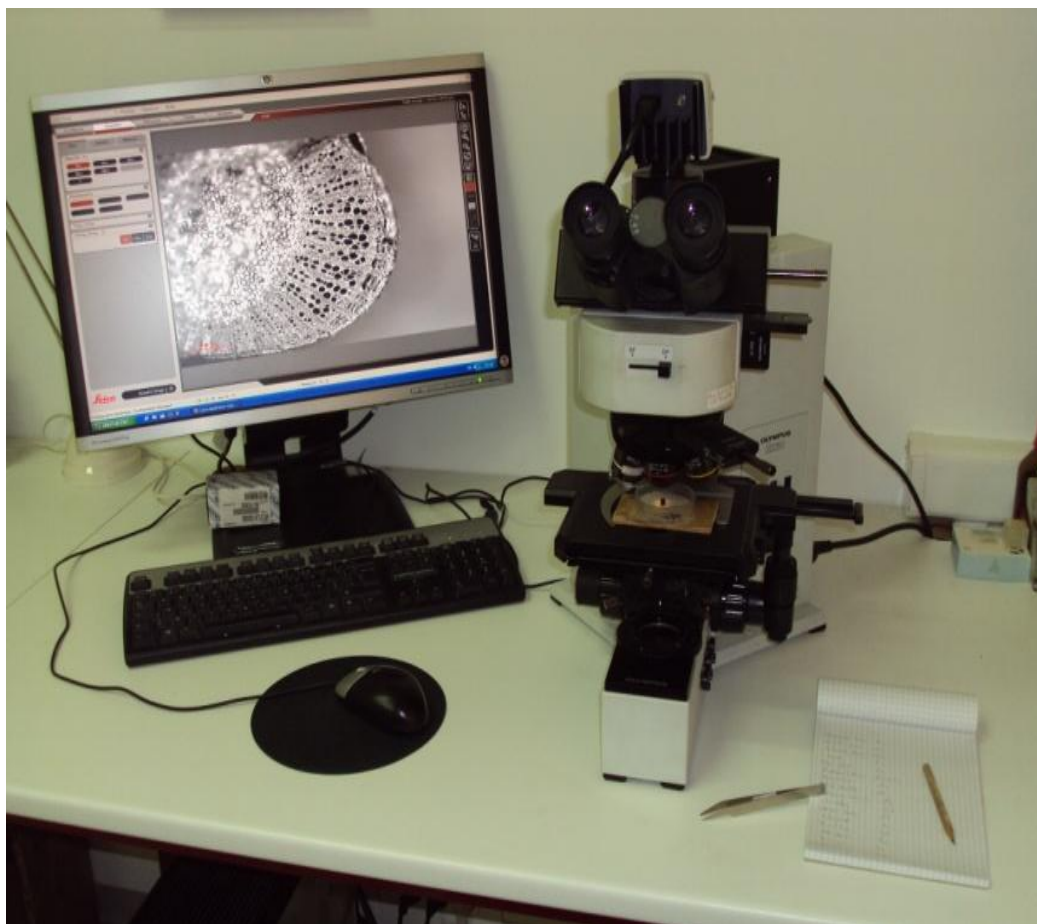
**Figure 40 :** Effets secondaires de la carbonisation, ici sur un échantillon de charbon de bois de *Vitis* issu du site de Lattes St Sauveur, Us 4310 (50 BC-25 AD) (cliché : B. Limier).

Afin d'obtenir un échantillonnage d'étude le plus complet possible compte tenu des différentes origines géographiques des individus, un échantillon de bois immature et un de bois mature par individu de vigne sauvage, un échantillon de bois immature et un de bois mature par individu de vigne cultivée-domestiquée, et un échantillon de bois immature et un de bois mature par individu de vigne férale ont été systématiquement carbonisés.

Au laboratoire, la carbonisation se déroule en plusieurs étapes : les échantillons de bois sèchent à l'air libre pendant un mois, voire plus, en fonction de leur grosseur, puis sont découpés en morceaux de longueur proportionnelle au diamètre. Ils sont ensuite emballés dans plusieurs épaisseurs bien serrées de papier aluminium afin de réduire le plus possible leur contact avec l'air. Ensuite, ils sont enfouis dans du sable de Fontainebleau, afin de les placer en conditions réductrices, et mis dans un four à moufle où ils subissent une pyrolyse à 450°C pendant 15 ou 30 mn (selon la taille de l'échantillon) (cf : figure 39). L'ouverture du four ne doit pas être immédiate à la fin de la carbonisation afin d'éviter des phénomènes de vitrification et de fissuration (Fabre, *in* Ivorra, 2001). De manière à limiter au maximum ces désagréments, les carbonisations ont donc été effectuées lors d'une journée, avec ouverture de la porte du four seulement le lendemain.

#### 4.3.4. Protocole méthodologique : de l'examen microscopique à la prise de mesures :

Notre protocole méthodologique consiste en la capture de l'image ainsi que son traitement et sa calibration, à l'aide d'un microscope à réflexion connecté à une caméra numérique et à un logiciel d'analyse d'image (Leica Application Suite) (cf : figure 41 ci-après).



**Figure 41 :** Microscope à réflexion et station d'analyse d'image (cliché : B. Limier).

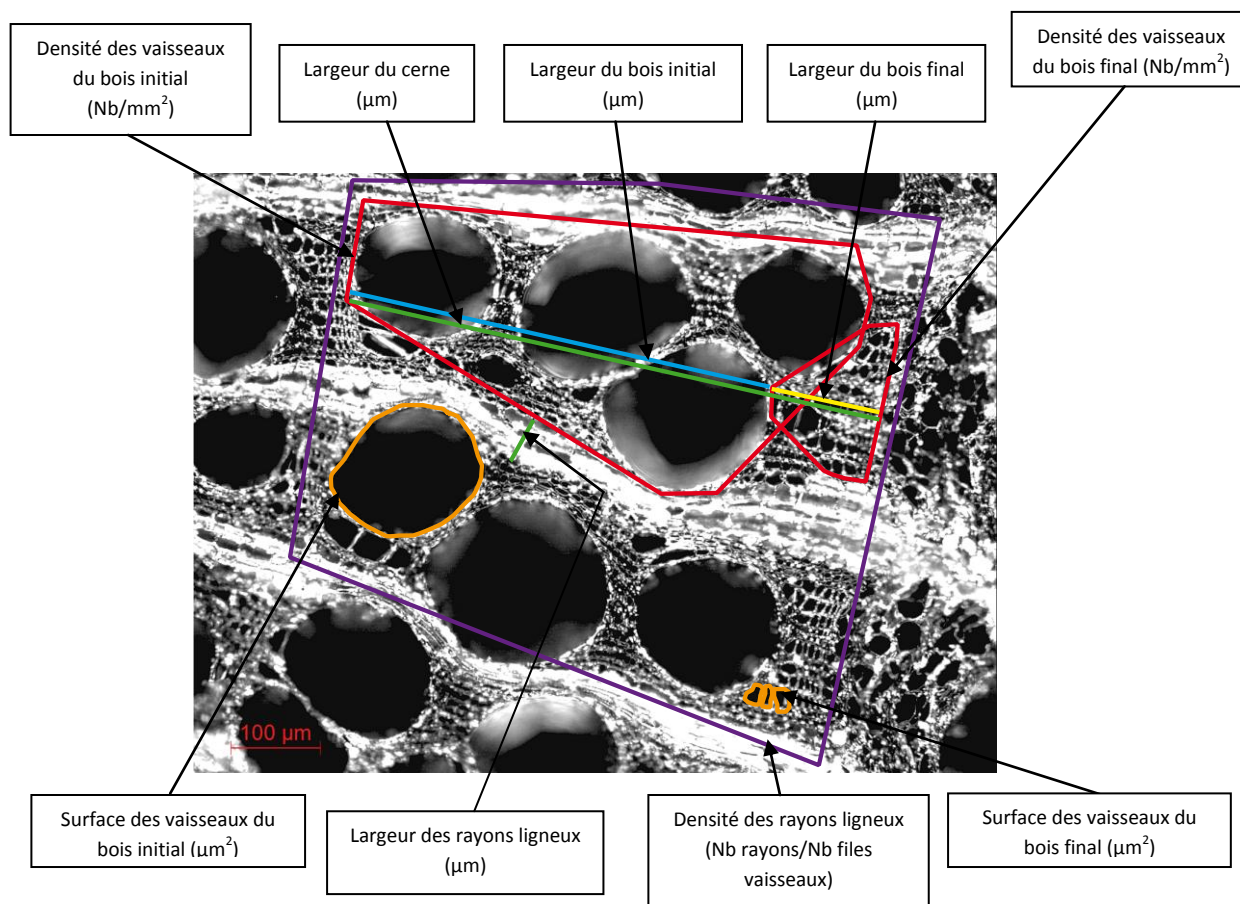
L'observation au microscope photonique à réflexion, sur fond clair et fond noir, permet l'observation directe de la structure du bois carbonisé.

Avant toute série de mesures, chaque échantillon a été photographié individuellement à grossissement X 50, afin de constituer une photothèque.

Quatre grossissements (X 50, X 100, X 200 et X 500) ont permis de travailler à différentes échelles afin d'avoir un meilleur aperçu des détails anatomiques et donc obtenir des mesures plus précises. Les grossissements X 50, X 100 et X 200 ont été les plus utilisés.

Les caractères anatomiques ont ainsi été mesurés à différents grossissements en fonction de leur nature et de leur diamètre. Le même grossissement a bien évidemment été gardé pour chaque caractère/échantillon. Les mesures ont été directement exportées vers un tableur.

Une coupe transversale (la seule exploitée dans nos travaux) est effectuée manuellement ou à l'aide d'une lame de rasoir afin d'obtenir une surface plane. Chaque échantillon est placé sous la loupe dans une coupelle remplie de sable de Fontainebleau pour être positionné bien horizontalement. Cette étape est indispensable à la fois pour une bonne prise de vue, la profondeur de champ de la microscopie à réflexion étant faible, et pour limiter les risques d'erreur de mesure. Neuf caractères anatomiques, choisis en fonction de leur rôle fonctionnel (croissance, stockage de réserves et conduction de la sève brute), ont été mesurés (cf : figure 42 ci-après).

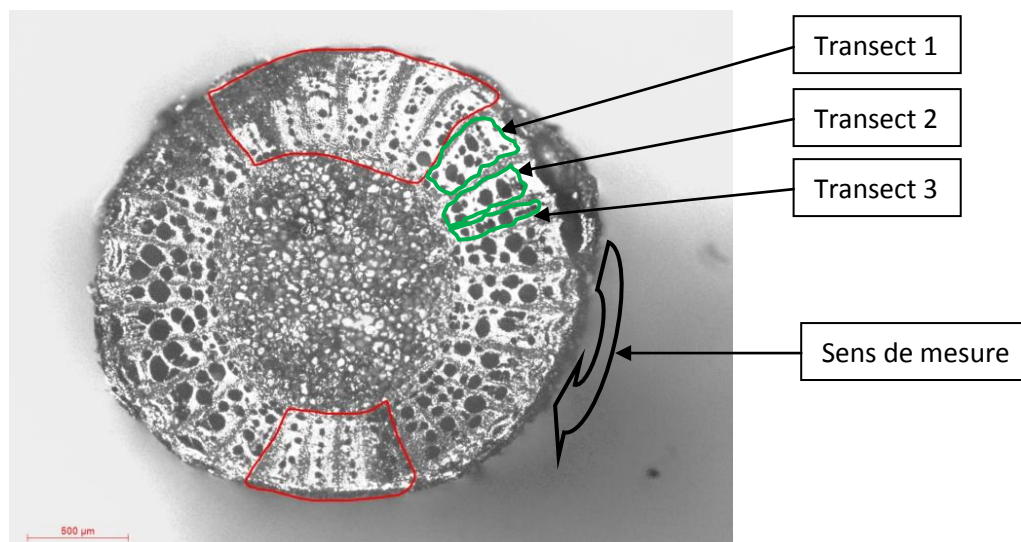


**Figure 42** : Caractères anatomiques mesurés (d'après Terral, 2002, modifié) sur coupe transversale de charbon de bois de vigne actuelle (cliché : B. Limier).

**Pour les échantillons de référence**, dans le but d'obtenir une estimation fiable de chaque caractère anatomique choisi, de 30 à 50 mesures /caractère ont été effectuées sur 10 échantillons tests.

Les mesures sont effectuées de la manière suivante :

- de l'extérieur vers l'intérieur de l'échantillon, en partant du cambium libéro-ligneux (ou ce qu'il en reste) jusqu'au bord des premiers vaisseaux du bois initial. Sur un échantillon d'un an, la mesure s'effectue à partir du cambium jusqu'au bord des premiers vaisseaux du bois initial situés à la périphérie de la moelle. Les vaisseaux écrasés situés entre les résidus du xylème primaire et les files de vaisseaux n'ont pas été pris en considération. Sur les échantillons de 2 ans et plus, les mesures s'effectuent à partir de la limite entre les cernes annuels, représentée par une bande de deux ou trois cellules aplaties, jusqu'au bord des premiers vaisseaux du bois initial.
- Lorsque le transect radial de mesure est effectué, un nouveau transect est choisi et ainsi de suite dans le sens des aiguilles d'une montre.
- les zones atypiques (zones canaliculées), facilement reconnaissables lors d'un examen au microscope (cf : figure 43 ci-après) et situées à l'opposé du côté plat côté de l'œil (Branas, 1974) n'ont pas été prises en considération.



**Figure 43 :** Zones canaliculées (en rouge), transects (en vert), sens de mesure en noir, dans le sens des aiguilles d’une montre) (cliché : B. Limier).

A partir de ces mesures, des courbes « effort – rendement » sont établies, mettant en relation pour chaque caractère anatomique, la moyenne cumulée et le nombre de mesures effectuées. Lorsque les courbes atteignent un maximum asymptotique horizontal (c’est à dire lorsque la valeur moyenne se stabilise), le nombre de mesures correspondant représente une estimation fiable de la valeur de ce caractère, tout en tenant compte de la variabilité intra-échantillon.

**Pour les échantillons archéologiques,** la façon de mesurer a régulièrement été modifiée afin de pouvoir obtenir un nombre optimal de mesures en accord avec le protocole cité précédemment. Ces échantillons étant généralement d’une taille inférieure à l’optimum attendu (cf : paragraphe 4.2.1.), il a donc été nécessaire d’effectuer les mesures là où elles étaient possibles.

#### **4.3.5. Analyses statistiques :**

##### **4.3.5.1. Tests d’erreurs de mesures :**

Afin de vérifier l’existence ou non d’erreurs significatives de la mesure des 9 caractères anatomiques, plusieurs sessions de mesures ont été réalisées au cours de journées différentes, sur deux échantillons : un échantillon de vigne sauvage (Belaygues 3c) et un échantillon de vigne cultivée-domestiquée (‘Chasselas’ 1a).

*Erreurs potentielles de mesures liées à l’opérateur :* l’échantillon « Belaygues 3c » a été analysé deux fois selon le protocole défini précédemment, une fois par un post-doctorant de l’équipe (Jérôme Ros), rompu à l’analyse éco-anatomique quantitative, et une fois par moi-même.

*Erreurs potentielles de mesures réalisées par le même opérateur :* l’échantillon « ‘Chasselas’ 1a » a été étudié deux fois par une seule personne (B. Limier) à quelques jours d’intervalle.

Dans les deux cas, caractère par caractère, des tests de comparaison de moyenne (mesures-opérateur 1 / mesures-opérateur 2 et mesures-opérateur 1-jour 1 / mesures-opérateur 1-jour 2) ont été réalisés. En préalable, la distribution de fréquence des données a été testée afin de choisir le test de comparaison adapté : test paramétrique (ANOVA) ou test non paramétrique (type Kruskal-Wallis).

#### 4.3.6. Procédures statistiques descriptives, exploratoires et décisionnelles :

Après vérification des erreurs de mesure, les données éco-anatomiques quantitatives moyennes estimées par échantillon ont été regroupées dans un grand tableau (cf : annexe 5). Ce dernier constitue le support à des analyses statistiques uni et multivariées qui vont permettre l'établissement de modèles éco-anatomiques de référence.

##### *Modèles de référence actuels :*

Une première Analyse en Composantes Principales (ACP) a été réalisée sur la base des 170 échantillons de charbons de bois actuels (vignes sauvages et cépages), constituant le référentiel, et de 9 variables quantitatives correspondant aux 9 caractères anatomiques étudiés. Une variable supplémentaire, le diamètre moyen de l'échantillon avant carbonisation, a été ajoutée. Cette variable ne participe pas à l'ACP mais est projetée dans l'espace multivarié. Sa proximité avec une variable active peut être informative quant au rôle joué par l'âge de la branche sur les caractéristiques anatomiques. Cette ACP, procédure statistique descriptive, est destinée à (1) décrire la structuration des individus en fonction des paramètres présentés précédemment : âge (bois immature / bois mature) et statut (sauvage / cultivé) ; (2) comprendre, le cas échéant, le rôle joué par les caractères anatomiques dans cette structuration. Il est attendu que, du fait de l'importance potentielle de l'âge (ou du calibre) sur les caractéristiques anatomiques du bois chez d'autres ligneux (Terral, 2002 ; Durand et Terral, 2005-2006 ; Marguerie *et al.*, 2010 ; Ros *et al.*, en préparation), l'ACP nous permette de révéler en premier lieu des différences entre bois immature et bois mature.

Si une telle différenciation est mise en évidence par l'ACP, une Analyse Factorielle Discriminante (AFD1) sera utilisée. Le rôle de cette méthode statistique multivariée est de quantifier les différences entre groupes statistiques définis *a priori* et de faire apparaître les critères responsables de leur discrimination. La discrimination « bois immature / bois mature » sera ainsi testée.

Si cette dernière discrimination est avérée, conformément à l'objectif de ce travail, nous chercherons dans un second temps à différencier les vignes sauvages des cépages. Nous aurons recours à deux nouvelles AFD (AFD2 et AFD3). Elles viseront à discriminer les vignes sauvages et les cépages dans les pools de bois immature et de bois mature, respectivement.

Chacune des discriminations mises en évidence sera interprétée en termes écologiques et fonctionnels. A ce titre, dans un dernier temps, nous nous interrogerons sur l'impact des conditions environnementales sur l'anatomie de la vigne sauvage. Pour ce faire, une AFD (AFD4) sera réalisée sur la base de 103 échantillons catégorisés *a priori* en 3 classes environnementales (cf : paragraphe 4.1.1.).

##### *Echantillons supplémentaires / approche décisionnelle :*

Les échantillons de bois de vignes férales actuelles et les échantillons archéologiques représentent dans le cadre de nos analyses statistiques multivariées des individus supplémentaires. Ils ne participent pas à l'établissement des modèles éco-anatomiques de référence mais sont comparés à ces derniers pour être assignés (dans le cas d'AFD) à des groupes définis *a priori*. Les distances entre chaque individu supplémentaire et chacun des centres de gravité des groupes définis sont calculées dans le nouvel espace euclidien. Une probabilité d'affiliation à chaque groupe spécifique est ainsi déterminée.

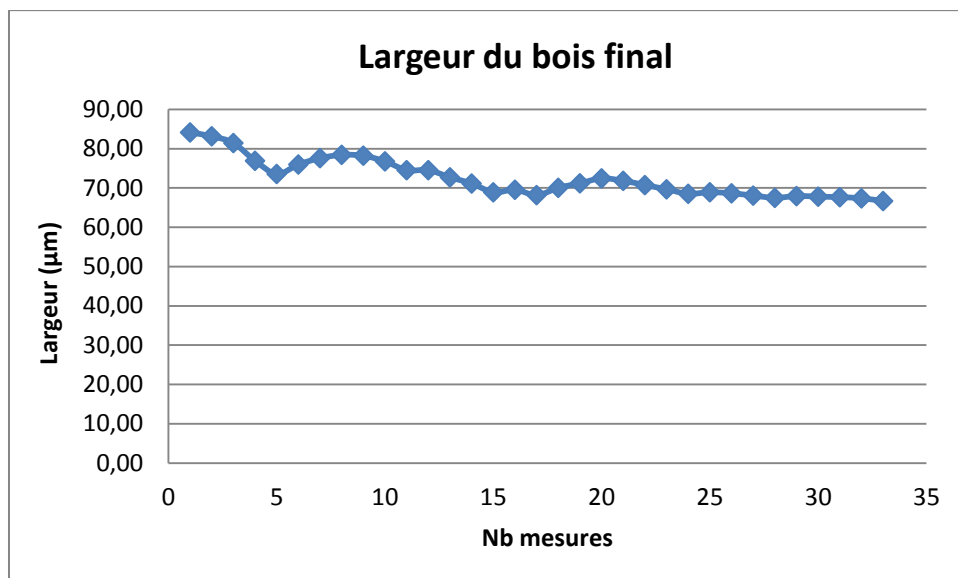
Si l'ACP montre l'existence d'une différenciation « bois immature / bois mature » et met en évidence une réelle discrimination, les échantillons supplémentaires sont alors injectés dans le modèle. Les échantillons de vigne férale (N=10), sont comparés aux modèles éco-anatomique établis par les AFD2 et 3. Il est attendu que ces échantillons soient affiliés aux vignes sauvages car : (1) ils proviennent d'individus se développant en conditions non contrôlées par l'Homme (milieu non cultivé) et (2) les variations anatomiques du bois sont tributaires en grande partie des conditions environnementales, même si des facteurs endogènes (liés aux caractéristiques propres de la plante) peuvent jouer un rôle.

Les échantillons archéologiques (N=73) dont les caractères anatomiques ont été mesurés, sont tout d'abord confrontés au modèle produit par l'AFD1 dans le but de distinguer les échantillons issus de bois immature des échantillons provenant de bois mature. Les échantillons affectés à l'un ou à l'autre groupe moyennant une probabilité d'allocation fixée à 0.75, sont confrontés à l'AFD2 ou à l'AFD3 dans le but de les allouer au statut sauvage ou cépage.

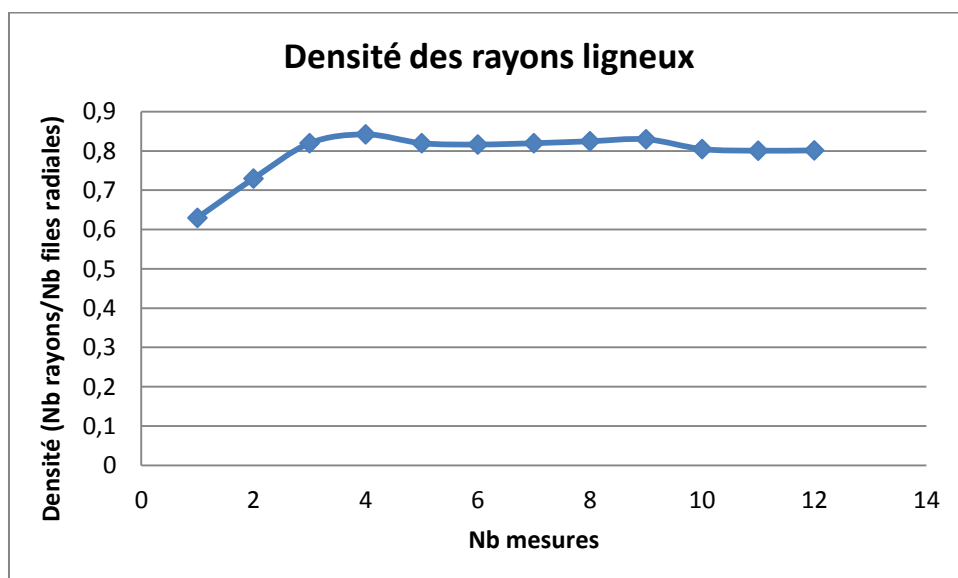
Toutes les analyses statistiques sont effectuées avec le logiciel XLSTAT 2015 (Addinsoft, Paris).

## 5/ Résultats

Pour chaque caractère anatomique, les courbes « effort – rendement » permettent d'établir le nombre de mesures nécessaires pour obtenir une estimation fiable de la valeur de ce caractère (cf : figures 44, 45 ci-après).



**Figure 44 :** Exemple de courbe « effort-rendement » estimant le nombre de mesures correspondant au maximum asymptotique horizontal pour une variable éco-anatomique donnée (ici, 25 mesures pour estimer une valeur fiable de la largeur du bois final).



**Figure 45 :** Exemple de courbe « effort-rendement » estimant le nombre de mesures correspondant au maximum asymptotique horizontal pour une variable éco-anatomique donnée (ici, 10 mesures pour estimer une valeur fiable de la densité des rayons ligneux).

Finalement, 190 mesures par échantillon sont réalisées sur les 9 variables (cf : tableau V ci-après).

**Tableau V :** Nombre de mesures correspondant au maximum asymptotique horizontal sur chaque caractère mesuré (LCER = Largeur du cerne ; LBI = Largeur du bois initial ; LBF = Largeur du bois final ; LRAY = Largeur du rayon ligneux ; DRAY = Densité des rayons ligneux ; SCBI = Surface conductrice dans le bois initial ; SCBF = Surface conductrice dans le bois final ; DVBI = Densité des vaisseaux dans le bois initial ; DVBF = Densité des vaisseaux dans le bois final).

| Variable      | LCER<br>( $\mu\text{m}$ ) | LBI<br>( $\mu\text{m}$ ) | LBF<br>( $\mu\text{m}$ ) | LRAY<br>( $\mu\text{m}$ ) | DRAY<br>(Ray/files<br>radiales) | SCBI<br>( $\mu\text{m}^2$ ) | SCBF<br>( $\mu\text{m}^2$ ) | DVBI<br>(Nb/mm <sup>2</sup> ) | DVBF<br>(Nb/mm <sup>2</sup> ) | Total      |
|---------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------|
| Nb<br>mesures | 25                        | 25                       | 25                       | 25                        | 10                              | 25                          | 25                          | 15                            | 15                            | <b>190</b> |

**49 750** mesures ont ainsi été effectuées sur 268 charbons de bois de vignes (cf : tableaux **VI** et **VII** ci-après). Pour certains échantillons le nombre protocolaire de mesures n'a pas toujours pu être respecté à cause essentiellement d'un diamètre insuffisant. Malgré cet inconvénient, le nombre de mesures effectué s'en est étroitement approché et a donc permis une estimation assez fiable de la valeur moyenne finale calculée.

**Tableau VI :** Récapitulatif du nombre de mesures effectuées (LCER = Largeur du cerne ; LBI = Largeur du bois initial ; LBF = Largeur du bois final ; LRAY = Largeur du rayon ligneux ; DRAY = Densité des rayons ligneux ; SCBI = Surface conductrice dans le bois initial ; SCBF = Surface conductrice dans le bois final ; DVBI = Densité des vaisseaux dans le bois initial ; DVBF = Densité des vaisseaux dans le bois final ; Imm = Bois immature ; Mat = Bois mature ; CultDom = Cultivée-Domestiquée).

| Variable<br>Vigne | LCER<br>( $\mu\text{m}$ ) | LBI<br>( $\mu\text{m}$ ) | LBF<br>( $\mu\text{m}$ ) | LRAY<br>( $\mu\text{m}$ ) | DRAY<br>(Ray/files<br>radiales) | SCBI<br>( $\mu\text{m}^2$ ) | SCBF<br>( $\mu\text{m}^2$ ) | DVBI<br>(Nb/mm <sup>2</sup> ) | DVBF<br>(Nb/mm <sup>2</sup> ) | S/total       |
|-------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------|
| Sauvage<br>Imm.   | 1491                      | 1491                     | 1490                     | 1550                      | 586                             | 1550                        | 1550                        | 894                           | 925                           | 11527         |
| Sauvage<br>Mat.   | 1158                      | 1158                     | 1158                     | 1173                      | 467                             | 1175                        | 1175                        | 705                           | 701                           | 8870          |
| CultDom<br>Imm.   | 1121                      | 1121                     | 1121                     | 1125                      | 450                             | 1125                        | 1125                        | 674                           | 674                           | 8536          |
| CultDom<br>Mat.   | 399                       | 399                      | 399                      | 399                       | 155                             | 400                         | 400                         | 240                           | 240                           | 3031          |
| Férale<br>Imm.    | 50                        | 50                       | 50                       | 50                        | 20                              | 50                          | 50                          | 30                            | 30                            | 380           |
| Férale<br>Mat.    | 200                       | 200                      | 200                      | 200                       | 80                              | 200                         | 200                         | 120                           | 120                           | 1520          |
| Archéos<br>Imm.   | 768                       | 768                      | 768                      | 809                       | 287                             | 825                         | 825                         | 481                           | 463                           | 5994          |
| Archéos<br>Mat.   | 1248                      | 1248                     | 1248                     | 1339                      | 460                             | 1375                        | 1375                        | 812                           | 787                           | 9892          |
| <b>Total</b>      |                           |                          |                          |                           |                                 |                             |                             |                               |                               | <b>49 750</b> |

**Tableau VII :** Récapitulatif du nombre d'échantillons utilisés.

| Vigne<br>Bois     | Vigne sauvage | Vigne cultivée | Vigne férale | Vigne archéologique |            |
|-------------------|---------------|----------------|--------------|---------------------|------------|
| Bois immature     | 62            | 45             | 2            | 33                  |            |
| Bois mature       | 47            | 16             | 8            | 55                  |            |
| <b>Total éch.</b> | <b>109</b>    | <b>61</b>      | <b>10</b>    | <b>88</b>           | <b>268</b> |

### **5.1. Tests préliminaires :**

*Erreur de mesure liée à l'opérateur* (cf : annexe 1): la distribution de fréquence des données éco-anatomiques testée à l'aide du test de Shapiro-Wilk ne suit pas systématiquement une loi normale en fonction à la fois des variables et de l'opérateur. Ainsi, sur l'échantillon « Belaygues 3c » mesuré par moi-même, 8 variables sur 9 suivent une loi normale. Seule la variable « SCBF – Surface conductrice dans le bois final » ne suit pas une loi normale.

