

Medicago truncatula : modèle pour les légumineuses et les interactions plantes-microorganismes

Introduction

La particularité biologique des Légumineuses la plus connue est leur aptitude à s'associer à des bactéries du sol (Rhizobiacées), pour former des organes symbiotiques racinaires (« nodosités » ou « nodules ») au sein desquels ces bactéries transforment l'azote atmosphérique en une forme assimilable par la plante. Les Légumineuses sont également capables, comme la plupart des plantes sauvages ou cultivées, de s'associer à des champignons symbiotiques pour former des endomycorhizes. Ces deux types d'interactions symbiotiques, qui n'existent pas chez *Arabidopsis* ni chez les Crucifères en général, jouent un rôle très important dans la nutrition minérale, le programme de développement et la dynamique des populations des espèces végétales concernées. De plus, les Légumineuses présentent d'autres spécificités biologiques, par exemple concernant leurs interactions avec des pathogènes et des ravageurs (insectes, nématodes), l'architecture de la plante, la formation de graines protéagineuses, la production de métabolites secondaires spécifiques (isoflavonoïdes impliqués dans la signalisation symbiotique, dans les réactions de défense, et présentant aussi un grand intérêt pharmaceutique. Pour ces différentes raisons en plus de leur intérêt agronomique bien sûr, l'utilisation d'une espèce modèle pour la génétique moléculaire des légumineuses s'est imposée à la communauté scientifique.

1-Taxonomi de la famille des Fabacées

La famille des Fabacées (Légumineuses) est représentée par 12 000 à 17 000 espèces (dépendant des taxonomistes) de formes et types de croissance très diversifiées. Sur la base de leurs caractéristiques florales, les botanistes s'entendent à regrouper ces espèces sous trois sous-familles. Nonobstant leurs différences florales, tous les taxons des Fabacées produisent la même sorte de fruit, le légume. Parmi les espèces cultivées nous retrouvons le pois (*Pisum sativum*), le haricot (*Phaseolus vulgaris*), le soja (*Glycine max*), les lentilles (*Lens culinaris*) ainsi que la fève (*Vicia faba*) qui vont servir à l'alimentation humaine, mais également, la luzerne (*Medicago*) et le trèfle (*Trifolium*) qui seront utilisés en alimentation animale.

Tableau.1. Classification taxonomique de *Medicago truncatula* (Small et Jomphe., 1989)

Règne	<i>Plantae</i>
Sous-règne	<i>Tracheobionta</i>
Classe	<i>Magnoliopsida</i>
Ordre	<i>Fabales</i>
Famille	<i>Fabaceae</i>
Genre	<i>Medicago</i>

2-Centre d'origine

Le centre d'origine du genre est le Croissant fertile. Ca *Medicago* culture, se répand ensuite et à la fin du XVIIIe siècle et sa zone de culture devient mondiale.

