

Louis ALBERTINI

PLASTICITE ET SENSIBILITE DES PLANTES :
BOUTURAGE, GREFFAGE et ALLELOPATHIE en Agriculture
des origines à nos jours

Du même auteur :

*Agricultures méditerranéennes :
agronomie et paysages des origines à nos jours,*
Actes Sud, 2009.

*Essor de l'agriculture en al-Andalus (Ibérie arabe, Xe-XIVe siècle)
Performances des agronomes arabo-andalous,*
L'Harmattan, 2013.

*Apogée des jardins et maraîchages en al-Andalus (Ibérie arabe, Xe-XIVe siècle)
Nouveaux légumes, fruits et épices ; essor de la Cuisine arabo-andalouse,*
L'Harmattan, 2017. (**Prix Apicius 2018**)

à Marie,

Catherine, Lucie,

Pierre,

Xavier, Christine, Paul et Alice.

INTRODUCTION

Depuis le début de l'agriculture il ya douze mille ans, le paysan sédentarisé a progressivement appris à mettre en culture des plantes herbacées annuelles et vivaces ainsi que des plantes ligneuses, arbres et arbustes en se fondant sur leur comportement dans la nature. Ainsi a-t-il pu observer que la multiplication végétative, sous différentes formes comme le bouturage et le marcottage, est fréquente dans les conditions naturelles avant de se mettre à imiter la bienveillante nature et en arriver à innover en matière de bouturage par la mise au point de procédés que nous détaillerons. A-t-il pu encore, avec le temps, en arriver à greffer de différentes façons le greffon extrait d'une espèce végétale aux caractères agricoles intéressants sur un porte-greffe de la même espèce (franc issu de semis) pour améliorer quantitativement et qualitativement la production. Les deux premières parties de notre étude portent sur la multiplication végétative des plantes cultivées des origines à nos jours, la première partie étant consacrée au *bouturage au sens large*, la deuxième au *greffage*.

Plusieurs millénaires avant nous, les Chinois savent multiplier végétativement de nombreuses plantes cultivées, greffes comprises. En Grèce, Théophraste, botaniste du IV^e siècle avant notre ère, qui maîtrise bien le bouturage chez nombre d'espèces ainsi que le marcottage et le provignage de la vigne, a aussi déjà en main l'essentiel des procédés de greffage que l'on utilise aujourd'hui (en écusson, en fente, en couronne). A l'époque des poètes latins comme Lucrèce et Virgile soulignent l'intérêt bien compris du bouturage et de l'agrotechnie associés pour améliorer la qualité des productions arboricoles que le semis a, au contraire, tendance à dégrader ; tous deux soulignent que la nature respandit alors grâce aux interventions bienvenues de l'homme notamment en matière de bouturage. Chez les Romains, Caton (-II^e s.) pratique le bouturage pour multiplier les arbres fruitiers dont l'olivier. Pour la vigne, l'agronome andalou Columelle (+65), tout comme Caton, préfère au bouturage le marcottage qui produit des ceps de meilleure reprise et plus robustes, résistant donc mieux aux accidents climatiques. Columelle est en outre un expert de la greffe qui soutient que l'arbre greffé fructifie mieux que l'arbre bouturé. A l'époque, l'agronome Varron (-I^{er} s.) est le premier à relever l'influence du porte-greffe sur le greffon, influence que ses successeurs ne cesseront de retenir jusqu'à nos jours. Au Ve siècle, l'agronome latin Palladius *innove* en matière de bouturage et de greffage de l'olivier ; il note le puissant drageonnage racinaire à l'origine d'un grand nombre d'arbres à partir d'un seul olivier et effectue la greffe en fente sur bouture de porte-greffe (olivier ou oléastre) à la manière de la greffe actuelle de vigne sur table : Palladius est authentiquement un agronome moderne.

Dès la plus haute Antiquité, la quasi-totalité des plantes potagères herbacées sont multipliées par semis. Les Chinois et les Gréco-Romains en maîtrisent très tôt la phytotechnie dont la pratique de semis variés en fonction des espèces. Nous en ferons un utile rapport mettant en exergue leurs intérêts divers reconnus par les agronomes de l'époque. Outre le semis, quelques espèces font l'objet d'une multiplication végétative dont les aspects phytotechniques sont bien connus de Columelle, Plin^e l'Ancien, Palladius et surtout Théophraste : à titre d'exemples, le cardon type originel de l'artichaut est transplanté par oeillette, plusieurs oeillettes dont la patience le sont par drageons racinaires, l'asperge par rhizome ou griffe, la grande aunée par fragments de rhizome, et l'ail et l'échalote par caïeux.

Au Moyen Âge central, en al-Andalus (Ibérie arabe), à la faveur de l'effervescence culturelle qui s'observe entre le début du califat de Cordoue (premier tiers du Xe siècle) et la fin de l'époque almoravide (1145), l'agronomie arabo-andalouse va connaître un essor sans précédent en prélude à un âge d'or culinaire. Vergers, jardins et maraîchages se développent alors dans *une agriculture d'été florissante – inconnue jusqu'alors en Méditerranée occidentale* - grâce à l'installation d'une irrigation rationnelle d'inspiration mésopotamienne (Albertini, 2013, 2017). Cordoue est au début du

Xe siècle le joyau éclatant du monde qui brille à l'Ouest avec ses 70 bibliothèques dont la bibliothèque califale riche de quatre cent mille volumes grâce à un important apport d'ouvrages provenant de l'Orient arabe. Mais Cordoue ne brillera pas seule, en particulier en botanique et en agronomie, car avec l'éclatement du califat de Cordoue, en 1031, en 25 royaumes de Taifas, la décentralisation qui s'installe de fait va mettre en valeur d'autres centres urbains, comme Tolède, Séville et Grenade, rayonnants par leur richesse intellectuelle, leur artisanat et leur commerce. Arabes venus d'Orient, mais aussi Berbères maghrébins et autochtones Chrétiens et Juifs vont participer à cet essor.

Dans ce nouveau contexte favorable, l'expérimentation agronomique et la nouvelle agriculture irriguée permettant la production estivale vont connaître un essor jusqu'alors inégalé. Après que fut publié, en 961, le Calendrier de Cordoue écrit par Arib ben Sa'id au temps du premier calife Abd ar-Rahmân III, furent rédigés le Traité Agricole de l'Agronome Anonyme (fin Xe s.) et, à Tolède, le Recueil sur l'Agriculture d'Ibn Wâfid (mi-XIe s.). Il se constitua alors à Séville, aux XIe-XIIe siècles, une sorte d'Ecole Agronomique informelle, unique en son genre, au dynamisme et à la créativité extraordinaires car s'appuyant sur les potentialités agricoles et humaines du vaste territoire de l'Aljarafe ; c'est dans ce centre que seront expérimentées et acclimatées nombre de plantes introduites en al-Andalus comme le cotonnier, l'oranger amer, le bananier, le henné et maintes plantes maraichères. Les éminents agronomes sévillants Ibn Bassâl, Ibn Hajjâj, Abû l-Khayr (XIe s.) et Ibn al-'Awwâm (XIIe s.) nous renseignent des progrès agronomiques de l'époque par leurs ouvrages bien documentés ; notons en outre les précieuses observations de M. al-Tighnarî (début XIIe s.) de Grenade et, bien plus tard, de l'agronome et poète Ibn Luyûn (1348) d'Almeria. Tous ces savants, passionnés par l'observation de la nature, sont en outre des expérimentateurs, au sens scientifique du terme, et se conduisent déjà en hommes de la Renaissance plus de trois cents ans avant celle-ci. Et les avancées significatives en matière floristique et médicinale proposées par deux botanistes, l'Anonyme (XIIe s.) et Ibn Baytâr (XIIIe s.) doivent aussi être soulignées. Avec l'installation des Arabo-Berbères en al-Andalus, c'est en effet une *agriculture nouvelle* qui s'établit, fondée sur une recherche, une utilisation et une gestion rationnelles de l'eau permettant d'accroître très sensiblement la surface des cultures irriguées ou *regadio* ; sont installées différentes structures hydrauliques efficaces d'origine orientale : l'association *sanya*-puits très courante dans les maraichages andalousiens aux multiples récoltes annuelles ; les grandes *norias* actionnées par le courant des fleuves ; les imposantes galeries drainantes (*qanat/s* ; *khattara/s*) aptes à alimenter en eau villes, telles Madrid et Marrakech, et campagnes (oasis du Tafilalet). Le développement sans précédent de cette hydraulique agricole diversifiée va permettre l'installation et l'essor de l'agriculture d'été d'inspiration mésopotamienne, avec introduction et acclimatation de plantes tropicales déjà exploitées en Babylonie qu'elles soient d'origine mésopotamienne, indienne, extrême-orientale ou africaine : il s'agit d'une agriculture jardinée, particulièrement soignée et productive en raison de *la mise en pratique de savoir-faire agronomiques en matière notamment de phytotechnie (multiplication végétative), de travail du sol et de fumure*. Sont ainsi introduits en al-Andalus des arbres fruitiers comme les agrumes (cédratier, bigaradier, citronnier), l'abricotier, le pêcher, le grenadier, le pistachier, le mûrier blanc, nombre d'espèces maraichères telles l'aubergine et l'épinard, et des grandes cultures des régions chaudes : le riz, la canne à sucre, le cotonnier ; les cultures autochtones (vigne, olivier, et même blé et orge) traditionnellement « sèches » bénéficient de ces progrès dont l'irrigation. Pour bien maîtriser l'agrotechnie des espèces introduites, les agronomes andalous ont su, souvent à la demande d'autorités califales ou royales, installer des jardins modèles d'acclimatation et de production d'arbres fruitiers, de plants potagères orientales (aubergine, épinard, carotte rouge, chou-fleur, artichaut, échalote,...) et de plantes aromatiques telles le sfran et le cumin : citons le Potager du Roi de Tolède, le Jardin du Roi de Séville et la Huerta al-Sumâdihyya du souverain al-Sumâdih d'Almeria. En matière de multiplication végétative (bouturage, greffage), les agronomes d'al-Andalus vont s'appuyer sur les données de la tradition proche-orientale et byzantine (dont les écrits grecs de Vindonius Anatolius – Junius – de Beyrouth (IVe-Ve s.) et de Cassianus Bassus de Bithynie) et surtout sur le riche contenu du Livre de l'Agriculture Nabatéenne (ou mésopotamienne) traduit en arabe par Ibn Wahshiyya au début du Xe siècle. Dans son traité encyclopédique, Ibn al-'Awwâm, le plus tardif géoponicien (fin XIIe s.) de la grande période agronomique, cite près de quatre cents fois l'ouvrage

nabatéen et rapporte , entre autres, avec précision les données babyloniennes, byzantines et de ses prédécesseurs andalous concernant la multiplication végétative : branches éclatées, autres boutures dont plançons, marcottes enterrées ou aériennes, drageons...Les agronomes andalous font aussi des recommandations à propos de la disposition et de la conduite des pépinières aménagées pour recevoir toutes les formes de multiplication végétative sans omettre de souligner les périodes favorables d'intervention. A titre d'exemples, les plantes emblématiques d'al-Andalus que sont l'olivier, le figuier, la vigne et le cédratier feront l'objet d'un développement particulier.

Plus tard, des experts comme l'agronome Olivier de Serres (1600) et le jardinier du roi Louis XIV Jean-Baptiste de la Quintinie (1690) pratiqueront sagement les bouturages et le marcottage en sachant accorder le procédé approprié à la plasticité de chaque espèce herbacée ou vivace expérimentée. Quant au naturaliste Jean-Henri Fabre (1876), il saura montrer, sur nombre d'exemples tirés des différents procédés de la multiplication végétative, que la qualité de celle-ci dépend de l'initiation et du développement des *racines adventives* qu'il faut savoir conduire et protéger dans un environnement favorable. Nous achèverons cette **Première Partie** consacrée au *bouturage* en en faisant le *point actuel* : tous les procédés seront passés en revue en en soulignant l'intérêt et avec moult détails, avant de présenter finalement le progrès majeur accompli en la matière avec l'intervention récente de la *microbiotechnologie*.

La **Deuxième Partie** de l'ouvrage, consacrée à la *greffe végétale*, prend en compte le fait que la diversité des techniques actuellement proposées est déjà bien reconnue et appliquée dans l'Antiquité gréco-latine ! Théophraste, Caton, Varron et Columelle vont pratiquer le greffage avec compétence, ce dernier améliorant en particulier la qualité de son vignoble par utilisation de la greffe en fente, ancêtre de l'actuelle greffe anglaise qui sauva le vignoble français du phylloxéra. En naturaliste et encyclopédiste, Pline l'Ancien (+77) rapporte différents procédés de greffage, nouveaux à l'époque, notamment la greffe de végétaux domestiques sur racines de végétaux sauvages, le greffage avec renversement du greffon, et l'autogreffe. Et le grand intérêt que portent à la greffe Columelle et Pline se justifie, au premier siècle, par le grand développement de l'arboriculture fruitière et de la viticulture dans la péninsule italienne et l'empire romain. Palladius, plus tard, montrera une grande compétence technique, mais présentera cependant un panel de greffes hétérogènes plus que douteuses !

Au Moyen Âge central, les agronomes arabo-andalous se montreront des greffeurs de grande qualité, en sachant par exemple mettre en contact convenable les tissus conducteurs du porte-greffe et du greffon qui, par leur activité, finiront par se mettre en effective continuité, d'où la technique de taille en long biseau du porte greffe et du greffon lors du greffage en fente. Le sévillan Abû l-Khayr qui fut surnommé l'*arboriculteur* en raison de ses compétences en science fruitière considère le greffage comme *extraordinaire* en agriculture, avec des résultats rapides et merveilleux quant à la fructification. Ibn al-'Awwâm propose, pour sa part, un développement bien documenté sur le greffage en reprenant les données du *Livre de l'Agriculture Nabatéenne* et en s'appuyant sur l'expérience de ses prédécesseurs andalous ; sont proposées la greffe en couronne, en écusson, en flûte, la greffe par térébration, et même un greffe « aveugle ». Les greffes hétérogènes (greffon d'une espèce sur porte-greffe d'une espèce très différente ; ex.: olivier sur pistachier, figuier sur laurier rose) avalisées par Ibn Hajjâj et Abû l-Khayr sont parfois données comme « réussies » en raison d'une mauvaise interprétation des résultats par les auteurs.

A la Renaissance et plus tard, avec Dany (1540), O. de Serres (1600), Le Gendre (1662), Van der Groën (1669) et La Quintinie (1690), le greffage sous plusieurs formes voit son utilisation croître avec le développement de l'arboriculture en France et en Europe du Nord.

L'exposé du *problème phylloxérique* subi par le vignoble français et de sa résolution achèvera cette deuxième partie. La crise phylloxérique, commencée en 1863, fut dans son ensemble résolue dès le début du XXe siècle grâce au greffage généralisé des cépages de *Vitis vinifera* sur porte-greffes américains aux racines insensibles au puceron prédateur *Phylloxera* : tel est l'exemple particulièrement marquant de l'utilisation du greffage pour rendre vaine l'attaque d'un puceron radicicole qui aurait pu décimer la vigne noble ou, pour le moins, rendre sa culture très difficile à conduire.

La **Troisième Partie** s'intitule *l'allélopathie – histoire et intérêt en agriculture*. Dès la plus haute Antiquité, des naturalistes observent qu'une plante peut présenter un développement réduit ou amplifié lorsque elle se situe au voisinage d'une plante d'espèce différente ; cette antipathie ou sympathie entre plantes fut à l'époque la première manifestation de l'allélopathie telle qu'elle fut ressentie parmi les cultures mixtes et les rotations incluant les plantes adventices. Et après au moins deux millénaires d'observations d'interactions entre plantes avec leurs sympathies et antipathies, en 1937, le terme d'allélopathie fut créé par Molisch pour traduire tout effet direct ou indirect d'une plante sur une autre par le biais de substances favorables – allélopathie positive ou sympathie – ou toxiques – allélopathie négative ou antipathie -.

Les naturalistes gréco-latins font une large place au comportement sympathique ou antipathique des espèces végétales entre elle. Théophraste en décrit de multiples exemples comme celui du pois chiche, plante robuste, qui montre une forte antipathie vis-à-vis des herbes alentour dont la croix de Malte (*Tribulus terrestris*) rapidement détruite ; l'auteur met aussi en évidence le *compagnonnage* entre espèces, certaines espèces se conduisant en plantes nourricières pour d'autres ou les protégeant de méfaits. Les poètes ne sont pas en reste ; ainsi, Lucrèce fait remarquer que la répétition d'une culture sur le même sol devenu malade finit par déprimer les récoltes, ce qui conduit Virgile à souligner l'intérêt de la *rotation des cultures* comme la succession légumineuse- blé. Et pour sa part, Columelle conseille de planter une vigne dans une terre reposée (friche, jachère) plutôt que de l'installer dans un ancien vignoble au sol rendu toxique.

En Chine, dès la plus haute Antiquité, sont pratiquées la rotation des cultures et les *cultures mixtes* qui intensifient les productions en tirant le meilleur parti du sol. Dans la littérature chinoise ancienne (+IIIe s.), la plante emblématique de l'allélopathie a été le sésame à l'effet inhibiteur jugé remarquable sur la croissance des plantes adventices néfastes aux cultures ; en conséquence, le sésame a été utilisé pour faciliter, par un semis préalable sur des parcelles à reboiser, la plantation de sapins chinois (*Cunninghamia lanceolata*) ainsi soulagés de la concurrence de la végétation spontanée.

En Mésopotamie, le fait allélopathique est mis en évidence dans *le Livre de L'Agriculture Nabatéenne* qui, en fin d'Antiquité, recense entre plantes, nombre de sympathies (ex. : grenadier et olivier) et d'antipathies (chou et vigne ; bigaradier et rue). La sympathie et l'antipathie entre plantes et l'impact agronomique suscité passionnent ensuite les agronomes arabo-andalous, forts de leur héritage arabo-mésopotamien, à commencer par Ibn Wâfid. De nombreux exemples sont cités. Et c'est au total, l'apport de ces géoponiciens, bons observateurs et travaillant dans un contexte agrotechnique et culturel brillant qui apparaît, au cours du Moyen Âge, le plus important et le mieux maîtrisé.

Aux XVIIIe et XIXe siècles, les progrès concernant la croissance et le fonctionnement des plantes conduisent à une meilleure compréhension du phénomène allélopathique : l'activité de la racine et le rôle de ses excréments, la forte allélopathie négative du noyer sont mieux analysés, et avec A. P. de Candolle (au début du XIXe s.) est alors précisé l'intérêt de la rotation des cultures qui permet d'éviter l'intoxication et l'épuisement du sol par une culture annuelle à répétition excessive telle que le blé. A la fin du XIXe siècle, l'allélopathie connaît une avancée au départ grâce au travail expérimental, en arboriculture fruitière, de l'anglais P. Pickering qui, entre autres, montre l'effet négatif de la couverture herbeuse de graminées prairiales (dactyle, fléole,...) sur le développement du pommier et d'autres rosacées fruitières, en rendant responsable la toxicité du sol provoquée par les racines des plantes herbacées. Pickering ne tarde pas à être relayé par le Bureau des Sols américains où, sous l'impulsion de M. Whitney, s'écrit aux Etats-Unis un point d'histoire de l'allélopathie : dans la théorie de Whitney énoncée en cinq points dont l'un définit le *rôle positif de l'humus* sur les toxines racinaires, l'interaction des racines avec le sol qui contrôle en grande part la fertilité du sol permet de souligner fortement l'intérêt de la rotation des cultures prônée par de Candolle.

A partir des années 1960, les progrès de l'allélochimie et de la cytophysiologie végétale, à la base d'une analyse multifactorielle de l'allélopathie, vont permettre de mieux gérer l'intérêt agronomique de l'allélopathie. Seront pris en compte : les herbes nuisibles des cultures, les communautés de plantes dominées par les espèces pérennes, l'allélopathie du noyer, des arbres fruitiers et forestiers dont la

résistance collective d'arbres aux prédateurs, le compagnonnage d'espèces cultivées fondé sur les bénéfices réciproques, les cultures intercalaires, la bio-fumigation ainsi que les paillis protecteurs. Au total, une bonne *intégration de l'allélopathie*, bien analysée, à *l'agriculture* permettra sans nul doute, dans le futur, d'améliorer la phytotechnie des productions dans le cadre d'une *gestion biologique* aux intrants non toxiques réduits.