Sur ce même échantillon mesuré par un post-doctorant de l'équipe, 7 variables sur 9 suivent une loi normale. Les variables « LBF – Largeur du bois final » et « DRAY – Densité des rayons ligneux » ne suivent pas une loi normale.

On remarquera que les 3 variables qui ne suivent pas de loi normale ne sont pas les mêmes en fonction de l'opérateur.

Sur la base de ces résultats, les comparaisons de moyenne ont été effectuées à l'aide du test non paramétrique de Kruskal-Wallis. Les résultats des tests montrent que les données éco-anatomiques acquises par les deux opérateurs ne divergent pas (cf : annexe 3). Dans l'avenir, tout opérateur suivant scrupuleusement le protocole de mesure devrait fournir des données fiables.

*Erreur de mesure pour un même opérateur sur l'échantillon 'Chasselas' 1a* (cf : annexe 2) : la distribution de fréquence des données éco-anatomiques testée à l'aide du test de Shapiro-Wilk ne suit pas systématiquement une loi normale en fonction à la fois des variables et de la session de mesures. Sur l'échantillon 'Chasselas' 1a, 6 des 9 variables suivent une loi normale.

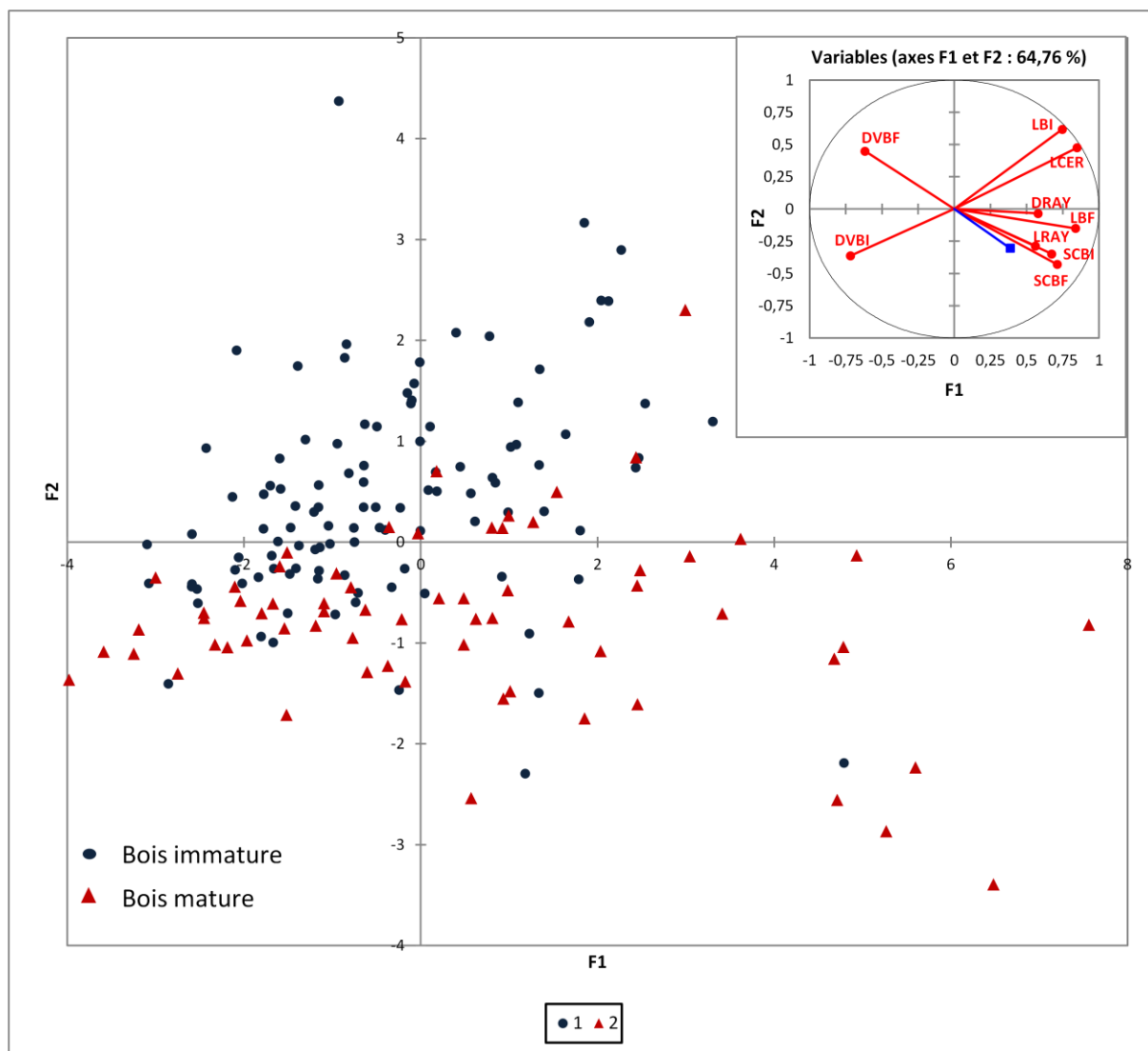
Les comparaisons de moyennes ont été effectuées à l'aide du test non paramétrique de Kruskal-Wallis et ont montré que les données éco-anatomiques acquises par le même opérateur lors de deux sessions distinctes sont comparables (cf : annexe 4).

Ces tests montrent ainsi que les erreurs de mesures sont faibles et n'entachent pas les résultats.

### **5.2. L'âge du bois (bois immature / bois mature), facteur majeur de la variation anatomique (cf : paragraphe 4.1.) :**

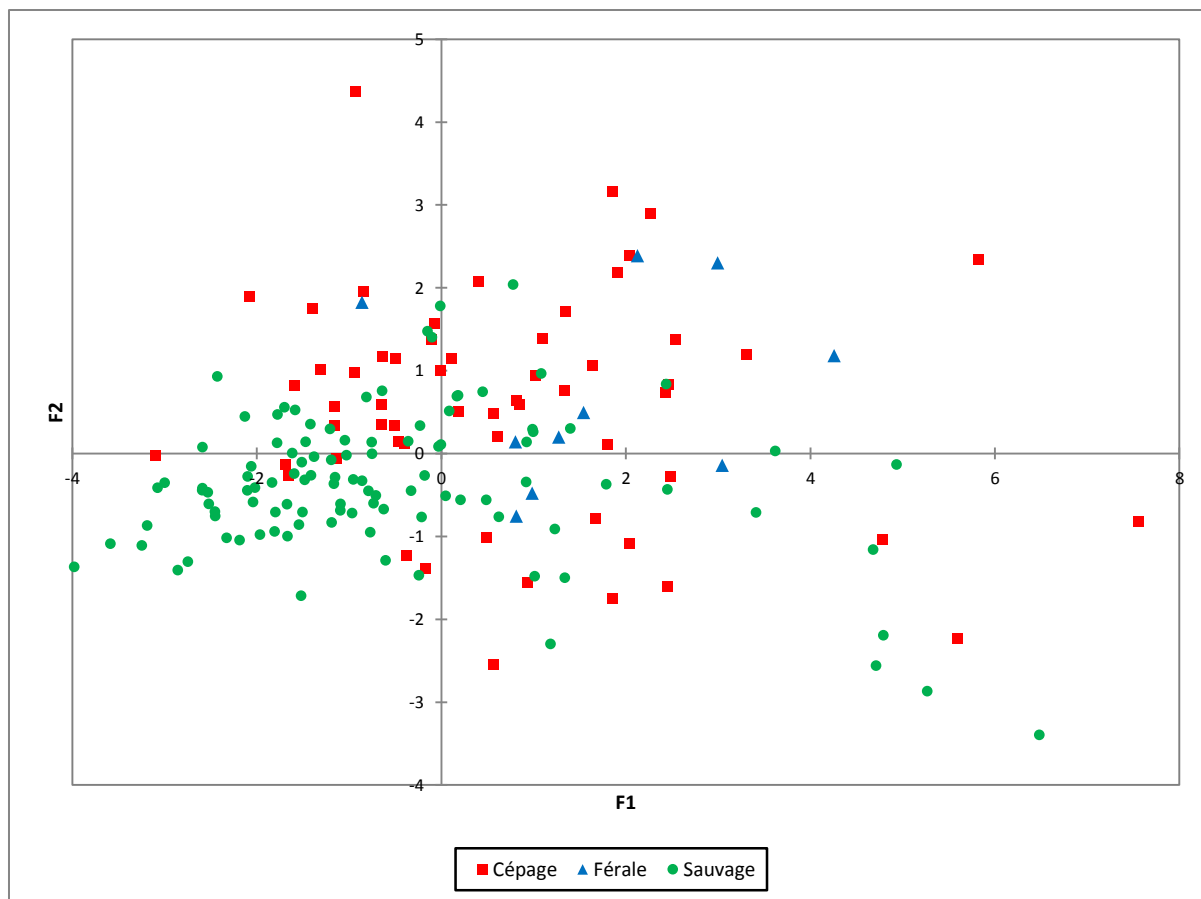
Afin de vérifier qu'il existe une différence de caractéristiques anatomiques entre le bois immature et le bois mature, une ACP a été effectuée sur les 170 échantillons du référentiel constitué d'échantillons connus de bois immature (N=107) et de bois mature (N=63).

Les résultats de l'ACP montrent que dans le plan 1-2 (64,76 % d'inertie), un léger patron de différenciation semble s'établir entre les échantillons de bois immature et de bois mature sans qu'un axe en particulier ne contribue plus que l'autre à cette tendance (cf : figure 46-1 ci-après). La densité des vaisseaux dans le bois final (DVBF), la surface conductrice dans le bois initial et dans le bois final (SCBI et SCBF) et dans une moindre mesure la largeur du rayon ligneux (LRAY) auquel s'associe bien entendu la variable « diamètre de la branche ( $\varnothing$  moyen) » semblent contribuer à cette distribution.



**Figure 46-1 :** Représentation des individus de bois de vigne (immatures et matures) dans le plan 1-2 (64,76 % d’inertie) de l’ACP et cercle des corrélations entre variables anatomiques. En bleu dans le cercle, la variable « diamètre moyen ».

Sur la même ACP, les échantillons issus de vigne sauvage ne semblent pas se distinguer des échantillons des cépages (cf : figure 46-2 ci-après). Aussi, cette ACP montre que le stade de maturation du bois (immature / mature) joue un rôle plus important que le statut (sauvage / cépage) sur la plasticité anatomique du bois de vigne.



**Figure 46-2** : Représentations des mêmes individus en fonction de leur statut (vigne sauvage / cépages / vignes férales).

La discrimination entre les échantillons de bois immature et les échantillons de bois mature a été testée à l'aide d'une AFD (AFD1) (cf : paragraphe 4.3.6.). Il s'avère qu'il existe bien une discrimination très significative entre les deux groupes d'échantillons définis *a priori* (Lambda de Wilks = 0.511 ; F (observé - critique) = 17.04 – 1.94 ;  $p < 0.0001$ ). Le taux de discrimination entre ces groupes s'élève à 85.3% (reclassement *a posteriori*). L'AFD montre également que les variables discriminantes sont (cf : tableau VIII ci-après) : la largeur du rayon ligneux (LRAY), la largeur du bois initial (LBI), la largeur du bois final (LBF), la surface conductrice du bois initial (SCBI), la surface conductrice du bois final (SCBF) et la densité des vaisseaux dans le bois final (DVBF). Ces résultats confirment le patron mis en évidence par l'ACP.

**Tableau VIII** : Tests univariés de comparaison de moyenne issus de l'AFD1 réalisée sur 170 échantillons et destinée à tester la discrimination entre bois immatures et bois matures.

| Variable                  | Lambda | F      | p-value  |
|---------------------------|--------|--------|----------|
| LCER ( $\mu\text{m}$ )    | 0,986  | 2,419  | 0,122    |
| LBI ( $\mu\text{m}$ )     | 0,954  | 8,170  | 0,005    |
| LBF ( $\mu\text{m}$ )     | 0,947  | 9,479  | 0,002    |
| LRAY ( $\mu\text{m}$ )    | 0,698  | 72,827 | < 0,0001 |
| DRAY                      | 0,972  | 4,797  | 0,030    |
| SCBI ( $\mu\text{m}^2$ )  | 0,935  | 11,679 | 0,001    |
| SCBF ( $\mu\text{m}^2$ )  | 0,957  | 7,619  | 0,006    |
| DVBI (N/mm <sup>2</sup> ) | 0,964  | 6,290  | 0,013    |
| DVBF (N/mm <sup>2</sup> ) | 0,933  | 12,115 | 0,001    |

### 5.3. Distinction vigne sauvage / cépage :

Les bois immatures se distinguant des bois matures d'un point de vue éco-anatomique, deux études séparées ont été réalisées afin de tester la discrimination sauvage / cépage.

#### 5.3.1. Distinction sauvage / cépage sur le bois immature :

A partir du bois immature du référentiel, une seconde AFD (AFD2) a été réalisée. Cette AFD2 a testé la discrimination possible entre les vignes sauvages et les vignes cultivées-domestiquées. Le taux de discrimination *a posteriori* (Lambda de Wilks = 0.59 ; F (observé - critique) = 7.487 – 1.978 ;  $p < 0.0001$ ) s'élève à 82.2 %. Les variables les plus significatives quant à cette discrimination sont la largeur du cerne (LCER), la largeur du bois initial (LBI) et la densité des vaisseaux dans le bois initial (DVBI), ce qui est conforme à une étude précédemment menée (Terral, 2002). Deux autres variables sont également discriminantes mais dans une moindre mesure, ce sont la largeur du rayon ligneux (LRAY) et la densité des rayons ligneux (DRAY) (cf : tableau IX ci-après).

**Tableau IX :** Tests univariés de comparaison de moyenne issus de l'AFD2 réalisée sur 107 échantillons de bois immature et destinée à tester la discrimination entre vigne sauvage et cépage.

| Variable                  | Lambda | F      | p-value  |
|---------------------------|--------|--------|----------|
| LCER ( $\mu\text{m}$ )    | 0,755  | 34,140 | < 0,0001 |
| LBI ( $\mu\text{m}$ )     | 0,740  | 36,857 | < 0,0001 |
| LBF ( $\mu\text{m}$ )     | 0,964  | 3,962  | 0,049    |
| LRAY ( $\mu\text{m}$ )    | 0,926  | 8,415  | 0,005    |
| DRAY                      | 0,962  | 4,143  | 0,044    |
| SCBI ( $\mu\text{m}^2$ )  | 0,997  | 0,340  | 0,561    |
| SCBF ( $\mu\text{m}^2$ )  | 0,990  | 1,107  | 0,295    |
| DVBI (N/mm <sup>2</sup> ) | 0,811  | 24,409 | < 0,0001 |
| DVBF (N/mm <sup>2</sup> ) | 0,978  | 2,380  | 0,126    |

#### 5.3.2. Distinction sauvage / cépage sur le bois mature :

A partir du bois mature du référentiel, une troisième AFD (AFD3) a été réalisée. Cette AFD3 a permis de discriminer les vignes sauvages des vignes cultivées-domestiquées avec un taux de 95.2 % (Lambda de Wilks = 0.37 ; F (observé - critique) = 10.02 – 2.06 ;  $p < 0.0001$ ). Les variables les plus significatives quant à cette discrimination sont la largeur du bois final (LBF), la largeur du rayon ligneux (LRAY) et la densité des vaisseaux dans le bois final (DVBF) (cf : tableau X ci-après). Il est intéressant de noter que ce ne sont pas les mêmes caractères anatomiques qui discriminent les vignes sauvages des cépages dans les groupes « Bois immature » et « Bois mature ».

**Tableau X :** Tests univariés de comparaison de moyennes issus de l'AFD3 réalisée sur 63 échantillons de bois mature et destinée à tester la discrimination entre vigne sauvage et cépage.

| Variable                  | Lambda | F      | p-value  |
|---------------------------|--------|--------|----------|
| LCER ( $\mu\text{m}$ )    | 0,906  | 6,301  | 0,015    |
| LBI ( $\mu\text{m}$ )     | 0,959  | 2,625  | 0,110    |
| LBF ( $\mu\text{m}$ )     | 0,800  | 15,257 | < 0,0001 |
| LRAY ( $\mu\text{m}$ )    | 0,732  | 22,325 | < 0,0001 |
| DRAY                      | 0,899  | 6,876  | 0,011    |
| SCBI ( $\mu\text{m}^2$ )  | 0,977  | 1,429  | 0,237    |
| SCBF ( $\mu\text{m}^2$ )  | 0,969  | 1,967  | 0,166    |
| DVBI (N/mm <sup>2</sup> ) | 0,964  | 2,269  | 0,137    |
| DVBF (N/mm <sup>2</sup> ) | 0,793  | 15,959 | < 0,0001 |

#### **5.4. Variations anatomiques en fonction de l'écologie de la vigne sauvage :**

A partir de 103 échantillons de vigne sauvage, une AFD (AFD4) a été effectuée pour tenter de discriminer ces vignes sauvages en fonction des conditions écologiques caractérisant leur habitat (cf : paragraphe 4.3.6.), attendu que le milieu pouvait influencer l'anatomie du bois. Toutefois, cette analyse tenant compte du type de bois (immature ou mature) n'a pas révélé de relation entre le contexte écologique ou l'habitat et les caractéristiques anatomiques.

#### **5.5. Allocation des échantillons de vigne férale :**

##### **5.5.1. Allocation au compartiment bois immature / mature :**

Les 10 échantillons de vigne férale ont été introduits directement au niveau de l'AFD2 pour le bois immature et de l'AFD3 pour le bois mature, compte-tenu de leur âge constaté lors de leur observation au microscope à réflexion.

##### **5.5.2. Allocation au statut sauvage ou cultivé-domestiqué :**

###### **5.5.2.1. Bois immature :**

L'injection dans l'AFD2 des 2 échantillons de vigne férale « bois immature » a permis l'allocation d'un seul au statut de vigne sauvage avec un indice de confiance supérieur ou égal à 0.75. Le second est considéré comme non identifiable ( $p < 0.75$ ).

###### **5.5.2.2. Bois mature :**

L'insertion dans l'AFD3 des 8 échantillons de vigne férale « bois mature » a permis leur allocation au statut de vigne sauvage avec un indice de confiance supérieur ou égal à 0.75 (cf : tableau XI ci-après).

**Tableau XI : Allocation par l'AFD3 des échantillons de vigne férale (bois mature) au statut Sauvage (ic  $\geq 0.75$ ).**

| Station                     | Statut alloué | Prob. Sauv | Prob. Cult/Dom |
|-----------------------------|---------------|------------|----------------|
| Montferrier1b               | Sauvage       | 0.989      | 0.011          |
| Maruéjols1a                 | Sauvage       | 1.000      | 0.000          |
| Maruéjols1b                 | Sauvage       | 1.000      | 0.000          |
| Généralgues2a               | Sauvage       | 1.000      | 0.000          |
| Généralgues2b               | Sauvage       | 0.999      | 0.001          |
| St Sébastien Aigrefeuille1a | Sauvage       | 1.000      | 0.000          |
| St Sébastien Aigrefeuille1b | Sauvage       | 1.000      | 0.000          |
| Alès3b                      | Sauvage       | 1.000      | 0.000          |

#### **5.6. Affiliation des charbons de bois archéologiques à des ensembles mis en évidence dans le référentiel actuel :**

Sur les 88 échantillons archéologiques disponibles dans le cas de notre étude, seuls 73 ont été pris en compte. En effet, pour cause de nombre insuffisant de mesures, 15 échantillons de trop petite taille

(« Alba-la-Romaine (N=7) » ; « Lespignan 1a », « Lunel Viel 196 », « Sauvian 1a », « Vignoles 9 (N=3) », « La Fajole 1a », « Beynost 1b ») ont été volontairement écartés.

#### 5.6.1. Allocation au bois immature / mature :

Les 73 échantillons archéologiques ont été introduits en tant qu'échantillons supplémentaires dans l'AFD1 visant à discriminer le bois immature du bois mature (cf : paragraphe 4.3.6.). Ils ont été affectés moyennant une probabilité d'affiliation à un des deux groupes définis. Il ressort de cette analyse que 55 échantillons sur 73 (soit 75.3 %) sont alloués à l'un des deux groupes avec une probabilité supérieure ou égale à 0.75 (cf : tableau XII ci-après).

Quarante cinq échantillons ont été alloués au bois immature, et 10 au bois mature. L'analyse anatomique permet de vérifier que pour 34 échantillons sur 45 (75.5 %, reclassement correct), la classe allouée est la même que la classe observée. La classe allouée est la même que la classe observée pour les 10 échantillons de bois mature. Ces éléments nous révèlent que la procédure peut être ainsi validée.

**Tableau XII :** Allocation des échantillons archéologiques aux deux groupes définis (bois immature – bois mature) par l'AFD1.

| Site              | Echantillon | Datation     | Classe observée | Classe allouée | Prob. Immature | Prob. Mature |
|-------------------|-------------|--------------|-----------------|----------------|----------------|--------------|
| GrotteHasard      | Has175      | env. 1000 BC | Mature          | Immature       | 0,819          | 0,181        |
| Alba-la-Romaine   | AlRo1g      | 5è s. BC     | Mature          | Immature       | 1.000          | 0.000        |
| LattesStSauveur   | LSSC5       | 500-475 BC   | Immature        | Immature       | 0,986          | 0,014        |
| LattesStSauveur   | LSSD8       | 500-475 BC   | Immature        | Immature       | 0,851          | 0,149        |
| LattesStSauveur   | LSSD24      | 500-475 BC   | Immature        | Immature       | 0,946          | 0,054        |
| LattesStSauveur   | LSSAB1      | 500-475 BC   | Immature        | Immature       | 0,840          | 0,160        |
| LattesStSauveur   | LSS1a       | 425-400 BC   | Immature        | Immature       | 0,896          | 0,104        |
| LattesStSauveur   | LSS3a       | 350 BC       | Mature          | Immature       | 0,917          | 0,083        |
| LattesStSauveur   | LSS5a       | 350 BC       | Immature        | Immature       | 0,995          | 0,005        |
| ValrosVigneBioaux | VVB1a       | 1er-2è s. AD | Immature        | Immature       | 0,932          | 0,068        |
| ValrosVigneBioaux | VVB1b       | 1er-2è s. AD | Immature        | Immature       | 0,941          | 0,059        |
| ValrosVigneBioaux | VVB2b       | 1er-2è s. AD | Immature        | Immature       | 0,896          | 0,104        |
| Vignoles9         | Vig9-1c     | 1er-2è s. AD | Immature        | Immature       | 0,935          | 0,065        |
| Vignoles9         | Vig9-1e     | 1er-2è s. AD | Mature          | Immature       | 0,829          | 0,171        |
| Vignoles9         | Vig9-1f     | 1er-2è s. AD | Immature        | Immature       | 0,953          | 0,047        |
| Vignoles9         | Vig9-1g     | 1er-2è s. AD | Immature        | Immature       | 0,954          | 0,046        |
| Vignoles9         | Vig9-1h     | 1er-2è s. AD | Immature        | Immature       | 0,972          | 0,028        |
| Vignoles9         | Vig9-1i     | 1er-2è s. AD | Immature        | Immature       | 0,966          | 0,034        |
| Vignoles9         | Vig9-1j     | 1er-2è s. AD | Immature        | Immature       | 0,961          | 0,039        |
| Vignoles9         | Vig9-1k     | 1er-2è s. AD | Immature        | Immature       | 0,921          | 0,079        |
| Vignoles9         | Vig9-1l     | 1er-2è s. AD | Mature          | Immature       | 0,927          | 0,073        |
| Vignoles9         | Vig9-1m     | 1er-2è s. AD | Immature        | Immature       | 0,906          | 0,094        |
| Vignoles9         | Vig9-1n     | 1er-2è s. AD | Immature        | Immature       | 0,985          | 0,015        |
| Vignoles9         | Vig9-1o     | 1er-2è s. AD | Mature          | Immature       | 0,969          | 0,031        |
| Vignoles9         | Vig9-1p     | 1er-2è s. AD | Immature        | Immature       | 0,958          | 0,042        |
| Vignoles9         | Vig9-1r     | 1er-2è s. AD | Immature        | Immature       | 0,950          | 0,050        |
| Vignoles9         | Vig9-1s     | 1er-2è s. AD | Immature        | Immature       | 0,894          | 0,106        |
| Vignoles9         | Vig9-1t     | 1er-2è s. AD | Mature          | Immature       | 0,935          | 0,065        |
| Vignoles9         | Vig9-1u     | 1er-2è s. AD | Mature          | Immature       | 0,948          | 0,052        |
| Vignoles9         | Vig9-1v     | 1er-2è s. AD | Immature        | Immature       | 0,939          | 0,061        |
| Vignoles9         | Vig9-1w     | 1er-2è s. AD | Immature        | Immature       | 0,973          | 0,027        |
| Vignoles9         | Vig9-1x     | 1er-2è s. AD | Immature        | Immature       | 0,969          | 0,031        |
| Vignoles9         | Vig9-1y     | 1er-2è s. AD | Immature        | Immature       | 0,964          | 0,036        |
| Vignoles9         | Vig9-1z     | 1er-2è s. AD | Mature          | Immature       | 0,899          | 0,101        |

|                 |          |               |          |          |       |       |
|-----------------|----------|---------------|----------|----------|-------|-------|
| Vignoles9       | Vig9-1aa | 1er-2è s. AD  | Immature | Immature | 0,981 | 0,019 |
| Vignoles9       | Vig9-1bb | 1er-2è s. AD  | Immature | Immature | 0,970 | 0,030 |
| Vignoles9       | Vig9-1cc | 1er-2è s. AD  | Mature   | Immature | 0,962 | 0,038 |
| Sauvian         | Sau1c    | 1er-3è s. AD  | Immature | Immature | 0,837 | 0,163 |
| Sauvian         | Sau1e    | 1er-3è s. AD  | Mature   | Immature | 0,903 | 0,097 |
| Tourbes         | Tou1d    | 1er-3è s. AD  | Immature | Immature | 0,903 | 0,097 |
| Tourbes         | Tou1e    | 1er-3è s. AD  | Immature | Immature | 0,892 | 0,108 |
| Vignoles13      | Vig13a   | 2è s. AD      | Immature | Immature | 0,978 | 0,022 |
| Trèbes          | Trè1a    | 9è-12è s. AD  | Immature | Immature | 0,945 | 0,055 |
| HôtelDieu       | HD1b     | 16è-17è s. AD | Immature | Immature | 0,971 | 0,029 |
| HôtelDieu       | HD1c     | 16è-17è s. AD | Immature | Immature | 0,833 | 0,167 |
| GrotteHasard    | Has147   | env. 1000 BC  | Mature   | Mature   | 0,018 | 0,982 |
| GrotteHasard    | Has202   | env. 1000 BC  | Mature   | Mature   | 0,078 | 0,922 |
| Alba-la-Romaine | AlRo1b   | 5è s. BC      | Mature   | Mature   | 0,014 | 0,986 |
| Alba-la-Romaine | AlRo1k   | 5è s. BC      | Mature   | Mature   | 0,187 | 0,813 |
| Alba-la-Romaine | AlRo1n   | 5è s. BC      | Mature   | Mature   | 0,023 | 0,977 |
| LattesStSauveur | LSS4a    | 350 BC        | Mature   | Mature   | 0,001 | 0,999 |
| LattesStSauveur | LSS4b    | 350 BC        | Mature   | Mature   | 0,000 | 1,000 |
| Cimiez          | Cim1a    | 1er s. AD     | Mature   | Mature   | 0,097 | 0,903 |
| LeGasquino      | Gas1a    | 1er-2è s. AD  | Mature   | Mature   | 0,144 | 0,856 |
| Beynost         | Bey1a    | 10è-12è s. AD | Mature   | Mature   | 0,167 | 0,833 |

## 5.6.2. Allocation au statut sauvage ou cultivé-domestiqué :

### 5.6.2.1. Bois immature :

L'injection dans l'AFD2 des 45 échantillons archéologiques alloués précédemment au bois immature a permis l'affiliation de 18 échantillons sur 45 (soit 40 %) à un des deux statuts avec un indice de confiance supérieur ou égal à 0.75. Ainsi, 14 échantillons sont classés dans le groupe des vignes sauvages et 4 échantillons sont alloués à la vigne cultivée-domestiquée (cf : tableau **XIII** ci-après).