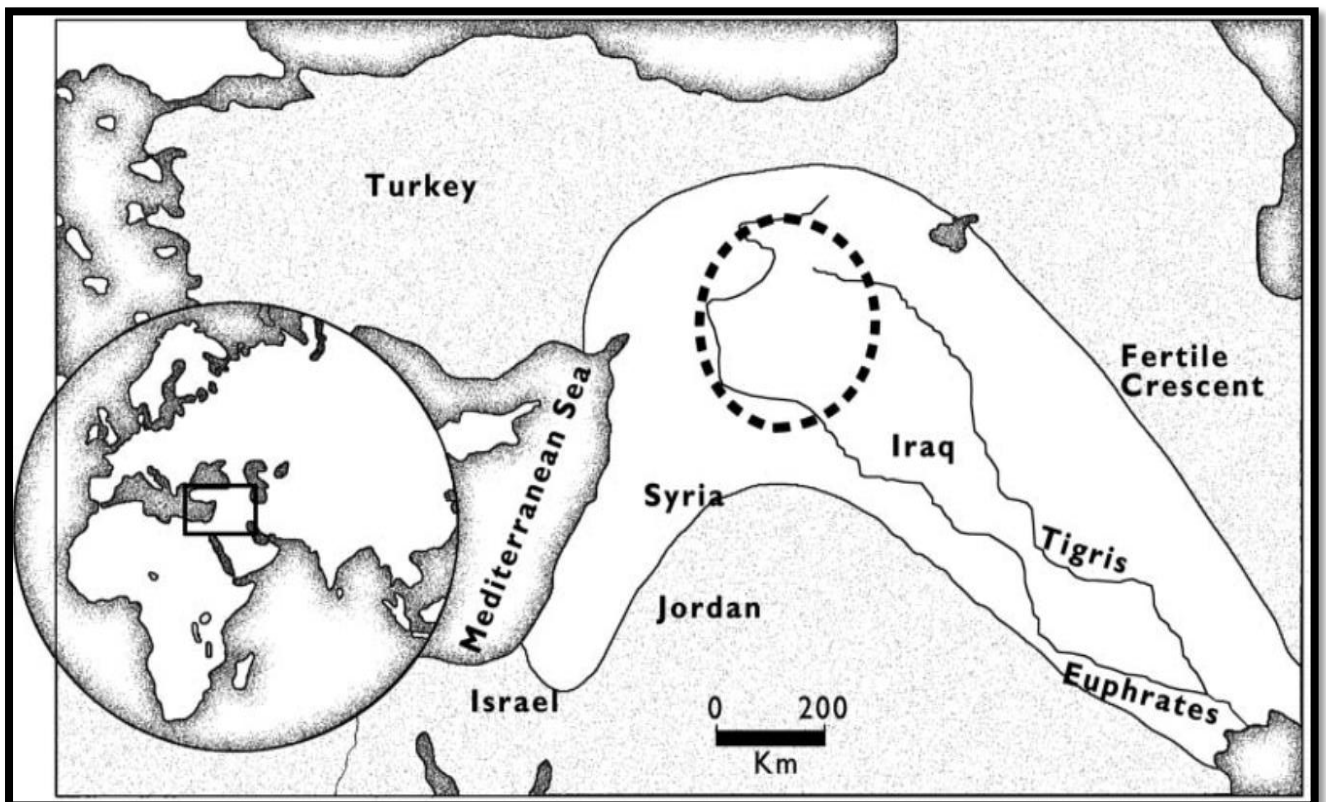


Figure.1. La région du croissant fertile

3- Production et intérêts

La plupart des espèces annuelles de *Medicago* sont originaires du bassin méditerranéen (Prosperi et al. 1993). Elles possèdent un intérêt agronomique majeur pour la production fourragère en zone sèche et pour la suppression ou la diminution de l'épandage d'engrais azotés. Leur intérêt est étroitement lié à leur capacité à se ressemer naturellement d'une année à une autre. Cette propriété peut aboutir à une installation pérenne adaptée aux aléas climatiques des zones méditerranéennes diminuant ainsi le phénomène d'érosion des sols. Par ailleurs, de nombreuses espèces et sous-espèces de *Medicago* présentent aussi des caractères d'intérêt agronomique, qu'il serait souhaitable d'introduire dans la luzerne cultivée, tels que la tolérance au pâturage (capacité d'enracinement et de repousse), la résistance à la sécheresse, à la salinité et aux maladies.

La production mondiale de légumineuses. En 2018, la production mondiale de légumineuses, portée par une forte demande en Inde, atteindrait 80 millions de tonnes par an soit 2540 kg par seconde (compteur), avec comme principaux producteurs l'Inde (22 millions de tonnes), le Canada (8 Mt), la Birmanie (6 Mt).