La **Quatrième Partie** de l'ouvrage traite de la *plasticité structurale* et de la *sensibilité fonctionnelle* de la plante. Est analysé, à différents niveaux, le comportement de la plante en rapport avec son anatomie. La plante est un organisme de taille toujours indéterminée dont les tiges et rameaux sont constitués d'une succession d'unités ou *phytomères* (un phytomère = un œil, un nœud, une feuille, un entre-nœud) sachant d'expérience que le phytomère est l'élément de base de la bouture, du greffon et du porte-greffe : c'est dire l'extrême *plasticité* de la partie aérienne de la plante que les agronomes ont pu retrouver chez la racine. Cette plasticité sera analysée comme le seront aussi les *mouvements de la plante sensible*, sa sensibilité au plan *chimique* et la *communication* entre plantes. Et bien que sans cerveau, les plantes ont une certaine capacité de « *mémorisation* » peut-être liée à un support de protéines spéciales (*prions*) et peuvent montrer une forme d'*intelligence* dont le support déconcentré pourrait être, selon Mancuso (2013), l'ensemble racinaire formulant ses décisions à la manière d'un réseau internet. En outre, n'oublions pas que les plantes ont à leur disposition toute une série de *ruses* et d'*astuces* de comportement qu'elles ont acquises notamment en liaison avec des insectes au cours d'une longue coévolution avec eux.

LA MULTIPLICATION VEGETATIVE (hors greffage)

La Multiplication Végétative dans l'Antiquité

L'histoire nous apprend que la multiplication végétative était connue des Chinois plus de 6000 ans avant notre ère comme en font foi les *Livres Sacrés* de l'époque (cf. L. Daniel, 1927) ; et les premières informations précises sur ce thème sont vraisemblablement celles du ministre chinois Feing-Lu qui, sous le pseudonyme de Pao Tscheou Kon, écrivit au -Ve siècle le *Livre précieux pour s'enrichir*, ouvrage où sont exposées les connaissances agricoles de son temps.

En Grèce, au -IVe siècle, Théophraste, philosophe et botaniste, nous renseigne sur diverses formes de multiplication végétative à partir de la racine, du rejet, d'une longue branche, du rameau, du tronc, de bois éclaté, sans omettre la graine et la régénération spontanée dont disposent les plantes sauvages (gland de chêne ; régénération par racine de l'églantier). A l'époque de Théophraste, le bouturage et le marcottage de sarments fertiles sont couramment pratiqués en Grèce pour la multiplication de la vigne, ainsi que le provignage, dérivé du marcottage, pour sa régénération-multiplication ; l'auteur note que « l'olivier se multiplie de toutes façons » tout comme le figuier et que « la reproduction par rejet [en plus de la multiplication par graines] est commune à toutes les espèces », le rejet ou rejeton étant une plante en devenir formée latéralement sur une tige à partir d'un bourgeon du collet que l'on détache et que l'on repique « avec à la base un fragment de souche ou au mieux des racines » : se prêtent bien au rejet, selon Théophraste, le laurier noble, le grenadier et le faux abricotier (*Prunus pseudoarmeniaca*) ; la palmier se multiplie bien par rejets qui « donnent au plus vite des sujets vigoureux ». L'auteur fait remarquer que « ne vient que de graine tout ce qui est conifère » tels le sapin, le pin noir, le pin d'Alep. Il souligne que les techniques de multiplication végétative conservent les bonnes caractéristiques agronomiques d'un type de plante, avec des fruits de qualité parfaitement constante, alors que les sujets nés de graines ou de noyaux sont de qualité inférieure ou peuvent même dégénérer : c'est le cas de la vigne au cep noble montrant une descendance « quelconque », de la poire « produisant un poirier sauvage détestable », de la pomme qui donne « une variété abâtardie, de douce devenue acide » et de « l'amande [qui] perd de sa saveur et devient dure de tendre qu'elle était » ; figuier, grenadier, laurier et myrte subissent, de graine, la même déconvenue. La fixité génétique des clones que défait la fécondation fructification – par brassage des gènes – est donc déjà entraperçue par Théophraste qui note encore que les caractéristiques pédo-climatiques favorables et l'agrotechnie permettent d'améliorer les qualités de plantes, sauvages au départ et issues de graines : tel est le cas de l'amandier bien soigné et libéré de sa gomme et du grenadier « amélioré par le fumier de porc et l'irrigation ».

Dans son ouvrage *De Re Rustica*, Caton l'Ancien (-234 , -149), agronome émérite, se montre très compétent en matière de bouturage et de marcottage. Il décrit avec précision les bouturages de l'olivier en distinguant le bouturage en place avec boutures de trois pieds (90 cm) de celui effectué en pépinière avec des boutures d'un pied (30 cm) que l'on enfonce, dans une bonne terre ameublie, à l'aide d'un maillet à un écartement d'un pied et demi, en faisant en sorte que les plants ne dépassent que d'un doigt le niveau du sol ; on aura soin de planter la bouture bien droite pour améliorer la reprise ; au bout de trois ans, ces dernières boutures développées et bien racinées sont mises en place dans l'olivieraie. Il s'étend aussi sur le marcottage qui semble avoir ses faveurs : « les rejets [de l'olivier] qui poussent au pied de l'arbre, couchez-les en terre, redressez leur extrémité, pour que la marcotte prenne racine. Deux ans après, déterrez et plantez ». Nombreux sont les arbres qui « se marcotent de souche » : figuier, olivier, vigne, grenadier, divers pommiers, laurier noble, myrte, noisetiers d'Avella et de Préneste, platane. Les arbres à « marcotter avec le plus de soin, il faut les marcotter dans des pots ou des banneaux au fond percé » permettant d'introduire un rameau avant de remplir de terre le pot, ou le banneau fait de bois ou d'osier ; le dispositif de ce *marcottage aérien* est laissé sur l'arbre pendant deux ans au terme desquels on incise le banneau ou l'on casse le pot pour récupérer la marcotte racinée à planter au verger. Caton n'omet pas de signaler la sorte de marcottage régénérateur qu'est le *provignage* des vieux ceps de vigne.

Savant aux compétences multiples et aux riches écrits, le latin Varron (-116, -27) est un fin observateur de l'agriculture italienne de son temps. L'auteur reconnaît quatre voies de multiplication chez les végétaux, « la voie de *nature* » et trois voies *artificielles*. La voie de nature c'est-à-dire les semences, l'homme peut l'*artificialiser* par ses observations et ses semis au champ. Le second mode de propagation, artificiel, se fait par « *transplantation d'une racine* toute formée d'un terrain dans un autre » ; pour lui, comme pour Théophraste, les époques favorables de transplantation de fragments racinaires aptes à drageonner sont le printemps lorsque le sol est pauvre, aride, argileux et dépourvu d'humidité naturelle, et l'automne en bonne et grasse terre qui serait trop humide au printemps. Le troisième mode est le *bouturage* d'un fragment de rameau fertile d'une plante « devenant plante elle-même » ; et enfin le quatrième, le *greffage* qui ne peut être qu'*homogène* (par exemple, un pommier aux fruits exquis sur un porte greffe - pommier rustique - bien adapté aux conditions édapho-climatiques). L'analyse et les conditions du bouturage sont considérées avec soin par Varron : choix de boutures bien formées aux bourgeons fertiles, délicatesse de leur manipulation, mise en terre quasi immédiate pour éviter que la sève ne se dessèche ; l'olivier, le grenadier, le figuier et la vigne sont, selon l'auteur, avantageusement multipliés par boutures. Les boutures bien conditionnées peuvent voyager ; mais lorsqu'on ne peut faire autrement, le voyage, par exemple, de types de figuiers d'outre-mer (de Chio, de Lydie, d'Afrique,...) vers l'Italie s'opère par le pis-aller que sont les semences de figes sèches.

A la même époque (Ier siècle avant notre ère), les poètes Lucrèce (*De la Nature*) et Virgile (*Les Géorgiques, L. II*) s'extasient des beautés de la nature et de l'amélioration que l'homme, par ses savoir-faire, peut apporter à la végétation et aux cultures. Lucrèce souligne « l'idée de confier aux branches des rejetons et de faire des boutures dans les champs... » ; il note qu'« on vit [alors] les fruits sauvages s'adoucir par la vertu d'une terre bien soignée et cultivée avec tendresse » ; et s'en suit que « moissons, riants vignobles s'étagèrent sur les collines et les plaines » et que « des oliviers se multipliaient sur les tertres » ; ainsi, « l'agrément » de la mise en place de « la variété de campagnes où les hommes disposaient de tant d'arbres aux doux fruits, ornement des champs, de tant d'arbres féconds qui leur servaient de clôture ». Après avoir fait remarquer que « la semence confiée à la terre » ne donne qu'arbre chétif, « fruits dégénérés » et vigne aux « mauvais raisins », Virgile, en poète-agronome, va dans le sens de Lucrèce en formulant que « les arbres exigent des soins » et qu'« on ne les dompte qu'à force de culture » après une multiplication par bouturage : « tronçons enfouis en terre » pour l'olivier, marcottes pour la vigne, « rameaux forts » pour le myrte, « rejetons » pour le « dur coudrier », le « frêne immense », le chêne et le palmier. Au total pour lui, grâce à l'intervention de l'homme en matière de bouturage et d'agrotechnie, la production agricole améliorée anoblit et fait resplendir la nature qui nous a été confiée, tout en confortant son utilité alimentaire.

Grand agronome latin du Ier siècle de notre ère, Columelle fut un tribun militaire en Syrie avant de revenir dans sa région, l'Andalousie, pour se vouer à sa passion, l'agriculture, sur sa vaste propriété près de Gadès. Selon René Martin (1971), il se place dans la tradition de Virgile, son maître à penser tant estimé. Il est, comme ce dernier, un écrivain engagé et, dans son ouvrage *De Re Rustica* (+65), il est le premier à dénoncer la faiblesse du mode d'exploitation due principalement aux sols déficients car manquant de soins et surtout au déficit humain par incompetence et absentéisme. Dans sa démarche agronomique, il s'appuie, d'une part, sur la théorie et le bon sens, et de l'autre, sur sa pratique personnelle et sur les résultats expérimentaux de ses prédécesseurs tels Hésiode, le carthaginois Magon, Théophraste, Caton, et de ses contemporains et familiers, comme son oncle paternel andalou, expert en viticulture -oenologie ; ce dernier lui a transmis la passion pour la vigne et il se montre expert viti-vinicole dans le long développement sur la vigne de son ouvrage. Columelle montre une compétence particulière sur les questions de greffage et soutient que l'arbre greffé fructifie en général mieux que l'arbre issu de bouture. Pour lui, il est cependant bien établi que la vigne se bouture très aisément et que les plants qui en sont issus répondent aux soins des hommes dans nombre de contrées « si l'on excepte les climats glacés ou brûlants » ; en régions tempérées, plaines et collines montrent des vignes « tant en terres maigres que grasses, sèches qu'humides ». Pour la plantation par boutures ou marcottes, avec l'aval de Caton et comme la plupart des viticulteurs latins, il préfère la marcotte à la bouture pour sa bonne reprise, même en terre dure, et pour sa

robustesse face aux aléas climatiques. Il pratique en outre le *provignage*, sorte de marcottage qui consiste non plus à coucher un sarment en terre, mais à coucher une vieille souche entière pour obtenir plusieurs nouveaux ceps racinés nés par un marcottage multiple de la vieille souche qui finit par pourrir. Columelle souligne qu'« un terrain médiocre et légèrement sec [bien travaillé à la houe] est le plus propre à former une pépinière » de marcottes et de boutures, sachant qu'un *jugerum* (25 ares) de pépinière reçoit 3200 boutures « choisies sur les sarments des ceps les plus féconds » de 4 ou 5 cultivars de vigne sélectionnés afin de composer ensuite un vignoble qui ne sera pas privé de vendange « si le temps est funeste à une espèce ».

En +77, Pline l'Ancien (+23, +79) achève son immense œuvre encyclopédique « *L'Histoire Naturelle* » en 37 livres traitant de tous les sujets de la nature dont notamment la zoologie et la botanique (comprenant l'agronomie et la foresterie) ; cette encyclopédie constituera pour les siècles qui suivront une référence incontournable. Dans le livre XVII, il traite longuement de la multiplication végétative des arbres et arbustes, en rassemblant les données de ses prédécesseurs – notamment Démocrite, Théophraste, Magon, Caton – et les observations qu'il a faites au cours de ses missions officielles dans le bassin méditerranéen et de son séjour en Campanie. Rien ne lui échappe et toutes les techniques de multiplication sont exposées avec nombre d'exemples : le *bouturage* à caractères variés concernant l'olivier, la vigne, le figuier, le laurier noble, le genévrier de Phénicie ou sabine, la *longue bouture* ou *branche cassée* (figuier, grenadier, myrte,...), le *marcottage* (châtaignier ; vigne avec en outre le *provignage*), « *la racine et le drageonnage* » (grenadier, noisetier, pommier, cerisier, prunier, sorbier, néflier, figuier, frêne, vigne,...) et le *rejeton* (orme, châtaignier, palmier). Pline se plaît à décrire, après Caton, le marcottage aérien « sophistiqué », « ingénieuse audace qui fait naître un arbre loin du sol ». Il insiste en outre sur la *multiplication de la vigne* par différents types de boutures : bouture prise dans une partie dure ou *crossette* ; bouture à *talon* particulièrement « vivace » ; bouture « trigemme » sans talon (« les gemmes rapprochées étant signe de fécondité ») : le plus avantageux est de les planter le jour même où on les prépare, et si on est amené à les conserver, éviter l'excès d'humidité ou la sévère sécheresse.

Palladius est le dernier des agronomes latins à avoir livré un traité complet d'agronomie *De Re Rustica*, rédigé entre 460 et 480, juste avant la chute de l'Empire romain d'Occident. Il s'appuie sur ses prédécesseurs gréco-latins et le carthaginois Magon, sa référence presque constante étant Columelle dont il apprécie la compétence, issue d'expériences, et la qualité de jugement. Concernant la vigne, il analyse en détail son bouturage et l'établissement d'une nouvelle parcelle de vignoble à la lumière des données techniques de Columelle. L'olivier est aussi, selon lui, multiplié aisément par boutures d'un pied et demi (45 cm) mises en pépinière, la transplantation en oliveraie s'opérant au bout de cinq ans lorsque les jeunes arbres « sont devenus forts ». L'auteur sait en outre d'observation que « les racines d'un seul olivier [sont capables] de donner par la suite un très grand nombre d'arbres » par une grande aptitude au drageonnage. Palladius détaille encore les différentes techniques et conditions édapho-climatiques ainsi que saisonnières du bouturage du caroubier, du mûrier, du cédratier, du néflier, du châtaignier, en spécifiant qu'outre le bouturage, le grenadier drageonne et le noisetier « vient mieux de plant et de rejetons ».

La multiplication végétative en al-Andalus (Ibérie arabe) au Moyen Âge central

Dans la deuxième moitié du XIIe siècle, l'agronome sévillan Ibn al-'Awwâm fournit, dans son encyclopédie *Le Livre de l'Agriculture*, un tableau assez complet de la multiplication végétative des plantes - telle qu'elle est pratiquée en al-Andalus -, en prenant en compte les acquis de ses prédécesseurs byzantins et orientaux, dont Vindonius (Junius) Anatolius de Beyrouth (IVe-Ve s.) auteur grec des *Collections Pratiques Agricoles*, Cassianus Bassus de Bythinie (VIe s.) avec ses *Geoponika* écrites en grec, l'oriental Kastos auteur d'un traité d'agriculture persane *Al-filâha al-farisiyya* écrit en langue arabe et Qûtâmâ qui, avec la collaboration de Sagrît et Yanbûchad, a écrit en syriaque *Le Livre de l'Agriculture Nabatéenne* (ou mésopotamienne) traduit en arabe (*Kitâb al-filâha al-nabatiyya*) par le savant babylonien Ibn Wahshiyya au début du Xe siècle. Pour la rédaction de son encyclopédie, ce dernier écrit est la référence essentielle dont s'inspire Ibn al-'Awwâm car il y trouve une mine de renseignements et d'innovations qui, à son sens, conviennent à l'agriculture d'al-Andalus dont les conditions environnementales sont assez comparables à celles de la Mésopotamie. Ibn al-'Awwâm se réfère aussi aux données intéressantes de ses prédécesseurs arabo-andalous, notamment de celles d'Ibn Bassâl, d'Ibn Hajjâj, d'Abû l-Khayr (XIe s.), et de M. al-Tighnârî (début du XIIe s.), tous agronomes de talent - ayant laissé des ouvrages remarquables - sans omettre de nous faire part des résultats de ses observations personnelles et des résultats de ses propres expériences dans nombre de domaines de l'agronomie. Aussi, aux XIe-XIIIe siècles, la multiplication végétative des plantes cultivées est bien maîtrisée des arboriculteurs et jardiniers, et notamment des agriculteurs morisques installés en Ibérie ; et ils le doivent en grande part au savoir des agronomes d'al-Andalus. Qu'on en juge.

La multiplication végétative chez les arbres fruitiers.

En s'appuyant notamment sur les données de l'oriental Junius et de l'andalou Ibn Hajjâj, Ibn al-'Awwâm souligne d'emblée qu'« on obtient toutes les espèces d'arbres, soit par des semis de noyaux pour ceux qui en produisent, soit par des pépins contenus dans leurs fruits... La reproduction se fait encore au moyen de *branches qu'on éclate*, ou bien qu'on coupe après les avoir choisies dans la partie la plus convenable. On multiplie encore les arbres au moyen de *boutures* » prises dans la partie utile de jeunes rameaux, ou de *plançons* (longues boutures de 0,8 mètre, parfois de un à deux mètres de longueur sur deux à cinq centimètres de diamètre ; ex. : peuplier, saule). « Un autre moyen est de prendre des *drageons* poussés sur les racines de certains arbres, ou dans leur voisinage, qu'on nomme *nawamî* ou *lawâb* ... qu'on choisit et qu'on enlève avec leurs racines pour les replanter dans un milieu où on les élève [enpépinière] ». En outre sont utilisés *le marcottage par couchage en terre* ou le *marcottage aérien*, la rhizogenèse de la branche s'effectuant alors « en entonnoir ou en pot ».

Multiplication par semences. Selon Ibn Bassâl repris par Ibn al-'Awwâm, « ce qui demande à être propagé de *graine* ou de *fruit* [noyau], c'est le noyer, l'amandier, le pêcher, le prunier, le pin à pignon, le cyprès, le sorbier domestique, l'abricotier, Kastos ajoutant le pistachier ». Junius et Ibn Hajjâj ajoutent qu'après deux ans de croissance des jeunes plants issus de semis, la transplantation est nécessaire pour que ceux-ci s'en trouvent mieux ; encore faudra-t-il sans tarder procéder à la greffe de bonnes variétés sur ces francs transplantés pour que soient obtenues des productions de qualité. Nous verrons plus loin que les arboriculteurs andalous maîtrisent bien les procédés de greffage et sont parfaitement conscients de leur intérêt.