**Tableau XIII :** Allocation par l'AFD2 des échantillons archéologiques (bois immature) au statut Sauvage ou Cultivé-Domestiqué (ic  $\geq$  0.75).

| Site                | Echantillon | Datation      | Statut alloué | Prob. Sauvage | Prob. Cult/Dom |
|---------------------|-------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| Grotte du Hasard    | Has175      | env. 1000 BC  | Sauvage       | 0.942         | 0.058          |
| Lattes St Sauveur   | LSSAB1      | 500-475 BC    | Sauvage       | 0.869         | 0.131          |
| Lattes St Sauveur   | LSS3a       | 350 BC        | Sauvage       | 0.968         | 0.032          |
| Vignoles 9          | Vig9-1e     | 1er-2è s. AD  | Sauvage       | 0.770         | 0.230          |
| Vignoles 9          | Vig9-1i     | 1er-2è s. AD  | Sauvage       | 0.928         | 0.072          |
| Vignoles 9          | Vig9-1l     | 1er-2è s. AD  | Sauvage       | 0.868         | 0.132          |
| Vignoles 9          | Vig9-1m     | 1er-2è s. AD  | Sauvage       | 0.775         | 0.225          |
| Vignoles 9          | Vig9-1o     | 1er-2è s. AD  | Sauvage       | 0.844         | 0.156          |
| Vignoles 9          | Vig9-1s     | 1er-2è s. AD  | Sauvage       | 0.908         | 0.092          |
| Vignoles 9          | Vig9-1w     | 1er-2è s. AD  | Sauvage       | 0.768         | 0.232          |
| Vignoles 9          | Vig9-1y     | 1er-2è s. AD  | Sauvage       | 0.848         | 0.152          |
| Vignoles 9          | Vig9-1z     | 1er-2è s. AD  | Sauvage       | 0.975         | 0.025          |
| Vignoles 9          | Vig9-1bb    | 1er-2è s. AD  | Sauvage       | 0.833         | 0.167          |
| Trèbes              | Trè1a       | 9è-12è s. AD  | Sauvage       | 0.868         | 0.132          |
| Alba-la-Romaine     | AlRo1g      | 5è s. BC      | Cult/Dom      | 0.000         | 1.000          |
| Lattes St Sauveur   | LSS5a       | 350 BC        | Cult/Dom      | 0.195         | 0.805          |
| Valros Vigne Bioaux | VVB2b       | 1er-2è s. AD  | Cult/Dom      | 0.216         | 0.784          |
| Hôtel Dieu          | HD1b        | 16è-17è s. AD | Cult/Dom      | 0.087         | 0.913          |

### 5.6.2.2. Bois mature :

L'intégration dans l'AFD3 des 10 échantillons archéologiques alloués au bois mature a permis l'affiliation de 8 de ces échantillons (soit 80 %) à un des deux statuts avec un indice de confiance supérieur ou égal à 0.75. Ainsi 5 échantillons sont alloués au statut sauvage et 3 échantillons sont alloués à la vigne cultivée-domestiquée (cf : tableau **XIV** ci-après).

**Tableau XIV** : Allocation par l'AFD3 des échantillons archéologiques (bois mature) au statut Sauvage ou Cultivé/Domestiqué (**ic  $\geq$  0.75**).

| Site              | Echantillon | Datation     | Statut alloué | Prob. Sauvage | Prob. Cult/Dom |
|-------------------|-------------|--------------|---------------|---------------|----------------|
| Grotte du Hasard  | Has147      | Env. 1000 BC | Sauvage       | 0.986         | 0.014          |
| Grotte du Hasard  | Has202      | Env. 1000 BC | Sauvage       | 1.000         | 0.000          |
| Alba-la-Romaine   | AlRo1b      | 5è s. BC     | Sauvage       | 1.000         | 0.000          |
| Alba-la-Romaine   | AlRo1n      | 5è s. BC     | Sauvage       | 1.000         | 0.000          |
| Le Gasquinoi      | Gas1a       | 1er-2è s. AD | Sauvage       | 0.884         | 0.116          |
| Alba-la-Romaine   | AlRo1k      | 5è s. BC     | Cult/Dom      | 0.240         | 0.760          |
| Lattes St Sauveur | LSS4a       | 350 BC       | Cult/Dom      | 0.001         | 0.999          |
| Lattes St Sauveur | LSS4b       | 350 BC       | Cult/Dom      | 0.009         | 0.991          |

## **6/ Discussion**

Les résultats acquis au cours de ces travaux révèlent une grande variabilité au sein des caractères anatomiques mesurés. Des études antérieures consacrées à la recherche de critères de distinction entre individus sauvages et individus cultivés de la même espèce démontrent que l'influence de l'Homme est prépondérante, et donc masque en partie l'impact des facteurs écologiques abiotiques (Zobel et van Buijtenen, 1989 ; Terral, 1999). Dans cette étude, chez la vigne sauvage, aucune relation entre les caractéristiques anatomiques du bois et les paramètres écologiques des habitats n'a été mise en évidence. Avant tout, les études menées sur l'anatomie du bois, en particulier les études dendrométriques démontrent la prévalence de l'âge (ou du calibre/taille de l'axe (tige, branche ou tronc)) sur la taille des éléments constitutifs du bois (Terral, 1999 ; Terral, 2000 ; Terral, 2002 ; Achim et Cloutier, 2010).

### **6.1. Le référentiel éco-anatomique :**

#### **6.1.1. Bois immature et bois mature :**

L'ACP et l'AFD1 effectuées sur les 170 échantillons de la collection de référence du laboratoire ont montré une différenciation entre le bois immature et le bois mature de la vigne quel que soit son statut (sauvage – cultivé/domestiqué). Ces analyses statistiques multivariées ont également fait ressortir les variables (caractères anatomiques) contribuant le plus à la différenciation (cf : paragraphe 5.2.).

L'AFD1 a mis en évidence une discrimination à 85.3 %, avec comme variable discriminante prépondérante la largeur du rayon ligneux (LRAY). Le rôle joué par ce tissu peut être expliqué si l'on se penche sur ses fonctions. Les rayons ligneux sont présents chez toutes les essences et leur volume peut représenter de 3 à 30 % du volume total du bois, ce qui est considérable si l'on tient compte de ses fonctions (stockage de réserves, conduction horizontale de la sève brute et soutien), en relation avec la dureté/densité du bois (Venet et Keller, 1986 *in* Barbe et Keller, 1996). Chez les ligneux lianescents comme la vigne et la clématite, les axes flexueux ont une densité faible de par l'existence de vaisseaux de grande taille (porosité élevée). Les axes jeunes (bois immature) portent les feuilles sur les unités de croissance de l'année. Leur bois est donc dévolu principalement à la conduction des sèves (brute et élaborée) et corrélativement, leur fonction de stockage de réserves est réduite comparée aux axes plus âgés (bois mature) qui accumulent les réserves dans leurs cellules de parenchyme (parenchyme vertical et rayons ligneux). Il semble donc logique que les rayons ligneux du bois mature soient plus larges que ceux du bois immature.

Cinq autres variables assez bien corrélées (positivement ou négativement) entre elles (la largeur du bois initial – LBI, la largeur du bois final – LBF, la surface conductrice dans le bois initial – SCBI, la surface conductrice du bois final – SCBF, et la densité des vaisseaux dans le bois final – DVBF) contribuent également à cette discrimination. Dans le cas des caractères anatomiques liés directement à la vitesse de croissance (LBI et LBF), le bois immature est caractérisé par une largeur du bois initial (LBI) supérieure par rapport au bois mature. Le bois initial formé au cours du début (printemps) de la mise en place de l'unité de croissance de l'année (sarment) permet d'irriguer en sève les feuilles et les inflorescences qui donneront les grappes de fruits. Les besoins en eau sont

alors très élevés dans des parties de la vigne qui connaissent une croissance en longueur, en largeur et un développement très prononcés. Au contraire, dans le bois mature (axes plus âgés et ceps), la croissance se limite à un élargissement (augmentation de diamètre et de circonférence) de la branche. Aussi, la vascularisation permet « seulement » d'inerver les parties supérieures de la plante. La largeur du bois initial est plus modeste mais sa surface globale est compensée par une circonférence des axes plus élevée que dans le cas des axes jeunes. Dans le cas du bois final formé généralement en période estivale, la croissance des axes est très limitée et donc l'apport d'eau est essentiellement destiné aux fruits. La réduction drastique de la croissance en longueur et en épaisseur expliquerait pourquoi la largeur du bois final des axes jeunes (bois immature) est plus faible que celui des axes âgés (bois mature).

Concernant la surface conductrice du bois initial et du bois final (SCBI et SCBF), deux variables corrélées positivement, une différence entre bois immature et bois mature apparaît. Le bois initial des branches jeunes semble posséder une surface conductrice inférieure par rapport aux branches plus âgées. Il en est de même pour le bois final. Au niveau du bois mature, les besoins de conduire la sève sont élevés pour inverter toutes les ramifications terminées par les parties sommitales de la plante (bois immature). En corollaire, les parties sommitales (unités de croissance de l'année) constituent, avant les feuilles, l'aboutissement du xylème primaire. En conséquence, la surface conductrice y est faible.

La densité des vaisseaux du bois final est supérieure dans le bois immature à celle mesurée dans le bois mature. Quelques études anatomiques ont montré que la densité des vaisseaux est corrélée négativement à la surface des vaisseaux (responsables de la surface conductrice globale) (Zimmerman, 1983 ; Carlquist, 1988 ; Terral et Arnold-Simard, 1996 ; Terral et Durand, 2006). Un bois présentant des vaisseaux de très grande taille possède donc une densité plus faible qu'un bois caractérisé par des vaisseaux à diamètre plus faible. Il est donc cohérent de constater que ce schéma est respecté pour la vigne.

## **6.2. Discrimination entre les statuts sauvage et cultivé-domestiqué :**

Les AFD 2 et 3 réalisées respectivement sur le bois immature et le bois mature ont révélé que certaines variables jouaient un rôle prépondérant dans la discrimination sauvage/cultivé-domestiqué.

Concernant le « bois immature », les variables contribuant à discriminer les 2 statuts avec le plus de pouvoir sont :

- la largeur du cerne (LCER) et la largeur du bois initial (LBI), deux variables corrélées,
- la densité des vaisseaux dans le bois initial (DVBI) et,
- la largeur du rayon ligneux (LRAY) dans une moindre mesure.

Les différences de largeur de cerne et de largeur de bois initial montrent que chez la vigne cultivée-domestiquée, la croissance est plus rapide que chez la vigne sauvage. Chez la vigne cultivée-domestiquée, le cerne est plus large du fait de l'intervention de l'Homme qui permet une croissance régulière et contrôlée de la plante. De plus, la densité des vaisseaux du bois initial, supérieure chez la vigne sauvage, révèle des disparités de sécurité ou de vulnérabilité de conduction

(risques de cavitation ou embolie) (Carlquist, 1988 ; Carlquist and Debhur, 1977 in Terral, 1999 ; Marguerie *et al.*, 2010). Dans le cas de la vigne cultivée-domestiquée, la vulnérabilité est plus faible que chez la vigne sauvage du fait, là également, des conditions de culture. Corrélativement, l'efficacité de conduction de la sève est plus élevée chez la vigne cultivée. Enfin, les individus cultivés caractérisés par une croissance plus forte que les sauvages produisent plus de métabolites issus de la photosynthèse. Ces réserves sont stockées dans les parenchymes de la plante (Romberger *et al.*, 1993), notamment dans les rayons ligneux qui présentent alors une taille supérieure chez la vigne cultivée.

Sur le « bois mature », les variables contribuant à discriminer les 2 statuts avec le plus de pouvoir sont :

- la largeur du rayon ligneux (LRAY), caractère dont la signification éco-fonctionnelle a déjà été discutée précédemment,
- la largeur du bois final (LBF), caractère lié à la vitesse de croissance de la plante durant la période estivale et qui présente des disparités entre les vignes cultivées-domestiquées et les vignes sauvages (LBF chez les vignes cultivées plus large que chez les vignes sauvages),
- la densité des vaisseaux dans le bois final (DVBF). Ce critère témoigne d'une vulnérabilité à la cavitation plus importante (donc une efficacité de conduction plus faible) des vignes sauvages durant la période estivale par rapport à la vigne cultivée. Dans ce cas également, les variations doivent être imputées à l'absence ou à la présence de pratiques culturales qui favorisent les conditions de croissance donc l'efficacité de conduction. A ce titre, la conductivité hydraulique calculée sur le bois final du bois mature chez la vigne sauvage est ainsi 4 fois inférieure à celle calculée sur le bois final du bois mature chez la vigne cultivée-domestiquée.

Dans une moindre mesure, la largeur du cerne (LCER) et la densité des rayons ligneux (DRAY) contribuent à la discrimination.

### **6.3. Allocation de la vigne férale aux statuts sauvage et cultivé-domestiqué :**

Après intégration des individus féraux en tant qu'observations supplémentaires dans l'AFD2 (pour les bois immatures) et dans l'AFD3 (pour les bois matures), neuf des dix échantillons de vigne férale sont alloués au statut sauvage (cf : paragraphes 5.5.2.1. et 5.5.2.2.). De par leurs origines, ces vignes portent certains caractères des vignes cultivées-domestiquées (elles restent hermaphrodites, par exemple) mais ont repris un comportement et des caractères phénotypiques de vigne sauvage puisqu'elles ne sont plus entretenues. La signature éco-anatomique environnementale est bien mise en évidence dans la mesure où ces vignes présentent un développement lianescent et sont à nouveau soumises aux paramètres écologiques naturels.

### **6.4. Vigne sauvage ou vigne cultivée-domestiquée dans le corpus bioarchéologique ?**

Les résultats exposés dans le paragraphe 5.6.1. font ressortir un plus grand nombre d'échantillons archéologiques attribués au bois immature (45 échantillons sur 55) que d'échantillons attribués au

bois mature (10 échantillons sur 55). Ce résultat semble démontrer, aux périodes chrono-culturelles concernées, un usage plus important de bois jeune, plus facile à prélever, à transporter et à stocker.

Sur le plan du statut sauvage/cultivé-domestiqué, 18 échantillons caractérisés comme bois immature sur 45 (40 %) sont alloués à un des deux statuts avec un indice de confiance supérieur ou égal à 0.75 : 14 échantillons sont alloués à la vigne sauvage, le site romain de Nîmes-Vignoles 9 (1<sup>er</sup>-2<sup>e</sup> s. AD) y étant majoritaire avec 10 échantillons. Nous aurions pu envisager l'inverse puisqu'à Nîmes, aux deux premiers siècles de notre ère, la vigne était déjà cultivée depuis environ 300 ans (Monteil *et al.*, 1999). Il est également envisageable de penser que cette allocation à la vigne sauvage puisse être due à une culture en hauteur de la vigne cultivée-domestiquée (treille, hautains, ...), mode de conduite largement utilisé en Gaule durant l'Antiquité (Amouretti, 1988) et donnant alors lieu à des vignes au port lianescent.

Par ailleurs, dans la mesure où tous les charbons de bois du site de Nîmes-Vignoles 9 proviennent de bûchers funéraires (Figueiral *et al.*, 2010b), il est tout à fait possible que pour ce type de cérémonie, les habitants de *Nemausus* soient allés dans les formations végétales environnantes récupérer des sarments de vigne sauvage, qui pouvait être commune aux alentours du site. Idéal pour allumer un feu ou un bûcher, le bois de vigne sec d'un an n'a peut-être pas été récolté tel quel, mais peut parfaitement avoir été prélevé vert et mis à sécher pour utilisation ultérieure, utilisation qui s'est probablement avérée précoce et inadaptée si l'on s'en réfère aux fentes de retrait (ou collapses) présents sur certains échantillons issus de ce site (cf : figure 40). Comme mentionné au paragraphe 4.3.3., ces collapses peuvent avoir plusieurs origines (la vitesse de refroidissement suite à la carbonisation, la durée de l'exposition à la chaleur, l'état physique du bois, les composés chimiques présent selon les essences).

Deux échantillons alloués à la vigne sauvage proviennent du site de Lattes St Sauveur (5<sup>ème</sup> s. BC), conjoints à un échantillon de bois immature issu du même site et alloué à la vigne cultivée-domestiquée (cf : tableau XIV). Ces échantillons confortent les résultats d'études précédemment menées en carpologie concernant l'utilisation conjointe de la vigne, sauvage et cultivée-domestiquée, dès le début du second âge du Fer (environ 500 BC) jusqu'aux deux premiers siècles de notre ère, voire même au-delà jusqu'au Moyen-Âge (Bouby *et al.*, 2005-2006 ; Bouby *et al.*, 2013).

Trois autres échantillons de bois immature sont alloués à la vigne cultivée-domestiquée, dont celui mis au jour sur le site d'Alba-la-Romaine en Ardèche et daté lui aussi du 5<sup>ème</sup> s. BC. Cet échantillon, alloué donc au statut cultivé avec une forte probabilité pourrait apporter de nouvelles hypothèses quant à une culture précoce de la vigne à l'intérieur des terres, contredisant les connaissances générales actuelles sur le développement de la viticulture dans le Midi de la France (Marinval, 1997 ; Marinval, 1988 in Durand et Terral, 2005-2006 ; Bouby et Marinval, 2001 ; Bouby *et al.*, 2005-2006 ; Bouby *et al.*, 2010).

Concernant le bois mature (cf : tableau XV), 8 échantillons sur 10 sont alloués à un des deux statuts avec un indice de confiance supérieur ou égal à 0.75 : 5 échantillons sont alloués au statut de vigne sauvage, dont 2 sont issus du site gardois de la Grotte du Hasard (env. 1000 BC) et 2 autres issus du site ardéchois d'Alba-la-Romaine (5<sup>ème</sup> s. BC), sites se trouvant bien à l'intérieur des terres et s'accordant donc aux connaissances générales sur le développement de la viticulture dans le Midi de la France (Marinval, 1997 ; Marinval, 1988 in Durand et Terral, 2005-2006 ; Bouby et Marinval, 2001 ; Bouby *et al.*, 2005-2006 ; Bouby *et al.*, 2010).

Les 3 derniers échantillons de bois mature sont alloués au statut de vigne cultivée-domestiquée. Y est placé un échantillon issu du site ardéchois d'Alba-la-Romaine, ce qui conforterait les hypothèses déjà formulées précédemment à partir de l'attestation des échantillons de bois immature issus de ce même site. Deux échantillons alloués à la vigne cultivée et datés ultérieurement (350 BC) sont issus du site de Lattes St Sauveur. Ces 2 échantillons en plus de ceux de bois immature affiliés à la vigne cultivée-domestiquée, attesteraient d'une culture de la vigne bien établie.

La chronologie de la viticulture n'est pas uniforme et n'a pas suivi un développement similaire en fonction des régions et des sites occupés par l'Homme. En effet, des traces de plantations et la mise en évidence de morceaux de ceps portant des traces de taille (Chabal, 2005) sur un site daté d'avant notre ère, et l'utilisation attestée de vigne sauvage sur un site du Moyen-Âge sont deux exemples évocateurs des disparités possibles entre régions et périodes chrono-culturelles. Lattara (Lattes St Sauveur), site côtier daté des 5<sup>ème</sup>-4<sup>ème</sup> s. BC, est un bon exemple puisque la vigne est allouée à la fois aux statuts sauvage et cultivé-domestiqué. Cette allocation aux deux statuts montre conjointement la culture de la vigne ainsi que l'utilisation récurrente de vigne sauvage. Toutefois, on ne peut prouver que cette utilisation fût intentionnelle ou non au regard de nos données. Compte-tenu du fait que la vigne est une plante lianescente et qu'elle peut se développer en hauteur en s'agrippant à l'aide de vrilles à des arbres, le bois de vigne sauvage a pu être collecté de manière fortuite avec du bois d'autres essences utilisé pour le bois de feu (chauffage ou cuisine).

Les échantillons mis au jour dans la grotte du Hasard, à Tharaux dans la vallée de la Cèze, à la limite du Gard et de l'Ardèche, et datés du Bronze final (environ 1 000 BC), sont alloués au statut sauvage, ce qui apparaît cohérent compte-tenu de la datation et de la situation géographique du site. En effet, à cette époque, à l'intérieur des terres et en plaine, une forêt mésophile constituée de chêne à feuillage caduc (*Quercus* sp.), de chêne vert et/ou kermès (*Quercus ilex/Q. coccifera*), d'orme (*Ulmus* sp.), de frêne (*Fraxinus* sp.), d'érable (*Acer* sp.) de tilleul (*Tilia* sp.), de buis (*Buxus sempervirens*) et de sureau (*Sambucus* sp.) semblait dominer, émaillée par les défrichement d'origine anthropique (Chabal in Roudil et Dedet, 1993). L'Homme devait ainsi aisément pouvoir se servir des vignes lianescentes se développant alors au sein de cette végétation.

Enfin, concernant l'Hôtel Dieu à Marseille (16<sup>ème</sup>-17<sup>ème</sup> s. de notre ère), l'échantillon provenant des fondations d'un four à fondre le cuivre, et correspondant à des résidus de combustible utilisé lors du travail des alliages cuivreux (Figueiral, 2011 in Mellinand et Thomas, 2011), est alloué au « Bois immature- Cultivé/Domestiqué ». Bien qu'il ne s'agisse que d'un seul échantillon que nous devons donc considérer avec prudence, il pourrait correspondre à des déchets de taille de vigne cultivée, facilement inflammables secs et donc probablement utilisés pour le démarrage du foyer de la fonderie.

#### **6.5. L'analyse éco-anatomique au regard des données carpologiques :**

Afin de discuter plus en avant ces résultats et contribuer à une meilleure connaissance de l'histoire de la viticulture, un rapprochement des données relevées sur les échantillons archéologiques de bois de vigne avec celles des pépins imbibés analysés par des méthodes de morphométrie traditionnelle et/ou géométrique est proposé. L'imbibition est un facteur de conservation important quant aux analyses morphométriques car les pépins conservent parfaitement leur forme, à la différence des

pépins carbonisés (Mangafa et Kotsakis, 1996 ; Bouby *et al.*, soumis). Il a été possible, à partir de trois sites archéologiques héraultais (Lattara (5<sup>e</sup>-4<sup>e</sup> s. BC), Valros-Vigne de Bioaux/Rec de Ligno (1<sup>er</sup>-2<sup>e</sup> s. AD), et Béziers-Le Gasquino (1<sup>er</sup>-2<sup>e</sup> s. AD), cf : tableau **XV** ci-après), de confronter les résultats de l'analyse des pépins de raisin et des charbons de bois de vigne. Bien évidemment, les nombres de pépins et de charbons de bois n'ont rien de comparable. Par exemple, pour le site de Lattara, 75 pépins ont été étudiés alors que seuls 10 charbons de bois l'ont été. Pour Valros, 50 pépins ont été analysés pour 5 charbons de bois, et à Béziers-Le Gasquino, l'étude est fondée sur 129 pépins mesurables alors que nous avons à notre disposition seulement 3 charbons de bois.

**Tableau XV :** Statuts des pépins et charbons de bois issus de sites communs (ic  $\geq 0.75$  sauf pépins Lattara **0.65**) (SI = Sauvage bois Immature, SM = Sauvage bois Mature, CI = Cultivée bois Immature, CM = Cultivée bois Mature).

| Site                               | Nb pépins analysés | Nb de pépins affiliés « Vigne Sauvage » | Nb de pépins affiliés « Vigne Cultivée » | Nb pépins non affiliés | Nb charbons analysés | Charbons de bois (après analyse) |            |            |            | Date                                   |
|------------------------------------|--------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|------------------------|----------------------|----------------------------------|------------|------------|------------|----------------------------------------|
|                                    |                    |                                         |                                          |                        |                      | Sauv. Imm.                       | Sauv. Mat. | Cult. Imm. | Cult. Mat. |                                        |
| Lattara                            | 75                 | 13                                      | 49                                       | 13                     | 10                   | X                                |            | X          | X          | 5 <sup>e</sup> - 4 <sup>e</sup> s. BC  |
| Le Gasquino 5                      | 129                | 39                                      | 58                                       | 32                     | 3                    |                                  | X          |            |            | 1 <sup>er</sup> - 2 <sup>e</sup> s. AD |
| Valros Vigne Bioaux / Rec de Ligno | 50                 | 10                                      | 25                                       | 15                     | 5                    |                                  |            | X          |            | 1 <sup>er</sup> - 2 <sup>e</sup> s. AD |

A Lattara, l'utilisation conjointe de vigne sauvage et de vigne cultivée-domestiquée est bien mise en évidence puisque nous retrouvons à la fois du bois immature, donc issu de sarments, affecté aux deux statuts, et du bois mature alloué au statut cultivé-domestiqué. La présence de bois immature pourrait être interprétée comme reflétant la pratique de la taille annuelle pour la vigne cultivée-domestiquée. Quant au bois mature de vigne cultivée-domestiquée, il soulignerait la pratique d'une viticulture déjà bien mise en place alors que nous nous situons seulement aux 5<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> s. BC.

La présence de charbon de bois mature alloué au statut sauvage sur le site de Béziers-Le Gasquino suscite l'hypothèse de l'utilisation de ce type de vigne encore en usage au début de notre ère sur un site de production viti-vinicole, et rejoint les travaux de Bouby *et al.*, (2013) sur l'utilisation conjointe des deux statuts de la vigne. Les vignes sauvages semblent effectivement avoir fait l'objet d'une exploitation continue durant l'Antiquité et ce, jusqu'au Moyen-Âge. En effet, les vignes sauvages étaient probablement plus nombreuses dans les communautés végétales qu'aujourd'hui, du moins jusqu'à la crise phylloxérique du 19<sup>ème</sup> siècle.

La présence de charbon de bois immature alloué au statut cultivé-domestiqué sur les sites de Valros étaye l'existence d'une viticulture maîtrisée dans le Languedoc aux premiers siècles de notre ère.

Il est donc intéressant de constater que les résultats des études menées sur les pépins issus de ces sites (Bouby *et al.*, 2005-2006 ; Terral *et al.*, 2010 ; Bouby *et al.*, 2013 ; Bouby *et al.*, 2014) sont confortés par les résultats concernant les charbons de bois.

Si nous abaissons notre indice de confiance à 0.65, en admettant donc une allocation moins fiable, 3 sites supplémentaires (Sauvian-La Lesse (1<sup>er</sup>-3<sup>è</sup> s. AD), Tourbes-Montferrier (1<sup>er</sup>-3<sup>è</sup> s. AD), Nîmes-Vignoles 13 (2<sup>è</sup> s. AD)) peuvent être pris en compte (cf : tableau **XVI** ci-après).