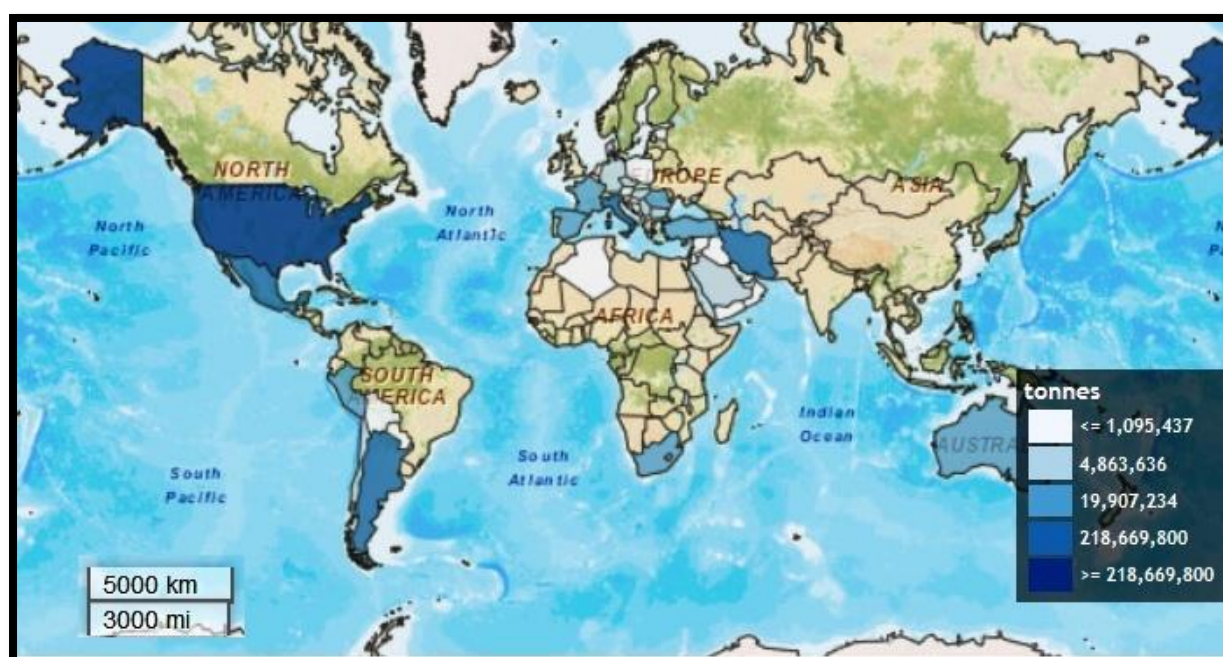


Figure.2. : Production de la luzerne dans le monde (Faostat, 2015).

4- Description de la plante

<https://www.tela-botanica.org/bdtfx-nn-41530-synthese>

5- Les ressources naturelles chez *M. truncatula*

Les Medicago annuelles, dont *M. truncatula*, ont fait l'objet de nombreuses collections dans le monde en étant une composante principale dans les systèmes de Ley-farming. Un total de 5700 populations naturelles de *M. truncatula* existe dans les collections mondiales (Tableau.2.).

URL: http://www.noble.org/MedicagoHandbook/pdf/WildAccessions_Populations.pdf

Tableau.2.: Distribution des populations de *M. truncatula* collectées dans différents pays et composant les collections mondiales existantes.

COUNTRY	<i>M. truncatula</i>
Algeria	755
Tunisia	951
Morocco	909
Libya	413
Egypt	2
Jordan	38
Israel	296
Iran	3
Syria	3
Turkey	50
Cyprus	424
Malta	6
Greece	355
Italy	292
France	142
Spain	226
Portugal	110
Canary & Madeira	13
Turkmenistan et Azerbijan	3
Russia	1
Eastern Europe	7
Ethiopia	1
America	3
Australia	612
South Africa	17
Unknown	68
TOTAL	5700

5- *Medicago truncatula* comme modèle

<http://www.ocl-journal.org> ou <http://dx.doi.org/10.1051/ocl.2001.0478>

https://www6.inrae.fr/labex-tulip_eng/News/Genome-of-model-legume-Medicago-truncatula-sequenced

6- Outils disponibles

- Transformation génétique relativement facile.
- Collection de mutants (mutagenèses par agents physico-chimiques et mutagenèse insertionnelle).
- Banque d'ESTs et de cDNA.
- Une collection de 195 lignées recombinantes (RIL).
- Nombreux marqueurs moléculaires : RFLPs, RAPDs, SSRs.
- Analyse transcriptomiques.
- Invalidation de gènes par RNAi.

La tomate : Modèle pour les solanacées et les fruits charnus

Introduction

La tomate, dont le nom nous vient des Aztèques (peuple ancien s'étant installé au Mexique) fut d'abord utilisée comme plante ornementale, suspectée par les botanistes à cause de sa parenté avec la belladone dont ils connaissaient la toxicité. Mais son fruit est devenu peu à peu partie intégrante de toutes les cuisines du monde. Consommée fraîche, en jus, en sauces, ou en concentrés, en condiments, la tomate fait aujourd'hui l'objet d'une production industrielle considérable ainsi que de nombreuses recherches scientifiques.

1-Classification taxonomique

La tomate, le poivron, la pomme de terre et l'aubergine appartiennent aux plantes à fleurs de la famille des solanacées. Les solanacées comprennent plus de 3000 espèces, dont plusieurs sont exploitées commercialement. Même s'il y a plus de 7000 variétés de tomates, elles représentent toutes une seule espèce de tomate cultivée, *S. lycopersicum*.