Multiplication par boutures sensu lato. Ibn al-'Awwâm reprend les données de Junius de Beyrouth qui multiplie à partir de *branches éclatées* le pommier, le cerisier, le pistachier, le myrte, l'azérolier - Kastos ajoutant le néflier -, certaines de ces espèces *se marcottant*. Selon Junius, « sont multipliés de boutures ou de plançons, le figuier, le cédratier, le cognassier, l'olivier, le tamarix et le peuplier. Ces espèces, transplantées ensuite, ne s'en portent que mieux ». Suivant Ibn al-'Awwâm, chez les arbres à bois dur, tels le mûrier, le cognassier, l'olivier, le poirier, le cédratier, le grenadier et le myrte, il sera avantageux de choisir les boutures dans les branches lisses, au bois dur bien formé car alors leur enracinement sera meilleur. Chez les arbres à bois tendre, à savoir l'amandier, le pêcher et le prunier, à feuillaison précoce et à durée de vie courte, les boutures issues de leurs branches tendres

donneront des plants à fructification très convenables ; et l'auteur d'ajouter que la bouture de bois dur ou tendre doit autant que possible provenir d' « une branche épaisse [bien nourrie] d'une belle venue, qui ait déjà porté des fruits,..., pourvue de nœuds rapprochés, lisse de peau et exempte de tout défaut ». « Quant au *figuier*, arbre qui vit longtemps et dont le bois tendre s'écarte de la règle, il faut le propager au moyen de *branches tendres* » et non de plançons que l'air et la pluie affaiblissent en activant le pourrissement de leur moelle avec comme conséquence l'arrêt de la rhizogenèse.

Le marcottage. Le grand intérêt pour le marcottage de la vigne, Ibn Bassâl le partage avec ses prédécesseurs latins Caton et surtout l'andalou Columelle ; et selon Ibn Bassâl, non seulement la vigne mais aussi certains arbres fruitiers bien irrigués présentant des rameaux bas développés sont aisément marcottables dans le sillon d'irrigation proche, l'auteur citant en exemples l'olivier, le figuier, le grenadier, le cognassier, le pommier et le noisetier. Pour sa part, Ibn al-'Awwâm indique que pour marcotter un grand arbre comme le figuier, on éclate d'abord une longue branche « qui donne du fruit, sans la détacher entièrement du tronc » ; on la courbe jusqu'à ce que le sommet atteigne le sol, et on couche en terre la portion distale de la branche ; lorsque dans la partie enterrée du rameau, les racines adventives se sont développées, on procède à la séparation. Au dire des praticiens, ce procédé est très avantageux car on obtient un jeune plant donnant promptement du fruit.

Plantes propagées par rejetons, drageons et fragments de racines. Ibn al-'Awwâm conseille, en accord avec Solon, de multiplier par « rejetons et drageons l'amandier, le poirier, le mûrier, l'olivier, le cédratier, le cognassier et le myrte », arbres que nous avons vu être multipliables aussi par boutures ou plançons. En outre, la vigne, le saule et le pin peuvent être propagés à partir de fragments de racines « arrachés à la main ».

Pépinières de multiplication. La disposition et la conduite des pépinières installées pour recevoir boutures, plançons, branches éclatées, racines et drageons sont décrites avec précision par Ibn Hajjâj en s'appuyant sur les données de Junius (travail du sol, fumure, désherbage, disposition des néoplants « laissant entre eux la distance d'une coudée [45 cm] » ; les plants demeurés en place pendant trois ans sont ensuite transplantés au verger avec grand soin pour éviter de blesser les racines qui doivent conserver leur pralin de terre. Avec le soutien de Sidagos, de Junius et de Kastos, Ibn Hajjâj soutient que la plantation automnale est la meilleure, notamment au Sud d'al-Andalus : les sujets plantés profitent alors des pluies d'automne et de celles de l'hiver et du printemps suivants pour bien s'enraciner ; les plants tireront aussi avantage de soigneux labours en lignes rapprochées afin que la terre conserve et leur restitue l'eau des pluies, ou de l'irrigation quand la nécessité l'impose. Dans les régions où le froid hivernal est intense (surtout en montagne), la plantation commencera à la fin du printemps pour que l'enracinement puisse s'affirmer et réussir.

Multiplication végétative de la vigne et du cédratier pris comme exemples. Les généralités que nous venons de présenter sur la multiplication végétative pratiquée en al-Andalus demandent à être complétées par les résultats d'observations et d'expériences spécifiques concernant les arbres cultivés en cette région. Traditionnellement, l'olivier, le figuier et la vigne constituent le trio emblématique des cultures pérennes de la civilisation méditerranéenne reconnu tout autant par les agronomes de l'Antiquité gréco-latine que par ceux d'al-Andalus qui ont su en faire des productions d'excellence ; nous y adjoidrons le cédratier - originaire d'Inde - seul agrume anciennement connu en Méditerranée car importé en Grèce par les compagnons d'Alexandre le Grand au IV^e siècle avant notre ère, et dont les géoponiciens andalous vont développer la culture avec compétence. A titre d'exemple, nous avons choisi d'exposer l'agrotechnie de la multiplication de la vigne, très cultivée pour différents types de productions en al-Andalus, et du cédratier pour la rénovation de sa culture voulue par les andalousiens.

** *Multiplication de la vigne.* Lorsque les Arabes s'installent dans la péninsule Ibérique, les vignobles wisigothiques y sont répartis, tant près des côtes de Catalogne (Tarragone), du Levant (Sagonte) et d'Andalousie (Malaga, Jerez) qu'à l'intérieur des terres (Lerida, Pamplona, Valdepenas, Badajos,...). Sous l'impulsion des agronomes arabo-andalous, la viticulture progresse dans les zones tempérées du centre de l'Espagne avec l'implantation de crus variés de plateaux, de coteaux et de monts jusqu'à mille mètres d'altitude. Dans plusieurs régions et surtout dans le Sud, cette culture s'étend en parallèle ou en association avec celle de l'olivier. Plusieurs agronomes d'al-

Andalus expérimentent dans le domaine viticole. Ainsi, Ibn Hajjâj, en s'appuyant sur la pratique des vigneron de Tolède et de Séville, enrichit son enseignement en codifiant les techniques de taille et d'élagage et en se montrant particulièrement novateur dans la conduite des vignes basses. Plus tard, Ibn al-'Awwâm fera part de sa parfaite maîtrise de la technique de plantation de la vigne. Et Abû l-Khayr mérite bien, à propos de la vigne, son titre d'*arboriculteur* car sa grande compétence s'exerce admirablement dans la conduite de cette culture. Pour lui, dans une vigne bien exposée, on atteint la récolte optimale, tant en quantité qu'en qualité, en maintenant par différentes mesures culturales, telles que la taille hivernale, l'élimination des gourmands et de pousses mal dirigées, et une fumure modérée, l'équilibre physiologique de la plante en relation avec une orientation adéquate de la sève vers la fructification ; en revanche, une grande stimulation de la végétation, en terre profonde, trop riche et bien fumée, favorise gourmands, pampres ou sarments peu fructifères, et nuit par conséquent à la production.

Selon les agronomes andalous, la multiplication de la vigne peut s'effectuer de diverses façons : le semis, le bouturage, le marcottage, et le greffage d'une bonne variété sur une variété de moindre qualité. Le transfert d'une qualité ou classe de vigne d'une région à une autre se fait, selon Ibn Bassâl, au moyen de pépins de bon raisin mis à sécher (ou *pasas*) que l'on sème au mois de septembre en pépinière dans la région d'accueil en terre allégée, fumée avec un engrais bien décomposé et convenablement arrosée. Les jeunes ceps obtenus sont installés dans une jeune vigne au bout de deux ans ou sont l'objet d'un prélèvement de *greffons* au bout d'un an seulement. Pour sa part, Abû l-Khayr préfère à juste titre faire voyager les cépages sous la forme de *boutures à deux ou trois nœuds* enfoncés dans la terre humidifiée de pots de transfert en ne laissant hors de terre qu'un ou deux nœuds ; l'année suivante, les boutures racinées peuvent être mises définitivement en place dans le vignoble ou donner lieu à un prélèvement de greffons. Les *boutures à sept nœuds* rapprochés qui ont par conséquent un potentiel rhizogène accru, sont prélevées dans la partie médiane de sarments fertiles, à écorce claire, choisis sur des ceps bien venus âgés de quatre ans, selon M. al-Tighnari, ou mieux de six ans, pour Ibn Wâfid, les ceps trop âgés devant être écartés, d'après Ibn Hajjâj, à cause de « la perte de leur force attractive », autrement dit en raison de leur vitalité réduite. Abû l-Khayr présente la technique sévillane de plantation de boutures ; celle-ci s'effectue le jour même de son prélèvement, soit en pépinière, soit en place dans un trou de un à trois palmes (23 à 69 cm) de profondeur (en ne laissant dépasser au-dessus du sol qu'environ un palme de la bouture) dans une terre légère, sableuse, valorisant l'arrosage et donc favorable à la rhizogenèse à partir de nœuds rapprochés ; et si la terre est forte, lourde ou visqueuse, donc peu favorable à la vigne, on apportera du sable dans les fosses de plantation pour permettre une meilleure imbibition des boutures par l'eau d'arrosage et une expansion plus aisée des racines (cf. Ibn Bassâl). Et alors que Ibn al-'Awwâm s'appuie sur l'horticulteur latin Martial (+IIIe s.) pour planter boutures, chapons et branches éclatées de vigne quand la sève enfle et se porte vers la partie inférieure des boutures « pour produire les racines » c'est-à-dire au printemps, Ibn Hajjâj préconise la plantation automnale car avec les pluies d'hiver, l'enracinement se fait de façon satisfaisante avant la nouvelle campagne viticole ; et afin d'améliorer encore la rhizogenèse, Ibn Hajjâj conseille de disposer les boutures *inclinées* dans les fosses de plantation de sorte que le plus grand nombre d'yeux initient des racines. Au bout de deux ans, les jeunes plants, obtenus de boutures plantées en pépinière, sont installés à l'automne dans les vignes en formation ou conversion. La vigne en *treille élevée* ou en *hautain*, soutenue par des arbres alignés, qui avait retenu l'attention de Pliny l'Ancien, intéresse aussi les géoponiciens andalous. Pour former de tels dispositifs, on peut, selon Ibn al-'Awwâm, planter à l'automne soit des boutures de deux coudées (92 cm), soit, mieux, de jeunes plants de vigne racinés issus de pépinière, en laissant entre eux un espace de sept pieds (environ 2,5 m). Les arbres destinés à porter en hauteur les sarments de la vigne, disposés dans les intervalles, sont, tels le grenadier, le pommier ou le cognassier, de préférence à faible enracinement et, de ce fait, concurrencent le moins possible la vigne à profondes racines. Lorsque l'espace entre deux ceps est plus important, on se satisfait de l'olivier ou, mieux, du figuier qui, malgré son enracinement souvent puissant, favorise le développement de la vigne haute. L'espace séparant deux lignes d'arbres porteurs de ceps est en général de 20 pieds soit 7 mètres. De son côté, Abû l-Khayr apprécie les treilles

hautement échalassées de 30 pieds d'élévation, « généreuses » et aux arbres de qualité, car, pour lui, plus la treille est élevée, meilleure sera la vendange tant en quantité qu'en qualité.

Nous savons, dès l'Antiquité gréco-latine, que la vigne se prête aisément au *marcottage* que ce soit pour remplacer un cep mal venu au voisinage du cep objet de marcotte ou que ce soit pour l'obtention de plants racinés à transporter dans un vignoble en création. Selon Ibn Bassâl, le sarment fertile est recourbé de sorte que sa partie médiane soit enfouie dans la terre pour permettre la rhizogenèse à partir des nœuds ainsi enterrés ; alimentée par la plante-mère, la marcotte vigoureuse et bien racinée, en est séparée au bout de deux ans à l'automne pour mener sa vie autonome. Abû l-Khayr précise que la marcotte est déchaussée, séparée de son cep et transplantée racinée dans un trou de quatre palmes de profondeur (92 cm), de trois palmes de longueur (69 cm) et de deux palmes de largeur (46 cm). Un premier labour est effectué 15 jours après la plantation, puis le sol est superficiellement travaillé à plusieurs reprises pour éliminer les mauvaises herbes concurrentes et réduire l'évaporation de l'eau emmagasinée dans le sol. Ibn al-'Awwâm utilise la forme particulière de marcottage qu'est le *provignage*, pratiqué depuis l'Antiquité pour la régénération et la multiplication de la vigne par les gréco-latins (cf. Théophraste, Caton, Columelle) ; il s'agit alors de coucher de vieux ceps, notamment lorsque dans leur voisinage il y a de « grands vides » ; pour provigner, « on creuse une fosse de dimensions suffisantes pour recevoir [par couchage] le plant de vigne tout entier ... » en prenant bien soin de « n'endommager ni de couper la souche et les racines principales » qui sont « essentielles » pour la réussite de l'opération ; et « on laisse saillir les sarments utiles au-dessus du sol » dans l'orientation initialement choisie avant de ramener la terre sur l'ensemble du vieux cep. Les sarments ou « *provins* ne cessent alors de recevoir la sève nourricière de la souche-mère : ils croissent vigoureusement, donnent du fruit l'année même et, en très peu de temps, deviennent eux-mêmes des ceps, tandis que la souche-mère pourrit promptement ». Ce procédé d'emploi automnal s'applique aussi aux vignes montées.

****Multiplication du cédratier.** Agrume le plus sensible au froid et au vent du Nord, le cédratier a progressivement été mis en culture dès l'Antiquité dans les zones côtières bien exposées de la Méditerranée du Nord, en Grèce, en Italie, en Sardaigne et en Corse, car c'est le seul agrume au bouturage aisé. Théophraste en fait une description détaillée, reconnaît les qualités médicinales de son fruit tout en étant sensible à la beauté de son port, avant que le poète Virgile n'évoque « la pomme des Hespérides » en parlant du cédrat apte à soulager les vieillards asthmatiques et à parfumer l'haleine. Cependant, le cédratier avait été bien plus anciennement introduit dans l'Égypte des Pharaons, peut-être à l'époque des conquérants Ahmessides de la XVIII^e dynastie (vers 1590 av. J.-C.) en provenance des bords du Tigre et, au III^e siècle, il était couramment cultivé en Égypte et même en Haute-Égypte par les fellahs. En Ibérie, le cédratier est réintroduit par les Arabes dès leur plein établissement au IX^e siècle si bien que les premiers écrits agricoles d'al-Andalus, le Calendrier de Cordoue (961) et le livre de l'Agronome Anonyme (+Xe s.) en mentionnent bien la culture ; et les géoponiciens andalous de XI^e siècle en maîtrisent l'agrotechnie et notamment sa multiplication végétative. Abû l-Khayr et Ibn al-'Awwâm recensent plusieurs variétés de cédratier que Carabaza Bravo *et al.* (2004) trouvent correspondre aux variétés actuellement exploitées. Ainsi, le cédratier de Cordoue, au fruit gros et pointu, pourrait être l'actuel cultivar *Diamante*, la variété *qustî*, au fruit aromatique, grand, rond et lisse ne serait autre que la variété *Corsica* présente en Corse et en Sardaigne, et le cédrat chinois en forme d'aubergine et à la pulpe acide aisément segmentable, correspondrait à la variété moderne *sacrodactylis* de forme capricieuse et appréciée en Chine depuis très longtemps. Quant à la floraison, elle est, chez toutes ces variétés, échelonnée avec comme conséquence intéressante une récolte de cédrats étalée dans le temps : pour cette raison, le cédratier est actuellement dit « remontant ».

Ibn Bassâl qui note que le cédratier ne réussit point de branches éclatées, le multiplie par *boutures longues d'une coudée* (46 cm) et grosses comme un manche de pioche qu'il plante en pépinière au début du mois d'avril, la distance entre boutures étant de trois palmes (69 cm). Au bout de deux ans, la plantation définitive au berger se fait dans des trous amples aptes à recevoir le chevelu racinaire des jeunes plants avec son pralin de terre, en un sol gras ou en terre sableuse, humide, ou encore en sol souple et léger, sachant que la plante demande, selon l'auteur, un bon *marcotter* fumier « froid et

humide », comme l'engrais humain bien décomposé ou le mélange de crottes de chèvre et de colombine, et une irrigation abondante. Pour sa part, Abû al-Khayr préconise de le cédratier qu'il transplante deux ans après. Il conseille de protéger les jeunes plants du vent du Nord en les plantant près de murs en endroits exposés à l'Est et de séparer les plants de 4 à 5 coudées (environ 2 m) pour qu'adultes ils se protègent mutuellement en s'appuyant les uns sur les autres ; il souligne en outre que pourvu d'un fumier abondant, « le cédratier multiplie son fruit » qui se caractérise alors par une taille accrue, une douceur affirmée et une partie comestible charnue et tendre, ce que confirme Ibn Bassâl qui prévoit un système de mise en suspension de fumier émiété dans une eau d'arrosage à disposition des cédratiers en culture. Ce dernier multiplie aussi le cédratier par *semis* en pots remplis de terre noire réalisés en février ; un an après, chaque jeune plant est repiqué seul en un pot rempli de bonne terre surmontée d'une couche de sable « retenant l'humidité » et, deux ans plus tard, les jeunes arbres sont transplantés dans le lieu choisi quelle que soit la saison car ils sont déjà robustes [ces plants dont la qualité des fruits est parfois médiocre, peuvent alors servir de porte-greffes pour multiplier les bonnes variétés]. Quant à Ibn al-'Awwâm, il applique « utilement au cédratier le marcottage en pot » (aérien) décrit plus haut ; et il note en outre que le cédratier, tout comme l'oranger amer et le citronnier, produit des rejetons – particulièrement quand le tronc a été coupé – qui peuvent être marcottés par couchage ou en pot.

Multipliation végétative chez les plantes potagères en al-Andalus.

Les Arabes et les Berbères ont, d'une part, enrichi en innovations culturelles et en variétés, des espèces potagères anciennement cultivées en Ibérie, à savoir la laitue, l'endive, le chou, le cresson alénois, l'asperge, l'artichaut, la fève, la lentille, le pois chiche, le concombre, la courge, l'ail, l'oignon, le poireau, le radis noir et le navet, et, d'autre part, introduit dans les régions conquises nombre de plantes potagères jusqu'alors inconnues dans l'Occident méditerranéen : l'épinard, le chou-fleur, l'aubergine, le melon, la pastèque, la carotte rouge, la colocasie ou taro et le souchet comestible. La plupart de ces plantes sont multipliées par semences mais quelques-unes des espèces autochtones et introduites le sont par *voie végétative*, à savoir l'asperge, le cardon et l'artichaut, l'ail, la colocasie et le souchet comestible : ce sont ces dernières qui vont retenir notre attention.

