

## Etat des connaissances sur le Paulownia Un engouement récent en France sur un genre peu connu



*Par Jimmy Bonigen et Benjamin Cano, Centre National de la Propriété Forestière – Institut pour le Développement Forestier, 28/06/2024*

# 1 Table des matières

1	Table des matières .....	2
2	Biologie .....	4
3	Historique et développements récents.....	6
4	Autécologie du Paulownia.....	8
4.1	Conditions climatiques .....	8
4.2	Un fort besoin en eau.....	11
4.3	Conditions édaphiques.....	13
5	(Sylvi)culture.....	14
5.1	Travaux avant plantation.....	14
5.2	La plantation.....	15
4.3	Travaux sylvicoles (tailles, recépage) .....	18
5.3	Récolte et productivité.....	19
6	Risques sanitaires .....	22
6.1	Risques abiotiques.....	24
6.2	Risques biotiques.....	24
6.2.1	Agents pathogènes.....	24
6.2.2	Insectes ravageurs .....	31
7	Impacts sur l'écosystème .....	34
7.1	Caractère invasif.....	34
7.2	Autres impacts sur l'environnement.....	36
8	Valorisations .....	37
8.1	Propriétés du bois .....	37
8.2	Bois d'œuvre.....	39
8.3	Bois d'industrie.....	40
8.4	Bois énergie .....	41
8.5	Autres usages .....	41
9	Aspects législatifs et fiscaux en France .....	42
10	Conclusion .....	44
11	Entreprises.....	45
12	INDEX DES ILLUSTRATIONS.....	45
13	BIBLIOGRAPHIE.....	47

## En bref, à retenir :

- Groupe d'espèces du genre *Paulownia* se caractérisant par une **très forte dynamique de croissance** en condition culturale intensive (travail du sol, fertilisation, irrigation, traitements phytosanitaires, tailles).
- Groupe originaire d'**Asie de l'Est**. De nombreux retours d'expérience pour produire du bois à l'international notamment dans le Sud puis l'Est de l'Europe, très peu de recul en France sauf en horticulture (essence depuis longtemps implantée dans les parcs urbains).
- Développement depuis quelques années de plusieurs start-ups en France, spécialisées dans la vente et le conseil sur les paulownias.
- Besoins climatiques contrastés entre espèces, avec une tolérance au froid entre **-29°C et 0°C**, limitant l'aire d'implantation d'un certain nombre d'espèces au Nord et en altitude. On note une sensibilité importante au vent et aux gelées tardives.
- **Arbres très exigeants en eau** (particulièrement les premières années), tout en étant sensibles à l'engorgement et aux sols lourds. A réserver aux sols filtrants et en régime hydrique non limitant. L'apport de fertilisation et d'irrigation est indispensable pour atteindre de bons rendements.
- Plantation à densité variable : entre 200 et 800 plants/ha pour produire du bois d'œuvre en **5 à 12 ans**, et entre 1200 et 2000 plants/ha pour la production de biomasse avec une rotation de **3 ou 4 ans**.
- Renouvellement par recépage :
  - 3 à 5 cycles pour la production de biomasse en très courte rotation ;
  - jusqu'à 9 cycles en rotation plus longue pour la production de bois d'œuvre avec la sélection d'une tige par cépée, suivie en taille et élagage pour produire du bois de qualité.
- Risques sanitaires biotiques très nombreux dans son aire naturelle et les aires d'introduction les plus anciennes (Etats-Unis, Australie, Europe centrale...). Nb d'espèces citées dans cette synthèse = 35 agents pathogènes, 34 insectes ravageurs.
- Signalements de pathogènes (*Phytophthora ssp*) et/ou insectes ravageurs (*Halyomorpha halys*) potentiellement risqués pour le *Paulownia* en France
- Risques avérés de colonisation des écosystèmes patrimoniaux liés au caractère invasif de l'essence : Grande capacité de dissémination des espèces naturelles
- **Bois très léger**, à exclure des usages nécessitant une bonne résistance mécanique. Bonne stabilité dimensionnelle, peu putrescible, facile à travailler, bon isolant thermique et peu inflammable.
- Usages variés du bois :
  - bois d'œuvre : ameublement, artisanat, ski, panneaux contreplaqués ;
  - Usages industriels : laine de bois, papier, biopolymères ;
  - Production d'énergie : bois de chauffage peu calorifique, granulé, intéressant pour la production de bioéthanol.
- Intérêts divers : ornemental, agroforesterie, engrais vert, vertus thérapeutiques, biorémédiation.
- Statut réglementaire des paulownias pas encore très bien défini en France. Une plantation de paulownias n'est actuellement pas admise dans les **documents de gestion durable**. Il n'apparaît pas dans les **arrêtés MFR** (matériels forestiers de reproduction) et n'est donc pas finançable au niveau des aides publiques. Il est également confronté à la réglementation européenne dans certaines conditions en forêt. Par ailleurs, la plantation en plein de paulownias n'est pas finançable par la **PAC**.
- Finalement, de par leurs comportements héliophiles, leur dynamique de croissance, les pratiques culturales qui leur sont adaptées et leurs valorisations historiques en agroforesterie, les paulownias apparaissent comme des **arbres à réserver au monde agricole**.