Les tomates ont eu plusieurs noms scientifiques au fil des ans, y compris *Solanum lycopersicum* et *Lycopersicon esculentum*. Au départ on pensait que les tomates étaient liées à d'autres plantes. Au début des années 1700, Linnæus a classé les tomates dans le genre *Solanum* en se basant sur leurs caractéristiques visibles. Au milieu des années 1700, Philip Miller, un autre botaniste qui n'était pas d'accord avec le classement de Linnæus, a classé les tomates dans le genre *Lycopersicon*. Il pensait que les tomates appartenaient à un genre différent des autres espèces de solanacées toxiques. Plus récemment, les taxonomistes ont reclassé l'espèce, l'a remettant dans le genre *Solanum* en se basant sur des informations génétiques.

Tableau.3. Classification taxonomique de

Règne	Végétale
Embranchement	Angiosperme
Classe	Magnoliopsida
Ordre	Solanale
Famille	Solanacées
Genre	<i>Solanum</i>
Espèce	<i>S. lycopersicum</i>

2- Centre d'origine et production

Les plants de tomates sauvages viennent de la région montagneuse (les Andes) d'Amérique du Sud, qui comprend aujourd'hui le Pérou, la Bolivie, le Chili et l'Équateur. On croit que les tomates ont d'abord été cultivées par les Aztèques et les Incas dès 700 apr. J. C. On ne sait pas exactement comment ni qui a introduit les graines de tomates en Europe, mais au 16^e siècle, des références aux tomates ont commencé à apparaître. Il semble que sa domestication ait eu lieu au Mexique.

Au 20^e siècle, la tomate (*Solanum lycopersicum*) est consommée dans le monde entier. Considérée comme fruit par les botanistes et comme légume par les cuisiniers, sa production globale est estimée à 130 millions de tonnes. La Chine serait le premier producteur avec 40 millions de tonnes. L'Europe est numéro deux, et produit autour de 16 millions de tonnes de tomates. Les autres pays qui ont un taux de production élevé sont les USA, l'Inde et la

Turquie, l'Égypte, le Maroc et l'Iran. En Europe, L'Espagne et l'Italie sont les plus gros producteurs de tomates. Selon la FAO, elle cultivée par 170 pays dans le monde.