En al-Andalus, l'exploitation de l'asperge a, selon Ibn al-'Awwâm, tiré bénéfice du savoir-faire phytotechnique importé des Mésopotamiens : « on la cultive dans les jardins où on la fait venir de plants (rhizomes ou griffes) ou de graines » semées en décembre ou janvier. Le Botaniste Anonyme et Ibn al-Baytâr identifient les deux *Cynara*, le cardon et l'artichaut vrai, ce dernier auteur attribuant à l'artichaut des qualités médicinales. A partir de capitules d'artichaut, Ibn Bassâl pratique en septembre un semis à la manière du semis de salade et effectue, en mars suivant, la transplantation en carreaux bien préparés, fumés et arrosés régulièrement, pour obtenir une récolte de *gros fruits* (vrais artichauts) au début du mois d'août ; cette culture va se poursuivre par *oeilletonnage* à partir des plants bien installés, pour compléter avantageusement la culture du cardon peu estimé parmi les légumes. Le *Calendrier de Cordoue* conseille de semer les gousses d'ail en décembre et de repiquer les jeunes plants en août. Abû l-Khayr qui fait l'inventaire des variétés d'aulx cultivés en al-Andalus, cite notamment l'ail rouge à grosse tête - nommé *muquachtanûlî* - importé de Mésopotamie dont on plante les gousses en janvier, les variétés précoces à caïeux étroits étant mis en terre en octobre. Selon Ibn Hajjâj, « on doit planter l'ail dans un terrain meuble qui a reçu plusieurs labours profonds » car les plants prennent alors de « l'ampleur et font de belles têtes ». La colocasie, encore appelée *taro* vrai, est une espèce vivace des milieux humides, très tôt connue dans l'Ancien Monde, que l'on cultive actuellement dans tous les pays intertropicaux pour son rhizome (encore appelé tubercule) comestible ressemblant à celui de l'iris. Le rhizome épaissi, à la chair de couleur crème à rose, riche en amidon, a, après cuisson et selon les variétés, un goût comparable à celui de la pomme de terre. Bien que présente en Espagne du Sud au premier siècle de notre ère puisque Columelle la connaît, la colocasie a été vraisemblablement réintroduite assez tard en al-Andalus puisque le premier agronome à en exposer la phytotechnie est Abû l-Khayr (XIe s.), sachant qu'elle ne se cultive bien qu'en climat chaud sur sol humide ; l'auteur retient son intérêt nutritif comme légume : « ses racines se mangent comme la viande, tout comme le navet ». Ses fragments de rhizomes sont plantés, espacés de quatre

palmes, de janvier à mars, au voisinage de courants d'eau et dans les sols marécageux, en des lieux ensoleillés et à l'abri des vents. La terre grasse et fumée lui convient. Quant à Ibn Luyûn (XIV^e s.), tout comme Abû l-Khayr, il souligne le bon développement du taro lorsqu'il est planté en terrains irrigués proches des habitations, et protégé du froid hivernal en recouvrant le sol de sable et de cailloutis. Quant au *souchet comestible* (*Cyperus esculentus*, *Cyperaceae*), encore appelé souchet tubéreux ou amande de terre, c'est une monocotylédone vivace. La plante émet des rhizomes grêles, épaissis çà et là en tubercules subglobuleux de la grosseur d'une noisette, de couleur jaune-brun pâle, marqués de zones annulaires. Ces petits tubercules produits en abondance dans le sol par des plantes en bonne végétation sont utilisés comme légumes pour leur saveur douce, sucrée, au goût de noisette et pour leur valeur nutritive reconnue des Egyptiens depuis l'Antiquité, suivis des Proche-Orientaux et des Arabes d'al-Andalus ; *ils sont capables de germer et servent à la multiplication de l'espèce*. De plus, l'huile de souchet (comparable à celle d'olive) est une denrée de très grande valeur : elle est stable, claire et ne rancit que fort difficilement (Bois, 1927). En provenance du Soudan et d'Egypte, le souchet comestible est très tôt cultivé en al-Andalus sous la dénomination de piment du Soudan (en arabe, *fulful al-sûdân*). Sa phytotechnie est bien connue d'Abû l-Khayr et d'Ibn Bassâl : ce dernier sème les tubercules comme on sème les fèves dans des carreaux au sol bien préparé et arrosé, sachant que la terre noire bien fumée, meuble et sableuse convient particulièrement au souchet. Selon Abû l-Khayr, les tubercules semés en avril et arrosés continuellement mais sans excès sont récoltés en octobre par un arrachage des pieds pourvus de leurs rhizomes et de leurs tubercules après un bon arrosage du sol destiné à faciliter l'opération d'extraction des plants.

La Multiplication végétative en France entre le XVI^e et le XX^e siècle

Après les apports des Gréco-Romains, confirmés et précisés par les Arabes d'al-Andalus, la multiplication végétative, notamment par bouturage *sensu lato* et marcottage, fut rationnellement pratiquée et améliorée au cours du temps en France, cependant sans découverte nouvelle, par les excellents experts que furent Olivier de Serres (1600), Jean-Baptiste de la Quintinie (1690) et le naturaliste Jean-Henri Fabre (1876). Ce n'est que récemment qu'un progrès majeur a été accompli avec l'intervention très efficace de la *microbiotechnologie* exposée plus loin.

Olivier de Serres (1539-1619) fonda sa propriété du Pradel, en Ardèche, qu'il développa et géra en agronome compétent en raison de sa grande intelligence, de son sens de l'observation de la nature et de sa volonté de faire progresser l'agriculture dans toutes ses composantes. Il introduisit en effet

des cultures telles que le maïs, la garance et le houblon dans son domaine et fut à la base du développement de la culture du mûrier pour la soie ; pour l'installation de la vigne, il sut évaluer le potentiel agronomique du terroir. Il fit progresser nombre de techniques employées dans la conduite de cultures arborées ou herbacées, leur transformation et leur conservation sans perdre de vue, en notable avisé, la qualité de vie des agriculteurs (ou mesnagers) et de leur famille soumis à un dur labeur qu'il se propose d'améliorer par de sages conseils et mesures. Son œuvre, « *Le Théâtre d'Agriculture et Mesnage des Champs* », parue en 1600, qui rapporte son œuvre et ses messages, fit rapidement référence et fut, entre 1603 et 2001, rééditée 26 fois. La notoriété du *Père de l'Agriculture française* se conserva donc avec le temps car, entre 1600 et le XIXe siècle, les connaissances agrotechniques développées dans son ouvrage, notamment en matière de bouturage et de greffage, qui n'avaient que très peu progressé, étaient globalement encore celles de son temps. Le bouturage au sens large des arbres fruitiers, des plantes potagères et ornementales le passionne. Concernant la vigne, il décrit en détail l'opération primordiale qu'est le *bouturage* et, selon lui, « c'est par *crocète* [=crossette], bouture munie à la base d'un segment lignifié de l'ancienne tige mère qu'on plante la vigne basse, défaillant [étant] le plant raciné » ; la crossette a en outre l'avantage de pouvoir voyager d'un pays à un autre, d'être manipulable sans altération et de pouvoir aisément se planter, en pépinière à vigne, dans un trou creusé à la taravelle (vis sans fin à bord tranchant), le haut de bouture hors sol étant de 8 à 10 cm ; « le meilleur sera de les replanter sur leur second an lorsque leur système racinaire se sera bien développé ... ». La *vigne haute*, treillée ou arbustive, « c'est la liberté du vigneron d'en tenir tant qu'il voudra les fosses ouvertes pour la planter : à cause qu'estant par rangées, loin les unes des autres, elles ne s'entrepressent nullement ». Le marcottage et le provignage intéressent fort O. de Serres : « le cep duquel on désire tirer de la race est *margotté* en tout ou en partie : c'est-à-dire à donner des margottes ou chevelues [du fait de la formation de plusieurs racines adventives]. Si c'est en tout, il couché en terre et là *provigné*, faisant servir toutes ses branches et icelles ressortir à l'aer ; si en partie, on se contente d'en prendre une ou plusieurs des mieux nourries , qu'on ploye et enfonce dans la terre, tant avant qu'on peut, demeurant la tête à découvert. Du bout des sarments ainsi couchés, sort sur terre deux ou trois oeils... ». « *Un bon mesnager ne souffrira aucun vide en sa vigne* ; ainsi la tiendra tous-jours remplie de ceps autant que le lieu le permettra » : d'où l'intérêt du provignage consistant chez l'auteur à coucher des vieux ceps de bons cépages, en provignage traditionnel, mais aussi des souches de moindre qualité, ainsi multipliées et rajeunies, que l'on améliore en qualité par greffage de bons cultivars.

Pour la multiplication des arbres fruitiers, O. de Serres utilise deux parcelles à fonction différente, la pépinière et la bastadière. Dans la pépinière, l'auteur *sème* essentiellement les *Rosaceae* à noyau ou à pépins en *quarreaux* séparés de longueur variable « mais seulement larges de 4 à 5 pieds [1,4 à 1,7 m] afin qu'on puisse atteindre avec la main le milieu de la planche pour sarcler, curer, cultiver les nouvelles plantes et arbrisseaux provenans des semences sans les fouler au pied ». Dans la bastadière, il plante les boutures des arbres à l'enracinement facile comme le cognassier, le grenadier, le noisetier ou le figuier ; dans la bastadière, les plantes-filles sont des clones de la plante-mère qui seront transplantées, bien racinées au bout de 3 à 5 ans, dans le verger en ayant conservé les qualités de celle-ci. Quant aux jeunes plants issus de semis, après 15-16 mois passés en pépinière, ils sont transplantés en bastardière pour se « fortifier » car disposés en moindre densité ; ces plantes sont des francs qui recevront des greffons de bonnes variétés dans la bastardière ou une fois disposés au verger ; l'auteur note que par la diversité des « réitérés entemens, les arbres parviennent à la perfection de bonté tant souhaitée pour la production des excellents fruicts ; même, par telle curiosité, les fruicts s'en diversifient et bigarrent avec utile et plaisante admiration ». Il indique encore que le caroubier, le laurier et le framboisier se multiplient par *rejetons* souvent émis en nombre et que le noisetier, le cerisier, le mûrier et le grenadier, qui rejettent facilement aussi, sont de bonnes plantes pour *tonnelles* de même que la vigne au bouturage aisé.

Olivier de Serres insiste aussi sur la culture des légumes en distinguant tout d'abord « les fruicts du *Jardin Potager d'Hyver* » avec le cardon et l'emblématique *artichaux* dont « les rejets enracinés » seront pris « au pied des vieux artichaux » pour être plantés « tous les mois de l'année, excepté les trops chauds et les trop froids ». Les pois sont semés en automne à lune vieille en évitant le semis en

poquet ; la fève, aussi à semis automnal, sera rognée à ses extrémités supérieures pour favoriser sa fructification de fin d'hiver et de printemps. Parmi les légumes du « Jardin Potager d'Eté », il sépare les plantes aisément transplantables telles que les *Allium*, les divers choux, les chicorées, les salades de celles qui le sont beaucoup moins comme les melons, les concombres, les courges,...Son intérêt se porte notamment sur le *sercifi* (ou salsifis) dont on sème la graine août et en mars pour en récolter la racine respectivement au printemps et en hiver. Il maîtrise bien aussi, comme les agronomes andalous, la culture de l'endive, « espèce de lactue », qu'il sème à lune vieille en juillet-août, qu'il transplante et enterre, par buttage, en hiver pour obtenir leur blanchiment.

Jean-Baptiste de la Quintinie (1626-1688), après avoir pendant neuf ans géré le potager créé par Louis XIV à Versailles en parallèle avec ceux du prince de Condé et de Mle de Montpensier, est nommé en 1670 par le roi, avec la caution de Colbert, « directeur des jardins fruitiers et potagers de toutes les maisons royales » avant d'entreprendre en 1678 la création du nouveau potager du roi à Versailles qu'il acheva en 1683. Il s'y investit avec un zèle immodéré et nota en introduction de son célèbre ouvrage intitulé « *Instruction pour les Jardins Fruitiers et Potagers* », paru après sa mort en 1690, « la pénétration incroyable avec laquelle [Sa Majesté] a d'abord entendu mes principes de la taille des arbres – matière jusqu'à présent assez vague et assez inconnue ». Le travail qu'il accomplit alors dans tous les domaines du jardinage, à la fois considérable, méthodique et du meilleur goût, satisfait pleinement le roi Louis XIV qui l'anoblit en 1687.

Si la taille des arbres, arbustes et lianes du jardin de Versailles fut une de ses activités maîtresses et sa passion, La Quintinie acquit aussi une grande compétence en matière de bouturage et de marcottage. Concernant le *bouturage*, il le pratique sur nombre d'espèce *ligneuses* comme le figuier, le cognassier, le groseillier, l'if, ou *herbacées* telles la giroflée jaune, plante vivace à vie brève, en prévenant que chaque espèce végétale doit répondre à une *spécificité technique* en matière de bouturage. Il assimile l'*oeillette* d'artichaut au *drageon* et note que les arbres greffés qui drageonnent trop, sont responsables de la pousse de nombre de « petits sauvageons tout autour de leurs pieds » : en effet, sont alors créés par drageons (ex. : prunier) de clones du porte-greffe (franc ou sauvage) et non la variété noble greffée. La Quintinie énonce que « *marcotte* et *marcotter* se disent de la vigne, des figuiers, des cognassiers, etc., auxquels en couchant des branches de ces arbres cinq ou six pouces avant dans la terre, elles y prennent racine, et cela s'appelle marcotter ; et pour lors, cette branche devenue enracinée et séparée de l'arbre auquel elle tenait, s'appelle marcotte et vers le Rhône une barbade, et est propre à faire un arbre de l'espèce dont elle est ». Il marcotte en outre des plantes *herbacées*, fleurs et surtout des oeillets en y faisant une petite entaille au-dessous d'un nœud [d'une tige], et remplissant cette fente d'un peu de terre fine et l'entourant toute de deux ou trois pouces de la même terre, soit dans un cornet de fer-blanc attaché en l'air [marcottage *aérien*] pour les branches qui sont trop hautes pour être couchées, soit en pleine terre, dans lesquels sont les pieds qui ont leurs branches assez basses ». Et La Quintinie de considérer que les arbres à planter, issus du bouturage ou du greffage, et les plantes herbacées, la plupart issues de semis, doivent être mis en place dans « un bon jardin fruitier et potager » répondant aux considérations qu'il prescrit. Ces considérations sont au nombre des sept : bonne terre, situation et exposition favorables, présence d'eau d'arrosage, faible pente, présentation générale agréable et « entrée bien placée », protection efficace par un haut mur, assez proche de la maison du maître.

Jean-Henri Fabre (1823-1915), mondialement connu pour ses *Souvenirs Entomologiques*, édités entre 1879 et 1907, et qui fut, à juste titre, désigné par Yves Delange « l'homme qui aimait les insectes », était un naturaliste de haute tenue qui admirait la nature dans son ensemble. Tout l'intéressait dans un milieu naturel, la qualité des roches et du sol, l'environnement climatique, bien entendu les insectes et leur comportement, la flore présente et ses rapports avec les insectes et autres animaux ; c'était un naturaliste complet, à la compétence ample et rigoureuse, qui aimait l'observation et l'expérimentation de terrain pour mieux comprendre le fonctionnement d'un écosystème (mot non encore utilisé à son époque) grâce à l'étude de ses composantes animales et végétales : c'était, avant l'heure, un grand environnementaliste. Après avoir été professeur de

physique au lycée d'Ajaccio (1849), il se passionne pour la botanique en Corse, devient naturaliste, obtient sa licence de sciences naturelles à Toulouse (1854) et soutient l'année suivante sa thèse de doctorat consacrée pour partie à l'étude d'une orchidée. C'est dire que la plante et sa biologie le captivent. Et pour informer son fils sur le monde végétal, il édite en 1876 un livre intitulé *La Plante. Leçons à mon fils sur la Botanique*.

L'intérêt du système racinaire ne lui échappe pas : il soutient « qu'il vaut mieux qu'un arbre ait une racine *fasciculée* qu'une racine pivotante car cette dernière est unique et si, lors de la transplantation elle se rompt, le plant a de grandes chances de périr » ; en effet, un jeune plant à racines fasciculées, même s'il perd quelques racines au cours de cette opération, conservera des racines intactes qui assureront le succès de la transplantation. Selon Fabre, on parvient aisément à faire prendre à un arbre « une racine très rameuse et peu profonde qui présente l'avantage d'une racine fasciculée sans en avoir la forme ». Il donne l'exemple du chêne où chez les jeunes arbres de pépinière, deux ans après le semis, le pivot racinaire est tranché à la bêche pour permettre une ramification horizontale des racines huit années avant leur transplantation en forêt. Autre méthode : « paver de tuiles le sol de la pépinière ; le pivot de l'arbuste s'allonge » jusqu'à atteindre cette barrière « mais arrivé là, forcément il cesse de croître en profondeur pour se ramifier latéralement ». Fabre sait que le bon développement racinaire est indispensable à celui de la plante et que, d'une façon générale, quand la plante subit un traumatisme qui altère sa racine principale, les *racines adventives* lorsque elles peuvent se former, prennent alors le relais et permettent à la plante de se tirer d'affaire. En particulier l'initiation et le déploiement des racines adventives garantit *tous les types* de multiplication végétative. Et il cite trois exemples représentatifs de l'adaptabilité des plantes grâce à leur capacité à initier des racines adventives. La tige souterraine du *tussilage* (pas d'âne) « s'allonge par son extrémité rajeunie au moyen de nouveaux bourgeons » et ce nouveau tronçon annuel de tige, continuation du tronçon précédent en voie de pourrissement, « émet des racines adventives qui remplacent la racine primordiale depuis longtemps disparue » et permettent à la plante de connaître un nouveau développement. Le *lierre* se fixe à ses différents supports par des brosses de crampons « semblables à de courtes racines » mais qui n'en ont pas les fonctions étant simplement des instruments « d'escalade » et non des suçoirs ; cependant, si « une occasion favorable advient [par ex. : présence de sol], les crampons de lierre se transforment en racines adventives qui plongent dans le milieu favorable pour nourrir la plante ». La *vanille*, dans les forêts tropicales américaines, « s'établit en parasite sur quelque vieux tronc carié. De là, sa liane couverte de feuilles charnues d'un beau vert s'élançait d'arbre en arbre... pour gagner la lumière des hauteurs. Les distances qu'elle franchit ainsi... finissent par être si considérables que la nourriture puisée par les racines ordinaires affluerait trop difficilement aux bourgeons [éloignés]. La racine émet alors une foule de racines adventives par sa tige et ses ramifications. Quelques-unes se fixent sur les écorces voisines, dans le terreau amassé au sein de quelque plaie mal cicatrisée, mais la plupart pendent du haut de grands arbres et flottent dans l'atmosphère humide de la forêt. Dans cet air attiédi, toujours saturé de vapeurs, elles trouvent un supplément de nourriture ».

J. H. Fabre souligne que l'initiation et le déploiement des racines adventives garantit tous les types de multiplication végétative (bouturage au sens large, marcottage, rejetons, drageons,...). Chez les plantes aisément *bouturables*, comme la vigne, le saule et le peuplier – car à bois tendre et à tissus gorgés de suc - « on se contente d'enfoncer en terre le rameau détaché » et « dans tous les cas, l'extrémité plongée dans le sol humide ne tarde pas à émettre des racines adventives ». En revanche, bien des végétaux à bois dur, tels le chêne et le buis, sont difficiles, voire impossibles à bouturer. Pour décrire le *marcottage* par couchage en terre, il prend en exemple une plante herbacée, l'oeillet ; celui-ci différencie à la base de la tige-mère des ramifications droites et souples que l'on fixe dans la terre avec un crochet ; puis on redresse l'extrémité que l'on maintient verticale avec un tuteur... Lorsque les parties enterrées ont produit un nombre suffisant de racines adventives, on tranche les ramifications [qui sont autant de marcottes] en deçà du point enraciné ». Lorsque la ramification est située trop haut, chez des végétaux peu flexibles comme le laurier-rose, on effectue un marcottage *aérien*, la branche à marcotter étant placée dans un pot fendu en long ou un cornet de plomb rempli de terreau ou de mousse humidifié par de fréquents arrosages : les racines adventives apparaissent tôt

ou tard ; le rameau est alors sevré progressivement par une section d'abord légère que l'on approfondit de jour en jour avant un coup de sécateur final, ce type de sevrage graduel s'utilisant aussi, selon l'auteur, chez les marcottes couchées en terre pour assurer le succès de l'opération.

Hors du marcottage en butte adapté aux arbres fruitiers qui rejettent aisément, Fabre propose le *buttage* qui provoque la formation de racines adventives pour fixer plus solidement la plante au sol, ou pour obtenir une plus abondante récolte de racines ; ainsi, le maïs butté, bien stabilisé, résiste au vent et à la pluie grâce à son meilleur enracinement, et le pied de garance aux racines riches en teinture (alizarine) présente alors une récolte racinaire accrue.

Le Point actuel sur la Multiplication Végétative

C'est le mode de multiplication végétative de nombreuses plantes consistant à utiliser leur plasticité réactive pour donner naissance à de nouveaux individus à partir d'organes ou de fragments d'organes isolés (racine, rhizome, tige, bulbe, caïeu, rameau, feuille,...). La *bouture* séparée de la plante-mère est mise en terre pour provoquer son enracinement : la « bouture a pris » lorsque la nouvelle plante a réussi à développer ses racines et prend son essor. La *marcotte*, à la différence de la bouture, différencie d'abord ses racines adventives avant d'être séparée de sa plante-mère.

Bouture et marcotte sont génétiquement identiques à leur plante-mère : leur végétation émane, au départ, d'une dédifférenciation cellulaire situant au niveau du méristème de base.

Le bouturage peut se produire dans la nature ; mais il est aussi artificiellement provoqué par les pépiniéristes, les jardiniers et les agriculteurs, et cela depuis la plus haute Antiquité.