**Tableau XVI** : Statuts des pépins et charbons de bois issus de sites communs (ic  $\geq$  **0.65**) (SI = Sauvage bois Immature, SM = Sauvage bois Mature, CI = Cultivée bois Immature, CM = Cultivée bois Mature).

| Site                               | Nb pépins analysés | Nb de pépins affiliés « Vigne Sauvage » | Nb de pépins affiliés « Vigne Cultivée » | Nb pépins non affiliés | Nb charbons analysés | Charbons de bois (après analyse) |            |            |            | Date                                   |
|------------------------------------|--------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|------------------------|----------------------|----------------------------------|------------|------------|------------|----------------------------------------|
|                                    |                    |                                         |                                          |                        |                      | Sauv. Imm.                       | Sauv. Mat. | Cult. Imm. | Cult. Mat. |                                        |
| Lattara                            | 75                 | 13                                      | 49                                       | 13                     | 10                   | X                                |            | X          | X          | 5 <sup>è</sup> - 4 <sup>è</sup> s. BC  |
| Le Gasquinoï 5                     | 129                | 39                                      | 58                                       | 32                     | 3                    |                                  | X          |            |            | 1 <sup>er</sup> - 2 <sup>è</sup> s. AD |
| Valros Vigne Bioaux / Rec de Ligno | 50                 | 10                                      | 25                                       | 15                     | 5                    |                                  |            | X          |            | 1 <sup>er</sup> - 2 <sup>è</sup> s. AD |
| Nîmes – Vignoles 13                | 98                 | 38                                      | 29                                       | 31                     | 1                    | X                                |            |            |            | 2 <sup>è</sup> s. AD                   |
| Sauvian – La Lesse                 | 122                | 37                                      | 66                                       | 19                     | 6                    | X                                |            | X          |            | 1 <sup>er</sup> - 3 <sup>è</sup> s. AD |
| Tourbes - Montferrier              | 49                 | 11                                      | 26                                       | 12                     | 5                    | X                                |            | X          |            | 1 <sup>er</sup> - 3 <sup>è</sup> s. AD |

L'allocation au statut de vigne sauvage pour le charbon de bois issu du site de Nîmes-Vignoles 13, qui doit être considéré avec prudence, est en accord avec les études morphométriques (Bouby *et al.*, 2013) qui mettent en évidence une prépondérance de pépins de vigne sauvage. L'allocation à la fois au statut sauvage et au statut cultivé-domestiqué des échantillons issus des sites héraultais de Sauvian-La Lesse et de Tourbes-Montferrier concorde avec les données archéobiologiques, lesquelles révèlent la prédominance de pépins de vigne cultivée (Jung *et al.*, 2008 ; Bouby *et al.*, 2013).

## **7/ Conclusions et perspectives**

### *Synthèse des résultats :*

Ce travail vise à apporter une contribution à l'étude de l'histoire de la vigne et de la viticulture en Méditerranée nord-occidentale, sur la base d'une méthode encore peu exploitée sur la vigne, l'éco-anatomie quantitative. Son développement et son application sur cette espèce est une nouveauté dans le domaine de l'archéobotanique.

A partir d'une collection de matériel actuel de référence, ces travaux ont permis de cerner les différences anatomiques existant entre la vigne sauvage se développant en conditions naturelles et la vigne cultivée-domestiquée conduite en conditions contrôlées par l'Homme. Il a été tenu compte de l'âge (ou du calibre) du rameau, paramètre principal de variation des caractéristiques anatomiques du bois. Les variations anatomiques constatées et testées statistiquement ont été interprétées en termes écologiques et fonctionnels, en particulier pour les caractères liés à la conduction de la sève brute et du stockage des réserves.

Ce travail a également permis de caractériser les traits anatomiques des vignes ensauvagées ou férales au regard des caractéristiques des véritables lambrusques et des vignes cultivées-domestiquées. La vigne cultivée retournant à des conditions « naturelles » (vigne abandonnée ou vigne revenant à l'état sauvage par voie sexuée) reprend des caractères phénotypiques (anatomiques) de plante sauvage. La signature éco-anatomique est donc en premier lieu environnementale.

L'allocation des échantillons archéologiques aux groupes de référence a été approfondie par rapport aux premiers résultats que nous avons présentés par un poster (cf : annexe 6) et une communication orale lors du 8<sup>ème</sup> Symposium de Morphométrie et Evolution des Formes (SMEF) à Dijon les 2 et 3 Juin 2014. Nos travaux ont permis l'allocation au statut cultivé-domestiqué de plusieurs échantillons archéologiques, aussi bien de bois immature que de bois mature. L'allocation de ces échantillons semble avoir confirmé :

- la collecte / l'utilisation de vigne sauvage à l'âge du Bronze, période durant laquelle la vigne n'était, en l'état actuel des recherches, ni cultivée ni domestiquée en France.
- la présence et l'utilisation conjointe de vigne sauvage et de vigne cultivée-domestiquée, sur des sites côtiers de la Narbonnaise ou à faible distance du littoral (Nîmes, par exemple), de la fin de l'âge du Fer jusqu'à la fin de la période romaine.
- l'utilisation de vigne cultivée-domestiquée aux 16<sup>ème</sup>-17<sup>ème</sup> s. AD.

Nos résultats ont aussi dévoilé un aspect nouveau et séduisant en termes de perspectives sur une éventuelle culture précoce de la vigne à l'intérieur des terres loin du littoral (en Ardèche, par exemple) à l'âge du Fer (5<sup>ème</sup> BC), aspect qui méritera d'être développé ultérieurement.

### *Perspectives de recherche :*

Ce mémoire a été élaboré à partir des mesures et des analyses effectuées ces trois dernières années dans un temps partagé avec mes missions de soutien technique (équipe IBIS du CBAE / équipe DBA de l'ISEM). Il correspond à un état des recherches. Pour approfondir les résultats de nos travaux

présentés dans ce mémoire, plusieurs perspectives se profilent simultanément dans un horizon déjà immédiat.

a/ Elargissement de la collection de référence :

Nous allons poursuivre l'analyse des échantillons de vigne sauvage non encore utilisés. Jusqu'à présent, de nombreux échantillons n'ont pas été étudiés afin de ne pas creuser davantage le déséquilibre (en effectif) entre les échantillons de vigne sauvage et les échantillons de vigne cultivée-domestiquée dont nous disposons (cf : tableaux I et II). De plus, le cadre géographique de prélèvement étant large (cf : figure 32), il serait intéressant de vérifier si un impact écologique/biogéographique sur l'anatomie de la vigne peut être mis en évidence : existe-t-il une différence anatomique entre une vigne sauvage se développant en ripisylve marocaine et une vigne sauvage se développant en ripisylve française ?

Par ailleurs, afin de combler le déséquilibre entre échantillons dont il vient d'être question précédemment, un prélèvement de bois immature et de bois mature sur plusieurs cépages a été réalisé cet hiver 2015 – 2016 grâce à la collaboration du Domaine de Vassal. En plus de l'intérêt de combler ce déséquilibre, trois sujets d'études pourraient être élaborés spécifiquement sur la vigne cultivée-domestiquée :

- 1/ l'influence du porte-greffe sur les caractéristiques anatomiques. Ce n'est actuellement pas réalisable car nous n'avons pas à notre disposition le(s) même(s) cépage(s) multiplié(s) d'une part par bouturage et par greffage, et d'autre part sur des porte-greffes différents. Des recherches sur ce type de matériel ou un programme de mise en culture pourraient être développés.
- 2/ la mise en évidence de variations anatomiques en fonction du terroir. Là également ce travail va être difficilement réalisable dans l'immédiat. Il nous faudra là aussi trouver ou mettre en place le(s) même(s) cépage(s) multiplié sur le même porte-greffe et mis en culture dans des sols aux caractéristiques physico-chimiques différentes.
- 3/ une étude sur l'(les) effet(s) du mode de conduite sur l'anatomie. Des prélèvements, puis des mesures effectuées sur des échantillons de cépages cultivés sur hautain et comparées avec celles effectuées sur des échantillons de cépages cultivés en gobelet par exemple, pourraient nous donner des informations à la fois sur d'éventuelles différences quant aux caractères anatomiques, et sur l'histoire des pratiques agricoles.

Puis, afin d'envisager une allocation au statut sauvage ou cultivé des échantillons archéologiques non alloués et ainsi de mieux appréhender les façons culturelles antiques, le prélèvement et la carbonisation de bois de vignes sauvages mises en culture au domaine de Vassal est programmée pour 2016. En effet, si une viticulture à partir de vignes domestiquées est clairement admise durant la période romaine, l'importance de la vigne sauvage est également démontrée (Bouby *et al.*, 2010 ; Terral *et al.*, 2010 ; Terral et Bouby, 2013 ; Bouby *et al.*, 2013 ; Figueiral *et al.*, 2014). La vigne sauvage a pu être exploitée à des fins viticoles, en pépinière, ou en amélioration variétale. Elle peut donc avoir été mise en culture et ses caractères anatomiques modifiés par rapport à la vigne sauvage poussant à l'état spontané dans la ripisylve ou dans la forêt.

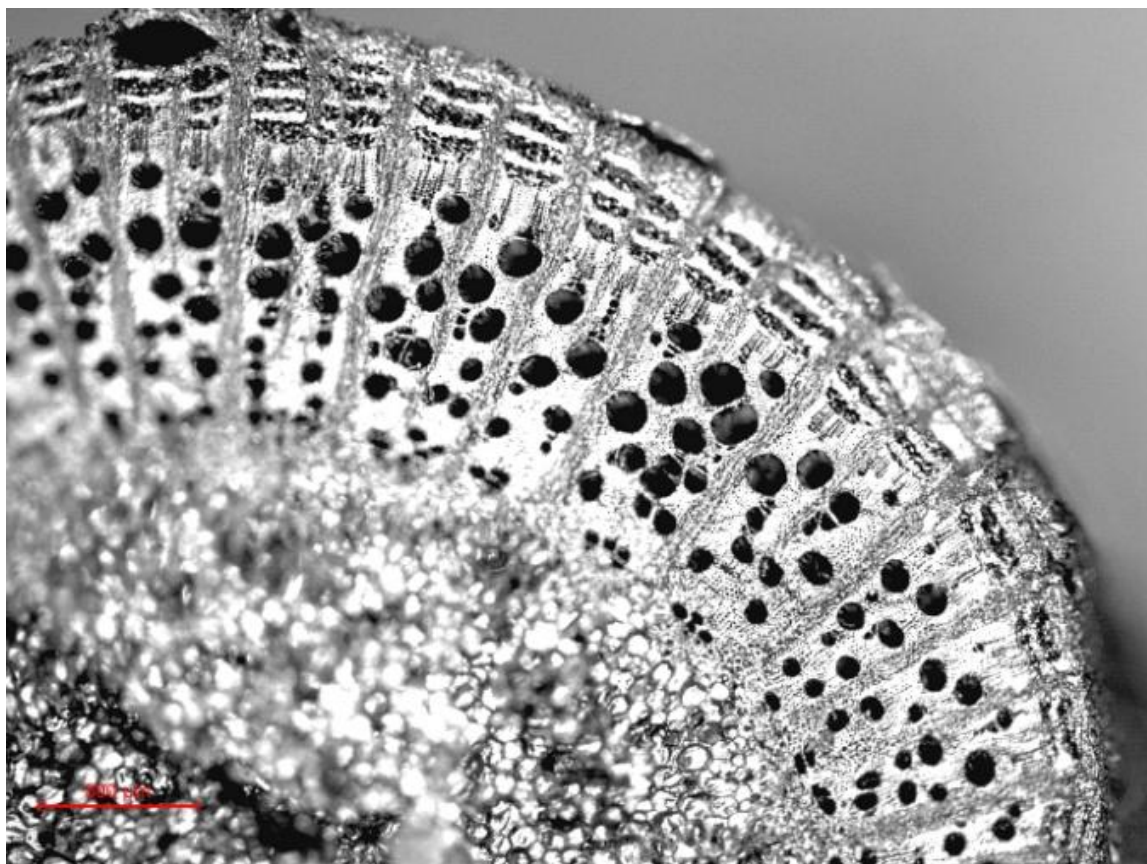
Et concernant la vigne férale, ce type de vigne reste intéressant à prendre en compte dans la mesure où comme cela a été mentionné au paragraphe 6.3, bien qu'elle soit issue d'anciennes vignes

cultivées-domestiquées, elle semble allouée au statut de vigne sauvage. Cet aspect peut interpeler, car certaines vignes, allouées au statut sauvage et datées du 5<sup>ème</sup> s. AD par exemple, pourraient en fait être des reliquats d'anciennes vignes cultivées-domestiquées abandonnées. Cette hypothèse, basée sur la discussion au paragraphe 6.3., pourrait alors nous induire en erreur sur une utilisation de vigne sauvage supposée longue et tardive dans le temps, et ainsi nous tromper sur l'interprétation des résultats. Malheureusement, en l'état actuel de nos recherches, nous ne pouvons pas accéder à ce niveau de résolution.

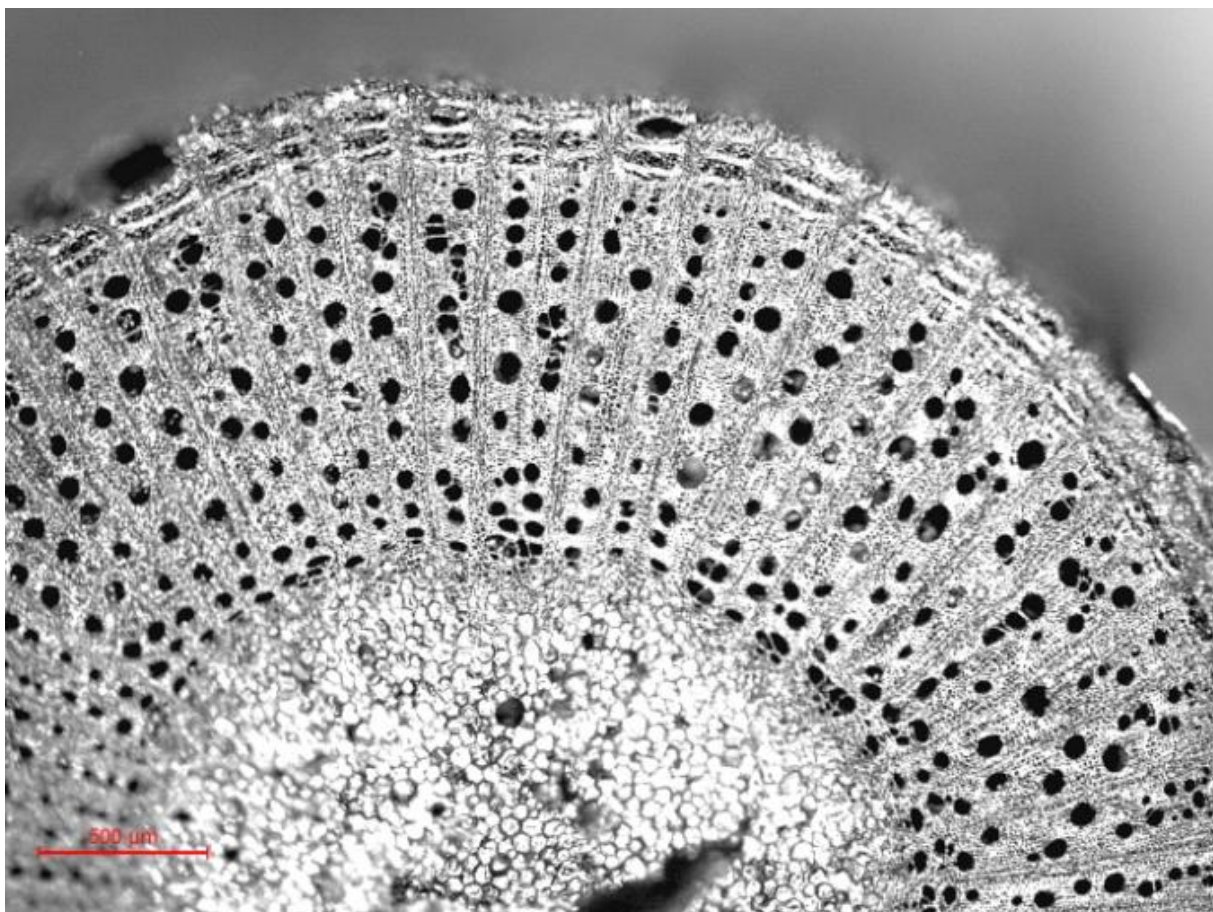
b/ protocole éco-anatomique :

Afin de pouvoir étudier des charbons de bois archéologiques qui n'ont pas pu être exploités dans ce mémoire (cf : paragraphe 5.6.) étant donné que certains caractères anatomiques n'ont pas pu être mesurés, d'autres critères anatomiques pourraient être établis sur la collection de référence. Par exemple, pourquoi ne pas intégrer une mesure du calibre plutôt que différencier le bois immature du bois mature ? Il est également possible d'envisager de mesurer l'angle de divergence entre deux rayons ligneux (outil trigonométrique) ou bien de calculer le nombre de files de cellules constituant les rayons ligneux, plurisériés chez la vigne, et pouvoir ainsi cerner d'éventuelles différences entre les vignes sauvages et les cépages.

Par ailleurs, la disposition des vaisseaux dans le bois final est très hétérogène, puisque ceux-ci peuvent être par exemple en files radiales ou isolés (cf : figures 47 et 48 ci-après). Cet aspect mérite d'être approfondi, et pourrait donc également contribuer à la classification des cépages.



**Figure 47 :** Exemple de disposition des vaisseaux dans le bois final. En files radiales bien exprimées chez le 'Pinot noir' (cliché : B. Limier).



**Figure 48** : Exemple de disposition des vaisseaux dans le bois final. Isolés chez l'«Ugni blanc» (cliché : B. Limier).

#### c/ Matériel archéologique :

Après un éventuel réexamen du matériel disponible en utilisant les autres modèles de référence proposés précédemment, si ces derniers s'avèrent efficaces, j'étudierai des échantillons supplémentaires issus du site de Vignoles 9 (cf : paragraphe 4.2.) qui vont être nettoyés à l'aide d'acide fluorhydrique afin d'être débarrassés du sédiment qui encombre les structures anatomiques. Ils pourront *a priori* être mesurés et analysés, et alors probablement apporter des précisions sur les statuts de la vigne utilisée comme combustible sur ce site.

Cette approche éco-anatomique sur le bois de vigne, nouvelle et cantonnée pour le moment aux charbons de bois issus de sites archéologiques de la Narbonnaise, devrait ouvrir la voie à l'étude d'autres sites archéologiques en France, voire à l'étranger. Après la Méditerranée nord-occidentale, un complément de l'histoire de la « Route de la vigne » pourrait être envisagé à partir de l'étude de charbons de bois de vigne issus de sites archéologiques italiens, grecs, jusqu'à la Méditerranée orientale.

Il serait par ailleurs intéressant à l'avenir de pouvoir exploiter les croisements de données développés au paragraphe 6.5. entre charbons de bois et pépins. Ces regards croisés pourront

permettre d'approfondir nos connaissances actuelles sur l'utilisation individuelle ou simultanée de la vigne sauvage et de la vigne cultivée-domestiquée en fonction des sites archéologiques.

## **8/ Bibliographie**

### **a/ Sources littéraires**

**Caton l'Ancien. 2<sup>e</sup> s. BC.** « De Agricultura ». Collection des Auteurs Latins. Dir. M. Nisard. Paris.

**Columelle. 1<sup>er</sup> s. AD.** "Res Rustica" tome I, livres III, IV, V. Trad. Louis Du Bois. C.L.F. Panckoucke.

**Ibn Al-Awwâm. 12<sup>e</sup> s. ap. JC.** Kitâb al-filâha (Livre de l'Agriculture). Trad. JJ. Clément-Mullet. Actes Sud. Arles.

**Palladius. 5<sup>e</sup> s. AD.** « De Re Rustica ». Trad. M. Cabaret-Dupaty. C.L.F. Panckoucke.

**Pline l'Ancien. 1<sup>er</sup> s. AD.** « Naturalis Historia » Livre XIV. Dubochet. Ed. E. Littré. Paris.

**Théophraste. 4<sup>e</sup>-3<sup>e</sup> s. BC.** « De Causis Plantarum » Livre III. Trad. S. Amigues. Ed. Les Belles Lettres. Paris.

### **b/ Ouvrages, articles**

**Achim A, Cloutier A. 2010.** Caractéristiques anatomiques du bois des gymnospermes et des angiospermes. In : « La Dendroécologie : Principes, méthodes et applications ». S. Payette et L. Filion (dir.). Presses de l'Université Laval, Québec, Québec, p. 7-32.

**Ali AA, Roiron P, Chabal L, Ambert P, Gasco J, André J, Terral JF. 2008.** Holocene hydrological and vegetation changes in southern France inferred by the study of an alluvial travertine system (Saint-Guilhem-le-Désert, Hérault). C.R. Geoscience **340** : 356-366.

**Alonso N, Rovira N. 2010.** Consommation et traitement des produits végétaux à Lattara entre -475 et -350. Lattara **21** : 329-386.

**Amouretti MC. 1988.** La viticulture antique: contraintes et choix techniques. Revue des Etudes Anciennes, tome **90**, n° 1-2, 5-17.

**André J, Levadoux L. 1964.** La vigne et le vin des Allobroges. Journal des Savants **3** : 169-181.

**Anzani R, Failla O, Scienza A, Campostrini F. 1990.** Wild grapevine (*Vitis vinifera* var. *silvestris*) in Italy : Distribution, characteristics and germplasm preservation. Proceedings of the 5th International Symposium on Grape Breeding, 12-16 September 1989, St Martin/Pfalz, Germany.

**Aradhya MK, Dangl GS, Prins BH, Boursiquot JM, Walker MA, Meredith CP, Simon CJ. 2003.** Genetic structure and differentiation in cultivated grape, *Vitis vinifera* L. Genetic Research, Cambridge **81** : 179-192.

**Arnold C, Gillet F, Gobat JM. 1998.** Situation de la vigne sauvage *Vitis vinifera* ssp. *silvestris* en Europe. Vitis **37** (4), 159-170.

**Arroyo-Garcia R, Ruiz-Garcia L, Bolling L, Ocete R, Lopez MA, Arnold C, Ergul A, Soylemezoglu G, Uzun HI, Cabello F, Ibanez J, Aradhya MK, Atanassov A, Atanassov I, Balint S, Cenis JL, Costantini L, Goris-Lavets S, Grando MS, Klein BY, Mc Govern PE, Merdinoglu D, Pejic I, Pelsy F, Primikiris N, Risovannaya V, Roubelakis-Angelakis KA, Snoussi H, Sotiri P, Tamhankar S, This P, Troshin L,**

**Malpica JM, Lefort F, Martinez-Zapater JM. 2006.** Multiple origins of cultivated grapevine (*Vitis vinifera* ssp. *sativa*) based on chloroplast DNA polymorphisms. *Molecular Ecology* **15** : 3707-3714.

**Arroyo-Garcia R, Revilla E. 2013.** The Current Status of Wild Grapevine Populations (*Vitis vinifera* L. ssp. *sylvestris*) in the Mediterranean Basin. The Mediterranean Genetic Code – Grapevine and Olive. In Tech.

**Balmelle C, Barraud D, Brun JP, Duprat B, Gaillard H, Jacques P, Maurin L, Petit-Aupert C, Rigal D, Robin K, Roudié P, Sillières MP, Vernou C. 2001.** La viticulture antique en Aquitaine. *Gallia* **58** : 129-164.

**Barbe C, Keller R. 1996.** Les rayons ligneux et le matériau bois, in « Economie et Forêt ». Revue Forestière Française XLVIII-1.

**Barnard H, Dooley AN, Areshian G, Gasparyan B, Faull KF. 2010.** Chemical evidence for wine production around 4000 BC in the Late Chalcolithic Near Eastern highlands. *Journal of Archaeological Science* **38** : 977-984.

**Barriel V. 1997.** L'ADN ancien. In: La Science au présent, *Encyclopaedia Universalis* éditeur.

**Barth S, Forneck A, Verzeletti F, Blaich R, Schumann F. 2009.** Genotypes and phenotypes of an *ex situ* *Vitis vinifera* L. ssp. *sylvestris* (Gmel). Beger germplasm collection from the Upper Rhine Valley. *Genetic Resources and Crop Evolution* **56** : 1171-1181.

**Bavaresco L, Gardiman M. 2012.** La diversification des cépages au cours de l'Histoire. In : Rencontres du Clos-Vougeot 2011 « Vignes, vins : jeux et enjeux de la diversité ». Chaire UNESCO Culture et Traditions du Vin, Université de Bourgogne, Centre G. Chevrier, p. 167-177.

**Billiard R. 1913.** La vigne dans l'Antiquité : Lyon, Lardanchet, 560 p.

**Boissinot P. 2001.** Archéologie des vignobles antiques du sud de la Gaule. *Gallia* **58** : 45-58.

**Boissinot P, Puig C. 2005-2006** : Archéologie du champ et viticulture méridionale. Pourquoi les traces de vignobles sont-elles si peu fréquentes au Moyen Age ? *Archéologie du Midi Médiéval* **23-24** : 17-26.

**Bordenave L, Lacombe T, Laucou V, Boursiquot JM. 2007.** Etude historique, génétique et ampélographique des cépages Pyrénéo-Atlantiques. *Bulletin de l'Office International de la Vigne et du Vin (OIV)*, p. 553-586.

**Bouby L. 2000.** Restituer les pratiques agraires par la carpologie archéologique. *Etudes rurales* **153 / 154** : 177-194.

**Bouby L, Marinval P. 2001.** La vigne et les débuts de la viticulture en France : apports de l'archéobotanique. *Gallia* **58** : 13-28.

**Bouby L, Terral JF, Ivorra S, Marinval P, Pradat B, Ruas MP. 2005-2006.** Vers une approche bio-archéologique de l'histoire de la vigne cultivée et de la viticulture : problématique, choix méthodologiques et premiers résultats. *Archéologie du Midi Médiéval* **23-24** : 61-74.

**Bouby L. 2010.** « Agriculture dans le bassin du Rhône du Bronze final à l'Antiquité ». Thèse de Doctorat de l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Toulouse.

**Bouby L, Terral JF, Figueiral I, Ivorra S, Lacombe T, Pastor T, Picq S, Buffat L, Fabre L, Jung C, Marinval P, Petitot H, Tardy C. 2010.** La vigne sauvage (*Vitis vinifera* subsp. *sylvestris*) : une plante cultivée dans les établissements viticoles de la Narbonnaise ? In : Des Hommes et des Plantes, Exploitation du milieu et gestion des ressources végétales de la préhistoire à nos jours. XXX<sup>e</sup> rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes, p. 129-139. Editions APDCA.

**Bouby L, Figueiral I, Bouchette A, Rovira N, Ivorra S, Lacombe T, Pastor T, Picq S, Marinval P, Terral JF. 2013.** Bioarchaeological Insights into the Process of Domestication of Grapevine (*Vitis vinifera* L.) during Roman Times in Southern France. PLOS ONE 8(5) : e63195. doi :10.1371/journal.pone.0063195.

**Bouby L, Marinval P, Terral JF. 2014.** From secondary to speculative production? The protohistory history of viticulture in southern France. In: Plants and People, Choice and Diversity through Time, chap. 4-6 : 175-181.

**Bouquet A. 1982.** Origine et évolution de l'encépagement français à travers les siècles. Progrès agricole et viticole **5** : 110-121.

**Bouquet A. 2008.** La vigne et sa diversité génétique. Progrès Agricole et Viticole **125** n° 6 : 91-102.

**Bourse T. 2000.** Caractérisation de populations de *Vitis vinifera* L. ssp. *sylvestris* (Gmelin) Hegi, du Pic Saint-Loup (Hérault) et d'Ariège. Etude des relations entre compartiments sauvage et cultivé. Diplôme d'Etudes Approfondies Ressources Phytogénétiques et Interactions Biologiques. Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Montpellier / Université Montpellier 2.