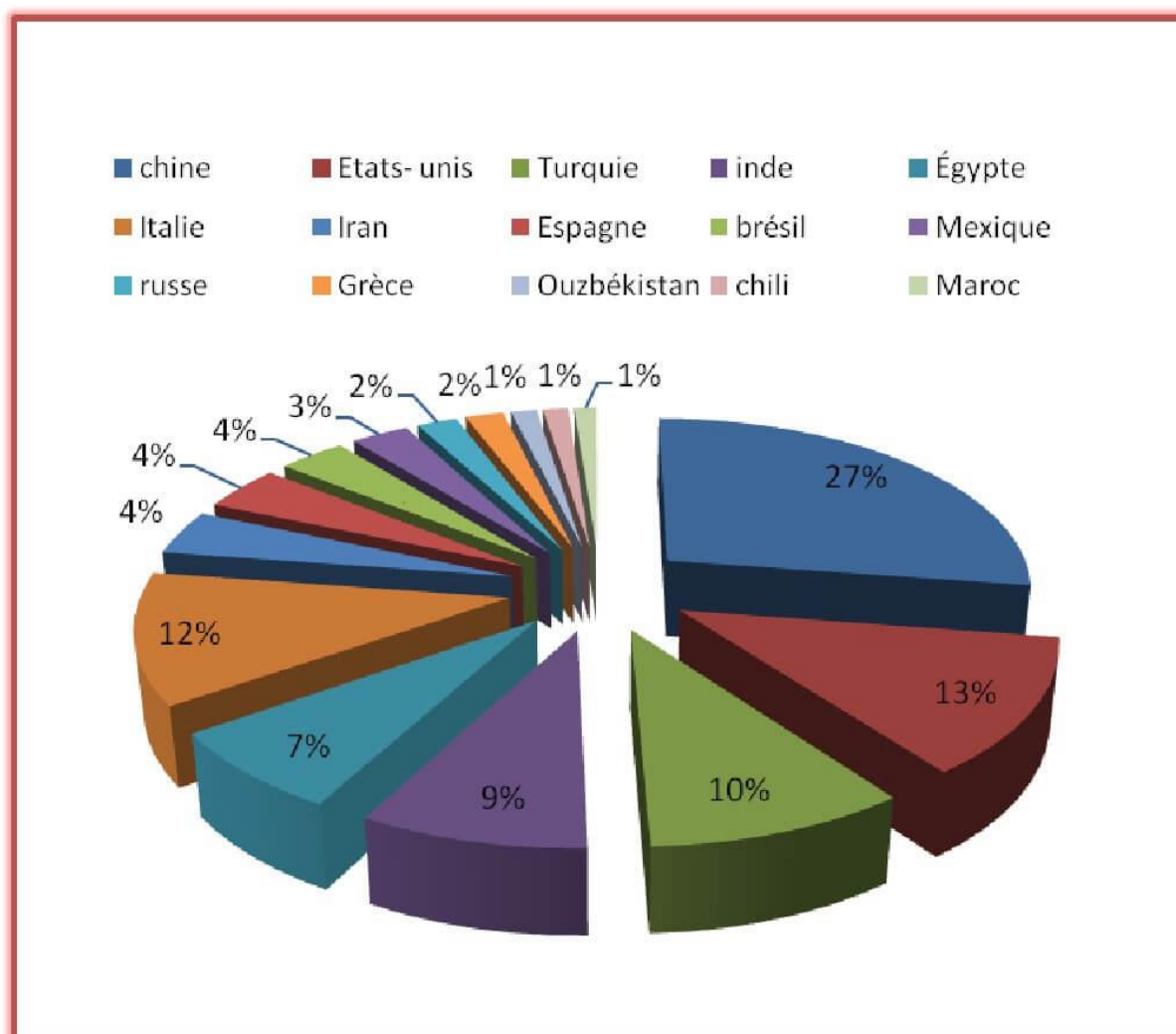


Figure.3. Les principaux pays producteurs de tomate dans le monde (1997-2007)

(F.A.O, 2009).