La multiplication végétative est courante dans les *conditions naturelles* chez de nombreux végétaux. Elle s'opère de différentes façons. Elle peut être le fait d'une *fragmentation* du végétal, par arrachement, suivie d'un bouturage naturel de les caïeux/fragments de taille variable (ex. : végétaux aquatiques) ou encore se traduire par le *bouturage naturel de feuilles* comme chez certaines fougères

(*Aspidium, Adiantum*). Cela peut être encore un *marcottage naturel aérien* (stolon des fraisier ou de potentille) ou *souterrain* (rhizome de chiendent rampant ou de souchet à feuilles alternes, un *drageonnage* racinaire spontané très fréquent chez de nombreux arbres tels que le merisier ou le noisetier, la *tubérisation* d'une tige souterraine (pomme de terre) ou d'une racine (patate douce), les *bulbes fils* formés par les plantes à bulbes tuniqueés (*Allium*) et à bulbes écailleux (tulipe, iris à bulbe), les *caïeux* rejetons qui se développent dans le sol sur des bulbes de lis et les *bulbilles* qui se différencient sur la tige aérienne à l'aisselle des feuilles (lis et autres plantes à oignon), sans omettre les *embryons nucellaires* formés à partir des tissus internes diploïdes de l'ovaire chez les agrumes (*automixie* des *Citrus*).

Fondements et expression de la multiplication végétative artificielle.

Les racines dans la multiplication végétative.

Les racines ont une grande capacité à assurer la multiplication de nombreuses espèces de plantes. Palladius, comme nous l'avons vu, a souligné ce moyen de multiplication insuffisamment utilisé. C'est pourtant un procédé efficace qui permet d'obtenir un grand nombre de plante à partir d'un matériel végétal réduit. La racine est apte à multiplier la plante quand elle peut produire des méristèmes initiateurs de bourgeons adventifs et de racines adventives au cours de son développement. Ainsi se forme à partir d'une racine un **drageon**, tige souterraine pourvue d'un système racinaire qui lui est propre, tout en étant lié à la plante-mère : une nouvelle plante s'est formée que l'on peut aisément séparer. Une plante drageonnante chez laquelle ce processus souterrain se montre très actif peut produire à sa périphérie dans les conditions naturelles une importante population de jeunes plants : c'est notamment le cas du merisier, du noisetier, du lilas, du robinier et de l'invasif ailante ; citons encore le goyavier tropical. Chez les arbres fruitiers greffés qui drageonnent (pommier, prunier), c'est le porte-greffe qui émet ces rejets ; il s'agit alors d'éliminer, dès leur apparition, ces plants (clones du porte-greffe inintéressants au plan qualitatif) car ils épuisent l'arbre et compromettent sa fructification.

La multiplication végétative peut se faire aussi par les tiges particulières que sont le stolon et le rhizome.

Le *stolon* est une tige aérienne qui, partant d'un bourgeon du collet de la plante, rampe généralement à la surface du sol ; il ne porte que des feuilles réduites et produit, au niveau des nœuds, de nouvelles plantes (tiges et racines adventives) qu'une fois bien formées on peut isoler de la plante-mère. Dans les conditions naturelles, le stolon finit par se décomposer pour laisser les nouvelles plantes tout à fait intéressantes (ex. : le fraisier, les potentilles, la piloselle, le saxifrage stolonifère, la benoîte, la bugle rampante). Le stolon peut devenir souterrain chez certaines plantes traçantes comme l'oyat des sables (*Ammophila arenaria*), graminée qui fixe les dunes des littoraux marins sablonneux.

Le *rhizome*, à la différence du stolon, est une forme de tige *permanente* qui pousse horizontalement à la surface du sol et, le plus souvent, peu profondément dans le sol ; parfois le rhizome peut être installé en profondeur (à plus de 50 cm, chez le grand chiendent ou chiendent pied-de-poule, *Cynodon dactylon*). Comme chez nombre de tiges modifiées, le rhizome s'enrichit de réserves nutritives dont l'importance et les qualités varient beaucoup d'une espèce à l'autre. Parmi les espèces rhizomateuses, citons l'*asperge*, avec sa griffe (rhizome particulier que l'on fragmente pour la multiplication, chaque fragment devant porter un bourgeon), le *Begonia rex*, le *Strelitzia reginae*, l'iris, le muguet, le sceau de Salomon, le cirse des champs et le chiendent commun adventices dans les cultures de céréales, la colocasie ou taro.

Tubercules

Un nombre modéré de plantes se multiplie par *tubercules caulinaires*. Le plus bel exemple en est la *pomme de terre* dont les tiges souterraines ou rhizomes produisent à leur extrémité un tubercule par renflement ; ce tubercule, avec sa réserve de nutriments, est un élément de tige pourvu d'yeux disposés sur une hélice qui est tracée depuis la cicatrice basale jusqu'à la zone apicale où les yeux sont les plus nombreux. Ces yeux à trois germes ou bourgeons végétatifs sont autant de tiges potentielles lors de la mise à germination du tubercule. Autres végétaux à tubérisation du rhizome : le topinambour, des *Nymphaea* spp., le crosne du Japon. Les souchets (*Cyperus rotundus*, souchet rond ; *Cyperus esculentus*, Cyperaceae) émettent des rhizomes grêles épaissis çà et là en tubercules subglobuleux ou ellipsoïdes de la grosseur d'une noisette, comestibles chez *C. esculentus*, qui sont des agents efficaces de la multiplication végétative de ces espèces invasives en toutes régions du monde, sauf dans les zones très froides.

Le renflement de *racines latérales* en tubercules aptes à germer concerne, entre autres, la patate douce (*Ipomoea batatas*, Convolvulaceae) et l'igname (*Dioscorea polystachya*, Dioscoreaceae, M. C. Royer, 1883).

Les plantes à bulbe et leur multiplication.

Les *bulbes* sont des tiges modifiées aux feuilles devenues écailleuses, ces dernières ayant pour fonction d'accumuler des substances nutritives. On en distingue deux types :

– les bulbes *tuniqués*, par exemple de l'oignon, du narcisse ou de la tulipe, ont des feuilles squameuses, charnues et enveloppantes. Les feuilles externes, en séchant, deviennent membraneuses et protègent ainsi l'intérieur du bulbe contre la dessiccation et d'éventuelles blessures. Au début de la période de croissance, les racines du bulbe tuniqué se développent sur le bord externe de la base du bulbe.

– les bulbes *écailleux*, comme ceux du lis, sont plus sensibles à la dessiccation que les bulbes tuniqués car ils ne forment pas en surface de larges membranes sèches capables de les protéger ; leurs feuilles, souvent étroites et charnues, sont normalement squameuses.

Les bulbes se reproduisent naturellement par division. Au cours d'un cycle annuel, le bourgeon apical intrabulbaire de la tige, en se développant, différencie un nouveau bulbe pendant la période de croissance de la plante. Un bourgeon axillaire, qui devient un centre de croissance active, peut aussi produire un bulbe latéral qui va croître un à deux ans et émettre un système racinaire avant de se détacher de la plante mère.

La multiplication par caïeux.

Certains bulbes, comme ceux de divers *lis* (*Lilium bulbiflorum*, *L. longiflorum*, *L. canadense*) différencient au-dessus ou au-dessous du bulbe principal plusieurs bulbes de petite taille morphologiquement semblables à ce dernier : ces bulbes restreints, dénommés *caïeux*, pourront à la fin de l'été être détachés du bulbe générateur pour être plantés. On peut d'ailleurs induire artificiellement les plantes à caïeux à en former davantage en éliminant la partie de la tige porteuse de fleurs.

Les feuilles écailleuses peuvent être détachées de bulbes mûrs de fritillaires ou de lis et mises en tourbe humide pour former un à trois caïeux dans leur partie concave : par ce procédé d'écaillage de bulbe, on amplifie rapidement la multiplication d'une espèce ou d'une variété particulière à caïeux.

La multiplication par bulbilles.

Les bulbilles sont de petits bulbes, à structure simplifiée qui se forment à l'air libre, à l'aisselle des feuilles, sur le parcours de la tige d'une plante lorsqu'on élimine de la tige d'une plante lorsqu'on élimine de la tige ses bourgeons peu avant la floraison : les bulbilles se différencient alors en nombre ; elles sont recueillies à leur maturité. Plusieurs lis produisent des bulbilles quand on les ébourgeonne : *Lilium candidum*, *L. chalcedonicum*, *L. maculatum*, *L. dauricum* ; l'igname (*Dioscorea polystachya*) produit aussi des bulbilles caulinaires utiles à sa multiplication en plus de ses tubercules souterrains.

La multiplication par rejetons.

Le rejeton est une nouvelle plante qui s'est développée latéralement sur une tige, le plus souvent au niveau du pied ou de la souche (à partir d'un bourgeon du collet). Nombre de plantes qui différencient des rejets, comme la *joubarbe*, commencent par ne donner qu'une plante réduite pourvue d'un minimum racinaire ; le système de racines ne se développera que plus tard lors de la croissance active du rejeton. Pour accélérer le développement du rejeton, il convient de l'arracher de la plante-mère de préférence au printemps.

Nombreuses sont les plantes qui se multiplient par rejets (ou rejets) ; l'agave, l'ananas, le yucca, la joubarbe, le peuplier, le lilas, la canne à sucre, le bananier, le palmier dattier... Chez le *palmier dattier* (*Phoenix dactylifera*), la multiplication végétative peut se faire par des rejets qui se forment à différents niveaux du stipe, mais le plus souvent à la base de celui-ci : ce sont des clones munis des qualités fruitières de la plante-mère que l'on sépare de celle-ci pour plantation (cependant, ce mode de multiplication spontané est actuellement supplanté par la multiplication *in vitro* beaucoup plus productive).

Le bouturage des feuilles.

Le bouturage des feuilles se pratique essentiellement sur des plantes à feuilles charnues comme les *Saintpaulia*, *Gloxinia*, *Streptocarpus* (Gloxiniaceae), les *Begonia* (Begoniaceae), *Peperomia* (Peperomiaceae) et aussi chez certaines plantes succulentes de la famille des Crassulaceae (*Crassula*, *Echeveria*, *Kalanchoe*,...). En effet, de telles plantes, de nature herbacée et la plupart d'appartement, ont la faculté de développer des plantules sur leurs feuilles, la feuille-mère étant capable d'isoler et de différencier, dans de petites zones, des groupes de cellules végétales qui génèrent des plantules aptes à croître, une fois repiquées, à la condition d'avoir pu former des racines efficaces.

Le bouturage de tiges ou rameaux.

Le bouturage de rameaux ligneux d'arbres et arbustes est la méthode de multiplication la plus courante et la mieux maîtrisée depuis la plus haute Antiquité, comme nous l'avons vu.

En fonction de l'état d'évolution du bois au cours du temps, on distingue tout d'abord les boutures de *bois tendre* de première poussée au printemps et en début d'été qui ont besoin d'être plantées en enceintes à régulation bien contrôlée pour éviter le défaut de reprise en raison d'une possible dessiccation : mises donc en conditions appropriées, ces boutures s'enracinent en général rapidement. Font suite les boutures de *bois vert* extraites d'extrémités de tiges feuillues vers le milieu de l'été, plus dures que les premières et traitées de la même façon. Plus tard, on prélève des boutures de bois semi-aoûté (de début août à mi-septembre selon les espèces) sur des rameaux dont la croissance bien qu'active commence s'atténuer ; la reprise de telles boutures ; la reprise de telles boutures qui perdent relativement moins d'eau peut se faire en milieux modérément contrôlés. Les boutures de *bois aoûté* – ou *bois dur* – sont prélevées en hiver sur tiges d'arbres à feuilles *persistantes* ou à feuilles *caduques* : la surveillance de ces dernières boutures provenant d'arbres effeuillés en état de dormance pourra être moins stricte que celle s'adressant aux boutures provenant d'arbres à feuilles persistantes au métabolisme seulement ralenti.

Les boutures de *bois tendre*, les plus difficiles à maintenir en vie, sont celles qui ont la meilleure aptitude à produire des racines quand elles sont dans un milieu régulateur approprié : on les prélève au printemps à l'extrémité de rameaux de plantes à croissance active. Celles de *bois vert* sont prélevées plus tardivement, de la même façon, sur des plantes telles que les groseilliers, le forsythia, le lilas ou les vignes ornementales. Les boutures *semi-aoûtées*, recueillies en fin d'été bien pourvues en réserves alimentaires, sont aptes à survivre de façon prolongée et à s'équiper d'un système racinaire même sous un faible éclaircissement ; quelques exemples : groseilliers en fleur, cornouiller, *Prunus pissardii*, *Philadelphus* (seringa), *Deutzia*, *Weigela*,...La multiplication par bouturage d'arbres ou d'arbustes à feuilles *persistantes* est généralement efficace : les boutures sont découpées dans des tiges au bois aoûté, presque dur, en début d'automne afin que le développement des racines se fasse pendant l'hiver sous châssis froid en terre légère et aérée ; sont traités ainsi : le laurier cerise, les chèvrefeuilles persistants, le chalef, le *Magnolia grandiflora*, le laurier du Portugal, le *Pyracantha* (buisson ardent). Le bouturage de plantes à *bois dur* est une technique très aisée : les boutures sont

choisies et prélevées en cours de dormance sur des branches bien venues d'un arbre ou d'un arbuste à feuilles caduques. Et pour obtenir de telles branches, la plante-mère doit recevoir une taille appropriée, souvent rigoureuse l'année précédente. Le prélèvement des boutures de bois dur se fera principalement aux deux périodes favorables à leur enracinement, à savoir la chute des feuilles et les prémices de l'éclosion des bourgeons ; quelques exemples : groseillier, cassis, rosier, peuplier, saule, prunier, vigne, *Cotoneaster*.

La bouture, pourvue d'un ou de deux bourgeons utiles et longue de 15 à 30-40 cm, peut avoir son extrémité basse bien tranchée. Lorsqu'on arrache un jeune rameau latéral pourvu d'un mince fragment d'écorce et de bois de la vieille tige porteuse du rameau en question, on obtient une bouture à talon : c'est la bouture *arrachée* ou *éclatée* connue depuis l'Antiquité ; cette base à talon favorise la formation de racines. La bouture dite à *crosette* est un segment de rameau muni à sa base non d'un fragment mais d'un segment entier (=crosette de 2 à 3 cm) de l'ancienne tige-mère ; la crosette protège la base de la bouture des microorganismes susceptibles de la faire pourrir. Et alors que le talon peut accompagner la bouture quel que soit son niveau de lignification, la bouture à crosette ne s'isole que sur des tiges semi-aouûtées ou de bois dur.

Le *plançon*, longue bouture ou *plantard*, est une branche allongée que l'on sépare du tronc pour la ficher en terre. Le plançon ne réussit qu'avec des arbres de grande taille, saule blanc, saule osier, peuplier noir : c'est une branche âgée de deux ans, pas plus, et de trois à quatre mètres de longueur sur environ cinq à dix centimètres de diamètre que l'on dépouille de tous ses rameaux et que l'on taille en biseau aux deux bouts, selon Bagneris (1878).

* * *

Dans nombre de cas de bouturage, l'application d'une *hormone* telle que *l'auxine* à la base de la bouture peut être utile pour stimuler la rhizogénèse. D'autres substances comme le *miel* ou le *lait de coco* agissent dans le même sens ; ce dernier est riche en cytokinines aux propriétés activatrices de la division et de la croissance cellulaires et son application exalte donc la formation de racines. La *cannelle* en poudre, antiseptique, facilite aussi le bouturage : appliquée en suspension dans l'eau dans la zone rhizogène ainsi maintenue saine, la cannelle facilite et active l'ancrage racinaire des boutures.

Le marcottage

C'est une ancienne technique de multiplication des plantes ligneuses qui consiste à mettre un long rameau en condition de différencier des racines adventives *avant* de le séparer de la plante-mère. Dans le cas courant, le rameau à *marcotter* choisi est incurvé pour être *enterré horizontalement* à une profondeur de 10 à 30 cm ; seule l'extrémité distale du rameau émerge pour être verticalement liée à un tuteur. Dans la partie du rameau enterrée et bien humidifiée, les différents nœuds peuvent alors produire des racines adventives, et lorsque ces dernières se sont bien développées, on peut *sevrer* la marcotte, c'est-à-dire séparer de la plante-mère la nouvelle plante en bonne végétation. Une telle technique de marcottage *artificiel* se pratique depuis l'Antiquité et nous avons vu que Caton et Columelle en parlent sagement à propos d'arbres fruitiers, ce dernier préférant pour la vigne la marcotte à la bouture en raison de sa bonne reprise et de sa robustesse qui lui permet de mieux affronter les accidents climatiques. Un marcottage *naturel* de même type peut se produire chez certaines espèces comme le tilleul, la ronce ou le Cyprès de Leyland (*Cupressocyparis leylandi*).

La diversité technique du marcottage par *couchage en terre* que nous venons de présenter est liée au comportement des espèces ; on distingue ainsi :

--- le marcottage en *serpenteau* adapté aux plantes grimpantes ou rampantes comme la glycine, le rameau étant modelé en zigzag dont les courbes basses sont enterrées pour initier autant de jeunes plants racinés ;

--- le marcottage *chinois* ou à *long bois* propre à certaines plantes grimpantes ou sarmenteuses comme le lierre ou le chèvrefeuille (long rameau enterré sur lequel chacun des bourgeons initiera une nouvelle plante) ;

— le marcottage de l'*extrémité* concernant certaines plantes souples pourvues d'une grande capacité à émettre des rejets, comme le framboisier ou la ronce (la pointe de tige à marcotter est alors maintenue enterrée avec l'aide d'un tuteur).

Ajoutons le marcottage en butte adapté aux plantes qui émettent aisément des rejets, comme les arbres fruitiers. En hiver, la plante-mère est rabattue à 10-15 cm du sol ; de nouveaux rameaux se différencient au printemps et quand ils ont une quinzaine de cm, ont forme autour d'eux une butte au moyen d'un mélange de terre et de sable. L'hiver qui suit aura vu se former des racines à la base de chaque rameau que l'on pourra alors sevrer en vue de plantation.

Le *marcottage aérien* est une très ancienne technique de multiplication végétative déjà utilisée en Chine quatre mille ans avant notre ère : c'est une autre forme de marcottage dit *chinois* ou encore *par enrobage*. A Rome, Caton et Plin en décrivent aussi la technique en détail. Plus tard, le marcottage aérien de viendra un procédé d'excellence dans un jardinage de prestige magnifié par J. B. de la Quintinie (1690). Dans cette technique, on induit un rameau (ou une tige) dont la croissance est normale à produire des racines en le laissant aérien et en focalisant son alimentation et la concentration hormonale par incision ou ligature circulaire à 20-30 cm de son sommet. Ce marcottage aérien peut être effectué au printemps sur des plantes qui se sont affermies l'année précédente ou en fin d'été sur des rameaux nouvellement aoûtés. Ce sont les *spheignes* qui constituent le meilleur milieu pour faciliter le développement des racines ; les faire tremper pendant une nuit pour obtenir une parfaite imbibition, puis en constituer une boule de 6 à 10 cm de diamètre qui servira à entourer la zone de tige traitée ; la boule, une fois placée, sera enveloppée de polyéthylène noir fixé par un ruban adhésif. Et lorsque le système racinaire sera bien établi au bout de quelques mois, la marcotte sera séparée au sécateur au-dessous de la boule pour plantation. Quelques plantes à marcottage aérien : le citronnier, le magnolia, le lilas, le rhododendron, le *Ficus elastica* (caoutchouc).