**Boursiquot JM, Lacombe T, Laucou V, Julliard S, Perrin FX, Lanier N, Legrand D, Meredith C, This P. 2009.** Parentage of 'Merlot' and related winegrape cultivars of southwestern France: discovery of the missing link. Australian Journal of Grape and Wine Research **15** : 144-155.

**Boursiquot JM. 2012.** La diversité génétique de *Vitis vinifera* L. In : Rencontres du Clos-Vougeot 2011 « Vignes, vins : jeux et enjeux de la diversité ». Chaire UNESCO Culture et Traditions du Vin, Université de Bourgogne, Centre G. Chevrier, p. 155-166.

**Bouvier M. 2007.** Les vins de l'Antiquité. Ed. JP Rocher, 198 p.

**Bowers J, Boursiquot JM, This P, Chu K, Johansson H, Meredith C. 1999.** Historical genetics: the parentage of 'Chardonnay' 'Gamay', and others wine grapes of northeastern France. Science **285** (5433) : 1562-1565.

**Branas J. 1974.** Viticulture. Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie. Montpellier, 990 p.

**Bronner A. 2003.** Inventaire et synonymie universels des origines à nos jours. Collection « Avenir œnologie » éd. INRA.

**Brown TA, Cappellini E, Kistler L, Lister DL, Oliveira HR, Wales N, Schlumbaum A. 2014.** Recent advances in ancient DNA research and their implications for archaeobotany. Veget Hist Archaeobot **24** : 207-214.

- Brun JP. 2001a.** La viticulture antique en Provence. Gallia **58** : 69-89.
- Brun JP. 2001b.** La viticulture en Gaule : Testimonia. Gallia **58** : 221-237.
- Brun JP, Gilles KJ. 2001.** La viticulture en Rhénanie. Gallia **58** : 165-179.
- Brun JP. 2003.** Le vin et l'huile dans la Méditerranée antique. Ed. Errance, Paris.
- Brun JP. 2004.** Archéologie du vin et de l'huile dans l'Empire romain. Ed. Errance, Paris.
- Brun JP, Poux M, Tchernia A. 2009.** Le Vin Nectar des Dieux, Génie des Hommes. 2<sup>ème</sup> édition. Infolio éditions. 352 p.
- Brun JP. 2010.** Viticulture et oléiculture en Gaule. In : Ouzoulias P. et Tranoy L. (Comment les Gaules devinrent romaines). La Découverte : 231-253.
- Buffat L, Pellecuer C, Mauné S, Pomarède H. 2001.** La viticulture antique en Languedoc-Roussillon. Gallia **58** : 91-111.
- Buxo i Capdevila R. 1992.** Cueillette et agriculture à Lattes : les ressources végétales d'après les semences et les fruits. Lattara **5** : 45-90.
- Buxo i Capdevila R. 1996.** Evidence for wines and ancient cultivation from an urban area, Lattes. Antiquity **70** : 393-407.
- Byé P, Chazoule C, Da Silva A, Desplobins G, Meunier A, Montaigne E, Schmidt W. 1998.** Domestiquer le végétal, construction et appropriation des techniques. INRA Montpellier.
- Cabanis M. 2015.** Approvisionnement en bois et agroéconomie au V<sup>ème</sup> s. av. n.è. Rapport archéobotanique.
- Cabezas JA, Ibanez J, Lijavetzky D, Velez D, Bravo G, Rogriguez V, Carreno I, Jermakow AM, Carreno J, Ruiz-Garcia L, Thomas MR, Martinez-Zapater JM. 2011.** A 48 SNP set for grapevine cultivar identification. BMC Plant Biology **11**.
- Cappellini E, Thomas M, Gilbert P, Geuna F, Fiorentino G, Hall A, Thomas-Oates J, Ashton PD, Ashford DA, Arthur P, Campos PF, Kool J, Willerslev E, Collins MJ. 2009.** A multidisciplinary study of archaeological grape seeds. Naturwissenschaften DOI 10/1007/s00114-009-0629-3.
- Carlquist S. 1988.** Comparative Wood Anatomy : Systemic, Ecological, and Evolutionary Aspects of Dicotyledon Wood. Springer Verlag. Berlin, 436 p.
- Carrato C. 2014.** « Production, diffusion et utilisation du *dolium* en Méditerranée nord-occidentale : l'exemple de la Gaule Narbonnaise (1<sup>er</sup> s.av. JC – 3<sup>ème</sup> s.ap. JC) ». Thèse de Doctorat en Archéologie « Archéologie Méditerranée Antique », Université Montpellier 3.
- Casanova A. 1998.** Arboriculture et société en Méditerranée à la fin du XVIII<sup>ème</sup> siècle. L'exemple de la Corse, Corte, Le Signet.
- Cavalli-Sforza LL. 1997.** Histoire et géographie des gènes humains. Adelphi Ed. Milan.

**Chabal L. 1989.** Etude anthracologique in [FICHES J.-L. (éd.), 1989, L'oppidum d'Ambrussum et son territoire : fouilles au quartier du Sablas (Villetelle, Hérault) : 1979-1985. Collection des monographies du C.R.A., **2**, CNRS Editions, Paris, 286 p.

**Chabal L. 1997.** Analyses anthracologiques sur le site de Lattes. Rapport triennuel 1995-1997.

**Chabal L, Fabre L, Terral JF, Théry-Parisot I. 1999.** L'anthracologie. In « La botanique – collections archéologiques ». Ed Errance. Paris.

**Chabal L. 2005.** Charbons de bois et gorgés d'eau des puits antiques. In : G.Piqués et R.Buxo (dir), *Onze puits gallo-romains de Lattara*, Lattara **18** : 221-234.

**Chabal L, Terral JF. 2007.** Perspectives d'éco-anatomie quantitative comparée du bois de vigne sauvage (*Vitis vinifera* ssp. *silvestris*) et de vigne cultivée (*Vitis vinifera* ssp. *vinifera*). Lattara **20** : 211-217.

**Cipriani G, Spadotto A, Jurman I, Di Gaspero G, Crespan M, Meneghetti S, Frare E, Vignani R, Cresti M, Morgante M, Pezotti M, Pe E, Policriti A, Testolin R. 2010.** The SSR-based molecular profile of 1005 grapevine (*Vitis vinifera* L.) accessions uncovers new synonymy and parentages, and reveal a large admixture amongst varieties of different geographic origin. Theoretical Applied Genetics **121** : 1569-1585.

**Crespan M, Milani N. 2001.** The Muscats: A molecular analysis of synonyms, homonyms and genetic relationships within a large family of grapevine cultivars. *Vitis* **40** (1) : 23-30.

**Darwin C. 1875.** On the Movements and Habits of Climbing Plants. John Murray, Londres.

**Delarze R. 2009.** Coordination régionale pour la protection de la flore : plan d'action pour *Vitis vinifera* subsp. *silvestris* (CC. Gmel) Hegi (vigne sauvage). Conservation de la nature du canton de Vaud (Suisse).

**De Mattia F, Imazio S, Grassi F, Doulati Baneh H, Scienza A, Labra M. 2008.** Study of genetic relationship between wild and domesticated grapevine distributed from Middle-East regions to European countries. *Rendiconti Lincei* **19** : 223-240.

**Desbat A. 1991.** Un bouchon de bois du 1<sup>er</sup> s. ap. JC recueilli dans la Saône à Lyon et la question du tonneau à l'époque romaine. *Gallia* **48** : 319-336.

**Dietler M. 1990.** Driven by Drink : the Role of Drinking in the Political Economy and the Case of Early Iron Age France. *Journal of Anthropological Archaeology* **9** : 352-406.

**Dion R. 1959.** Histoire de la vigne et du vin en France, des origines au XIX<sup>ème</sup> siècle. Paris. Imprimerie Sévin et Cie, Doullens, Somme, 768 p.

**Di Vecchi M. 2001.** Reperimento e caratterizzazione di *Vitis vinifera* L. *silvestris* (Gmelin) Hegi in Francia. Tesi di Laurea, Università degli Studi di Firenze, Firenze, Italia.

**Di Vecchi M. 2007.** « Recensement et caractérisation des ressources génétiques autochtones de *Vitis vinifera* L. subsp. *silvestris* (Gmelin) Hegi en Europe ; étude du complexe sauvage-cultivé et

constitution d'un inventaire national italien ». Thèse de Doctorat, Montpellier SupAgro et Université de Florence.

**Di Vecchi-Staraz M, Laucou V, Bruno G, Lacombe T, Gerber S, Bourse T, Boselli M, This P. 2008.** Low level of pollen-mediated gene flow from cultivated to wild grapevine : consequences for the evolution of the endangered subspecies *Vitis vinifera* L. ssp. *silvestris*. Journal of Heredity **99** : 45-55.

**Di Vecchi-Staraz M, Laucou V, Boursiquot JM, Lacombe T, Varès D, Gerber S, Boselli M, This P. 2009 .** The Kindgroup of the Cultivar 'Chardonnay' Revealed. Proceedings of the IXth International Conference on Grape Genetics and Breeding. Acta Hort **827**, ISHS 2009. E. Peterlunger *et al.* Eds.

**Durand A, Terral JF. 2005-2006.** Regarder autrement le charbon de bois archéologique : l'exemple de l'irrigation des plantations d'oliviers en France méridionale et en Catalogne (IX<sup>e</sup>-XV<sup>e</sup> siècle). Archéologie du Midi Médiéval **23 - 24** : 75-92.

**Ekhvaia J, Blattner FR, Gurushidze M, Akhalkatsi M. 2011.** Study of genetic diversity and relationships between wild grapevine (*Vitis vinifera* subsp. *silvestris*) populations and arboriginal cultivars in Georgia. Biosystematics conference, 21-27 February 2011, Berlin, Germany.

**Farizier M. 1980.** Recherches sur les macroflores des tufs quaternaires du sud de la France \_ Tufs de Montpellier-Vallée du Lez, Vallée de la Vis, Saint-Paul-lez-Durance, Valbonne et Vallon du Jonquier. Diplôme de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes.

**Ferdière A, Luberne A, Ruffier O. 2000.** Du nouveau sur la viticulture biturige? Réinterprétation d'une découverte. In : Revue archéologique du Centre de la France **39** : 245-249.

**Figueiral I, Bouby L, Buffat L, Petitot H, Terral JF. 2010a.** Archaeobotany, vine growing and wine producing in Roman Southern France : the site of Gasquinoy (Béziers, Hérault). Journal of Archaeological Science **37** : 139-149.

**Figueiral I, Fabre L, Bel V. 2010b.** Considerations on the nature and origin of wood-fuel from Gallo-Roman cremations, in the Languedoc region (Southern France). Quaternaire **21** (3) : 325-331.

**Figueiral I, Jung C, Martin S, Tardy C, Compan M, Pallier C, Pomarèdes H, Fabre L. 2010c.** La perception des paysages et des agro-systèmes antiques de la moyenne vallée de l'Hérault. Apports des biomarqueurs à l'archéologie préventive. XXX<sup>e</sup> rencontres internationales d'archéologie et d'histoire. Antibes.

**Figueiral I, Pomarèdes H, Court-Picon M, Bouby L, Tardy C, Terral JF. 2014.** New insights into Mediterranean Gallo-Roman farming : a closer look at archaeological wells in Southern France. Archaeol Anthropol Sci DOI 10.1007/s12520-014-0181-8.

**Fournioux JC, Adrian M. 2011.** Morphologie et anatomie de la vigne. Collection des Usuels Féret de la Vigne et du Vin. Editions Féret, Bordeaux, 143 p.

**Fregoni M. 1991.** Origines de la vigne et de la viticulture, contribution des peuples antiques. Musumeci Editeur, Vallée d'Aoste, Italie, 158 p.

**Fuller DQ, Willcox G, Allaby RG. 2011.** Cultivation and domestication had multiple origins : arguments against the core area hypothesis for the origins of agriculture in the Near East. *World Archaeology* **43** : 628-652.

**Galet P. 1988.** Cépages et vignobles de France, tome 1 : les vignes américaines, Montpellier-Déhan.

**Galet P. 1993.** Précis de viticulture 6<sup>ème</sup> édition. Montpellier.

**Galet P. 2000.** Dictionnaire encyclopédique des cépages. Hachette, Paris. 936 p.

**Galtier G. 1959.** La création du vignoble languedocien. Cahiers Lignes de Préhistoire et d'Archéologie. Sections Françaises de l'Institut International d'Etudes Lignes **8**.

**Garcia JP, Chevrier S. 2010.** Le vignoble gallo-romain de Gevray-Chambertin. *Revue Archéologique de l'Est* **59** : 505-537.

**Gauthier E. 2000.** Mise en évidence pollinique de la culture de la vigne au 1<sup>er</sup> s. ap. JC dans le Doubs. *Revue d'Archéométrie* **24** : 63-69.

**Gmelin CC. 1805.** Flora Badensis, Alsatica et confinium regionum Cis et Transrhenana : planta a lacu Bodamico usque ad confluentem Mosellae et Rheni sponte nascentes exhibens secundum systema sexuale cum iconibus ad naturam delineatis. Karlsruhe, Deutschland.

**Grassi F, Labra M, Imazio S, Spada A, Sgorbati S, Scienza A, Sala F. 2003.** Evidence of a secondary domestication centre detected by SSR analysis. *Theoretical and Applied Genetics* **107** : 1315-1320.

**Grassi F, Labra M, Imazio S, Ocete Rubio R, Failla O, Scienza A, Sala F. 2006.** Phylogeographical structure and conservation genetics of wild grapevine. *Conservation Genetics* **7** : 837-845.

**Grassi F, De Mattia F, Zecca G, Sala F, Labra M. 2008.** Historical isolation and Quaternary range expansion of divergent lineages of wild grapevine. *Biological Journal of the Linnean Society* **95** : 611-619.

**Guasch-Jané MR, Andrés-Lacueva C, Jauregui O, Lamuela-Raventos MR. 2006.** First evidence of white wine in ancient Egypt from Tutankhamun's tomb. *Journal of Archaeological Science* **xx** : 1-6.

**Harlan JR. 1975.** Les plantes cultivées et l'homme. Presses Universitaires de France. 414 p.

**Heinz C, Figueiral I, Terral JF, Claustre F. 2004.** Holocene vegetation changes in the northwestern Mediterranean : new palaeoecological data from charcoal analysis and quantitative eco-anatomy. *The Holocene* **14 (4)** : 631-637.

**Henry A. 2011.** « Paléoenvironnements et gestion du bois de feu au Mésolithique dans le Sud-Ouest de la France : anthracologie, ethno-archéologie, expérimentation ». Thèse de Doctorat, Université de Nice-Sophia Antipolis.

**Houel C, Bounon R, Chaïb J, Guichard C, Péros JP, Bacilieri R, Dereeper A, Canaguier A, Lacombe T, N'Diaye A, Le Paslier MC, Vernerey MS, Coriton O, Brunel D, This P, Torregrossa L, Adam-Blondon AF, 2010.** Patterns of sequence polymorphism in the fleshless berry locus in cultivated and wild *Vitis vinifera* accessions. *BMC Plant Biology* **10** : 284.

**Houel C. 2011.** « Caractérisation de la variation phénotypique de la taille de la baie chez la vigne *Vitis vinifera* L. et approches de génétique d'association et de recherche de traces de sélection pour ce caractère ». Thèse de Doctorat, Université d'Evry – Val d'Essonne.

**Huglin P. 1986.** Biologie et écologie de la vigne. Editions Payot Lausanne. 372 p.

**Imazio S, Labra M, Grassi F, Scienza A, Failla O. 2006.** Chloroplast microsatellites to investigate the origin of grapevine. *Genetic Resources and Crop Evolution* **53** : 1003-1011.

**Ivorra S. 2001.** Eco-anatomie quantitative du bois et implications paléoécologiques, ethnobotaniques et archéologiques. DEA environnement et Archéologie. Paris.

**Jahemski WF. 1979, 1991.** Archaeological Evidence for Plants in Ancient Vesuvius Gardens. In : The Gardens of Pompeii, Herculaneum and the villas destroyed by Vesuvius, Vol.1 (1979) and Vol.2 (1991). New Rochelle, NY.

**Janick J. 2005.** The Origins of Fruits, Gruit Growing, and Fruit Breeding. *Plant Breeding Rev.* **25** : 255-320.

**Jung C, Odier T, Berger JF, Seris D, Bouby L, Lopez Saez A, Farbos-Textier S, Rousseau L. 2001.** La viticulture antique dans le Tricastin (moyenne vallée du Rhône). *Gallia* **58** : 113-128.

**Jung C. 2007.** Le vignoble du deuxième âge du Fer et les aménagements agraires républicains. *Lattara* **20** : 439-459.

**Jung C, Compan M, Figueiral I. (Chevance JB, Fabre L, Haurillon R, Tardy C, col.) 2008.** Les cultures et les pratiques agricoles antiques dans la cité de Béziers : l'exemple de la viticulture et de l'arboriculture sur l'autoroute A 75 (Pézenas-Béziers, Hérault). *Viticulture et arboriculture antique sur le tracé de l'autoroute A 75 : résultats préliminaires.*

**Lacombe T, Laucou V, Di Vecchi M, Bordenave L, Bourse T, Siret R, David J, Boursiquot JM, Bronner A, Merdinoglu D, This P. 2003.** Contribution à la caractérisation et à la protection *in situ* des populations de *Vitis vinifera* ssp. *sylvestris* (Gmelin) Hegi, en France. *Les Actes du BRG* **4** : 381-404.

**Lacombe T, Di Vecchi M, Laucou V, Dechesne F, Varès D, This P. 2004.** Les populations de vignes sauvages du massif de l'Albera. In : Actes del Colloqui l'Albera i el patrimoni en l'espai transfronterer. Colloqui internacional, Figueres (Spain), 1 – 2 Abril de 2004. Consell Comarcal de l'Alt Empordà : 313-322.

**Lacombe T, 2012.** « Contribution à l'histoire évolutive de la vigne cultivée (*Vitis vinifera* L.) par l'analyse de la diversité génétique neutre et de gènes d'intérêt ». Thèse de Doctorat, Montpellier SupAgro, Centre International d'Etudes Supérieures en Sciences Agronomiques.

**Lacombe T, Boursiquot JM, Laucou V, Di Vecchi M, Péros JP, This P. 2012.** Large-scale parentage analysis in an extended set of grapevine cultivars (*Vitis vinifera* L.). *Theoretical and Applied Genetics* **126**: 401-414.

**Lacroix A, 1961.** « Etude des charbons et des gaz provenant de la pyrolyse des sarments de vignes du Languedoc méditerranéen ». Thèse de Doctorat de l'Université de Montpellier (Mention Pharmacie).

**Lattara 20. 2007.** Construction deltaïque et utilisation d'une zone humide lors des six derniers millénaires. Collectif, sous la direction d'I. Daveau. Edition de l'Association pour le Développement de l'Archéologie en Languedoc-Roussillon.

**Laubenheimer F. 2005.** Des amphores et des hommes. Chronique. In : Dialogues d'histoire ancienne **31-1** : 175-187.

**Le Bon Jardinier. 1992.** Encyclopédie Horticole, 153<sup>ème</sup> édition, sous la direction de Burte JN, Conservateur des Jardins du Luxembourg. La Maison Rustique.

**Leroi-Gourhan A. 1994.** Dictionnaire de la Préhistoire, 2<sup>ème</sup> édition. Presses Universitaires de France. 1277 p.

**Leroy SAG, Roiron P. 1996.** Latest Pliocene pollen and leaf floras from Bernasso palaeolake (Escandorgue Massif, Hérault, France). Review of Palaeobotany and Palynology **94**: 295-328.

**Levadoux L. 1946.** Etude de la fleur et de la sexualité chez la vigne. Annales de l'Ecole Nationale d'Agronomie de Montpellier **27, 1**.

**Levadoux L. 1956.** Les populations sauvages et cultivées de *Vitis vinifera* L. Annales de l'Amélioration des Plantes **6** : 59-117.

**Levadoux L, Boubals D, Rives M. 1962.** Le genre *Vitis* et ses espèces. Annales de l'Amélioration des Plantes **12** : 19-44.

**Limier B, Sembeil B. 2012.** Monographie sur *Vitis vinifera* L. ssp. *sylvestris* (Gmelin) Hegi. GLBE 515 Diversité des structures morfo-anatomiques chez les Angiospermes. Université Montpellier 2.

**Lopes MS, Mendonca D, Rodrigues dos Santos M, Eiras-Dias JE, da Câmara Machado A. 2009.** New insights on the genetic basis of Portuguese grapevine and grapevine domestication. Genome **52** : 790-800.

**Loret V. 1892.** La flore pharaonique. Ed. E. Leroux, Paris. 145 p.

**Lortet DM. 1847.** Mémoire sur l'origine et l'extension de la vigne. Actes du Congrès de Vignerons et de Pomologistes. Lyon.

**Lyell C. 1830 – 1833.** Principles of Geology, J. Murray, Londres. 406 p.

**Manen JF, Bouby L, Dalnoki O, Marinval P, Turgay M, Schlumbaum A. 2003.** Microsatellites from archaeological *Vitis vinifera* seeds allow a tentative assignment of the geographical origin of ancient cultivars. Journal of Archaeological Science **30** : 721-729.

**Mangafa M, Kotsakis K. 1996.** A new method for the identification of wild and cultivated charred grape seeds. Journal of Archaeological Science **23** : 409-418.

**Marguerie D, Hunot JY. 2007.** Charcoal analysis and dendrology : data from archaeological sites in north-western France. Journal of Archaeological Science **34** : 1417-1433.

**Marguerie D, Bernard V, Bégin Y, Terral JF. 2010.** Dendroanthracologie. Chap. 12 p. 311-347 in S. Payette et L. Filion « La Dendroécologie : Principes, méthodes et applications ». Presses de l'Université Laval, Québec, Québec.

**Marinval P. 1997.** Vigne sauvage et vigne cultivée dans le bassin méditerranéen : émergence de la viticulture, contribution archéobotanique. In : L'histoire du vin, une histoire de rites. Paris : Office International de la Vigne et du Vin (OIV) edn, 137-172.

**Marinval P. 1999.** Les fruits et leurs usages au travers des restes archéologiques. Actes du colloque de la Ferté-Bernard (Sarthe), 16-17 Octobre 1998. Editions AFCEV.

**Marlière E. 2001.** Le tonneau en Gaule romaine. Gallia **58** : 181-201.

**Mauné S. 2003.** La villa gallo-romaine de « Vareilles » à Paulhan (Hérault ; fouille de l'autoroute A75). Un centre domanial du Haut-Empire spécialisé dans la viticulture? In : Revue archéologique de Picardie **1, 2** : 309-337.

**Mc Govern PE, Glusker DL, Exner LJ. 1996.** Neolithic resinated wine. Nature **381** : 480-481.

**Mc Govern PE, Luley BP, Rovira N, Mirzoian A, Callahan MP, Smith KE, Hall GR, Davidson T, Henkin JM. 2013.** Beginning of viniculture in France. PNAS **110, 25**: 10147-10152.

**Mellinand P, Thomas N. 2011.** Hôtel-Dieu, Bouches du Rhône, Marseille. R.F.S. fouille archéologique, Inrap Méditerranée, vol. 1, p. 193-205.

**Miller NF. 2008.** Sweeter than wine ? The use of the grape in nearly western Asia. Antiquity **82** : 937-946.

**Monteil M, Barberan S, Piskorz M, Vidal L, Bel V, Sauvage L. 1999.** Culture de la vigne et traces de plantation des II<sup>e</sup> et I<sup>er</sup> s. av. JC. dans la proche campagne de Nîmes (Gard). In : Revue archéologique de Narbonnaise **32** : 67-123.

**Myles S, Boyko AR, Owens CL, Brown PJ, Grassi F, Aradhya MK, Prins B, Reynolds A, Chia JM, Ware D, Bustamante CD, Buckler ES. 2011.** Genetic structure and domestication history of the grape. PNAS vol **108**, n° **9** : 3530-3535.

**Negrul AM. 1938.** Evolution of cultivated forms of grapes. Academy of Sciences of the USSR **18** : 585-588.

**Nicault A, Bégin Y, Guiot J. 2010.** Standardisation des séries dendrochronologiques. In : « La Dendroécologie : Principes, méthodes et applications ». S. Payette et L. Filion (dir.). Presses de l'Université Laval, Québec, Québec, p. 199-227.

**Ocete R, Del Tio R, Lara M. 1995.** The pests of the wild grapevine, *Vitis vinifera sylvestris* (Gmelin) Hegi, populations in the Atlantic Pyrenees (France). Vitis **34** (3) : 191-192.

**Ocete R, Lopez MA, Lara M, Del Tio R. 1997.** The sanitary state of a phytogenetic resource : the Spanish wild grapevine, *Vitis vinifera sylvestris* Gmelin (Hegi), populations. Plant Genetic Resources Newsletter **110** : 5-12.

**Ocete R, Lopez MA, Gallardo A, Arnold C. 2008.** Comparative analysis of wild and cultivated grapevine (*Vitis vinifera*) in the Basque Region of Spain and France. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **123** : 95-98.

**Oillic JC. 2012.** « Végétation, peuplement, métallurgie en Brocéliande : étude interdisciplinaire de la forêt de Paimpont (Bretagne, France) depuis la fin du Tardiglaciaire ». Thèse de Doctorat, Université de Rennes 1.

**Olmer F. 2008.** Amphores en Gaule aux 2<sup>e</sup> et 1<sup>er</sup> siècles avant notre ère. Aspects épigraphiques, quantitatifs et économiques. *International Congress of Classical Archaeology, Meetings Between Cultures in the Ancient Mediterranean*, Roma, Italy.

**Olmo HP. 1995.** The origin and domestication of the *Vinifera* grape. In : Mc Govern PE (The Origins and Ancient History of Wine) : 31-43.

**Olsen KM, Gross BL. 2008.** Detecting multiple origins of domesticated crops. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the USA* **105** : 13701-13702.

**Pagnoux C, Bouby L, Ivorra S, Petit C, Valamoti SM, Pastor T, Picq S, Terral JF. 2014.** Inferring the agrobiodiversity of *Vitis vinifera* L. (grapevine) in ancient Greece by comparative shape analysis of archaeological and modern seeds. *Veget Hist Archaeobot* (2015) **24** : 75-84.

**Pallas B. 2009.** « Modélisation dynamique des interactions plante-environnement. Application à l'étude des interactions entre les relations sources-puits et les processus de développement chez la vigne ». Thèse de Doctorat, Ecole Centrale des Arts et Manufactures « Ecole Centrale Paris ».

**Picq S. 2012.** « Diversité et évolution chez *Vitis vinifera* L. impliqués dans le syndrome de domestication et dans la biologie de la reproduction ». Thèse de Doctorat, Université Montpellier 2.

**Pitrat M. 2014.** Naturalité des aliments : Domestication, Sélection et Contrôle génétique. Académie d'Agriculture de France, séance du 12 Février 2014.

**Planchais N. 1973.** Apports de l'analyse pollinique à la connaissance de l'extension de la vigne au Quaternaire. *Naturalia monspeliensia* **23-24** : 211-223.

**Planchais N. 1982.** Palynologie lagunaire de l'étang de Mauguio : paléoenvironnement végétal et évolution anthropique. *Pollen et Spores* **24** : 93-118.

**Pomarèdes H, Compan M, Ginouvez O, Jung C. 2008.** Viticulture et équipements de production dans la cité de Lodève durant le Haut-Empire : apport des découvertes récentes autour de Clermont-l'Hérault. In : *Revue archéologique de Narbonnaise* **41** : 7-41.

**Puertas O. 1998.** Palynologie dans le delta du Lez, contribution à l'histoire du paysage de Lattes. *Lattara* **18**.

**Puig C. 2011.** La vigne roussillonnaise au Moyen-Age. *Cahiers de l'Inrap*.

**Purugganan MD, Fuller DQ. 2009.** The nature of selection during plant domestication. *Nature* **457** : 843-848.

**Purugganan MD, Fuller DQ. 2010.** Archaeological data reveal slow rates of evolution during plant domestication. *Evolution* **65-1** : 171-183.

**Py M, Buxo i Capdevila R. 2001.** La viticulture en Gaule à l'Age du Fer. *Gallia* **58** : 29-43.

**Rathay E. 1889.** Die Geschlechtsverhältnisse der Reben und ihre Bedeutung für den Weinbau. Wien, 2, Theil.

**Renfrew JM. 1973.** Palaeoethnobotany. The prehistoric food plants of the Near East and Europe. Columbia University Press, New York. 248 p.