## 2 Biologie

Les paulownias, membres de la famille des paulowniacées (anciennement classés parmi les scrophulariaceae), sont des arbres caducs à croissance rapide connus pour leur capacité à produire rapidement une biomasse importante (Tusevhaan et al., 2023). Au moins **huit espèces de paulownias sont bien identifiées**, réparties en deux clades sur la base des caractéristiques de leurs inflorescences et de leurs fruits. Mais selon Danciu et al (2016), il existerait plus de 20 espèces assez proches morphologiquement et génétiquement. Il n'y a aucun consensus sur le nombre exact d'espèces de paulownia d'après une référence de 2010 (Akyildiz and Kol, 2010).

Parmi les espèces les plus couramment cultivées, on trouve *P. tomentosa*, *P. elongata*, *P. fortunei*, *P. fargesii*, *P. galbrata* et *P. catalpifolia* (Jakubowski, 2022) ainsi que des hybrides sélectionnés pour leur productivité et leur adaptabilité environnementale (Lugli et al., 2023) tel que *P. elongata* × *P. fortunei* ou *P. fortunei* × *P. tomentosa*. Certains des hybrides les plus connus sont les clones in vitro « 112 » (*P. elongata* × *fortunei*), « Cotevisa 2 » (*P. elongata* × *fortunei*), « Sundsu 11 » et « Shan Tong » (*P. fortunei* × *P. tomentosa*). Il existe également des hybrides naturels, tels que *P. taiwaniana*, issu d'un croisement entre *P. kawakamii* et *P. fortunei* (Rana et al., 2018).

Les hybrides de Paulownia « Shan Tong » se distinguent par une croissance rapide, une bonne résistance au froid jusqu'à -27 °C et un bois léger. Ils sont largement utilisés dans la production de papier, de meubles et de biomasse, notamment en Pologne (Ptach et al., 2017). Ils sont obtenus par multiplication in vitro des espèces *P. tomentosa* et *P. fortunea* (Jakubowski, 2022). Les paulownias peuvent atteindre une hauteur de 20 à 30 mètres dans des conditions naturelles et jusqu'à 50 mètres (Hassanzad Navroodi, 2013) pour un diamètre de plus de 2 mètres pour des arbres enregistrés en Chine, au sein de leur aire d'origine.