Le provignage

Connu depuis l'Antiquité et que Columelle, en bon viticulteur, apprécie et pratique couramment, le *provignage*, sorte de marcottage, est une technique de rajeunissement et de multiplication qui s'applique spécifiquement à la vigne. Le provignage, consiste non plus à coucher un sarment en terre, mais à *coucher une vieille souche entière* pour obtenir un rajeunissement se traduisant par la formation de plusieurs nouveaux ceps enracinés nés du marcottage du vieux cep qui s'altère et se désagrège. En pratique, la souche-mère étant couchée dans la fosse creusée autour d'elle, on redresse hors de terre les sarments utiles que l'on tuteure, l'un d'entre eux étant établi sur l'emplacement de la souche âgée enterrée ; les autres sarments sont issus des nouvelles souches racinées provenant de la fragmentation du vieux cep affaibli.

Avant la crise phylloxérique commencée vers 1865-1870, le provignage était notamment très pratiqué en Champagne et en Bourgogne. Actuellement, cette technique est abandonnée par obligation dans la quasi-totalité du vignoble français greffé sur vignes américaines résistantes au puceron radicicole (*Phylloxera*) ; elle pourrait à l'occasion être pratiquée lorsque *Vitis vinifera* est bouturé en sols défavorables au puceron radicicole, à savoir surtout en sols sableux et en sols soumis à la submersion.

Apport de la Microbiotechnologie à la multiplication végétative des plantes.

Il a été démontré, dans les années 1950 notamment par l'INRA, que la culture *in vitro* de méristèmes permet d'obtenir des plantes saines, exemptes de virus, clones des variétés expérimentées tant chez les espèces fruitières que maraîchères ou ornementales. Ainsi, a-t-on pu multiplier des variétés saines de canne à sucre, d'igname et de bananier dans les régions tropicales touchées par les maladies épidémiques de ces productions. La recherche a ensuite développé la culture des *microboutures*, le microbouturage consistant à isoler un groupe de cellules d'une plante et à le placer dans un milieu contenant tous les éléments chimiques nécessaires au développement de la plante-fille, clone de la plante-mère : cette dernière technique de multiplication est très rapide et particulièrement efficace. Ainsi depuis les années 1990, sous l'impulsion de l'INRA, la multiplication végétative *in vitro* a connu en France un grand développement et l'on sait à présent multiplier près de 500 espèces de plantes : plusieurs centaines de millions de plantes sont déjà issues du microbouturage et ce chiffre ne cesse d'augmenter (cf. Chaussat, Bigot, 1980 ; Margara, 1981 ; Auge *et al.*, 1999)

Le *microbouturage* présente plusieurs avantages : clone de la plante-mère libéré de virus, possibilité de multiplier des espèces difficiles à reproduire dans les conditions naturelles, conservation de variétés à l'abri de parasites ; en outre, grande efficacité à reboiser très vite des plantations victimes de parasites ou de catastrophes naturelles car la vitesse de multiplication est très élevée. Autre avantage : la production de clones *in vitro* s'affranchit des saisons. Le microbouturage peut se répéter toutes les quatre semaines ; à partir d'un groupe de cellules végétales, on obtient en un an, 200000 à 400000 individus identiques, par exemple chez le rosier, la pomme de terre ou le fraisier.

Une dernière technique moderne, la *greffe-bouture herbacée* mise au point sur vigne (brevet INRA 1986) est utilisée pour multiplier les variétés courantes et rares de *Vitis vinifera* greffées ; elle s'adresse en outre à diverses espèces fruitières (dont les agrumes) et ornementales (mimosa, rosier,...) que le greffage avantage sur le plan de la robustesse ou de la tolérance aux agressions.

Et finalement, la *totipotence* des cellules végétales permet en outre la régénération de plantes entières à partir de cultures *in vitro* de cellules *isolées* : c'est actuellement une autre forme courante de micropropagation permettant la multiplication de plantes cultivées exemptes de virus (ex. : le bananier), de plantes rares à sauvegarder, ou encore de plantes commerciales ne produisant que peu ou pas de graines.

QUATRIEME PARTIE

PLASTICITÉ STRUCTURALE ET SENSIBILITE FONCTIONNELLE DE LA PLANTE

Plasticité structurale

A la différence de l'animal à la taille définie, en possession d'organes spécialisés internes et apte à se déplacer pour rechercher sa nourriture, la plante ancrée au sol par sa racine qui la pourvoit en eau et en éléments minéraux, développe sur place sa végétation aérienne faite de tiges et rameaux, avec nœuds, entre-nœuds, bourgeons axillaires et feuilles, sa reproduction étant assurée par des organes sexuels rassemblés en fleurs.

Au niveau d'une jeune pousse élaborée par un méristème terminal, se met en place une succession d'unités de croissance, constituées chacune d'un entre-nœud et d'un nœud portant une feuille et un bourgeon axillaire ; l'unité de croissance est dite *phytomère* et la tige résultante est donc constituée d'une succession de phytomères qui rythment l'élongation. A l'hétérotrophie de l'animal, aux organes internes, de taille déterminée et apte à se déplacer aisément, la plante fixée au sol, *autotrophe*, montre une *croissance indéfinie* et extériorise sans retenue une *ample frondaison* pour *capter l'énergie lumineuse*. Elle garantit, par son autotrophie, la vie animale sur terre, régule le microclimat du lieu, et, grâce à un système racinaire expert, se montre apte à rechercher l'eau dans la profondeur du sol et à doser ses intrants chimiques issus du sol. Et n'oublions pas que cette végétation joue un grand rôle dans la protection de l'environnement en abritant et nourrissant toute sorte d'animaux tout en réduisant l'impact des feux.

La plante à l'« extériorisme » tournée vers la lumière ne possède aucun organe interne vraiment spécialisé comme ceux des animaux, et ses organes externes – essentiellement feuilles et fleurs – ne sont pas individuellement vitaux. Théophraste, fin analyste, avait déjà vu qu'à la différence de l'animal, la plante montre un nombre indéterminé de parties : « elle peut pousser de partout, puisqu'elle vit de partout ». Et qu'un herbivore en vienne à manger toute une série de ses phytomères ne changera pas grand-chose au développement d'une plante : celle-ci vit sans jamais cesser de grandir, malgré de partielles ablations dues à la taille ou aux prédateurs ; les arbres en particulier sont amenés à croître indéfiniment en réajustant sans cesse leur port et leurs limbes foliaires à l'orientation du rayonnement lumineux.

La croissance végétale indéfinie liée à l'extériorité des potentialités photosynthétiques est localisée à l'emplacement des méristèmes, tissus embryonnaires situés au sommet des bourgeons. Chaque **méristème** est constitué de cellules jeunes, toutes semblables, différenciées et omnipotentes, se divisant activement. Éternellement jeune, le méristème, atelier de multiplication sériée de cellules en équilibre dynamique, différencie les divers tissus végétaux (xylème, phloème, parenchymes,...) nécessaires à la structuration et à la vie autotrophe de la plante. Et en conséquence de leur immortalité potentielle, les plantes pérennes, même herbacées, peuvent vivre très longtemps lorsque, comme le grand chiendent, elles sont pourvues de rhizomes souterrains redondants, cependant que certains arbres remarquables parmi les *Sequoia*, les *Pinus* et *Cryptomeria* ont traversé plusieurs millénaires en renouvelant incessamment leurs phytomères photosynthétiques tout en conservant dans le cœur de leur tronc le bois mort témoin de leur âge. Nous avons vu plus haut que la plante peut, au niveau du sol, se multiplier végétativement par *marcottage naturel* aérien (stolon de fraisier) ou souterrain (rhizome de chiendent rampant), par *drageonnage* (racine de mûrier), par tubérisation de tiges souterraines (pomme de terre) ou de racines (patate douce), etc. à titre d'exemple, un arbre qui drageonne beaucoup va, à partir de nombreux bourgeons racinaires pouvoir constituer une population d'individus-fils clonés, pourvus de racines adventives entourant l'arbre initiateur : il s'est alors établi une *interconnection* racinaire intégrée qui va se compléter d'une *symbiose* complexe avec le mycélium des champignons sous la forme de *mycorhizes*, le mycélium enveloppant les racelles d'une sorte de manchon et pouvant même pénétrer dans les pointes racinaires (*endomycorhizes*) : ainsi le champignon s'alimente de sucres issus de la photosynthèse de la plante alors qu'en contrepartie ses hyphes facilitent l'essentiel de l'absorption de l'eau et des éléments minéraux dont le phosphore. Au total, la plante diffère fondamentalement de l'animal par le fait qu'elle est composée, au niveau aérien, d'une multitude d'unités vitales, les phytomères, structurant en série tiges et rameaux, cependant que le système racinaire, habilité à chercher eau et éléments minéraux et améliorant ses performances grâce à la mycorhization, est apte à la faveur notamment du drageonnage potentiel, à initier des plantes clones pour former une communauté intégrée. Ainsi, fixé au sol par son complexe racinaire, un arbre constitué d'un grand nombre de phytomères et accompagné de plantes-filles en étroite association, peut se développer sur une très longue période en occupant sans entrave l'espace aérien qui lui convient et en colonisant le sol en largeur et souvent profondément à la recherche de l'eau. L'arbre peut faire face aux attaques extérieures et notamment résister à la prédation exercée par les herbivores car ce n'est pas le prélèvement de quelques unités vitales qui le feront périr, d'autant que la prédation peut conduire à rendre sa végétation moins appétente et/ou toxique comme nous l'avons vu.

Le phytomère isolé et convenablement traité constitue la bouture de base de la plante : c'est lui (un entre-noeud, un noeud, un œil et une feuille) que l'on isole pour le bouturage de la vigne ; c'est encore lui que l'on greffe sur une bouture de porte-greffe de vigne américaine depuis l'attaque phylloxérique dans le greffage sur table avec une reprise remarquable (voir plus haut). Ces simples exemples nous montrent l'extraordinaire *plasticité* de ce végétal qui, par différenciation cellulaire, met en place des méristèmes créateurs de racines (cas des boutures de *Vitis vinifera* et du porte-greffe américain) ou du tissu de soudure du greffon sur le porte-greffe, avec bourrelet de greffe et mise en continuité des vaisseaux du bois et du liber pour assurer la circulation des sèves. Les plantes ligneuses s'adaptent à différents types de greffage en fente, en écusson, en flûte, en couronne, ...en fonction de la souplesse de leur écorce et des qualités de leurs tissus internes et de leur sève.

Dans son exposé sur les greffes, Lucien Daniel (1927) récapitule les différents procédés utilisés depuis l'Antiquité et le Moyen Âge et présente une importante panoplie de techniques de greffage de son temps, à savoir différents greffages *siamois* (greffages siamois par *compression* ; *parallèle avec entailles* ; *oblique* ; *en arc-boutant* ; *en berceau* ; *en cordon* ; *en appuyette*), divers greffages *en approche* et ceux par *incrustation* dont la greffe *anglaise*. L. Daniel s'étend longuement aussi sur le greffage, surtout en fente, de plantes *annuelles ou bisannuelles* (voir plus haut). La réalisation de toutes ces greffes exige des plantes une **grande plasticité** ; et dans certaines opérations comme le greffage *siamois spiral* qui se pratique chez la glycine, en plus de la plasticité tissulaire et cellulaire, on prend en compte la *flexibilité* de la liane-greffon que l'on rapproche du porte-greffe en une *longue compression hélicoïdale*.

Nous avons vu que, dans les conditions naturelles, la multiplication végétative s'effectue de différentes façons chez nombre de plantes et que les phénomènes de greffes spontanées ou *parabioses* ont été depuis très longtemps observés chez les phanérogames ; exemples : le *gui* sur arbres divers comme le pommier, le peuplier ou le tilleul ; la plasticité des plantes liée à leur structure phytomérique explique ce type de comportement que l'homme a su reprendre à son compte pour le progrès de l'arboriculture et du maraîchage. Autre illustration de la plasticité des végétaux, la **taille** qui se traduit par l'élimination de phytomères, considérés en surnombre, en vue de l'amélioration esthétique ou de production des végétaux, est pratiquée dans les fruitiers et les jardins pour équilibrer la frondaison et la rendre esthétique, éliminer les gourmands, améliorer qualitativement la fructification et maîtriser l'éventuel palissage ; la taille *d'été* ou taille *en vert* (on parle aussi de *pincement*) qui limite la couverture foliaire favorise la maturation de beaux fruits. Notons que la Quintinie, jardinier du roi Louis XIV, fut un expert en taille qui fit progresser cette technique arboricole demandant compétence et jugement sûr. Et finalement, la totipotence de la cellule végétale a été bien mise en valeur par la microbiotechnologie dont un progrès décisif a été l'efficacité de ses divers procédés à la multiplication à l'identique des cultivars.

Sensibilité fonctionnelle

Mouvements de la plante sensible

Bien que d'ancrage déterminé, la plante n'est jamais immobile. Ses mouvements *aériens* sont lents et, sous la dépendance de la lumière solaire dont l'orientation varie sans cesse, les feuilles, par phototropisme positif, s'orientent de façon appropriée pour optimiser la photosynthèse. Parallèlement, la plante poursuit sa croissance aérienne en explorant l'espace : sa tige s'allonge, d'une part assez discrètement au niveau de son bourgeon terminal dont le méristème, sous l'afflux de sève, forme incessamment de nouveaux entre-noeuds très courts portant sur leurs flancs de nouvelles feuilles et, d'autre part, au dessous du bourgeon terminal, par une élongation manifeste des entre-noeuds écartant noeuds et feuilles elles-mêmes en croissance.

A la différence de la tige, la *racine* montre une croissance exclusivement due au fonctionnement du méristème subterminal de l'apex racinaire surmonté de sa coiffe protectrice ; cette coiffe mucilagineuse, colonisée par des bactéries, rend plus aisé le contact de la racine avec la structure du sol. La racine est pourvue d'une liberté et surtout d'une plasticité de mouvement supérieures à celles de la tige. Darwin a pu observer que la racine est apte à détecter un obstacle à distance pour anticiper son geste de contournement, à déceler d'assez loin la présence d'eau pour s'y diriger sûrement en modifiant au besoin sa trajectoire, à sélectionner et à doser les éléments minéraux de son voisinage

tout en poursuivant, par géotropisme négatif, son mouvement directionnel principal imposé par la gravité.

Darwin met en outre en évidence la sensibilité des *plantes insectivores* qui savent distinguer la matière vivante de la matière inerte : ainsi, la dionée peut-elle, dans un mouvement rapide d'un dixième de seconde, emprisonner un insecte dans un piège constitué par le brusque repliement d'une moitié longitudinale de limbe munie de soies raides sur l'autre moitié, la nervure centrale fonctionnant comme une charnière ; l'insecte immobilisé subit ensuite l'action de sucs digestifs émis par la feuille, ses protéines étant lentement hydrolysées. Et ce n'est que lorsque deux soies raides sensibles d'une demi-feuille sont touchées par l'insecte en moins de vingt secondes – animal vivant se déplaçant – qu'une onde électrique parcourt la feuille pour produire instantanément l'effet de piège que seule une proie vivante peut provoquer (cf. Chamovitz, 2012).

La sensibilité végétale s'observe aussi clairement chez la *sensitive* qui ferme sa feuille composée, dès qu'une foliole est effleurée, en un mouvement réflexe rapide selon un processus ordonné que J. H. Fabre (1876) a décrit en détail. Le déclenchement du mouvement foliaire est de nature électrique ; ce signal agit alors sur le *pulvinus*, un coussinet cellulaire à la base de la foliole touchée dont la contraction provoque le redressement de la foliole, et de proche en proche une rapide fermeture de la feuille ne prend au total qu'une seconde. La feuille sollicitée plusieurs fois par des stimuli rapprochés finit par ne plus répondre en raison d'un déficit de potentiel énergétique à sa disposition : par fatigue, la sensibilité s'est momentanément émoussée faute de « carburant ».

Notons encore que les actions réflexes ou *nasties* dues à des variations différentielles de turgescence affectant divers organes de la plante, sont des mouvements *actifs*, souvent réversibles, en réponse à une stimulation d'origine environnementale. Le sens du mouvement qui dépend du caractère de l'organe est indépendant de l'orientation du stimulus : ainsi dans une belle *thigmonastie* qui répond à un stimulus *tactile*, les étamines de l'épine-vinette ou du bleuet basculent-elles vers le centre de la fleur lorsque un insecte butineur vient la visiter. Citons encore l'*hydronastie*, localisée aux cellules stomatiques, qui commande l'ouverture et la fermeture des stomates en réponse au degré d'hydratation du milieu (ex. : feuille de l'oyat des sables, *Ammophila arenaria*) et la *photonastie* ou *nyctinastie* acte réflexe par lequel les fleurs s'ouvrent le matin et se ferment le soir.

En 2000, Volkov a émis l'hypothèse qu'en l'absence de neurone chez le végétal, le signal électrique inducteur du mouvement de la plante se propagerait le long du phloème constitué de files de cellules vivantes – conduisant la sève élaborée – interconnectées par des plasmodesmes, sortes de microtunnels perforant les parois intercellulaires. Ainsi ; grâce à la présence d'électrolytes dans les cellules et à la continuité membranaire assurée par les plasmodesmes, une file de cellules du phloème est, selon Volkov, « un conducteur électrique d'impulsions bioélectrochimiques sur de longues distances » à la manière d'un axone de neurone animal, avec cependant une vitesse de circulation bien moindre (quelques centimètres par seconde au lieu de dizaines de mètres par seconde chez l'animal).

La sensibilité générale et chimique ; et la communication entre plantes.

Pour leur développement équilibré, les plantes ont un fonctionnement placé sous la dépendance de molécules variées dont les *phytohormones* (auxine, gibberellines, éthylène) qui sont reconnues par différents sites sensibles de leur structure cellulaire. Pris comme exemple, l'*éthylène* que nous avons vu être le message envoyé par un acacia fortement brouté par l'antilope koudou aux acacias proches pour élever leur niveau de défense anti-prédation, intervient aussi dans la maturation des fruits dits *climactériques* comme l'avocat, la banane, la mangue et la pomme ; et c'est ainsi qu'un fruit mûr émetteur d'éthylène peut induire ou accélérer la maturation de fruits variés encore verts mis à son voisinage.

La *communication entre plantes* est patente lorsqu'il s'agit de leur défense comme l'organisent, par voie aérienne, les acacias contre les prédateurs, ou comme la transmettent par voie souterraine des plants de pois stressés par la sécheresse à leurs congénères voisins non encore gênés sur le plan hydrique : ces derniers ferment leurs stomates moins de quinze minutes après l'amorce du stress que

ressentent les premiers pois (O. Falik *et al.*, 2011). De tels faits qui ne sont pas le fruit du hasard traduisent l'*acte social d'une communication* entre plantes parentes avec comme résultat une prise en compte adaptée du danger immédiat : c'est en somme une manifestation de sympathie entre plantes de la même espèce que l'on peut qualifier d'*autoallélopathie positive*. Des signalisations de nature électrique, hydrique et chimique (comme l'influx calcique) sollicitant tige et racine sont transmis par les sèves élaborée et brute pour assurer une communication interne utile et équilibrée en vue d'une croissance harmonieuse de la plante « sachant » prendre en compte son environnement hostile ou favorable (cf. J. Tassin, 2016).

S. Mancuso (2013) souligne que la plante, à la différence de l'animal ou de l'homme, a, en plus des cinq sens, une quinzaine d'autres sens qui lui permettent, par exemple, de déterminer le taux d'humidité, de « percevoir la pesanteur et le champ électromagnétique qui influence sa croissance et de mesurer un nombre très élevé de gradients chimiques dans l'air ou le sol » sachant que « certains outils de cette sensorialité sont circonscrits à sa racine ou à ses feuilles, tandis que d'autres sont éparpillés sur l'ensemble de son organisme ». Et en plus de savoir estimer les différents facteurs de son milieu interne et environnant, la plante synthétise des milliers de molécules dont de nombreuses se sont trouvées avoir un intérêt médicinal ; de plus, elle est capable d'absorber et de détoxifier par exemple un solvant organique tel que le trichloréthylène (TCE), poison liquide très stable dans la nature, en rendant ainsi à cette dernière son attrait et son agrément. Les plantes, très diverses, ont des capacités très particulières dans les différents domaines que nous avons rapidement parcourus. Elles composent une riche biodiversité de comportements – dont beaucoup, peut-être intéressants, sont encore ignorés – qui s'affaiblit à coup sûr quand disparaissent des groupes d'espèces pour des raisons diverses dont le réchauffement climatique et la pollution. L'appauvrissement floristique s'accompagne par conséquent d'un appauvrissement des potentialités végétales, par exemple dans les domaines de la médecine, de la dépollution ou de la conservation des sols.