3- Description de la plante

<http://libresavoir.org/index.php?title=Tomate>

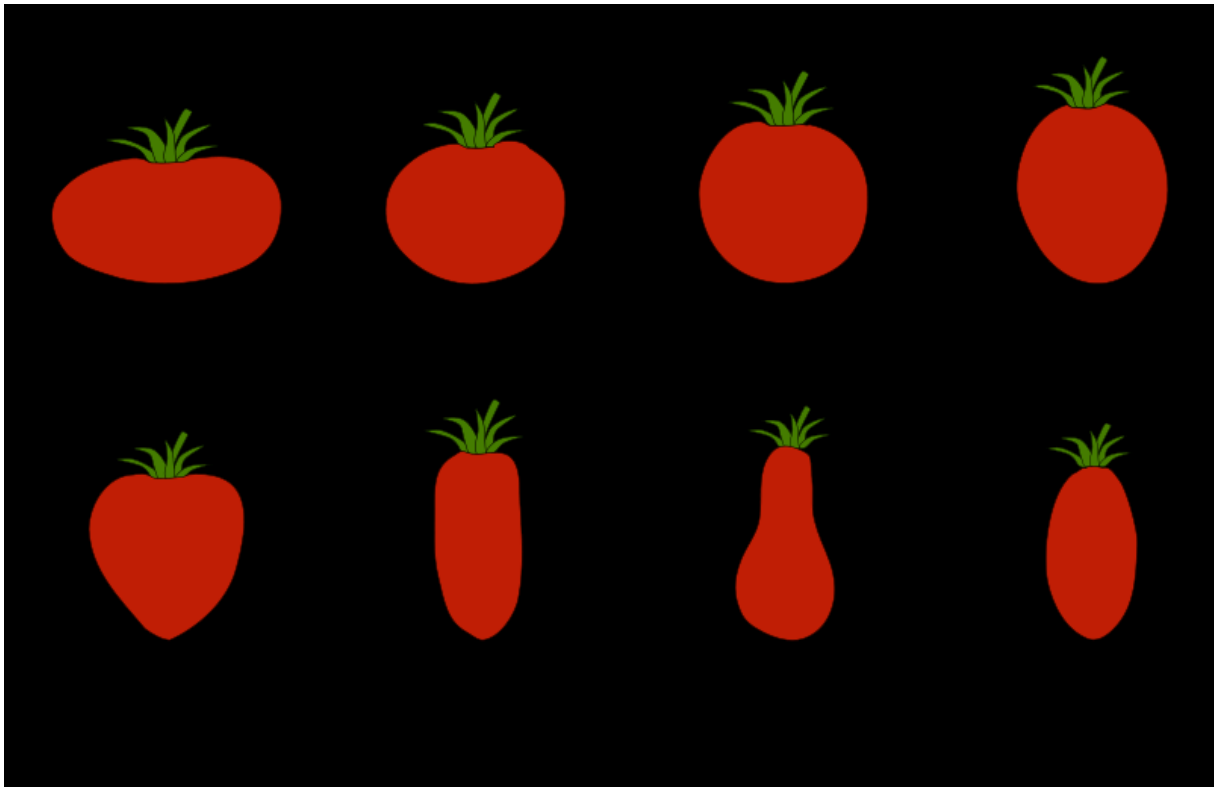


Figure.. Différentes formes de tomates utilisées pour décrire une variété.

- | | |
|------------------------------|-------------------------------|
| 1 : aplati | 5 : cordiforme |
| 2 : légèrement aplati | 6 : cylindrique |
| 3 : arrondi | 7 : pyriforme |
| 4 : allongé arrondi (ovoïde) | 8 : obovoïde (forme de prune) |

4- Outils disponibles

-Collection de 1008 lots d'espèces sauvages.

-Collection des 877 mutants monogénique (mutagenèses par EMS révélés par méthode de TILLING notamment et par insertions de T-DNA).

-Nombreux marqueurs génétiques : RFLPs (Restriction Fragment Length Polymorphism), AFLPs (Amplified Fragment Length Polymorphism), SSRs (simple sequence repeat), SNPs.

-Grande collection d'ESTs (>250 000 environ).

-Analyses QTLs, protéomes et transcriptomiques possibles.

-Transformation génétique possible.

-Extinction de gènes par RNAi ou par VIGS (Virus Induced Gene Silencing).

5-Utilisation comme modèle

La tomate est une espèce diploïde possédant 12 paires de chromosomes ($2n = 2x = 24$). La taille de son génome est estimée à 950 Mb ($2C = 1,90$ pg d'ADN) et il contiendrait environ 35 000 gènes. Le génome de la tomate est de taille intermédiaire entre celui d'*A. thaliana* ($2n=20$, $2C = 130$ Mb) et celui du maïs ($2n = 20$, $2C = 2500$ Mb). La carte génétique de référence (<http://solgenomics.net/>) a été construite à partir d'un croisement interspécifique entre un cultivar de l'espèce *S. lycopersicum* et une accession de l'espèce *S. pennellii*. Elle a été construite à partir de 80 individus F2 et mesure près de 1300 cM. De nombreux marqueurs (2506 au total) sont cartographiés sur cette carte : marqueurs RFLP (Restriction Fragment Length Polymorphism), marqueurs microsatellites (Simple Sequence Repeat - SSR) ou marqueurs COS (Conserved Orthologous Sequence) issus de séquences conservées entre solanacées et *A. thaliana*.

<https://academic.oup.com/pcp/issue/46/1>

<https://academic.oup.com/jxb/article/53/377/2023/497211>

Le peuplier : Modèle pour les lignieux

Introduction

Le peuplier, *Populus trichocarpa*, (espèces nord-américaine) est un arbre de la famille des Salicacées, genre extrêmement riche d'espèces variées, doté d'une classification complexe, dans laquelle nous n'entrerons pas. Nous nous bornerons à signaler que les systématiciens distinguent cinq sections, de très nombreuses espèces, sous-espèces, variétés et cultivars. Les différentes espèces peuvent vivre sous des climats très variés: Europe, Asie, Amérique du Nord et on retrouve même petit îlot en Afrique équatoriale.

La culture des peupliers présente deux atouts majeurs: la qualité de leur bois ainsi que la rapidité de leur croissance. (15 à 20 ans de développement d'une peupleraie suffisent pour récolter 300 m³/ha), le peuplier est une essence recherchée par les industriels, qui apprécient son bois clair, léger et au fil droit. On emploie le bois de peuplier depuis l'Antiquité dans la construction, les perches de charpente des terrasses, le clayonnage par exemple, ou encore

dans la fabrication de meubles légers. Ces arbres dioïques (pied male et pied femelle) peuvent être planté mais aussi cultivés comme une plante de grande culture. Et l'on s'est aperçu qu'il répondait de façon remarquable aux techniques de culture intensive.