Les paulownias forment de nombreuses branches basses en milieu ouvert mais à plus forte densité, ils présentent une bonne rectitude de tronc. Ils développent en quelques années un système racinaire pivotant puissant qui leur permet de chercher de l'eau en profondeur, les rendant ainsi relativement résistants à la sécheresse **tant qu'ils ont accès à une nappe d'eau**, idéalement à moins de 2 m de profondeur. Pour autant, **ils restent des arbres réputés exigeants en eau, particulièrement les premières années**. Par ailleurs, leur importante surface foliaire couplée à une **faible capacité de régulation stomatique conduit à une forte évapotranspiration, qui les rend non économes en eau** (Danciu et al., 2016). Leur capacité de croissance va de pair avec une **forte capacité d'absorption des éléments nutritifs, avec pour conséquence un fort besoin en éléments nutritifs pour maintenir des rendements de production soutenu**, impliquant un risque d'appauvrissement des sols acides, mais aussi une potentielle valorisation de ces arbres pour la phytoremédiation des sols contaminés par les métaux lourds (Zhang et al., 2020).



© ferenc somogvi  
Photographie 1 – Paulownia en fleur -  
Source : ferencsomogvi



Photographie 2 – Fruit de *Paulownia tomentosa* – Source : Mireille Mouas IDF

**La reproduction des paulownias peut se faire par voie sexuée ou végétative, voie privilégiée dans le cadre de la production de biomasse** (Dubova et al., 2019) via le recépage du taillis. Ils produisent des graines abondantes après l'âge de 8 ans en moyenne. Ce sont de petites graines à ailettes qui se propagent par anémochorie. Les graines ont besoin de lumière et d'un sol aéré et frais pour germer.

**Les paulownias présenteraient une activité photosynthétique en C4, ce qui leur permet d'optimiser leur métabolisme photosynthétique en conditions d'ensoleillement** (Tusevhaan et al., 2023). Les plantes en C4 ont une stratégie d'adaptation leur permettant de capturer efficacement le dioxyde de carbone dans des environnements chauds et secs, en utilisant des cellules spéciales permettant de réaliser la photosynthèse même en période de sécheresse en gardant les stomates fermées pour minimiser la perte d'eau pendant la photosynthèse. Certains promoteurs d'investissement dans les plantations de paulownia font référence à cette prétendue supériorité photosynthétique du paulownia, un avantage par exemple dans la séquestration de carbone. **Cependant la communauté scientifique n'est pas unanime sur le sujet**, et des scientifiques ont montré que certaines espèces (*P. tomentosa*, *P. fortunei* et *P. kawakamii*) n'utilisaient pas la photosynthèse en C4 (Young and Lundgren, 2023). On retrouve bien des enzymes métaboliques liées à la photosynthèse en C4 chez les paulownias comme pour d'autres plantes en C3, mais leur niveau d'activité est plus faible que pour des plantes en C4 (Georgieva et al., 2018).

Les performances de croissance sont affectées par divers stress, tels que la sécheresse, le manque de lumière ou la salinité. Ces arbres sont des **héliophiles stricts**, incapables de pousser à l'ombre d'autres arbres. Ils présenteraient une bonne capacité d'installation en milieu ouvert, ce qui, couplé à leur croissance juvénile exceptionnelle, fait d'eux des **pionniers très vigoureux pouvant coloniser les zones ouvertes suite à des perturbations** (Starfinger et al., 2003), présentant donc un **risque d'invasivité** qui sera investigué dans le chapitre 6.

La phénologie des paulownias est très dépendante de la température. Même plantés au printemps, les jeunes plants de paulownia commencent à pousser de mi-avril à début mai. Les jeunes arbres peuvent fleurir prématurément en cas de chaleur précoce en sortie d'hivers, exposés alors au risque de gelée tardive. Ils peuvent développer de nouveaux bourgeons ou rejets après un stress comme un coup de froid par exemple (Danciu et al., 2016).

### 3 Historique et développements récents

**Les espèces du genre paulownia sont indigènes d'une vaste zone du continent asiatique, allant de la Corée au Vietnam et des contreforts du Tibet jusqu'à l'île de Taïwan.**

Le nom "paulownia" a été donné à l'arbre en l'honneur d'Anna Pavlovna Romanova, grande-duchesse de Russie, et plus tard, reine des Pays-Bas, qui a parrainé la deuxième expédition de Philipp von Siebold au Japon en 1861 (Tusevhaan et al., 2023).