La Mémoire des plantes

La mémorisation végétale, différente de la nôtre, se révèle essentiellement par des réponses réactionnelles liées à une instabilité ressentie (ex. : repliement des feuilles, production accrue de tannins,...) et, en ce domaine, les plantes sont capables d'apprentissage.

Nous avons vu que la feuille de sensitive se referme instantanément quand on la touche. On sait aussi, depuis les observations de J. B. Lamarck et de A. P. de Candolle (début du XIXe s.), que le fait de soulever brusquement des pots de sensibles et de répéter de nombreuses fois cette opération provoque au départ un repliement des feuilles qui par la suite progressivement diminue pour finalement s'arrêter alors que ces mêmes plantes continuent à refermer leurs feuilles lorsqu'on les touche. L'explication qui s'est imposée à ces deux savants est que les sensibles avaient intégré le fait que les secousses n'étaient pas dangereuses et, selon Mancuso (2013) « avaient donc cessé de gaspiller l'énergie pour une fermeture de leurs feuilles devenue inutile » ; il a été établi que la sensitive « mémorise » l'information pendant 40 jours (Gagliano, 2014).

Une instabilité ressentie sans mémorisation inductrice peut condamner la plante ; c'est l'exemple que donne Francis Hallé concernant l'arrosage : « une plante que vous n'arrosez que rarement aura l'habitude de vivre au sec, elle s'en souvient. Par contre, si vous l'arrosez beaucoup, eh bien, le jour où vous ne l'arrosez plus, elle meurt. Car la plante dépend aussi de ce qui lui est arrivé dans les épisodes antérieurs ». Une telle manifestation d'habituation, on la trouve aussi chez le tremble, *Populus tremula*, soumis à un vent assez fort ; ce dernier réveille chez l'arbre un gène en réponse au stress ressenti. Lorsque le vent persiste plusieurs jours de suite, le gène cesse d'être opérationnel : le tremble a donc mémorisé le fait que sa survie n'est pas menacée par l'action du vent.

Quel pourrait être le support biologique de la mémoire chez les végétaux dépourvus de cerveau ? Selon Susan Lindquist et son équipe, de l'Université de Cambridge, près de 500 protéines de type *prions* – à configurations variables –, trouvées pour la première fois chez les végétaux, pourraient remplir ce rôle car elles ont la faculté de changer de forme et, par la suite, de fonction. Nous savons que les prions sont des protéines vectrices de maladies comme la maladie de Creutzfeldt-Jakob chez

l'homme ou l'encéphalopathie spongiforme bovine (maladie de la « vache folle ») : dans les neurones du cerveau, les prions deviennent pathogènes en changeant leur configuration tridimensionnelle ; ils se replient sur eux-mêmes de façon très serrée et s'agrègent entre eux en formant des dépôts qui se multiplient dans et hors des cellules du cerveau en altérant de façon irréversible le fonctionnement neuronal. Des études récentes ont par ailleurs montré que la mémoire à long terme pourrait mettre en jeu l'auto-agrégation de certaines molécules synaptiques selon le schéma qui concerne la protéine-prion anormale. Les simili-prions végétaux, non-pathogènes, étudiés par S. Lindquist (2016), ont la capacité de modifier leur configuration moléculaire et de s'agréger comme les prions animaux en changeant alors de fonction ; certains d'entre eux seraient impliqués, par exemple, dans le phénomène de floraison de l'*Arabidopsis thaliana* lorsque s'expriment les conditions favorables, thermiques et autres, de sa réalisation : la plante, en effet, semble se souvenir des meilleures conditions de floraison qu'elle aurait su intégrer grâce aux prions appropriés.

Intelligente, la plante ?

Dans son ouvrage dédié à l'intelligence des plantes, S. Mancuso (2013), à la faveur d'une argumentation approfondie et enthousiaste, tend à démontrer que la plante, bien que sans cerveau, a le comportement d'un *être intelligent*. Y a-t-il de quoi s'en étonner alors qu'elle n'a pas non plus pour se besoins vitaux ni foie, ni poumons, ni reins... ; et donc, « pourquoi l'absence de cerveau devrait-elle l'empêcher d'être intelligente ? »

Nous avons déjà vu qu'il a été reconnu par Darwin que l'*extrémité de la racine a une capacité de décision et d'organisation* ; cette extrémité guide la croissance souterraine de la racine en repérant à distance les obstacles en vue de leur contournement, en décelant d'assez loin la présence d'eau pour s'y diriger, sans omettre en outre la recherche d'oxygène et de sels minéraux ; redoutant des ennemis à combattre, la pointe de racine peut aussi chercher à les esquiver. Pour Mancuso, la racine face à ces multiples variables revêtant une importance vitale, ne peut agir de façon automatique. En fait, chaque apex, doté de capacités sensorielles très développées « a une activité électrique très intense fondée sur des potentiels d'action » semblables à ceux des cerveaux animaux. L'ensemble racinaire d'une plante qui possède un nombre très élevé d'apex estimé à plusieurs millions est, selon l'auteur, un centre d'élaboration et d'analyse des données qui fonctionne en réseau où la collectivité racinaire « pense » et agit animée par une forme d'intelligence collective (sans nécessité de cerveau). Selon Mancuso, « *toute plante est un réseau internet vivant* » ; et de souligner qu'un apex racinaire ne possède pas à lui seul d'immenses facultés de calcul, mais uni à d'autres apex, il se révèle capable de prestations exceptionnelles, les prises de décisions étant nombreuses et *intelligemment* bien coordonnées pour les différents besoins de la plante. La communication interne se rapportant à la plante entière pourrait se faire, en complément, par des molécules chimiques les plus variées mettant en rapport le complexe racinaire et la végétation aérienne.

Adaptabilité écologique des plantes.

Depuis très très longtemps, les végétaux colonisent la terre, d'abord avec les algues (il y a 1,2 milliard d'années), puis avec les végétaux terrestres (environ 450 millions d'années) et l'apparition des plantes à fleurs (Angiospermes) au Crétacé inférieur (il ya 140 millions d'années). Les grandes régions de la terre, à l'exception de celles subissant un froid extrême prolongé, portent les plantes les plus diverses des frêles plantes annuelles, souvent à courte vie, aux arbres grands et puissants capables d'atteindre un grand âge. Les plantes représentent 99,5 % de la biomasse terrestre face à une biomasse animale de 0,5 % et elles doivent leur nette domination à leur *adaptabilité*.

Au cours du temps, les botanistes ont classé les végétaux de différentes façons, les plus conformes à la sensibilité et au dynamisme végétal étant les classements fondés sur l'écologie et la

phytosociologie. Nous savons que les associations végétales ne sont pas stables et qu'elles évoluent spontanément et lentement en montrant une succession de groupements végétaux composées de plantes ayant des affinités (*forme de sociabilité par allélopathie positive*) : cette transformation appelée *dynamisme de la végétation* est influencée par l'intervention de l'homme (anthropisation). L'homme qui a défriché une forêt pour établir une culture en zone mésoméditerranéenne verra, lorsqu'il abandonne la culture, l'installation d'une friche à Gramineae ; puis progressivement, s'il n'intervient plus, croîtront des arbustes qui donneront la garrigue en terrain calcaire, le maquis sur support siliceux. Cette strate arbustive protège la végétation arborée qui démarre, se met en place et qui, finalement, sera dominante : la forêt remplace la garrigue ou le maquis avec un arbre dominant en hauteur et en nombre, par exemple le chêne vert représentatif d'un boisement ayant finalement atteint son point d'équilibre appelé *climax* – conditionné par les facteurs écologiques locaux - au terme d'une série progressive spontanée de formations végétales.

Le Miocène supérieur (Pontien) et les périodes glaciaires du Quaternaire ont facilité, en région méditerranéenne prise comme exemple, les liens floristiques eurafricains et eurasiens grâce aux continuités continentales alors que les périodes interglaciaires séparant les massifs et les îles ont, elles, favorisé l'*endémisme* et la *vicariance*. Par sa position, la région méditerranéenne en effet est caractérisée par une flore riche et diversifiée dans laquelle les plantes endémiques c'est-à-dire les plantes confinées à un territoire précis dont elles sont originaires, occupent une place importante, notamment dans les îles et les massifs plus ou moins isolés. C'est ainsi que la Corse comprend 296 espèces endémiques qui représentent 10 % de ses espèces ; l'endémisme le plus affirmé concerne les îles Canaries, archipel plus méridional isolé depuis très longtemps : sur 1400 espèces recensées, 470 (33%) sont endémiques. Ainsi, dans l'île de Ténérife, à l'étage côtier inframéditerranéen, chaud et aride, s'observe l'euphorbe des Canaries, endémique stricte, ressemblant fort aux cactus en cierge du Mexique, plante devenue grasse pour s'adapter au climat sévère qu'elle doit supporter ; de même, se sont bien adaptées au thermoméditerranéen humide (dû à la nébulosité quasi permanente portée par le vent alizé, entre 500 et 1200 m d'altitude au versant Nord de l'île) différentes Lauraceae endémiques du Monte Verde.

D'autre part, en Méditerranée, le genre *Abies* présente neuf espèces circumméditerranéennes endémiques en divers territoires montagneux, comme le sapin d'Espagne, *Abies pinsapo*, le sapin de Sicile, *A. nebrodensis*, et le sapin du Caucase, *A. nordmanniana*. Ces différentes espèces de sapin, le plus souvent reliques, affines au sapin pectiné, *Abies alba*, pourraient rendre compte, d'une part, de la grande extension de ce dernier autour de la Méditerranée durant les périodes glaciaires et de l'autre, d'une évolution distincte, en périodes interglaciaires ou post-glaciaires, dans les différents reliefs isolés en Méditerranée, ayant conduit aux différentes espèces actuelles morphologiquement typées. On aurait là un exemple de vicariance où différentes espèces, affines les unes aux autres et pour lesquelles existe une forte présomption en faveur d'une origine ancestrale commune, se substituent d'un territoire à l'autre.

L'isolement d'une espèce, comme le sapin pectiné en différents lieux éloignés aux conditions édapho-climatiques différentes, s'est donc traduite par son adaptation caractérisée, dans chaque lieu, par de petites différences morphologiques et physiologiques particulières ; ainsi sont apparues des espèces-filles du sapin pectiné, chacune bien adaptée à son environnement : le néo-lamarckisme qui se veut rendre compte de l'action directe du milieu sur les organismes pourrait apporter une explication convenable à cette vicariance de même qu'à l'adaptation de l'euphorbe des Canaries, devenue cactoïde, dans un environnement sévèrement chaud et sec.

CONCLUSION GENERALE

Depuis la naissance de l'agriculture, il y a quelque douze mille ans, les agriculteurs ont eu la volonté d'utiliser les plantes choisies pour leurs productions agricoles dans les meilleures conditions afin d'en obtenir le plus et le meilleur, sans trop saisir au départ leur fonctionnement. Avec le temps, ils ont appris à mieux utiliser les plantes annuelles, à les hybrider intraspécifiquement, à sélectionner les meilleurs cultivars et à les semer dans les meilleures conditions. Concernant les plantes vivaces, ils ont pris en compte tout l'avantage que l'on pouvait tirer du bouturage, du greffage et de la taille des arbres et des arbustes dans leur conduite agrotechnique avec le but louable d'entretenir et d'améliorer les cultivars en vue d'une production équilibrée et de qualité, sans perdre de vue l'esthétique des jardins et des vergers : la grande *plasticité structurelle* des plantes le permettait.

La constitution aérienne des plantes, avec tiges et rameaux agencés en files de *phytomères pseudo-autonomes*, explique la relative facilité avec laquelle se réalisent boutures, marcottes et greffes grâce à la néoformation et au fonctionnement approprié de *méristèmes actifs*, constitués de cellules différenciées totipotentes qui forment des racines adventives et réalisent les soudures de greffes avec mise en continuité des vaisseaux du phloème et du xylème ; et, performance considérable, le

greffage a permis de sauver le vignoble mondial de la crise phylloxérique : ce fut un très grand succès tant technique qu'humain et économique.

Par ailleurs, la plante en croissance montre une grande sensibilité tant au niveau de sa racine que de sa tige feuillée. Ainsi, la racine grâce à l'excitabilité de son apex croît-elle en détectant les obstacles avant de les contourner et en décelant d'assez loin la présence d'eau pour s'y diriger résolument ; et les feuilles d'une tige mouvante s'orientent de façon appropriée afin d'optimiser la photosynthèse grâce au phototropisme positif. Pour réagir de façon sensible, la plante a à sa disposition deux potentiels, l'un *hormonal*, tel l'éthylène lié notamment à la maturation des fruits ou à la défense anti-prédation, l'autre *électrique* d'expression plus rapide, sous la forme de *potentiel d'action* souvent conduit par le phloème - qui commande la pliure de la feuille de dionée emprisonnant un insecte ou la fermeture de la feuille composée de sensitive dès qu'elle est touchée - ou d'actions réflexes (*nasties*).

La plante est en outre capable de *mémorisation* comme, par exemple, d'apprendre à reconnaître qu'une longue et forte modification de son environnement ne menace pas sa vie. Un support de cette mémoire pourrait, selon Lindquist, être matérialisé par des simili-prions végétaux, capables comme les prions animaux, de modifier leur configuration moléculaire et de s'agrèger ; ces simili-prions reconfigurés ayant, par exemple, gardé en mémoire les conditions externes favorables à l'extériorisation d'un phénomène comme la floraison, celle-ci se produira dès que de telles conditions seront remplies. L'étude de la mémoire des plantes, passionnante, n'est qu'à son début et demande à être poursuivie en multipliant les exemples de mémorisation et en précisant ses mécanismes, par de multiples expériences sur diverses espèces.

Hautement sensible à tout ce qui l'entoure et apte à la mémorisation, la plante se montre en outre « *intelligente* » bien que sans cerveau, si l'on se réfère aux observations de Darwin sur le comportement de la racine et aux expériences de Stefano Mancuso sur le complexe racinaire. Mancuso a acquis la conviction que les millions d'apex racinaires d'une plante formant un ensemble se comporte en *réseau internet vivant* ; celui-ci développe une *intelligence collective* apte à la résolution des différents problèmes qui se présentent à la plante, permettant à celle-ci de mener une vie équilibrée, comme nous l'avons vu. La thèse de Mancuso qui prend en compte les phénomènes électriques, chimiques et autres qui parcourent la plante, est intéressante car elle s'appuie sur différents mécanismes précis. Elle demande cependant à être confirmée par d'autres auteurs travaillant sur ce même thème.

Et depuis des millions d'années d'une coévolution impliquant les animaux, dont les insectes, et les pathogènes, les plantes et en particulier les phanérogames, pour accomplir leur cycle biologique et souvent pour leur survie, ont eu recours à des *trésors d'imagination*, de *ruses* et d'*astuces*, qu'elles continuent *intelligemment* à déployer. Ainsi, pour la *pollinisation* de ses fleurs, un *baobab* africain attire les chauves-souris mâles par une phéromone simulant celle émise par les chauves-souris femelles. Quant aux *Orchidaceae*, elles font preuve d'une imagination débordante en ce domaine : ainsi, le labelle, grand pétale de l'Ophrys simule une guêpe qu'un individu mâle cherche à féconder avant d'emporter les pollinies vers une autre fleur à polliniser ; l'*orchidée-marteau* brutalise son insecte pour lui asséner son pollen, tandis que l'*orchidée-catapulte*, à l'approche de sa guêpe spécifique, lui expédie ses pollinies. Trésors d'imagination aussi pour *disséminer les graines* : fruits secs *ailés* de l'orme, de l'érable et du frêne véhiculés par le vent tout comme ceux du pissenlit surmontés de leur aigrette ; semences à crochets de la bardane répandues par les animaux ; graines de l'acanthé violemment expédiées au loin lorsque la capsule mûre s'ouvre. Ruses encore pour la *nutrition*, avec le cas particulièrement édifiant des plantes carnivores qui capturent les insectes de différentes façons avant de les digérer : feuille en mâchoires de dionée, feuille papier tue-mouche du droséra, urne attractive du népenthès, succion de l'utriculaire. *Astuces de croissance* des plantes – lianes avec leur décision d'enroulement dextre ou sénestre autour de tuteurs divers à leur portée, parfois avec l'aide de vrilles (vigne) ou de crampons (lierre). Pour leur *défense*, importante est la panoplie des systèmes élaborés par les plantes : ainsi, pour se débarrasser d'un champignon agressif, peuvent-elles le circonscrire (cas du *Coryneum* du pêcher) ou le stopper par *hypersensibilité* (cas de l'*oïdium*, parasite strict, incapable de survivre sur cellules mortes) ; elles peuvent berner par

mimétisme des insectes prédateurs (galles créées sur feuilles de passiflore simulant des œufs et repoussant de ce fait les insectes près à pondre) ou neutraliser même, comme nous l'avons noté plus haut, de grands animaux (*acacias tueurs d'antilopes*, aptes à transmettre aux arbres voisins un message hormonal (éthylène) de danger). Et contre la *sécheresse persistante*, certaines plantes se sont bien équipées : plantes grasses, riches en eau et à cuticule épaisse telles les *Crassulaceae* et les *Cactaceae* ou adoptant l'anatomie de ces dernières comme l'euphorbe des Canaries, et plantes *épineuses* à structure variée. Ces données qui montrent une très grande adaptabilité des plantes, avec parfois la sophistication étonnante d'un comportement rusé ou astucieux militant en faveur d'une *forme d'intelligence* mise en action pour leur bien-être, viennent conforter les résultats intéressants de Mancuso obtenus sur le complexe racinaire. Avec le temps, les plantes ont donc su intégrer à leur génome des caractères liés à leur situation – caractères donc devenus héréditaires – et on ne peut qu'être admiratifs face à ces résultats qu'en leur temps Lamarck et Darwin avaient pris en compte.

Comment l'agriculteur moderne doit-il traiter les plantes à mettre en culture s'il considère leur plasticité, leur sensibilité, leur pseudo-mémoire, leur pseudo-intelligence et leur capacité à ruser ! L'étude de l'allélopathie nous apprend qu'une espèce de plante peut se montrer sociable ou non vis-à-vis de ses voisines, sachant que même si sa sociabilité est avérée, son niveau peut être fortement influencé par le milieu édapho-climatique dans lequel elle vit ; et donc, selon les conditions externes, deux espèces de plantes semées côte à côte pourront montrer une allélopathie variant, selon le cas, d'un niveau très positif à un niveau médiocre. Il est clair que l'agriculteur recherchera les signes satisfaisants de l'allélopathie.

Dans la transformation actuelle de l'agriculture, l'allélopathie doit donc être judicieusement prise en compte car, comme nous l'avons vu, son intérêt agricole est avéré dans nombre de situations et de systèmes agricoles. Des méthodes agricoles telles que des *assolements* bien conduits améliorant productions et sols, l'association ou le *compagnonnage* d'espèces, l'utilisation de cultures *intercalaires*, de cultures *dérobées* ou de *paillis allélopathiques* vivants ou morts sont de nature à assurer la promotion ou la pérennisation de nouveaux types d'agriculture. Pris ici comme exemple, le compagnonnage est particulièrement positif dans le maraîchage lorsque l'on a bien saisi la qualité de comportement de chaque légume face aux autres. La sympathie entre deux légumes, nous l'avons vu, peut être directe et se traduire par une synergie de croissance ou être due à l'action de type allélochimique d'une plante sur un agresseur de l'autre plante et éventuellement *vice versa*. Les *Allium* à cet égard sont très intéressants : ils favorisent le développement de la carotte, du concombre, de la tomate, de l'épinard, du céleri et du fraisier, mais ne s'associent pas volontiers au haricot, au pois et à la luzerne. Carotte et oignon associés repoussent de façon croisée les mouches de l'oignon et de la carotte ; l'oignon en rangs alternés avec ceux du céleri-rave favorise le développement de ce dernier. Les composés volatils des *Allium* et en particulier de l'ail se montrent insecticides et, à un degré moindre, fongicides et bactéricides ; planté entre des rangs de fraisier, l'ail les protège de la pourriture grise, et parmi les plants de pomme de terre ou de tomate, il permet d'éviter l'épidémie de mildiou. Et dans le compagnonnage, d'autres légumes se montrent à leur avantage : haricot, tomate, asperge, pomme de terre en montrant une sociabilité culturelle à l'égard de leurs associés choisis.