**Richard H. 1988.** Palynologie et climat. In: Histoire et Mesures, volume **3**, n° **3** : 359-384.

**Rivera Nùñez D, Walker MJ. 1989.** A review of paleobotanical findings of early *Vitis* in the Mediterranean and the origins of cultivated grape-vines, with special reference to new pointers to prehistoric exploitation in the Western Mediterranean. *Review of Paleobotany and Palynology* **61** : 205-237.

**Rives M. 1974.** Les vignes sauvages comme sources de gènes pour l'amélioration. *Vitis* **13** : 186-197.

**Roiron P. 1992.** « Flores, végétations et climats du Néogène méditerranéen : apports de macroflores du sud de la France et du nord-est de l'Espagne ». Thèse de Doctorat, Université Montpellier 2.

**Romberger JA, Hill JF, Hejnowicz Z. 1993.** Plant Structure: Function and Development. A Treatise on Anatomy and Vegetative Development, with Special Reference to Woody Plants. Springer Verlag. Berlin. 524 p.

**Roudil JL, Dedet B. (Columbeau P, Erroux J, Chabal L, col.) 1993.** La grotte du Hasard à Tharaux. *Documents d'Archéologie Méridionale* **16** : 111-162.

**Ruas MP, Bouby L. 2010.** Carbonisation, conservation et déformation des restes carpologiques. In : Taphonomie des résidus organiques brûlés et des structures de combustion en milieu archéologique, Théry-Parisot I., Chabal L. et Costamagno S. (eds). Actes de la table ronde, Valbonne, 27-29 Mai 2008.

**Schweingruber F. H. 1978.** Mikroskopische Holzanatomie, Zürcher, Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen, 226 p.

**Schweingruber F. H. 1990.** Anatomie europäischer Hölzer/Anatomy of European woods, Gymnospermae/Angiospermae, Monocotyledonae/Dicotyledonae.

**Sebald O, Seybold S, Philippi G. 1992.** Die Farn und Blütenpflanzen Baden-Württembergs. **4** ; Eugen Ulmer, Verlag, Deutschland.

**Sftec KM, Steinkellner H, Lefort F, Botta R, Da Camara Machado A, Borrego J, Maletic E, Glössl J. 2003.** Evaluation of the genetic contribution of local wild vines to European grapevine cultivars. *American Journal of Oenology and Viticulture* **54 (1)**: 15-21.

**Smith H, Jones G. 1990.** Experiments on the effects of charring on cultivated grape seeds. *Journal of Archaeological Science* **17** : 317-327.

**Snoussi H, Harbi Ben Slimane M, Ruiz-Garcia L, Martinez-Zapater JM, Arroyo-Garcia R. 2004.** Genetic relationship among cultivated and wild grapevine accessions from Tunisia. *Genome* **47** : 1211-1219.

**Stummer A. 1911.** Zur Urgeschichte der Rebe und des Weinbaues. Mitteilungen der Anthropologischen Gesellschaft in Wein **61** : 283-296.

**Suc JP. 1978.** Analyse pollinique de dépôts plio-pléistocènes du sud du massif basaltique de l'Escandorgue (site de Bernasso, Lunas, Hérault, France). *Pollen et Spores*, Paris **20 (4)**, 497-512.

**Tchernia A. 1986.** Le vin de l'Italie romaine. Essai d'histoire économique d'après les amphores. Ecole Française de Rome, 446 p.

**Tchernia A, Brun JP. 1999.** Le vin romain antique. Editions Glénat. 159 p.

**Terral JF, Arnold-Simard G. 1996.** Beginnings of olive cultivation in Eastern Spain in relation to Holocene bioclimatic changes. *Quaternary Research* **46** : 176-185.

**Terral JF. 1997a.** « La domestication de l'olivier (*Olea europaea* L.) en Méditerranée nord-occidentale : approche morphométrique et implications paléoclimatiques ». Thèse de Doctorat, Université Montpellier 2.

**Terral JF. 1997b.** Débuts de la domestication de l'olivier (*Olea europaea* L.) en Méditerranée nord-occidentale, mise en évidence par l'analyse morphométrique appliquée à du matériel anthracologique. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris* **324 (5)**, série IIA : 417-425.

**Terral JF. 1999.** La morphométrie à la recherche des origines de la domestication et culture des fruitiers : le modèle de l'olivier en Méditerranée nord-occidentale. *Revue d'archéométrie* **23** : 101-126.

**Terral JF. 2000.** Exploitation and management of the olive tree during prehistoric times in Mediterranean France and Spain. *Journal of Archaeological Sciences* **27** : 127-133.

**Terral JF. 2002.** Quantitative anatomical criteria for discriminating wild grapevine (*Vitis vinifera* ssp. *sylvestris*) from cultivated vines (*Vitis vinifera* ssp. *vinifera*). *British Archaeological Reports (International Series)* **1063** : 59-64.

**Terral JF, Badal E, Heinz C, Roiron P, Thiébaud S, Figueiral I. 2004.** A hydraulic conductivity Model points to post-Neogene survival of the Mediterranean Olive in riparian habitat. *Ecology* **85 (11)**: 3158-3165.

**Terral JF, Durand A. 2006.** Bio-archaeological evidence of olive tree (*Olea europaea* L.) irrigation during the Middle Ages in Southern France and North Eastern Spain. *Journal of Archaeological Sciences* **33** : 718-724.

**Terral JF, Tabard E, Bouby L, Ivorra S, Pastor T, Figueiral I, Picq S, Chevance JB, Jung C, Fabre L, Tardy C, Compan M, Bacilieri R, Lacombe T, This P. 2010.** Evolution and history of grapevine (*Vitis vinifera*) under domestication : new morphometric perspectives to understand seed domestication syndrome and reveal origins of ancient European cultivars. *Annals of Botany* **105** : 443-455.

**Terral JF, Bouby L. 2012.** La domestication et la diversification de la vigne (*Vitis vinifera* L.) : apport de l'archéobiologie. In : Rencontres du Clos-Vougeot 2011 « Vignes, vins : jeux et enjeux de la diversité ». Chaire UNESCO Culture et Traditions du Vin, Université de Bourgogne, Centre G. Chevrier, p. 13-31.

**Terral JF, Bouby L. 2013.** Domestication de la vigne (*Vitis vinifera* L.) et origines de cépages en France : apport de l'archéobiologie. Food & History, vol. **11**, n°2, p. 11-25.

**Théry-Parisot I. 2001.** Economie des combustibles au Paléolithique : expérimentation, taphonomie, anthracologie. Dossier de documentation archéologique n° 20. Centre d'Etudes Préhistoire, Antiquité, Moyen-Age (CEPAM). CNRS Editions.

**This P, Roux C, Parra P, Siret R, Bourse T, Adam AF, Yvon M, Lacombe T, David J, Boursiquot JM. 2001.** Caractérisation de la diversité d'une population de vignes sauvages du Pic Saint Loup (Hérault) et relations avec le compartiment cultivé. Genetics Selection Evolution **33** : 289-304.

**This P, Lacombe T, Thomas MR. 2006.** Historical origins and genetic diversity of wine grapes. Trends in Genetics **22** : 511-519.

**Vallat P, Cabanis M. 2009.** Le site de « Champ Chalatras » aux Martres-d'Artière (Puy de Dôme) et les premiers témoins archéologiques de la viticulture gallo-romaine dans le bassin de Clermont-Ferrand (Auvergne). Revue archéologique du centre de la France **48** : 155-188.

**Vernet JL. 2001.** Guide d'identification des charbons de bois préhistoriques et récents, CNRS Editions : 322-323.

**Viala P, Vermorel V. 1901-1910.** Ampélographie. Traité général de viticulture, Vol. 1-7. Masson, Paris.

**Vouillamoz JF. 2004.** Domestication de la vigne à la lumière du « Test ADN ». Académie Internationale du Vin.

**Vouillamoz JF, Arnold C. 2009.** Etude historico-génétique du 'Chasselas'. Revue Suisse Vitic. Arboric. Hortic. vol **41** (5): 299-307.

**Vouillamoz JF. 2012.** Grapevine domestication : why, how, wher and when ? Alois Lageder.

**Wales N. 2015.** Targeted capture of ancient DNA from archaeological grape pips. Communication orale in Les Animations de l'UMR AGAP, Cirad Montpellier.

**Weiss E, Kislev ME, Hartmann A. 2006.** Autonomous cultivation before domestication. Science **312** : 1608-1610.

**Yobregat O. 2010.** Les lambrusques. Institut Français de la vigne et du Vin.

**Zecca G, De Mattia F, Lovicu G, Labra M, Sala F, Grassi F. 2009.** Wild grapevine : *silvestris*, hybrids or cultivars that escaped from vineyards? Molecular evidence in Sardinia. Plant Biology ISSN 1435-8603 : 1-6.

**Zech-Matterne V. 2010.** Le développement de la fructiculture en Gaule du nord, à l'époque romaine. In : Ouzoulias P. et Tranoy L. (Comment les Gaules devinrent romaines). La Découverte : 255-266.

**Zimmermann MH. 1983.** Xylem Structure and the Ascent of Sap. Springer Verlag. Berlin. 143 p.

**Zobel BJ, van Buijtenen JP. 1989.** Wood variation: Its Causes and Control. Springer Verlag. Berlin. 363 p.

**Zohary D, Spiegel-Roy P, 1975.** Beginning of fruit growing in the Old World. Science **187** : 319-327.

**Zohary D. 1995.** The domestication of the grapevine *Vitis vinifera* L. in the Near East. In : Mc Govern PE, Fleming JF, Katz SH (The Origins and Ancient History of Wine).

**Zohary D, Hopf M. 2000.** Domestication of plants in the Old World. 3rd edition. Oxford University Press, New York. 316 p.

**Zohary D. 2004.** Unconscious selection and the evolution of domesticated plants. Economic Botany **58 (1)** : 5-10.

**Zohary D, Hopf M, Weiss E. 2012.** Domestication of plants in the Old World. 4th edition. Oxford University Press, Oxford. 243 p.

## 9/ Annexes

**Annexe 1 :** résultats des tests de distribution de fréquence (Shapiro-Wilk (W)) relatifs aux mesures éco-anatomiques quantitatives réalisées dans le cadre de l'évaluation des erreurs de mesures.

*Opérateur 1*, échantillon de vigne sauvage « Belaygues 3c » (LCER = Largeur du cerne ; LBI = Largeur du bois initial ; LBF = Largeur du bois final ; LRAY = Largeur du rayon ligneux ; DRAY = Densité des rayons ligneux ; SCBI = Surface conductrice dans le bois initial ; SCBF = Surface conductrice dans le bois final ; DVBI = Densité des vaisseaux dans le bois initial ; DVBF = Densité des vaisseaux dans le bois final).

| Variable    | W     | Probab.  | Normalité |
|-------------|-------|----------|-----------|
| <b>LCER</b> | 0,979 | 0,867    | Oui       |
| <b>LBI</b>  | 0,972 | 0,696    | Oui       |
| <b>LBF</b>  | 0,936 | 0,118    | Oui       |
| <b>LRAY</b> | 0,962 | 0,462    | Oui       |
| <b>DRAY</b> | 0,877 | 0,122    | Oui       |
| <b>SCBI</b> | 0,946 | 0,203    | Oui       |
| <b>SCBF</b> | 0,776 | < 0,0001 | Non       |
| <b>DVBI</b> | 0,896 | 0,083    | Oui       |
| <b>DVBF</b> | 0,936 | 0,331    | Oui       |

*Opérateur 2*, échantillon de vigne sauvage « Belaygues 3c » (LCER = Largeur du cerne ; LBI = Largeur du bois initial ; LBF = Largeur du bois final ; LRAY = Largeur du rayon ligneux ; DRAY = Densité des rayons ligneux ; SCBI = Surface conductrice dans le bois initial ; SCBF = Surface conductrice dans le bois final ; DVBI = Densité des vaisseaux dans le bois initial ; DVBF = Densité des vaisseaux dans le bois final).

| Variable    | W     | Probabilité | Normalité |
|-------------|-------|-------------|-----------|
| <b>LCER</b> | 0,958 | 0,372       | Oui       |
| <b>LBI</b>  | 0,948 | 0,222       | Oui       |
| <b>LBF</b>  | 0,848 | 0,002       | Non       |
| <b>LRAY</b> | 0,985 | 0,962       | Oui       |
| <b>DRAY</b> | 0,709 | 0,001       | Non       |
| <b>SCBI</b> | 0,966 | 0,549       | Oui       |
| <b>SCBF</b> | 0,943 | 0,173       | Oui       |
| <b>DVBI</b> | 0,884 | 0,054       | Oui       |
| <b>DVBF</b> | 0,905 | 0,113       | Oui       |

**Annexe 2 :** résultats des tests de distribution de fréquence (Shapiro-Wilk (W)) relatifs aux mesures éco-anatomiques quantitatives réalisées dans le cadre de l'évaluation des erreurs potentielles de mesures réalisées par le même opérateur.

*Opérateur 1 – jour 1*, échantillon de vigne cultivée-domestiquée « 'Chasselas' 1a » (LCER = Largeur du cerne ; LBI = Largeur du bois initial ; LBF = Largeur du bois final ; LRAY = Largeur du rayon ligneux ; DRAY = Densité des rayons ligneux ; SCBI = Surface conductrice dans le bois initial ; SCBF = Surface conductrice dans le bois final ; DVBI = Densité des vaisseaux dans le bois initial ; DVBF = Densité des vaisseaux dans le bois final).

| Variable    | W     | Probabilité | Normalité |
|-------------|-------|-------------|-----------|
| <b>LCER</b> | 0,932 | 0,096       | Oui       |
| <b>LBI</b>  | 0,957 | 0,357       | Oui       |
| <b>LBF</b>  | 0,966 | 0,556       | Oui       |
| <b>LRAY</b> | 0,984 | 0,947       | Oui       |
| <b>DRAY</b> | 0,775 | 0,007       | Non       |
| <b>SCBI</b> | 0,916 | 0,041       | Non       |
| <b>SCBF</b> | 0,637 | < 0,0001    | Non       |
| <b>DVBI</b> | 0,952 | 0,561       | Oui       |
| <b>DVBF</b> | 0,892 | 0,072       | Oui       |

*Opérateur 1 – jour 2*, échantillon de vigne cultivée-domestiquée « 'Chasselas' 1a » (LCER = Largeur du cerne ; LBI = Largeur du bois initial ; LBF = Largeur du bois final ; LRAY = Largeur du rayon ligneux ; DRAY = Densité des rayons ligneux ; SCBI = Surface conductrice dans le bois initial ; SCBF = Surface conductrice dans le bois final ; DVBI = Densité des vaisseaux dans le bois initial ; DVBF = Densité des vaisseaux dans le bois final).

| Variable    | W     | Probabilité | Normalité |
|-------------|-------|-------------|-----------|
| <b>LCER</b> | 0,926 | 0,071       | Oui       |
| <b>LBI</b>  | 0,937 | 0,128       | Oui       |
| <b>LBF</b>  | 0,941 | 0,158       | Oui       |
| <b>LRAY</b> | 0,945 | 0,197       | Oui       |
| <b>DRAY</b> | 0,775 | 0,007       | Non       |
| <b>SCBI</b> | 0,907 | 0,027       | Non       |
| <b>SCBF</b> | 0,679 | < 0,0001    | Non       |
| <b>DVBI</b> | 0,920 | 0,191       | Oui       |
| <b>DVBF</b> | 0,960 | 0,689       | Oui       |

**Annexes 3 et 4 :** Tableaux de comparaisons de moyennes effectuées à l'aide du test de Kruskal-Wallis.

**Annexe 3 :** Sur échantillon de vigne sauvage « Belaygues3c » mesuré par 2 opérateurs (LCER = Largeur du cerne ; LBI = Largeur du bois initial ; LBF = Largeur du bois final ; LRAY = Largeur du rayon ligneux ; DRAY = Densité des rayons ligneux ; SCBI = Surface conductrice dans le bois initial ; SCBF = Surface conductrice dans le bois final ; DVBI = Densité des vaisseaux dans le bois initial ; DVBF = Densité des vaisseaux dans le bois final).

| Variable | K-observée | K-critique | DDL | p-value |
|----------|------------|------------|-----|---------|
| LCER     | 1,000      | 3,841      | 1   | 0,317   |
| LBI      | 1,000      | 3,841      | 1   | 0,317   |
| LBF      | 1,000      | 3,841      | 1   | 0,317   |
| LRAY     | 1,000      | 3,841      | 1   | 0,317   |
| SCBI     | 1,000      | 3,841      | 1   | 0,317   |
| SCBF     | 1,000      | 3,841      | 1   | 0,317   |
| DVBI     | 1,000      | 3,841      | 1   | 0,317   |
| DVBF     | 1,000      | 3,841      | 1   | 0,317   |

**Annexe 4 :** Sur échantillon de vigne cultivée-domestiquée « 'Chasselas'1a » mesuré par le même opérateur lors de 2 sessions (LCER = Largeur du cerne ; LBI = Largeur du bois initial ; LBF = Largeur du bois final ; LRAY = Largeur du rayon ligneux ; DRAY = Densité des rayons ligneux ; SCBI = Surface conductrice dans le bois initial ; SCBF = Surface conductrice dans le bois final ; DVBI = Densité des vaisseaux dans le bois initial ; DVBF = Densité des vaisseaux dans le bois final).

| Variable | K-observée | K-critique | DDL | p-value |
|----------|------------|------------|-----|---------|
| LCER     | 1,000      | 3,841      | 1   | 0,317   |
| LBI      | 1,000      | 3,841      | 1   | 0,317   |
| LBF      | 1,000      | 3,841      | 1   | 0,317   |
| LRAY     | 1,000      | 3,841      | 1   | 0,317   |
| DRAY     | 1,000      | 3,841      | 1   | 0,317   |
| SCBI     | 1,000      | 3,841      | 1   | 0,317   |
| SCBF     | 1,000      | 3,841      | 1   | 0,317   |
| DVBI     | 1,000      | 3,841      | 1   | 0,317   |
| DVBF     | 1,000      | 3,841      | 1   | 0,317   |

**Annexe 5 :** Tableau des données éco-anatomiques quantitatives moyennes estimées par échantillon (S/C = Sauvage/Cultivée ; I/M = Immature/Mature ; LCER = Largeur du cerne ; LBI = Largeur du bois initial ; LBF = Largeur du bois final ; LRAY = Largeur du rayon ligneux ; DRAY = Densité des rayons ligneux ; SCBI = Surface conductrice dans le bois initial ; SCBF = Surface conductrice dans le bois final ; DVBI = Densité des vaisseaux dans le bois initial ; DVBF = Densité des vaisseaux dans le bois final). En **vert** les vignes sauvages, en **rouge** les cépages, en **bleu** les formes ensauvagées (férales), en **violet** les échantillons archéologiques.

| Nom Station/Ind. | Nom abrégé | Classe S/C | Classe I/M | LCER (μm) | LBI (μm) | LBF (μm) | LRAY (μm) | DRAY | SCBI (μm <sup>2</sup> ) | SCBF (μm <sup>2</sup> ) | DVBI (N/mm <sup>2</sup> ) | DVBF (N/mm <sup>2</sup> ) |
|------------------|------------|------------|------------|-----------|----------|----------|-----------|------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Belaygues4a      | B4a        | 1          | 1          | 559,95    | 472,37   | 87,95    | 58,9      | 0,5  | 3283,24                 | 125,79                  | 135,45                    | 1868,27                   |
| CasaBrugat1c     | CB1c       | 1          | 1          | 636,31    | 540,84   | 99,25    | 46,47     | 0,7  | 7033,61                 | 209,16                  | 65,59                     | 2715,85                   |
| CasaBrugat2a     | CB2a       | 1          | 1          | 443,69    | 225,25   | 237,2    | 67,29     | 0,7  | 4198,63                 | 650,32                  | 166,73                    | 333,49                    |
| CasaBrugat3c     | CB3c       | 1          | 1          | 311,91    | 231,09   | 83,27    | 42,75     | 0,6  | 3694,79                 | 168,47                  | 135,78                    | 1392                      |
| Valbonne14b      | Val14b     | 1          | 1          | 264,81    | 226,49   | 39,23    | 39,85     | 0,6  | 2038,16                 | 326,52                  | 290,02                    | 1177,56                   |
| GrésigneBa       | GréBa      | 1          | 1          | 245,47    | 210,52   | 34,66    | 29,52     | 0,6  | 1200,22                 | 215,23                  | 379,34                    | 1752,33                   |
| GrésigneEc       | GréEc      | 1          | 1          | 598,95    | 544,34   | 54,88    | 58,51     | 0,5  | 6698,92                 | 268,26                  | 107,11                    | 931,82                    |
| GrésigneFa       | GréFa      | 1          | 1          | 387,57    | 344,03   | 43,45    | 39,97     | 0,6  | 1451,86                 | 101,74                  | 290,38                    | 2319,74                   |
| GrésigneHa       | GréHa      | 1          | 1          | 416,27    | 322,27   | 95,34    | 36,56     | 0,8  | 1749,11                 | 123,33                  | 213,03                    | 1809,72                   |
| Belaygues1b      | B1b        | 1          | 1          | 272,52    | 207,78   | 64,99    | 34,45     | 0,6  | 510,73                  | 192,26                  | 592,55                    | 1411,62                   |
| Belaygues2b      | B2b        | 1          | 1          | 568,46    | 516,14   | 52,8     | 47,08     | 1,1  | 1544,77                 | 170,67                  | 192,6                     | 1740,41                   |
| Belaygues3c      | B3c        | 1          | 1          | 954,81    | 812,89   | 143,17   | 83,2      | 0,5  | 3515,67                 | 158,46                  | 100,53                    | 1074,5                    |
| Lavall1b         | Lav1b      | 1          | 1          | 599,25    | 341,90   | 257,59   | 42,72     | 0,5  | 7508,08                 | 641,31                  | 88,36                     | 292,8                     |
| Lavall3a         | Lav3a      | 1          | 1          | 337,88    | 250,42   | 86,31    | 46,38     | 0,6  | 1440,07                 | 135,36                  | 162,1                     | 566,38                    |
| Lavall4b         | Lav4b      | 1          | 1          | 328,86    | 268,66   | 59,86    | 38,69     | 0,6  | 3288,06                 | 117,72                  | 152,3                     | 1416,38                   |
| Lavall5b         | Lav5b      | 1          | 1          | 318,21    | 233,35   | 84,63    | 41,02     | 0,6  | 1332,59                 | 139,27                  | 277,58                    | 1677,64                   |
| Lavall6b         | Lav6b      | 1          | 1          | 347,07    | 287,45   | 59,2     | 45,73     | 0,6  | 1828,83                 | 70,45                   | 149,13                    | 2220,05                   |
| Lavall8a         | Lav8a      | 1          | 1          | 608,31    | 522,83   | 86,16    | 56,07     | 0,5  | 3369,61                 | 82,52                   | 129,74                    | 1544,1                    |
| Valbonne1b       | Val1b      | 1          | 1          | 222,34    | 149,4    | 72,89    | 41,74     | 0,6  | 999,75                  | 79,64                   | 354,69                    | 2098,45                   |
| Valbonne2a       | Val2a      | 1          | 1          | 352,17    | 289,39   | 63,2     | 47,66     | 0,5  | 1923,52                 | 90,52                   | 225,98                    | 3208,59                   |
| Valbonne3a       | Val3a      | 1          | 1          | 433,98    | 355,87   | 78,44    | 44,7      | 0,6  | 3035,84                 | 204,45                  | 188,59                    | 1531,11                   |
| Valbonne4a       | Val4a      | 1          | 1          | 377,06    | 297,97   | 79,54    | 33,25     | 0,5  | 1971,21                 | 226,8                   | 215,76                    | 1215,71                   |
| Valbonne6a       | Val6a      | 1          | 1          | 504,91    | 401,1    | 104,88   | 41,18     | 0,5  | 4262,04                 | 224,52                  | 165,82                    | 1262,66                   |
| Valbonne7b       | Val7b      | 1          | 1          | 536,11    | 437,92   | 100,29   | 57,77     | 0,5  | 2997,97                 | 298,35                  | 174,89                    | 822,08                    |
| Valbonne9a       | Val9a      | 1          | 1          | 403,73    | 250,44   | 147,94   | 45,69     | 0,5  | 3074,12                 | 240,86                  | 126,79                    | 1138,07                   |
| Valbonne10a      | Val10a     | 1          | 1          | 325,07    | 244,5    | 81,04    | 30,95     | 0,8  | 3213,74                 | 184,11                  | 231,06                    | 1528,08                   |
| Valbonne11c      | Val11c     | 1          | 1          | 1019,18   | 781,34   | 239,57   | 69,41     | 0,7  | 15214,96                | 1561,75                 | 69,74                     | 332,54                    |
| Valbonne15Aa     | Val15Aa    | 1          | 1          | 400,9     | 319,61   | 81,05    | 50,42     | 0,5  | 2754,98                 | 146,77                  | 118,71                    | 773,41                    |
| Valbonne15Ba     | Val15Ba    | 1          | 1          | 375,39    | 318,77   | 60,77    | 38,78     | 0,6  | 2363,24                 | 112,63                  | 188,05                    | 1575,11                   |
| Valbonne16a      | Val16a     | 1          | 1          | 337,44    | 284,56   | 53,87    | 54,97     | 0,5  | 3066,9                  | 193,64                  | 355,78                    | 1166,92                   |
| Valbonne18a      | Val18a     | 1          | 1          | 575,72    | 466,14   | 110,67   | 39,12     | 0,7  | 2326,27                 | 400,28                  | 210,25                    | 783,68                    |
| Loceo1b          | Lo1b       | 1          | 1          | 311,3     | 241,17   | 71,1     | 32,21     | 0,6  | 2780,81                 | 272,34                  | 259,8                     | 1239,53                   |
| Loreto1b         | Lor1b      | 1          | 1          | 728,35    | 621,13   | 106,94   | 72,25     | 0,6  | 11604,06                | 188,54                  | 83,53                     | 1093,1                    |
| Loreto2b         | Lor2b      | 1          | 1          | 280,68    | 240,7    | 39,98    | 42,1      | 0,5  | 2468,76                 | 156,07                  | 225,8                     | 1740,1                    |
| Loreto7a         | Lor7a      | 1          | 1          | 198,44    | 155,61   | 42,57    | 25,64     | 0,7  | 2413,19                 | 121,2                   | 238,04                    | 1517,63                   |
| Loreto14b        | Lor14b     | 1          | 1          | 215,44    | 176,62   | 39,99    | 43,8      | 0,5  | 1754,61                 | 148,65                  | 304,81                    | 1870,74                   |