2- Espèces et origine

Le Peuplier d'Italie est un arbre originaire d'Iran. Il a été introduit en Italie puis en France (sur les bords du canal de Briare) en 1749. Le général Bonaparte (pas encore Napoléon) apprécia cet arbre, lors de ses campagnes en Italie, et en fit planter dans l'Est de la France.

- Le Peuplier noir commun est originaire d'Europe.
- Le Peuplier grisard est un hybride de Tremble x Peuplier blanc.
- Le peuplier blanc (*Populus alba*) est un arbre originaire de l'ouest de l'Europe. Ses feuilles virent au jaune en Europe, au rouge en Amérique.
- Le Peuplier du Canada est un hybride spontané en France apparu en 1750.
- Le Tremble, *Populus tremula*, est originaire d'Europe, d'Asie et d'Afrique du Nord. Son nom vient de ce que sa feuille "tremble" et s'agite au moindre coup de vent, comme, semble-t-il, le peuple ! En effet, elle est soutenue par un long pétiole aplati qui leur permet d'osciller à la moindre brise.

En Amérique : Peuplier baumier, Peuplier faux-tremble.

En Chine : *Peuplier lasiocarpa*.

4- Production

Selon les estimations, 70 pays cultivent des peupliers et des saules, mélangés à d'autres essences forestières naturelles dans des plantations forestières ou comme arbres individuels parsemés dans le paysage (y compris dans les systèmes agroforestiers). Les rapports nationaux présentés à la Commission internationale du peuplier (CIP) en 2004 ont montré que, au plan mondial, leur superficie dépasse 80 millions d'hectares. Selon les rapports, la Fédération de Russie, le Canada et les Etats-Unis ont la superficie la plus étendue de peupliers et de saules présents naturellement, alors que la Chine, l'Inde et le Pakistan possèdent les plantations les plus vastes.

TABLEAU 3. Principaux pays ayant soumis un rapport sur la superficie de leurs plantations de peupliers

Pays	Superficie (milliers d'ha)
Chine	4 900
Inde	1 000
France	236
Turquie	130
Italie	119
Argentine	64

TABLEAU 4. Principaux pays ayant soumis un rapport sur la superficie de leurs plantations de saules

Pays	Superficie (milliers d'ha)
Argentine	46
Roumanie	24
Nouvelle-Zélande	20
Suède	15

4- Le peuplier comme modèle

L'importance économique des peupliers, le développement de la populiculture intensive, ont justifié la mise en œuvre de moyens de recherche importants et le peuplier est devenu un arbre modèle, jouant, dans le domaine des ligneux, le rôle de l'*Arabidopsis thaliana* (Arabette des dames) pour les végétaux herbacés. Il faut dire que les peupliers présentent des avantages importants pour les biologistes ; présents dans tout l'hémisphère Nord, on trouve des espèces résistant à des contraintes naturelles très variées, qu'il s'agisse de la sécheresse pour les peupliers du sud comme de *P. euphratica*, ou des basses températures comme les peupliers baumiers d'Alaska. On trouve aussi des niveaux de résistance variés aux divers parasites qui peuvent compromettre l'utilisation de certaines espèces. C'est donc un sujet particulièrement attractif pour les généticiens et, bien entendu, pour les populiculteurs.

Avec un génome diploïde contenant 485 ± 10 millions de paires de bases réparties sur 38 chromosomes, soit quatre fois plus qu'*Arabidopsis thaliana*, il s'agit du premier arbre à être séquencé et de la troisième plante après *Arabidopsis thaliana* et *Oriza sativa*. Ce projet, réalisé par une équipe internationale de 200 scientifiques, aura donc duré 4 ans, jusqu'à la publication des résultats. Les résultats sont nombreux : plus de 45500 gènes codant pour des protéines ont été identifiés. En outre, le génome du peuplier a subi deux épisodes de duplication de son génome. Les gènes sur-représentés chez *P. trichocarpa* sont impliqués dans la biosynthèse de la paroi lignocellulosique, dans le développement méristématique, dans la

résistance aux maladies et dans le transport des métabolites. La comparaison avec le génome d'*A. thaliana* a permis d'identifier 13019 paires de gènes orthologues (identifiés par l'outil BLAST). De plus, le peuplier possède plus de gènes codant pour des protéines. Le séquençage du génome des peupliers servira de guide pour les travaux de même genre sur les eucalyptus ou les pins.