La discipline allélopathique agricole doit faire appel à toutes les sciences et techniques qui permettent de mieux connaître et maîtriser le développement d'une plante cultivée en rapport avec ses congénères voisines et le sol sur lequel elle croît : c'est un travail multifactoriel complexe qui demande la maîtrise de nombreuses connaissances biologiques – concernant les plantes cultivées, les mini-organismes animaux et microorganismes du sol, la microflore pathogène, les organismes antagonistes de parasites et prédateurs, le champignons de la mycorhization, etc), pédologiques et d'environnement (faune, flore et climat du lieu) ; ce travail réclame aussi la mise en œuvre de techniques et de modèles informatiques de plus en plus performants, d'une météorologie maîtrisée sans oublier la robotisation aux multiples fonctions (apte par exemple à pratiquer un désherbage simili-manuel), sans omettre la télédétection par satellites et les drones d'observation (pour repérer notamment l'évolution des cultures et leur état sanitaire en vue d'éventuelles interventions). Ainsi, avec l'appui de la lutte biologique en développement, de nouvelles agricultures doivent progressivement se substituer à l'agriculture industrielle néfaste par ses intrants-pesticides et dévoyée

par son gigantisme et son déficit de nature. L'agriculture, activité authentiquement biologique, n'a cessé de progresser depuis sa prime installation ; avec les acquis modernes de la science et des techniques et le concours du savoir allélopathique, elle va reprendre son cours biologique pour assurer le progrès agricole : il en va de la qualité de vie et de la santé de la population.

Enonçons encore que douée de plasticité, de sensibilité et de formes de mémoire et d'intelligence, capable de ruses et d'astuces, souvent sociable, la plante a tendance de nos jours à *changer de statut*. On est en particulier étonné de sa capacité à s'installer, voire à s'agripper en des lieux peu accueillants comme un bord de trottoir de ville (pâturin, oxalis, érigéron), l'anfractuosité d'un mur (pariétaire, cymbalaire des murs), un coin de toit (grêles graminées, sedum) et quand on considère cette ***force de caractère*** la poussant à coloniser les terrains les moins favorables, on ne doit plus s'étonner du fait que la végétation ait pu depuis fort longtemps occuper l'ensemble du globe quels que soient les situations et les dangers. Je suis pour ma part en accord avec Stefano Mancuso lorsqu'il considère que les plantes sont dignes de respect à l'égal des animaux. L'animal, considéré depuis longtemps comme un animal-machine, a en effet été reconnu en quelques décennies digne de *considération* et de *respect*. Compte tenu des connaissances que nous avons acquises sur les plantes et leur sensibilité, il est tant de changer notre regard sur elles et qu'à terme leur soit accordé *un statut du même ordre*, tout en soulignant, comme Mancuso, que *cette reconnaissance n'implique pas une réduction ou un limitation de leur usage*.

ORIENTATIONS BIBLIOGRAPHIQUES

ANTIQUITE GRECO-LATINE (par ordre chronologique)

THEOPHRASTE (370-287 av. J.-C.), *Recherches sur plantes*, les Belles Lettres, Paris, 2003.

CATON (234-149 av. J.-C.), *De l'agriculture*, les Belles Lettres, Paris, 2002.

VARRON (116-27 av. J.-C.), *De l'agriculture*, Errance, Paris, 2003.

LUCRECE (98-55 av. J.-C.), *De la nature*, Garnier-Flammarion, Paris, 1964.

VIRGILE (70-19 av. J.-C.), *Les Géorgiques*, Garnier, Paris, 1866.

COLUMELLE (65 ap. J.-C.), *De l'agriculture*, Errance, Paris, 2002.

PLINE L'ANCIEN (77 ap. J.-C.), *Histoire Naturelle*, livres XII à XIX, Bibliothèque de la Pléiade, nrf, 2013.

PALLADIUS (Ve siècle ap. J.-C.), *De l'agriculture*, Errance, Paris, 1999.

ORIENT – MESOPOTAMIE

QÛTÂMÂ (IIIe-IVe siècle), *Le livre du labourage de la terre, des soins à apporter aux graines, aux plantes et aux récoltes et à leur prophylaxie* (en syriaque).

IBN WAHSHIYYA, traduction arabe en 902, *Kitâb al-filâha al-Nabatiyya* (*Le Livre de l'Agriculture Nabatéenne*, initialement compilé par l'agronome babylonien Qûtâmâ ; analyse de T. Fahd, in : *Histoire des sciences arabes*, sous la dir. de R. Rashed, Seuil, Paris, 1997.

EI FAÏZ, M., *L'agronomie de la Mésopotamie antique*. Analyse du livre de l'Agriculture Nabatéenne de Qûtâmâ. E. J. Brill, Leiden, New-York, Köln, 1995.

AL-ANDALUS : AGRONOMIE (par ordre chronologique)

L'AGRONOME ANONYME (fin du Xe siècle), *Un Tratado agricola andalusi anonimo*, trad. en espagnol par A. C. Lopez y Lopez, Escuela de Estudios Arabes, CSIC, 1990.

LE CALENDRIER DE CORDOUE (961), trad. française par Ch. Pellat, E.J. Brill, Leiden, 1961.

IBN WÂFID (XIe siècle), *Recueil sur l'agriculture*, trad. espagnole de C.C. Romero, numéro monographique d'Analecta malacitana, Universidad de Malaga, Malaga, 1997.

IBN BASSÂL (XI^e siècle), *Le livre de la proposition et de la démonstration*, éd, et trad. en espagnol par J. M. Millas Vallicrosa et M. Aziman, Tétouan, 1955 ; rééd. Grenade, 1995.

IBN HAJJÂJ (XI^e siècle), *Le livre convaincant sur l'agriculture*, Jirâr et Abû Safiyya, Amman, 1982 et 1988.

ABÛ L-KHAYR (XI^e siècle), *Tratado de agricultura*, trad. en espagnol par J.M. Carabaza, MAE/AECI, Madrid, 1991.

M. AL-TIGHNARÎ (début du XII^e siècle), *Le Livre de la fleur du verger et de l'agrément des esprits*, ms D 1260, Bibliothèque générale, archives, Rabat.

IBN AL-'AWWÂM (fin du XII^e siècle), *Le livre de l'agriculture*, trad. française de J.J. Clément-Mullet, 2 vol., Paris, 1864-1867 ; rééd. Actes Sud, Arles, 2000.

IBN LUYÛN (1282-1349), *Le Livre des principes de la beauté et de l'extrême fertilité au sujet des notions fondamentales de l'art de l'agriculture*, trad. en espagnol par J. Eguaras Ibanez, Grenade, 1988.

AL-ANDALUS : BOTANIQUE

LE BOTANISTE ANONYME (XII^e siècle), *Le soutien du médecin pour la connaissance des plantes, utilisable par toute personne intelligente*, traduit et étudié par M. Asin Palacios dans son *Glosario de voces romances registradas por un botanico hispano- musulman* (siglos XI-XII), fac-similé, Université de Saragosse, 1994.

IBN AL-BAYTÂR AL-MALAQÎ (XIII^e siècle), *Dictionnaire des remèdes et aliments simples*, trad. en espagnol par A.M. Cabo Gonzalez, Mergablum ed. y com., Séville, 2002. Edition française : *Traité des simples*, trad. par L. Leclerc, 1877; rééd. Institut du Monde Arabe, Paris, 1987.

AUTRES REFERENCES

ALBERTINI, L., *Agricultures méditerranéennes : agronomie et paysages des origines à nos jours*, Actes Sud, Arles, 2009.

ALBERTINI, L., *Essor de l'agriculture en al-Andalus (Ibérie arabe) Xe-XIV^e siècle. Performances des agronomes arabo-andalous*, L'Harmattan, 2013.

ALBERTINI, L., *Apogée des jardins et maraîchages en al-Andalus (Ibérie arabe) Xe-XIV^e siècle. Nouveaux légumes, fruits et épices. Essor de la cuisine arabo-andalouse*, L'Harmattan, 2017.

AUGE, R., BEAUCHESNE, G., BOCCON-GIBOD, J.,...*La culture in vitro et ses applications horticoles*, J.B. Baillière, 3^e éd. augmentée, Paris, 1999.

BAGNERIS, G., *Manuel de Sylviculture*, édit. Berger-Levrault, Paris, Nancy, 1878.

BALTET, C., *L'art de greffer*, Paris, Masson, 1882.

BROOKS, M.G., *Effects of black walnut trees and their products on other vegetation, West Virginia Agricultural Experiment Station Bulletin*, 347 : 1-37, 1951.

CANDOLLE, A.P. de, *Essai sur la théorie des assolements. Bulletin de la Classe d'Agriculture de la Société des Arts de Genève*, 73 : 1-22, 1832.

CAUSSANEL, J.P., *Phénomène de concurrence par l'allélopathie entre adventices et plantes cultivées*, COLUMA-EWRC. Cycle de perfectionnement international en malherbologie, 7p., 1975.

CHAKRABORTEE, S., KAYATEKIN, C., NEWBY, G.A., MENDILLO, M.L., LANCASTER, A., LINDQUIST, S., *Luminidependens (LD) in an Arabidopsis protein with prion behavior*, Proceedings of National Academy of Sciences, 25-04- 2016.

CHAMOVITZ, D., *What a Plant Knows. A Field Guide to the Senses*. Scientific American Books, Farrar, Straus and Giroux, New York, 2012.

- CHANCRIN, E., *Viticulture moderne* [1908], édition revue et augmentée par J. LONG, Hachette, Paris, 1955.
- CHAUSSAT, R., BIGOT, C., *La multiplication végétative des plantes supérieures*, Gauthier-Villars, Paris, 1980.
- DANIEL, L., *Etudes sur la greffe*, imprimerie Oberthur, Rennes, 1927.
- DARWIN, C., *The Power of Movement in Plants*, 1880 ; trad. française, C. Reinwald, Paris, 1882.
- DAVIS, E.F., *The toxic principle of Juglans nigra as identified with synthetic juglone, and its effects on tomato and alfalfa plants*, *American Journal of Botany*, 15 : 620, 1928.
- DELABAYS, N., MERMILLOD, *Phénomènes d'allélopathie : premières observations au champ*. *Revue Suisse Agric.*, 34 :231-237, 2002.
- DELEUIL, G., *Mise en évidence de substances toxiques pour les thérophytes dans les associations du Rosmarino-Ericion*. *Comptes Rendus des Séances hebdomadaires de l'Académie des Sciences*, 230 : 1362-1364, 1950.
- FABRE, J.H., *La Plante*, édit. Privat, Toulouse, 1996.
- FALIK, O., MORDOCH, Y., QUANSAH, L., FAIT, A., NOVOPLANSKY, A., *Rumor has it... Relay communication of stress cues in plants*, *PloS ONE*, 6, 11 : e23625, 2011.
- GAGLIANO, M., RENTON, M., DEPCYNSKI, M., MANCUSO, S., *Experience teaches plants to learn faster and forget slower in environments where it matters*, *Oecologia*, 175 : 63-72, 2014.
- GALET, P., *Les maladies et parasites de la vigne, tome II : Parasites animaux*, Montpellier, 1982.
- GALET, P., *Précis d'ampélographie pratique*, imprimerie Charles Dehan, Montpellier, 1991.
- GARRIER, G., *Le Phylloxéra – Une guerre de trente ans 1870-1900*, Albin Michel, Paris, 1989.
- GYDE, A., *On the radical excretion of plants*. *Transactions of Highland and Agricultural Society of Scotland*, 2 : 273-292, 1847.
- HOVEN, W. van , *Tannins and digestibility in greater kudu*, *Canadian Journal of Botany*, 64 : 177-178.
- HOVEN, W. van, *Trees' secret warning system against browsers*, *Custos*, 13, 5:11-16, 1984.
- JEANMONOD, D., GAMISANS, J., *Flora Corsica*, Edisud, 2007.
- LACHIVER, M., *Vins, vignes et vignerons – Histoire du vignoble français*, Fayard, Paris, 1988.
- MACAIRE, J., *Expériences sur les excréments racinaires, extraites d'un mémoire pour servir à l'histoire des assolements*. *Annales des Sciences Naturelles*, sér. 1, 28 : 402-416, 1833.
- MC MILLAN BROWSE, P., *La multiplication des plantes*. Encyclopédie pratique du jardinage. Fernand Nathan, Paris, 1981.
- MADAUS, G., *Lehrbuch der biologischen Heilmittel*, Band 1, Leipzig, 1938.
- MANCUSO, S., VIOLA, A., *L'intelligence des plantes*, Albin Michel, Paris, 2018.
- MARGARA, J., *Bases de la multiplication végétative : les méristèmes et l'organogenèse*, INRA, Paris, 1981.
- METAILIE, G., *Origine des légumes en Chine*, JATBA, *Revue d'Ethnobiologie*, vol. 42 : 165-186, 2000-2004.
- MOLISCH, H., *Der Einfluss einer Pflanze of die andere – Allelopathie*. Gustav Fischer, Jena, 1937.
- NOVAKOVIC, M., VUCKOVIC, I., JANACKOVIC, P... *Chemical composition, antibacterial and antifungal activity of the essential oils of Cotinus coggygia from Serbia*. *J. Serb. Chem. Soc.*, 72, 11 : 1045-1051, 2007.
- OUVRAGE COLLECTIF, *Projet PerfCom (INRA-ENSAT-CIRAD-Universités), Les Cultures Associées Céréale / Légumineuse en agriculture « bas intrants » dans le Sud de la France*, PerfCom-ANR, 2002.
- POUGET, R., *Histoire de la lutte contre le Phylloxéra en France (1868-1895)*, co-édition INRA et Office International de la Vigne et du Vin, Paris, 1990.
- PATRICK, Z.A., *The peach replant problem in Ontario. II. Toxic substances from microbial decomposition products of peach root residues*. *Canadian Journal of Botany*, 33 : 461-486, 1955.
- PETIOT, E., *Journées Techniques Nationales Fruits et Légumes Biologiques*, St-Pierre-des-Corps, 30 nov. et 1^o déc. 2004.

PICKERING, S.U., *The effect of grass on apple trees. Journal of the Royal Agriculture Society*, 64 : 365-376, 1903.

PLAPPART, J.F., *De Juglande Nigra. Dissertatio Inaugularis Medicina*. Gerold, Vienna, 1977.

POUSSET, J., *Engrais verts et fertilité des sols*, Edition Agrodécisions, 2000.

ROYER, M.C., *Le tubercule de l'igname est une racine, mais non pas un rhizome. Bulletin de la Société Botanique de France*, 30, 5 : 225-228, 1883.

RUSSELL, E.J., *The effect of one growing plant on another. The Gardener's Chronicle*, 63 : 23-24, 1918.

SERRES, O. de, *Le théâtre d'agriculture et mesnage des champs*, 1600 ; rééd. Actes Sud, 1996, 2001.

TALHOUARN, J.Y., *Engrais vert et culture intercalaire – l'allélopathie et la biofumigation*. Les Journées Paysannes, Angers, 30 déc. 2012.

TASSIN, J., *A quoi pensent les plantes ?* Odile Jacob, sciences, Paris, 2016.

TEIXEIRA DA SILVA, J.A., KARIMI, J., MOHSENZADEH, S., DOBRANSZKI, J., *Effect of different concentrations of the stock Ephedra extract on the seed germination percentage of four examined plants. Journal of Forest and Environmental Science*, Vol. 31, n°2 : 109-118, 2015.

VOLKOV, A.G., *Green plants : Electrochemical interfaces*, Journal of Electroanalytical Chemistry, 483 : 150-156, 2000.

WHITNEY, M., CAMERON, F.K., *The chemistry of the soil, as related to crop production. U. S. Department of Agriculture Bureau of Soil Bulletin*, 22 : 1-71, 1903.

WILLIS, R.J., *The History of Allelopathy*, Springer, 2007 (l'ouvrage le plus important sur l'allélopathie).

TABLE DES MATIERES

Introduction.....	
Première Partie : La multiplication végétative (hors greffage)	
- La multiplication végétative dans l'Antiquité.....	
- La multiplication végétative en al-Andalus (Ibérie arabe).....	
*arbres fruitiers : vigne.....	
cédratier.....	
*plantes potagères	
-La multiplication végétative en France entre le XVIe et le XX siècle.....	
-Le point actuel sur la multiplication végétative.....	
* fondements et expression de la multiplication végétative / <i>bouturage</i> :.....	
- racines.....	
- stolons et rhizomes.....	
- tubercules, bulbes, caïeux, bulbilles, rejetons.....	
- feuilles.....	
- tiges et rameaux.....	
- marcottage et provignage.....	
* apport de la microbiotechnologie à la multiplication végétative.....	
Deuxième Partie : La greffe végétale des origines à nos jours.....	
La greffe dans l'Antiquité.....	
La greffe au Moyen Âge en al-Andalus.....	
* greffes hétérogènes.....	
La greffe après le Moyen Âge.....	
La crise phylloxérique du vignoble français	
sauvé par le greffage sur vignes américaines	
* développement de l'agression phylloxérique.....	
* diverses interventions retenues pour lutter contre le phylloxéra.....	
- vignes sur sables	
- submersion des vignes.....	
- emploi des insecticides.....	
*la reconstitution du vignoble français au moyen d'hybrides producteurs directs	
franco-américains et de cépages de <i>Vitis vinifera</i> greffés sur porte-greffes résistants	
au phylloxéra	

- les hybrides producteurs directs (HPD).....
- les cépages de *Vitis vinifera* greffés sur porte-greffes hybrides résistants aux radicicoles.....
- *les techniques de greffage des cépages de *Vitis vinifera* sur porte-greffes américains à la base de la reconstitution du vignoble français.....
- la reconstitution du vignoble français et la nouvelle viticulture.....

Troisième Partie : L'allélopathie. Histoire et intérêt en agriculture.

-Histoire de l'allélopathie.....	123
*la Grèce et Rome.....	
*l'Asie.....	
*les Arabes dont al-Andalus.....	
*en Europe chrétienne au Moyen Âge.....	
*la Renaissance.....	
* aux XVIIIe et XIXe siècles.....	
- rotation des cultures.....	
* période récente : le fait allélopathique s'impose.....	
-Définition de l'allélopathie. Allélochimie.....	
-Intérêt agronomique de l'allélopathie.....	
* les herbes nuisibles.....	
* les communautés de plantes dominées par les herbes pérennes.....	
* allélopathie du noyer, des arbres fruitiers et forestiers.....	
- difficulté de replanter du pêcher et du pommier	
- allélopathie des arbres fruitiers feuillus.....	
- résistance collective des arbres aux prédateurs.....	
- allélopathie des gymnospermes.....	
* le compagnonnage végétal ou les cultures associées.....	
- lutte biologique menée en horticulture.....	
- compagnonnage dans le maraîchage.....	
- quelques plantes à allélopathie marquée, principalement de nature pesticide.....	
- culture intercalaire, allélopathie et biofumigation.....	
* plantes de couverture et paillis.....	
paillis mort ou mulch.....	
- Conclusion.....	

Quatrième Partie : Plasticité structurale et sensibilité fonctionnelle de la plante.....

- Plasticité structurale.....	
- Sensibilité fonctionnelle.....	
* mouvements de la plante sensible.....	
* la sensibilité générale et chimique ; et la communication entre plantes.....	
* la mémoire des plantes.....	
* intelligente, la plante ?.....	
* adaptabilité écologique des plantes.....	

Conclusion générale.....

Orientations bibliographiques.....