|                    |        |   |   |        |        |        |        |     |          |         |        |         |
|--------------------|--------|---|---|--------|--------|--------|--------|-----|----------|---------|--------|---------|
| Loreto15c          | Lor15c | 1 | 1 | 280,03 | 229,34 | 52,03  | 33,69  | 0,5 | 2736,21  | 75,66   | 300,69 | 2162,81 |
| Gökçeada1b         | Gök1b  | 1 | 1 | 473,23 | 409,93 | 63,27  | 35,57  | 0,5 | 1807,56  | 123,79  | 205,89 | 1722,96 |
| Dögüsbelen2a       | Dög2a  | 1 | 1 | 320,75 | 282,31 | 38,36  | 45,53  | 0,6 | 3289,44  | 88,21   | 161,28 | 2236,59 |
| Dögüsbelen4b       | Dög4b  | 1 | 1 | 439,41 | 375,25 | 64,48  | 46,27  | 0,9 | 19044,06 | 360,07  | 80,8   | 779,03  |
| Dögüsbelen5a       | Dög5a  | 1 | 1 | 442,37 | 387,24 | 55,16  | 40,83  | 0,7 | 2242,16  | 107,5   | 251,4  | 1914,1  |
| Dögüsbelen6b       | Dög6b  | 1 | 1 | 645,05 | 564,31 | 80,67  | 41,78  | 0,5 | 11881,12 | 196,24  | 57,72  | 1337,81 |
| Eskiköy1a          | Esk1a  | 1 | 1 | 720,18 | 655,95 | 64,22  | 25,74  | 0,8 | 9642,89  | 69,74   | 101,02 | 2269,33 |
| Eskiköy2a          | Esk2a  | 1 | 1 | 412,44 | 364,99 | 47,45  | 25,2   | 0,7 | 2534,23  | 160,41  | 305,19 | 1561,89 |
| Deirenci1b         | Dei1b  | 1 | 1 | 862,94 | 685,77 | 177    | 53,95  | 0,7 | 4516,88  | 264,52  | 111,35 | 643,78  |
| Cirali2b           | Ci2b   | 1 | 1 | 534,42 | 432,78 | 101,69 | 51,48  | 0,5 | 5647,26  | 107,21  | 185,7  | 1324,72 |
| TekkKilesi2c       | TK2c   | 1 | 1 | 716,84 | 600,69 | 116,06 | 76,97  | 0,6 | 4952,03  | 153,46  | 79,59  | 1638,96 |
| Yeniköy1a          | Yen1a  | 1 | 1 | 789,21 | 711,07 | 78,02  | 51,55  | 0,6 | 1737,64  | 141,89  | 126,56 | 1831,4  |
| Yeniköy6b          | Yen6b  | 1 | 1 | 570,72 | 469,02 | 101,87 | 64,63  | 0,6 | 3281,57  | 226,39  | 194,4  | 1035,15 |
| PicStLoup1d        | PSL1d  | 1 | 1 | 911,02 | 860,99 | 69,53  | 64,64  | 0,8 | 4885,51  | 215,06  | 97,39  | 2583,36 |
| RocaVella1a        | RV1a   | 1 | 1 | 379,15 | 241,29 | 138,51 | 39,04  | 0,6 | 4254,11  | 498,91  | 199,71 | 626,77  |
| RocaVella2b        | RV2b   | 1 | 1 | 346,19 | 270,57 | 75,08  | 41,17  | 0,7 | 1418,89  | 133,44  | 166,18 | 1486,06 |
| RocaVella3a        | RV3a   | 1 | 1 | 301,44 | 247,19 | 55,29  | 35,37  | 0,7 | 2814,66  | 169,96  | 202,74 | 1492,59 |
| Palmarella1c       | Palm1c | 1 | 1 | 585,28 | 517,14 | 69,06  | 45,21  | 0,6 | 3201,11  | 388,67  | 126,28 | 1562,29 |
| Palmarella2a       | Palm2a | 1 | 1 | 379,3  | 333,87 | 46,54  | 32,51  | 0,5 | 2451,24  | 164,6   | 215,29 | 1560,44 |
| LaMarana1a         | Mar1a  | 1 | 1 | 283,97 | 207,62 | 75,88  | 36,64  | 0,6 | 1212,67  | 141,01  | 285,89 | 1875,76 |
| Ottan5a            | Ot5a   | 1 | 1 | 193,68 | 162,12 | 31,9   | 31,17  | 0,6 | 535,74   | 81,64   | 409,83 | 2072,38 |
| Yusufeli10a        | Yus10a | 1 | 1 | 185,2  | 152,7  | 32,54  | 34,56  | 0,6 | 1695,17  | 214,71  | 317,42 | 2191,46 |
| MoulayBouazza2b    | MB2b   | 1 | 1 | 751,02 | 607,45 | 143,44 | 73,46  | 0,8 | 3488,49  | 408,67  | 65,46  | 439,17  |
| MoulayBouazza2d    | MB2d   | 1 | 1 | 580,1  | 456,95 | 123,17 | 87,64  | 0,8 | 5823,96  | 272,75  | 102,26 | 1339,33 |
| Gökçeada6a         | Gök6a  | 1 | 1 | 412,76 | 343,17 | 69,57  | 40,78  | 0,5 | 3209,35  | 387,25  | 152,17 | 867,52  |
| Dögüsbelen1b       | Dög1b  | 1 | 1 | 357,46 | 317,6  | 39,97  | 37,01  | 0,6 | 5715,43  | 117,72  | 110,36 | 1588,51 |
| SteCroixEnPlaine1b | SCP1b  | 1 | 2 | 566,25 | 458,14 | 108,09 | 78,97  | 0,8 | 1777,02  | 314,24  | 175,28 | 1069,67 |
| GrésigneDc         | GréDc  | 1 | 2 | 828,23 | 722,17 | 105,67 | 131,92 | 0,8 | 9513,21  | 364,69  | 91,78  | 978,82  |
| Lavall2b           | Lav2b  | 1 | 2 | 884,22 | 488,28 | 399,74 | 99,27  | 0,9 | 37330,20 | 1198,55 | 13,37  | 332,66  |
| Lavall7b           | Lav7b  | 1 | 2 | 757,62 | 522,3  | 236,68 | 116,33 | 0,9 | 22567,08 | 966,05  | 17,35  | 355,03  |
| Valbonne5b         | Val5b  | 1 | 2 | 858,41 | 592,68 | 267,43 | 59,49  | 0,8 | 34729,64 | 1325,45 | 72,9   | 258,26  |
| Valbonne8a         | Val8a  | 1 | 2 | 422,23 | 300,48 | 123,49 | 110,77 | 0,2 | 3830,39  | 886,63  | 148,27 | 289,12  |
| Valbonne17c        | Val17c | 1 | 2 | 305,12 | 225,9  | 79,98  | 75,9   | 0,7 | 2768,94  | 201,21  | 211,66 | 771,66  |
| Loreto4c           | Lor4c  | 1 | 2 | 327,74 | 263,61 | 65,61  | 98,33  | 0,6 | 4027,74  | 147,01  | 239,8  | 1923,26 |
| Loreto12b          | Lor12b | 1 | 2 | 191,32 | 139,73 | 52,2   | 59,4   | 0,5 | 1613,99  | 95,85   | 322,63 | 1359,73 |
| Loreto13c          | Lor13c | 1 | 2 | 217,98 | 175,52 | 43,41  | 48,58  | 0,4 | 1088,07  | 81,06   | 346,93 | 2066,25 |
| Dögüsbelen3c       | Dög3c  | 1 | 2 | 663,52 | 561,41 | 102,19 | 73,4   | 0,9 | 4965,16  | 165,48  | 94,09  | 1216,79 |
| Dögüsbelen1d       | Dög1b  | 1 | 2 | 762,91 | 593,04 | 169,79 | 98,09  | 0,9 | 31149,47 | 228,8   | 36,22  | 1007,43 |
| Eskiköy3a          | Esk3a  | 1 | 2 | 208,83 | 166,54 | 42,46  | 38,1   | 0,5 | 5088,03  | 180,77  | 224,32 | 1742,44 |
| Cirali1a           | Ci1a   | 1 | 2 | 168,81 | 135,16 | 33,67  | 46,23  | 0,4 | 1169,55  | 110,86  | 410,68 | 1727,12 |
| Cirali3a           | Ci3a   | 1 | 2 | 216,47 | 177,4  | 38,9   | 54,68  | 0,5 | 3193,39  | 139,23  | 346,81 | 1798,79 |
| TekkKilesi4b       | TK4b   | 1 | 2 | 581,47 | 495,27 | 86,44  | 73,37  | 0,6 | 4127,35  | 208,2   | 197,25 | 1715,03 |
| TekkKilesi6a       | TK6a   | 1 | 2 | 166,09 | 123,35 | 42,8   | 43,93  | 0,5 | 4445,18  | 196,6   | 189,72 | 1695,47 |
| TekkKilesi7b       | TK7b   | 1 | 2 | 169,05 | 136,2  | 33,09  | 83,12  | 0,5 | 820,78   | 71,4    | 596,56 | 2743,96 |
| Yeniköy3c          | Yen3c  | 1 | 2 | 283,54 | 233,09 | 50,46  | 53,76  | 0,6 | 3268,55  | 107,01  | 157,17 | 1727,68 |

|                   |         |   |   |         |         |        |        |     |          |        |        |         |
|-------------------|---------|---|---|---------|---------|--------|--------|-----|----------|--------|--------|---------|
| Yeniköy5c         | Yen5c   | 1 | 2 | 335,71  | 265,81  | 70,13  | 64,18  | 0,7 | 2114,59  | 102,34 | 230,04 | 1250,14 |
| RocaVella4a       | RV4a    | 1 | 2 | 1369,9  | 1018,54 | 355,41 | 92,5   | 0,7 | 12888,02 | 646,99 | 48,82  | 332,33  |
| Ottan6b           | Ot6b    | 1 | 2 | 253,5   | 172,97  | 81,23  | 46,71  | 0,5 | 2080,1   | 155,16 | 369,28 | 1922,29 |
| Gardabani7a       | Gar7a   | 1 | 2 | 237,56  | 176,55  | 61,42  | 46,92  | 0,6 | 3098,88  | 173,12 | 222,98 | 1129,9  |
| Gardabani12a      | Gar12a  | 1 | 2 | 672,42  | 596,9   | 75,75  | 57,61  | 0,7 | 4791,06  | 204,09 | 121,68 | 1568,37 |
| Zhenvali103a      | Zhe103a | 1 | 2 | 199,13  | 159,02  | 40,38  | 48,65  | 0,7 | 4573,44  | 137,03 | 159,74 | 1975,28 |
| Ottan1c           | Ot1c    | 1 | 2 | 616,77  | 472,25  | 160,81 | 48,69  | 0,7 | 11822,08 | 255,33 | 55,29  | 1406,82 |
| Ottan4b           | Ot4b    | 1 | 2 | 222,96  | 170,37  | 53,58  | 41,57  | 0,5 | 1693,96  | 201,77 | 479,17 | 1407,4  |
| Farga2f           | Fa2f    | 1 | 2 | 1007,99 | 548,67  | 479,08 | 80,65  | 0,8 | 25815,14 | 222,62 | 21,25  | 270,13  |
| LaMarana2c        | Mar2c   | 1 | 2 | 1126,86 | 869,34  | 259,37 | 86,83  | 0,7 | 12366,75 | 489,23 | 39,92  | 615,21  |
| PicStLoup2b       | PSL2b   | 1 | 2 | 329,8   | 258,02  | 71,51  | 41,51  | 0,8 | 2397     | 181,68 | 165,9  | 1162,7  |
| PicStLoup3d       | PSL3d   | 1 | 2 | 221,1   | 178,9   | 43,66  | 54,07  | 0,6 | 4642,82  | 139,63 | 329,72 | 1460,74 |
| Gardabani1a       | Gar1a   | 1 | 2 | 348,66  | 290,69  | 57,22  | 70,63  | 0,5 | 4079,63  | 315,46 | 170,6  | 973,08  |
| Gardabani2b       | Gar2b   | 1 | 2 | 328,33  | 233,23  | 94,75  | 58,19  | 0,5 | 2798,62  | 179,81 | 450,3  | 1722,12 |
| Gardabani3a       | Gar3a   | 1 | 2 | 404,52  | 339,2   | 66,33  | 87,71  | 0,6 | 6717,15  | 216,35 | 149,15 | 1138,91 |
| Gardabani5a       | Gar5a   | 1 | 2 | 457,67  | 389,84  | 68,25  | 69,75  | 0,9 | 3833,68  | 267,61 | 170,05 | 1187,19 |
| Gardabani6a       | Gar6a   | 1 | 2 | 505,93  | 436,08  | 70,66  | 57,78  | 0,9 | 2593,52  | 198,04 | 155,84 | 1501,42 |
| Gardabani10b      | Gar10b  | 1 | 2 | 328,8   | 250,57  | 78,55  | 53,26  | 0,7 | 4608,73  | 157,91 | 144,71 | 932,59  |
| Meneso1b          | Men1b   | 1 | 2 | 222,98  | 177,24  | 43,98  | 145,82 | 0,8 | 1922,25  | 125,62 | 474,13 | 2432,93 |
| Tsitsamuri1d      | Tsi1d   | 1 | 2 | 536,64  | 425,26  | 111,67 | 58,35  | 0,6 | 2128,98  | 167,87 | 320,42 | 1416,12 |
| Zhenvali01a       | Zhe01a  | 1 | 2 | 304,59  | 256,48  | 50,2   | 91,5   | 0,6 | 1966,91  | 103,06 | 306,52 | 2022,43 |
| Zhenvali102b      | Zhe102b | 1 | 2 | 183,78  | 146,32  | 37,54  | 57,82  | 0,5 | 2718,47  | 93,18  | 534,16 | 2090,49 |
| Yusufeli10c       | Yus10c  | 1 | 2 | 141,38  | 105,42  | 36,02  | 67,5   | 0,5 | 908,84   | 115,35 | 685,23 | 2682,04 |
| Yusufeli10d       | Yus10d  | 1 | 2 | 310,7   | 247,7   | 62,97  | 70,86  | 0,6 | 2981,65  | 178,49 | 349,78 | 2006,71 |
| MoulayBouazza2e   | MB2e    | 1 | 2 | 1011,08 | 911,34  | 97,08  | 81,07  | 0,7 | 13990,25 | 265,08 | 36,7   | 836,29  |
| Gökçeada2d        | Gök2d   | 1 | 2 | 419,54  | 337,87  | 81,66  | 83,25  | 0,7 | 10849,33 | 521,7  | 88,28  | 729,76  |
| Gökçeada6b        | Gök6b   | 1 | 2 | 189,21  | 150,45  | 38,66  | 37,53  | 0,7 | 5758,54  | 173,2  | 144,29 | 932,04  |
| Gökçeada6c        | Gök6c   | 1 | 2 | 443,33  | 380,91  | 62,39  | 88,19  | 0,8 | 8777,89  | 266,77 | 105,02 | 1077,38 |
| Carignan1a        | Car1a   | 2 | 1 | 540,31  | 380,98  | 82,47  | 33,1   | 0,6 | 2948,62  | 347,46 | 86,84  | 1609,4  |
| Vermantino2a      | Verm2a  | 2 | 1 | 1008,21 | 915,29  | 71,8   | 36,32  | 0,6 | 2577,26  | 113,59 | 89,67  | 5063    |
| Grenacheblanc1b   | GB1b    | 2 | 1 | 1172,3  | 973,07  | 223,76 | 42,08  | 0,6 | 3282,38  | 735,66 | 100,56 | 1154,99 |
| Viognier1c        | Vio1c   | 2 | 1 | 930     | 842,79  | 122,61 | 96,78  | 0,7 | 5660,31  | 409,31 | 85,37  | 2209,38 |
| Aramon1a          | Ar1a    | 2 | 1 | 689,87  | 630,79  | 59,15  | 38,62  | 0,7 | 2637,59  | 183,4  | 101,68 | 1294,43 |
| Aramon1b          | Ar1b    | 2 | 1 | 1328,61 | 1152,68 | 175,65 | 64,13  | 0,5 | 4999,61  | 170,76 | 57,84  | 1339,14 |
| Aramon1c          | Ar1c    | 2 | 1 | 1930,32 | 1525,05 | 405,13 | 91,83  | 0,9 | 3687,05  | 329,98 | 52,52  | 747,5   |
| Cabernet-Sauv.1a  | CS1a    | 2 | 1 | 429,07  | 388,62  | 40,37  | 37,89  | 0,7 | 3461,23  | 90,22  | 154,63 | 1759,12 |
| Carignan2a        | Car2a   | 2 | 1 | 663,87  | 593,38  | 70,53  | 72,74  | 0,7 | 3675,41  | 230,3  | 92,85  | 921,33  |
| Chasselas1a       | Cha1a   | 2 | 1 | 722,69  | 625,81  | 96,89  | 55,57  | 0,7 | 4157,27  | 256,98 | 116,87 | 1150,66 |
| Chenanson1a       | Che1a   | 2 | 1 | 349,81  | 287,11  | 62,67  | 30,64  | 0,7 | 2940,41  | 68,83  | 129,19 | 2414,75 |
| Cinsault1a        | Cin1a   | 2 | 1 | 208,34  | 139,84  | 68,52  | 32,4   | 0,6 | 982,13   | 71,3   | 384,48 | 2774,33 |
| Clairette1a       | Clai1a  | 2 | 1 | 898,17  | 815,02  | 83,23  | 45,57  | 0,6 | 4433,31  | 328,93 | 80,8   | 770,8   |
| DattierBeyrouth1a | DB1a    | 2 | 1 | 538,59  | 463,58  | 74,99  | 39,81  | 0,7 | 2844,53  | 153,19 | 153,29 | 1656,2  |
| GrenacheBlanc2a   | GB2a    | 2 | 1 | 548,46  | 467,83  | 80,67  | 36,09  | 0,6 | 2602,36  | 101,92 | 125,64 | 1877,83 |
| GrenacheNoir1a    | GN1a    | 2 | 1 | 651,24  | 562,6   | 88,72  | 38,54  | 0,6 | 2975,33  | 94,74  | 110,07 | 1661,55 |
| Merlot1a          | Mer1a   | 2 | 1 | 378,73  | 333,87  | 44,61  | 54,6   | 0,6 | 2550,67  | 185,09 | 161,5  | 1518,11 |

|                        |         |   |   |         |         |        |        |     |          |         |        |         |
|------------------------|---------|---|---|---------|---------|--------|--------|-----|----------|---------|--------|---------|
| Mourvèdre1a            | Mour1a  | 2 | 1 | 342,56  | 255,15  | 87,3   | 45,82  | 0,5 | 1558,62  | 150,22  | 205,01 | 1677,78 |
| MuscatAlexandrie1a     | MAI1a   | 2 | 1 | 880,13  | 801,07  | 78,79  | 46,03  | 0,7 | 6009,85  | 357,19  | 73,23  | 713,48  |
| Muscatpetitgrain1a     | Mpg1a   | 2 | 1 | 348,61  | 237,12  | 111,3  | 45,95  | 0,6 | 1855,26  | 97,76   | 267,15 | 1777,87 |
| Sauvignon1a            | Sauv1a  | 2 | 1 | 487,4   | 411,19  | 76,2   | 48,66  | 0,6 | 3649,46  | 183,69  | 100,99 | 1171,6  |
| Sauvignon1b            | Sauv1b  | 2 | 1 | 1094,95 | 883,35  | 210,93 | 67,08  | 0,6 | 6602,65  | 308,37  | 45,36  | 512,42  |
| Sauvignon1c            | Sauv1c  | 2 | 1 | 1213,53 | 1096,28 | 117,33 | 77,27  | 0,9 | 6513,52  | 530,46  | 40,81  | 1013,06 |
| Viognier1a             | Vio1a   | 2 | 1 | 554,08  | 478,76  | 75,24  | 40,61  | 0,6 | 2509,27  | 133,31  | 157,58 | 1079,91 |
| GouaisBlanc1a          | GouB1a  | 2 | 1 | 1283,33 | 1149,03 | 133,9  | 60,5   | 0,8 | 4894,18  | 68,2    | 54,84  | 2365,02 |
| Colombard1a            | Col1a   | 2 | 1 | 824,07  | 672,65  | 165,74 | 45,55  | 0,6 | 2722,72  | 214,31  | 95,31  | 789,04  |
| Riesling1a             | Rie1a   | 2 | 1 | 662,1   | 504,94  | 156,39 | 48,54  | 0,6 | 2135,48  | 95,66   | 160,55 | 2440,47 |
| Riesling2a             | Rie2a   | 2 | 1 | 448,24  | 379,68  | 68,64  | 45,41  | 0,6 | 2692,93  | 62,8    | 154,09 | 4015,76 |
| Sauvignon2a            | Sauv2a  | 2 | 1 | 516,28  | 452,96  | 63,28  | 55,17  | 0,7 | 2584,33  | 70,15   | 138,82 | 3557,47 |
| Dureza1a               | Dur1a   | 2 | 1 | 413,34  | 347,83  | 65,48  | 62,03  | 0,7 | 2744,62  | 58,76   | 127,22 | 2924,94 |
| Tibouren1a             | Tib1a   | 2 | 1 | 745,94  | 608,91  | 136,78 | 72,97  | 0,7 | 4326,4   | 74,51   | 73,32  | 1070,88 |
| Chasselas2a            | Cha2a   | 2 | 1 | 1198,5  | 1043,1  | 155,23 | 58,36  | 0,7 | 4628,95  | 346,07  | 47,93  | 620,07  |
| MondeuseBlanche1a      | MondB1a | 2 | 1 | 1180,56 | 1072,12 | 108,26 | 63,32  | 0,8 | 3237,32  | 114,95  | 67,28  | 1260,82 |
| Muscatpetitgrainrose1a | Mpgr1a  | 2 | 1 | 473,84  | 391,96  | 91,73  | 66,3   | 0,6 | 1074,16  | 46,6    | 204,61 | 1906,03 |
| SavagninBlanc1a        | Sav1a   | 2 | 1 | 1022,33 | 883,63  | 138,45 | 46,52  | 0,7 | 3855,22  | 120,43  | 54,91  | 1111,07 |
| PinotNoir1a            | PN1a    | 2 | 1 | 667,25  | 555,44  | 111,7  | 62,31  | 0,7 | 3969,59  | 56,01   | 64,22  | 1930,53 |
| PetitVerdot1a          | PV1a    | 2 | 1 | 681,9   | 599,06  | 82,35  | 67,44  | 0,6 | 4106,52  | 99,87   | 112,62 | 990,65  |
| CabernetFranc1a        | CabF1a  | 2 | 1 | 713,93  | 643,3   | 70,65  | 64,04  | 0,5 | 1887,48  | 64,17   | 101,17 | 2802,75 |
| Roussanne1a            | Rous1a  | 2 | 1 | 484,34  | 344,71  | 49,62  | 61,9   | 0,7 | 3811,02  | 152,85  | 86,2   | 1391,66 |
| Syrah3a                | Sy3a    | 2 | 1 | 835,9   | 754,78  | 81,22  | 54,04  | 0,9 | 4742,6   | 178,29  | 63,72  | 1620,32 |
| UgniBlanc1a            | Ugni1a  | 2 | 1 | 909,4   | 821,28  | 88,01  | 49,95  | 0,7 | 2769,52  | 40,59   | 82,4   | 1869,84 |
| PiquepoulBlanc1a       | Piq1a   | 2 | 1 | 731,73  | 653,63  | 78,23  | 50,4   | 0,6 | 3541,34  | 64,7    | 83,48  | 1599,28 |
| PiquepoulBlanc2a       | Piq2a   | 2 | 1 | 1392,7  | 1280,9  | 111,95 | 70,09  | 0,7 | 2765,66  | 133,04  | 59,56  | 1455,18 |
| Cinsault2a             | Cin2a   | 2 | 1 | 693,88  | 631,88  | 61,76  | 56,48  | 0,7 | 5391,52  | 92,2    | 71     | 2277,38 |
| GrenacheNoir2a         | GN2a    | 2 | 1 | 915,32  | 779,18  | 135,81 | 63,31  | 0,5 | 5692,54  | 618,6   | 54,1   | 662,13  |
| Syrah1b                | Sy1b    | 2 | 2 | 384,22  | 246,95  | 133,8  | 80,73  | 0,9 | 883,51   | 130,47  | 280,8  | 785,74  |
| Vermantino1a           | Verm1a  | 2 | 2 | 1033,98 | 793,04  | 268,73 | 69     | 0,8 | 2295,95  | 508,95  | 206,14 | 644,81  |
| Chasselas1d            | Cha1d   | 2 | 2 | 330,44  | 203,50  | 126,83 | 186,80 | 0,8 | 1736,35  | 143,55  | 283,68 | 979,09  |
| Chasselas1dBis         | Cha1dB  | 2 | 2 | 228,27  | 158,42  | 69,81  | 165,58 | 0,7 | 1008,53  | 181,16  | 378,79 | 1458,11 |
| Chenanson1d            | Che1d   | 2 | 2 | 365,88  | 257,08  | 108,69 | 86     | 0,6 | 2583,04  | 340,65  | 192,24 | 1174,72 |
| Chenanson1dBis         | Che1dB  | 2 | 2 | 467,03  | 304,92  | 162,13 | 72,94  | 0,6 | 5158,35  | 223,84  | 153,4  | 966,84  |
| Viognier1e             | Vio1e   | 2 | 2 | 678,7   | 447,3   | 231,3  | 109,08 | 0,8 | 5394,05  | 239,89  | 85,91  | 504,18  |
| Viognier1eBis          | Vio1eB  | 2 | 2 | 489,53  | 301,56  | 188,06 | 101,66 | 0,8 | 4573,72  | 96,32   | 111,8  | 660,21  |
| Carignan1e             | Car1e   | 2 | 2 | 749,48  | 360,70  | 388,69 | 141,52 | 0,8 | 190,39   | 80,47   | 137,71 | 396,84  |
| GrenacheBlanc1e        | GB1e    | 2 | 2 | 1052,50 | 700,15  | 352,32 | 124,93 | 0,9 | 15112,40 | 1036,11 | 38,91  | 269,50  |
| GrenacheNoir1d         | GN1d    | 2 | 2 | 508,05  | 376,98  | 131,02 | 109,85 | 0,9 | 5700,36  | 484,42  | 98,20  | 445,05  |
| Clairette2a            | Clai2a  | 2 | 2 | 447,04  | 307,06  | 139,85 | 104,68 | 0,7 | 3674,54  | 375,74  | 102,76 | 562,45  |
| Cinsault1d             | Cin1d   | 2 | 2 | 482     | 359,71  | 122,14 | 84,71  | 0,7 | 3275,06  | 339,43  | 135,59 | 835,21  |
| Merlot1d               | Mer1d   | 2 | 2 | 1269,70 | 839,06  | 430,77 | 72,49  | 0,6 | 8368,14  | 1074,68 | 58,10  | 479,79  |
| Sauvignon1d            | Sauv1d  | 2 | 2 | 810,55  | 576,31  | 234,3  | 81,08  | 0,8 | 1592,31  | 351,87  | 208,48 | 541,41  |
| Aramon1e               | Ar1e    | 2 | 2 | 1727,14 | 1147,37 | 579,68 | 152,99 | 0,8 | 10990,03 | 770,29  | 38,63  | 168,55  |
| Montferrier1a          | Monf1a  |   |   | 579,68  | 491,57  | 88,09  | 36,02  | 0,6 | 8292,76  | 164,85  | 70,51  | 3350,87 |

|                           |          |  |  |         |         |        |        |     |          |         |        |         |
|---------------------------|----------|--|--|---------|---------|--------|--------|-----|----------|---------|--------|---------|
| Alès3a                    | Al3a     |  |  | 1198,47 | 1111,68 | 86,84  | 63,39  | 0,7 | 13625,48 | 129,88  | 45,3   | 1709,45 |
| Maruéjols1a               | Maru1a   |  |  | 542,01  | 478,11  | 63,69  | 47,45  | 0,9 | 9077,96  | 485,15  | 61,79  | 1864,72 |
| Générargues2a             | Gén2a    |  |  | 513,33  | 439,85  | 72,9   | 41,01  | 1   | 20886,24 | 218,1   | 31,63  | 1719,4  |
| StSébastienAigrefeuille1a | SSA1a    |  |  | 732,7   | 644,28  | 88,15  | 65,11  | 0,8 | 15285,51 | 186,53  | 40,45  | 1228,68 |
| Montferrier1b             | Monf1b   |  |  | 412,08  | 334,87  | 77,02  | 76,04  | 0,9 | 13950,7  | 226,33  | 102,11 | 1274,55 |
| Alès3b                    | Al3a     |  |  | 1295,22 | 1196,28 | 98,77  | 86,86  | 0,7 | 19106,57 | 162,48  | 28,24  | 1817,15 |
| Maruéjols1b               | Maru1b   |  |  | 798,86  | 677,2   | 121,37 | 93,24  | 0,9 | 25826,02 | 306,18  | 25,47  | 1319,33 |
| Générargues2b             | Gén2b    |  |  | 415,76  | 347,27  | 68,55  | 86,58  | 0,9 | 18456,02 | 173,26  | 68,54  | 1737,77 |
| StSébastienAigrefeuille1b | SSA1b    |  |  | 1330,84 | 1129,13 | 201,71 | 86,5   | 0,7 | 26174,23 | 271,15  | 20,2   | 1007,45 |
| Trèbes1a                  | Trè1a    |  |  | 431,63  | 329,57  | 102,01 | 36,28  | 0,5 | 3089     | 403,27  | 142,32 | 637,36  |
| Sauvian1b                 | Sau1b    |  |  | 2255,61 | 1735,58 | 520,13 | 106,07 | 0,6 | 20845,28 | 1530,9  | 18,31  | 88,5    |
| Sauvian1c                 | Sau1c    |  |  | 1967,48 | 1507,28 | 460,78 | 98,37  | 0,6 | 13611,25 | 1627,71 | 18,73  | 138,86  |
| Vignoles13a               | Vig13a   |  |  | 530,27  | 447,31  | 83,01  | 32,93  | 0,5 | 2505,48  | 237     | 130,08 | 757,29  |
| ValrosVigneBioaux1a       | VVB1a    |  |  | 1038,56 | 763,66  | 274,81 | 58,7   | 0,6 | 2830,39  | 336,25  | 96,89  | 436,08  |
| ValrosVigneBioaux1b       | VVB1b    |  |  | 603,77  | 435,43  | 168,23 | 41,5   | 0,6 | 2925,83  | 461,5   | 117,12 | 491,55  |
| ValrosVigneBioaux2a       | VVB2a    |  |  | 1075,81 | 692,84  | 382,57 | 86,79  | 0,8 | 4561,82  | 718,32  | 69,48  | 293,83  |
| ValrosVigneBioaux2b       | VVB2b    |  |  | 951,24  | 682,79  | 268,46 | 62,82  | 0,7 | 2701,66  | 196,7   | 81,73  | 799,57  |
| Tourbes1d                 | Tou1d    |  |  | 1214,75 | 758,98  | 455,97 | 56,04  | 0,8 | 3955,63  | 667,7   | 70,15  | 281,07  |
| Tourbes1e                 | Tou1e    |  |  | 1176,02 | 732,84  | 443,04 | 53,7   | 0,7 | 4745,98  | 291,41  | 69,9   | 321,71  |
| HotelDieu1b               | HD1b     |  |  | 1249,96 | 911,21  | 337,76 | 52,48  | 0,8 | 3059,09  | 417,99  | 60,78  | 356,43  |
| HotelDieu1c               | HD1c     |  |  | 852,12  | 589,12  | 262,56 | 60,22  | 0,6 | 1807,48  | 149,17  | 135,61 | 497,55  |
| Vignoles9_1c              | Vig9-1c  |  |  | 626,46  | 463,39  | 163,02 | 45,68  | 0,6 | 2370,74  | 146,25  | 129,76 | 969,62  |
| Vignoles9_1f              | Vig9-1f  |  |  | 481,74  | 396,39  | 85,33  | 32,11  | 0,8 | 2199,59  | 221,47  | 195,11 | 1323,8  |
| Vignoles9_1g              | Vig9-1g  |  |  | 646,22  | 518,03  | 127,77 | 42,07  | 0,7 | 2388,91  | 241,15  | 131,12 | 807,84  |
| Vignoles9_1h              | Vig9-1h  |  |  | 592,98  | 464,97  | 127,58 | 30,48  | 0,8 | 3263,08  | 203,58  | 117,6  | 917,04  |
| Vignoles9_1i              | Vig9-1i  |  |  | 309,99  | 249,94  | 60,11  | 16,61  | 0,6 | 2602,65  | 179,17  | 256,61 | 1446,61 |
| Vignoles9_1j              | Vig9-1j  |  |  | 755,19  | 582,65  | 172,33 | 42,31  | 0,8 | 3683,9   | 170,21  | 107,07 | 1219,16 |
| Vignoles9_1k              | Vig9-1k  |  |  | 664,34  | 509,27  | 154,94 | 44,82  | 0,7 | 2558,43  | 201,72  | 159,73 | 878,72  |
| Vignoles9_1m              | Vig9-1m  |  |  | 568,88  | 391,19  | 177,69 | 39,35  | 0,7 | 3379,49  | 261,05  | 157,66 | 909,45  |
| Vignoles9_1n              | Vig9-1n  |  |  | 354,95  | 298,42  | 56,62  | 17,44  | 0,7 | 2783,56  | 85,43   | 157,17 | 1480,94 |
| Vignoles9_1p              | Vig9-1p  |  |  | 476,93  | 382,48  | 94,61  | 29,46  | 0,8 | 2552,14  | 234,48  | 184,78 | 1269,42 |
| Vignoles9_1q              | Vig9-1q  |  |  | 476,19  | 366,08  | 110,27 | 58,39  | 0,8 | 2503,15  | 183,9   | 158,89 | 1154,81 |
| Vignoles9_1r              | Vig9-1r  |  |  | 585     | 480,33  | 104,11 | 33,63  | 0,9 | 3295,67  | 204,85  | 174,66 | 1199,5  |
| Vignoles9_1s              | Vig9-1s  |  |  | 413,27  | 317,59  | 96     | 31,93  | 0,7 | 2219,7   | 251,48  | 265,65 | 1180,03 |
| Vignoles9_1v              | Vig9-1v  |  |  | 495,31  | 417,84  | 77,33  | 43,91  | 0,7 | 2747,17  | 256,83  | 126,23 | 1022,17 |
| Vignoles9_1w              | Vig9-1w  |  |  | 421,79  | 336,36  | 85,3   | 24,2   | 0,7 | 2378,17  | 242,89  | 156,23 | 908,9   |
| Vignoles9_1x              | Vig9-1x  |  |  | 570,33  | 459,43  | 110,79 | 32,66  | 0,7 | 1809,09  | 102,41  | 178,67 | 1340,6  |
| Vignoles9_1y              | Vig9-1y  |  |  | 243,7   | 196,47  | 38,11  | 20,64  | 0,7 | 1922,28  | 124,38  | 241,91 | 1828,22 |
| Vignoles9_1aa             | Vig9-1aa |  |  | 664,95  | 565,89  | 99,21  | 32,73  | 0,7 | 4845,57  | 511,89  | 103,36 | 791,24  |
| Vignoles9_1bb             | Vig9-1bb |  |  | 415,5   | 339,27  | 75,97  | 28,08  | 0,5 | 2189,8   | 210,07  | 200,71 | 1296,32 |
| LattesStSauveur1a         | LSS1a    |  |  | 1320,82 | 1124,85 | 196,02 | 75,93  | 0,6 | 12680,08 | 948,97  | 29,02  | 327,14  |
| LattesStSauveur5a         | LSS5a    |  |  | 1040,84 | 923,71  | 116,89 | 39,14  | 0,6 | 4404,47  | 562,53  | 65,96  | 556,85  |
| LattesStSauveurC5         | LSSC5    |  |  | 978,14  | 846,77  | 131,29 | 43,07  | 0,6 | 6219,69  | 411,93  | 82,63  | 798,45  |
| LattesStSauveurD8         | LSSD8    |  |  | 796,92  | 677,6   | 119,46 | 76,43  | 0,5 | 2927,52  | 363,59  | 86,31  | 688,89  |
| LattesStSauveurD24        | LSSD24   |  |  | 865,59  | 777,86  | 87,62  | 59,16  | 0,6 | 6511,65  | 453,92  | 65,86  | 567,89  |

|                    |          |  |  |         |         |        |        |     |          |        |        |         |
|--------------------|----------|--|--|---------|---------|--------|--------|-----|----------|--------|--------|---------|
| LattesStSauveurAB1 | LSSAB1   |  |  | 564,37  | 497,21  | 67,31  | 67,63  | 0,5 | 6840,66  | 888,28 | 75,68  | 872,38  |
| Sauvian1d          | Sau1d    |  |  | 393,74  | 284,88  | 108,85 | 63,58  | 0,5 | 2492,69  | 359,15 | 204,27 | 834,13  |
| Sauvian1e          | Sau1e    |  |  | 674,95  | 552,41  | 122,5  | 56,03  | 0,6 | 4513,3   | 485,71 | 97,83  | 593,09  |
| Sauvian2a          | Sau2a    |  |  | 697,16  | 542,35  | 154,99 | 75,35  | 0,7 | 11648,87 | 426,98 | 50,08  | 393,76  |
| Cimiez1a           | Cim1a    |  |  | 849,93  | 566,69  | 283,12 | 94,87  | 0,7 | 13418,83 | 704,5  | 39,07  | 286,17  |
| Beynost1a          | Bey1a    |  |  | 611,38  | 447,71  | 163,52 | 91,78  | 0,7 | 10243,77 | 872,21 | 52,99  | 315,28  |
| LeGasquino1a       | Gas1a    |  |  | 629,07  | 484,35  | 144,62 | 95,51  | 0,7 | 8166,48  | 214,8  | 65,81  | 467,05  |
| LeGasquino1b       | Gas1b    |  |  | 1054,84 | 795,42  | 259,3  | 95,32  | 0,8 | 11762,73 | 807,17 | 35,54  | 296,16  |
| LeGasquino2a       | Gas2a    |  |  | 1051,61 | 819,12  | 232,5  | 81,32  | 0,7 | 9610,85  | 384,85 | 45,97  | 441,45  |
| Valros-RecLigno1a  | VRL1a    |  |  | 750,1   | 568,91  | 181,02 | 72,4   | 0,8 | 3809,18  | 209,87 | 84,93  | 781,23  |
| GeorgesBesse1a     | GB1a     |  |  | 824,23  | 565,55  | 258,63 | 78,27  | 0,5 | 5754,13  | 625,94 | 61,21  | 320,12  |
| Tourbes1a          | Tou1a    |  |  | 650,56  | 463,22  | 187,28 | 60,74  | 0,6 | 10824,35 | 338,13 | 35,41  | 280,72  |
| Tourbes1b          | Tou1b    |  |  | 624,85  | 358,75  | 265,89 | 49,37  | 0,7 | 9114,78  | 400,41 | 54,1   | 410,73  |
| Tourbes1c          | Tou1c    |  |  | 787,29  | 537,11  | 250,22 | 61,7   | 0,8 | 6579,78  | 292,8  | 56,7   | 489,87  |
| HotelDieu1a        | HD1a     |  |  | 857,23  | 513,82  | 343,17 | 73,59  | 0,6 | 2809,66  | 311,24 | 108,86 | 299,39  |
| HotelDieu1d        | HD1d     |  |  | 768,64  | 469,7   | 298,74 | 77,76  | 0,6 | 2609,58  | 328,35 | 101,06 | 637,93  |
| Vignoles9_1e       | Vig9-1e  |  |  | 587,9   | 499,95  | 87,63  | 56,65  | 0,7 | 6735,93  | 184,57 | 81,56  | 772,25  |
| Vignoles9_1l       | Vig9-1l  |  |  | 445,05  | 354,15  | 90,58  | 37,22  | 0,7 | 4977,16  | 438,85 | 121,47 | 742,9   |
| Vignoles9_1o       | Vig9-1o  |  |  | 417,56  | 323,16  | 94,34  | 26,85  | 0,6 | 4461,4   | 267,9  | 125,24 | 1060,03 |
| Vignoles9_1t       | Vig9-1t  |  |  | 842,66  | 646,27  | 196,29 | 54,17  | 0,7 | 3375,51  | 213,66 | 117,02 | 1207,93 |
| Vignoles9_1u       | Vig9-1u  |  |  | 603,3   | 466,89  | 136,19 | 38,61  | 0,8 | 2435,63  | 189,53 | 132,88 | 889,43  |
| Vignoles9_1z       | Vig9-1z  |  |  | 270,21  | 197,24  | 72,98  | 31,2   | 0,6 | 7580,72  | 481,13 | 116,29 | 801,73  |
| Vignoles9_1cc      | Vig9-1cc |  |  | 651,04  | 504,64  | 146,31 | 38,14  | 0,6 | 6115,32  | 388,66 | 80,92  | 815,47  |
| LattesStSauveur2a  | LSS2a    |  |  | 396,5   | 280,14  | 116,54 | 55,26  | 0,5 | 4622,65  | 397,24 | 177,97 | 982,62  |
| LattesStSauveur3a  | LSS3a    |  |  | 458,63  | 299,52  | 158,93 | 32,54  | 0,5 | 8071,02  | 603,48 | 99,38  | 517,78  |
| LattesStSauveur4a  | LSS4a    |  |  | 1737,76 | 1213,65 | 524,2  | 180,36 | 0,9 | 15237,53 | 819,26 | 16,32  | 207,73  |
| LattesStSauveur4b  | LSS4b    |  |  | 1190,9  | 850,28  | 340,47 | 195,14 | 0,8 | 11922,71 | 349,4  | 31,53  | 323,48  |
| Hasard147          | Has147   |  |  | 398,13  | 284,48  | 113,64 | 100,62 | 0,8 | 15136,94 | 430,93 | 79,24  | 885,15  |
| Hasard175          | Has175   |  |  | 299,85  | 243,35  | 56,25  | 43,63  | 0,7 | 7539,64  | 149,88 | 173,93 | 2211,48 |
| Hasard202          | Has202   |  |  | 341,86  | 254,29  | 87,47  | 68,43  | 0,8 | 21435,48 | 318,7  | 67,93  | 1368,9  |
| Alba-la-Romaine1a  | AlRo1a   |  |  | 978,6   | 688,5   | 289,89 | 81,31  | 0,8 | 12161    | 667,5  | 65,88  | 626,6   |
| Alba-la-Romaine1b  | AlRo1b   |  |  | 706,46  | 533,32  | 172,98 | 82,14  | 0,6 | 32604,1  | 516    | 24,55  | 544,14  |
| Alba-la-Romaine1c  | AlRo1c   |  |  | 533,34  | 293,82  | 239,46 | 79,05  | 0,6 | 7505,46  | 616,25 | 88,47  | 744,17  |
| Alba-la-Romaine1g  | AlRo1g   |  |  | 11790,3 | 1032,9  | 146,1  | 105,6  | 1   | 28493,26 | 758,77 | 26,1   | 659,06  |
| Alba-la-Romaine1j  | AlRo1j   |  |  | 930,43  | 626,4   | 303,8  | 54,84  | 0,8 | 9480,08  | 320,03 | 155,51 | 1447,14 |
| Alba-la-Romaine1k  | AlRo1k   |  |  | 647,45  | 402,87  | 244,59 | 79,99  | 0,9 | 7960,3   | 318,95 | 111,72 | 984,27  |
| Alba-la-Romaine1n  | AlRo1n   |  |  | 688,30  | 524,10  | 164,25 | 86,09  | 0,8 | 26072,61 | 490,32 | 24,76  | 558,46  |
| Vignoles9_1d       | Vig9-1d  |  |  | 429,37  | 357,2   | 72,04  | 21,75  | 0   | 3240,04  | 277,69 | 132,45 | 1100    |
| Vignoles9_1a       | Vig9-1a  |  |  | 849,03  | 549,91  | 298,85 | 45,91  | 0   | 3186,39  | 433,36 | 89,23  | 515,52  |
| Vignoles9_1b       | Vig9-1b  |  |  | 570,81  | 402,57  | 167,96 | 38,35  | 0   | 5405,71  | 626,61 | 117,72 | 517,53  |
| Alba-la-Romaine1d  | AlRo1d   |  |  | 1498,25 | 931,71  | 566,38 | 78,02  | 0,9 | 18743,78 | 739,77 | 34,24  | 471,64  |
| Alba-la-Romaine1e  | AlRo1e   |  |  | 916     | 588,26  | 407,86 | 75,08  | 0,8 | 14262,55 | 638,09 | 43,18  | 583,11  |
| Alba-la-Romaine1f  | AlRo1f   |  |  | 1132,97 | 971,73  | 161,2  | 118,9  | 0   | 29187,54 | 426,33 | 30,22  | 763,87  |
| Alba-la-Romaine1h  | AlRo1h   |  |  | 2330,54 | 1846,62 | 483,75 | 65,44  | 0,8 | 18336,67 | 774,72 | 22,33  | 513,42  |
| Alba-la-Romaine1i  | AlRo1i   |  |  | 1502,86 | 862,77  | 640,34 | 86,39  | 0,9 | 16137    | 567,23 | 45,07  | 701,61  |

|                   |         |  |  |         |         |        |        |     |          |        |        |         |
|-------------------|---------|--|--|---------|---------|--------|--------|-----|----------|--------|--------|---------|
| Alba-la-Romaine1l | AlRo1l  |  |  | 1260,42 | 732,69  | 527,71 | 60,52  | 1   | 8018,35  | 593,92 | 51,82  | 555,75  |
| Alba-la-Romaine1m | AlRo1m  |  |  | 1193,73 | 805,86  | 387,98 | 64,69  | 1   | 13618,02 | 513,58 | 41,11  | 481,12  |
| Lespignan 1a      | Les1a   |  |  | 1370,73 | 1097    | 273,88 | 55,30  | 0,9 | 6951,78  | 851,11 | 53,37  | 194,46  |
| Lunel Viel 196    | LuVi196 |  |  | 650,69  | 528,83  | 121,78 | 64,65  | 0,6 | 2733,64  | 203,74 | 124,18 | 1286,66 |
| La Fajole 1a      | Faj1a   |  |  | 591,58  | 443,44  | 147,92 | 106,83 | 0,7 | 2268,69  | 316,67 | 151,72 | 920,17  |
| Beynost 1b        | Bey1b   |  |  | 1395,32 | 1111,54 | 284,44 | 67,90  | 0,7 | 8562,44  | 399,87 | 35     | 255,40  |
| Sauvian1a         | Sau1a   |  |  | 905,35  | 691,12  | 214,61 | 61,55  | 0,8 | 17304,01 | 527,47 | 43,63  | 335,28  |

**Annexe 6 : Poster présenté au Symposium de Morphométrie et Evolution des Formes (SMEF) à Dijon (France), Juin 2014.**



5ème Symposium de Morphométrie et d'Evolution des Formes, Dijon 2-3 juin 2014

## Documenter l'histoire de la viticulture à travers des approches bio-archéologiques : l'apport de l'éco-anatomie quantitative

L'histoire de la viticulture demeure encore énigmatique, en dépit d'un corpus important de données génétiques, biologiques et archéologiques, archéologiques et historiques permettant d'établir un modèle de développement, d'expansion et de diffusion de la viticulture et de la viniculture en France.

Parallèlement aux études déjà menées sur les pépins (archéobotanique et morphométrie) au Centre de Bio-Archéologie et d'Ecologie à Montpellier, une étude éco-anatomique quantitative appliquée au bois de vigne est développée. Cette approche empruntée à la biologie et à l'écologie visant à évaluer la réponse des éléments vasculaires du bois à des facteurs environnementaux et des contraintes développementales, est appliquée aux bois carbonisés (modernes et archéologiques).

Dans cette étude, nous tentons de montrer à partir d'une collection de référence que les pratiques culturales et le degré de maturation du bois (lié à l'âge) ont une influence significative sur la taille des éléments constitutifs du bois.

Enfin, des échantillons archéologiques sont analysés et comparés aux échantillons de référence. Sont-ils affiliés à la vigne sauvage ou à la vigne cultivée ? Sont-ils issus de bois mature (âge) ou de bois immature (sarments) ?

### Constitution d'une collection de référence de charbons de bois de vigne



*Vitis vinifera L. ssp. sylvestris*

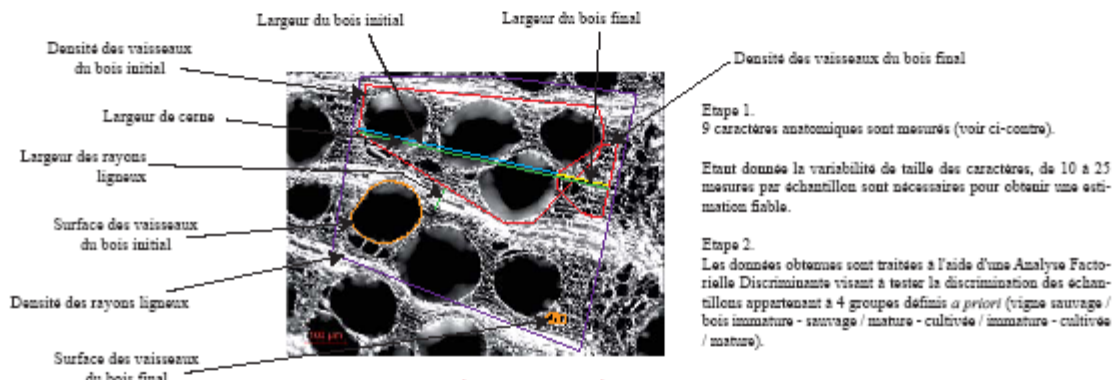
A partir de matériel prélevé sur la vigne sauvage (*Vitis vinifera L. ssp. sylvestris*) et la vigne cultivée (*V. ssp. vinifera*), nous avons procédé à la carbonisation, en atmosphère contrôlée, d'échantillons de bois aussi bien mature (bois âgé) qu'immature (bois jeune, sarment). La carbonisation est essentielle car elle va permettre la comparaison des échantillons archéologiques avec ceux de la collection de référence.

Les échantillons ont ensuite été étudiés et les caractères anatomiques mesurés sous microscope à réflexion connectée à une station d'analyse d'image.



*Vitis vinifera L. ssp. vinifera*

### Eco-anatomie quantitative : mesure de caractères du bois et traitement statistique des données

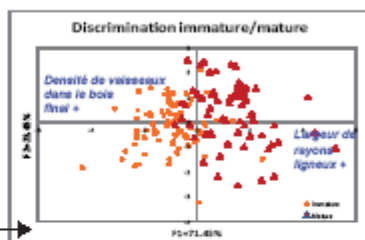
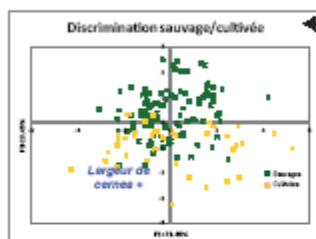


### Présentation des résultats

#### 1) La vigne moderne :

92,7 % des vignes sauvages sont bien classées *a posteriori* alors que seules 55 % des cultivées le sont. Cette transition sauvage / cultivée est expliquée par le caractère "largeur de cerne" et corrélativement par les caractères "largeur du bois initial" et "largeur du bois final". Les vignes cultivées sont donc caractérisées par une plus grande vigueur que les sauvages.

Quel que soit le statut sauvage ou cultivé, les échantillons de bois immature sont bien classés *a posteriori* à 80,2 % et les échantillons de bois mature à 83,7 %. Les échantillons de bois immature sont caractérisés par des rayons ligneux moins larges et une densité de vaisseaux dans le bois final plus élevée que les échantillons de bois mature. Fonctionnellement, le bois jeune privilégie la conduction de la sève / le bois plus âgé joue plutôt un rôle de soutien et de stockage de réserves.



#### 2) Le registre archéologique :

63 échantillons archéologiques provenant d'un site du Bronze ancien, de 9 sites antiques (période romaine) et de 2 sites médiévaux (tous languedociens), ont été analysés. Leurs attributs éco-anatomiques ont été comparés à ceux des échantillons modernes et affiliés à un des 4 groupes définis en fonction du statut (sauvage / cultivé) et du type de bois (immature / mature). Les premiers résultats montrent que la moitié des échantillons est attribuable à un groupe défini.

| Nombre d'échantillons | Classes prédites avec une probabilité > 0,75 |                  |                    |                  | Non attribuables |
|-----------------------|----------------------------------------------|------------------|--------------------|------------------|------------------|
|                       | sauvage / immature                           | cultivé / mature | cultivé / immature | sauvage / mature |                  |
| 25                    | 3                                            | 0                | 4                  | 3                | 35               |

Cette première étude est en accord avec les résultats de Bouby et al. (2013, *Plus One*) qui montrent l'importance de la vigne sauvage au sein des assemblages bio-archéologiques des établissements viticoles antiques. La vigne sauvage a pu être exploitée à des fins viticoles, en pépinière et en sélection variétale.

Ces résultats très préliminaires semblent indiquer l'existence de vigne cultivée à la période romaine dont le mode de conduite n'impliquerait pas une pratique soutenue de la taille (aucun bois immature de vigne cultivée révélé).

Bertrand Limier\*, Sarah Ivorra\*, Laurent Bouby\*, Isabel Figueiral\*, Lucie Chabal\*, Laurent Brémont\*, Jean-Frédéric Terral\*  
\* Centre de Bio-Archéologie et d'Ecologie, UMR 5059 CNRS/UM2/EPHE/INRAP, 163 rue Auguste Broussonet, 34 090 Montpellier  
^ Institut National de la Recherche Agronomique, 2 place Pierre Viala, 34 060 Montpellier

# ÉCOLE PRATIQUE DES HAUTES ÉTUDES SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE

## Titre du mémoire

**« Approche éco-anatomique du bois de vigne (*Vitis vinifera* L.) pour une meilleure connaissance de l'histoire de la viticulture en Méditerranée nord-occidentale ».**

**LIMIER Bertrand**

**23 Mai 2016**

**RÉSUMÉ :** Beaucoup d'énigmes subsistent quant à l'émergence et au développement de la viticulture et de la viniculture en Méditerranée nord-occidentale. L'existence de foyers de domestication indigènes, le rôle joué par les colons grecs et romains au contact des populations autochtones, ou bien le développement possible de vignes endémiques permettent d'établir un modèle de développement, d'expansion et de diffusion de la viticulture - viniculture en France. Malgré un corpus important de données génétiques, biologiques, archéologiques (sites viticoles, restes bio-archéologiques, traces de plantations) et historiques (textes et iconographie), des doutes persistent. L'émergence est-elle multi-locale ? La viticulture est-elle le fait de populations indigènes ou intervient-elle sous influence coloniale ? Quelle est l'origine (chronologique et géographique) de la viticulture ? Culture et domestication sont-elles synchrones ? A-t-on cultivé le sauvage avant la domestication ? Quels modes et quelles conduites de culture ont-ils prévalu ?

Le projet intitulé « Approche éco-anatomique du bois de vigne (*Vitis vinifera* L.) pour une meilleure connaissance de l'histoire de la viticulture en Méditerranée nord-occidentale » a tenté de répondre à ces questions. L'analyse de charbons de bois archéologiques, comparés à des charbons de bois de vignes actuelles sauvages et domestiquées, a offert l'opportunité de trouver des réponses, en mettant en relation les résultats éco-anatomiques et les données archéologiques, archéobiologiques, et génétiques.

Les résultats attendus ont porté sur (1) l'évaluation de la plasticité éco-anatomique de la vigne sauvage et de la vigne cultivée-domestiquée au regard des conditions environnementales et de culture, (2) la mise en évidence de caractères anatomiques quantitatifs discriminant la vigne sauvage de la vigne cultivée, (3) l'application des données éco-anatomiques de l'actuel dans le but d'identifier le statut (sauvage ou cultivé) des échantillons bio-archéologiques. Ces résultats ont permis de mieux cerner la datation des origines de la culture de la vigne et de mieux comprendre les modalités de culture (paramètres écologiques, pratiques culturelles).

**MOTS-CLÉS :** *Vitis vinifera* L., éco-anatomie, charbons de bois, domestication, viticulture, viniculture, Méditerranée nord-occidentale.

**ABSTRACT:** Many questions remain about the emergence and development of viticulture and wine production in the northwestern Mediterranean (concerning the existence of indigenous domestication centers, the role of the Greek and Roman settlers, the possible development of local vines) despite a significant body of genetic, biological, archaeological (winemaking sites, plant remains, plantation pits) and historical data (texts and iconography) allowing us to establish a model of development, expansion and spread of viticulture and wine production in France. Is the emergence multi-local? Is viticulture practiced by the indigenous populations or is it a result from colonial influence? What is the origin (time and location) of viticulture? Are cultivation and domestication synchronous? Were wild plants cultivated prior to domestication? What cultivation methods were used?

The analysis of archaeological charcoal, compared with reference material from modern wild vines and cultivars is at the basis of the project "Eco-anatomic approach wood vine (*Vitis vinifera* L.) aiming at a better understanding of the history of viticulture in the northwestern Mediterranean" and offering the opportunity of finding answers to our questions.

Or data assess the eco-anatomical plasticity of the wild and the cultivated vines under certain environmental and cultivation conditions and highlight quantitative anatomical characters discriminating wild vines from cultivated vines. This allows us to identify the status (wild or cultivated) of bio-archaeological samples, thus providing reliable information on the origins of vine cultivation and cultivation habits (ecological parameters farming practices).

**KEY WORDS:** *Vitis vinifera* L., eco-anatomy, charcoals, domestication, viticulture, wine production, northwestern Mediterranean