Ils sont cultivés depuis longtemps en Chine, où il a été au centre d'un vaste projet agroforestier dans les années 70. Près de 1,3 millions d'hectares de terres agricoles ont été plantés avec cette essence. Zhu Zhao-hua et son équipe ont accompagné les agriculteurs dans ce projet en étudiant les paulownias sous de nombreux aspects (Zhu et al., 1986). Ce chercheur chinois a notamment formé en 1974 un groupe de recherche national sur ce genre botanique (Gyuleva, 2008).



Photographie 3 – Portrait d'Anna de Pavlovna – Source : Jan Baptist van

À ce jour, les paulownias ont été largement introduits au Japon, en Australie, au Brésil, en Europe et aux États-Unis, initialement comme arbre d'ornement et en agroforesterie. Aujourd'hui, environ 50 pays développent des programmes de reboisement avec certaines espèces et hybrides de ce genre (Berdón et al., 2017). L'un des premiers pays à l'introduire à grande échelle a été les États-Unis, avec des paulownias (*P. tomentosa*) importés vers 1840.

En raison de sa croissance rapide, il a été surnommé "l'arbre du futur". Au cours des 150 dernières années, il s'est répandu dans les différents états, posant parfois problème en raison de son caractère colonisateur (Lugli et al., 2023) conduisant à un débat animé sur toutes les espèces de paulownia (Tusevhaan et al., 2023). Bien que son caractère envahissant ait été reconnu dans certaines zones géographiques conduisant à son éradication dans certains états des USA, sa réputation d'arbre extrêmement productif et ses nombreuses valorisations possibles font du Paulownia un arbre encore très recherché. En dehors de son aire d'origine, les meilleures conditions de croissance se trouvent au Moyen-Orient et dans le Sud de l'Europe, où on l'a expérimenté depuis assez longtemps. **Les espèces pures initialement cultivées sont aujourd'hui de plus en plus remplacées par les hybrides** à l'exemple de la Bulgarie, où la culture des espèces purs avaient globalement échoué (Gyuleva, 2008).

La première trace historique d'introduction de paulownia en Europe est l'arrivée d'un *P. tomentosa* à Paris au Jardin des Plantes en provenance du Japon en 1834. Il a survécu jusqu'en 1956, soit pendant 122 ans (Santi and Muller, 2023). Depuis, cette essence s'est largement répandue dans les parcs et jardins des grandes villes d'Europe dont la France. **Aujourd'hui, la culture du paulownia est largement dominée en Europe par des hybrides sélectionnés principalement in vitro, avec des clones spécifiques comme le « 112 », « Cotevisa 2 » et « Shan Tong »** (Rana et al., 2018).

Les recherches sur la culture du paulownia sont encore relativement récentes en Europe, avec des **expériences principalement axées sur la reproduction des hybrides développés en Asie ou dans le Sud de l'Europe** (Jakubowski, 2022). **Des études sur la productivité des paulownias sont actuellement en cour en Europe centrale.** En Bulgarie, de nombreuses études sont menées sur les espèces à croissance rapide en forêt. Des plantations forestières intensives à courte rotation à partir de clones sélectionnés de peuplier, saules, paulownia ou encore acacia sont suivies. La biomasse provenant des plantations est vue comme une nouvelle alternative pour la production de bioéthanol (Yavorov et al., 2015). En Slovaquie, les paulownias sont testés en raison de leur productivité et la possibilité de valoriser des terres en déprise agricole, ou encore en agroforesterie dans une optique de restauration du milieu (Pástor et al., 2022).



Photographie 4 – Paulownia en fleur en jardin horticole – Source : Vincent Tourret - IDF

Les résultats actuels ne semblent pas être à la hauteur des résultats obtenus au Moyen-Orient et dans le Sud de l'Europe (Jakubowski, 2022) sans doute en raison de conditions pédoclimatiques moins adaptées.

**On ne trouve quasiment aucune étude publiée en France sur le sujet du paulownia en plantation « forestière », en dehors de la littérature horticole.**

Les essais sur le terrain sont encore peu nombreux et très récents pour la plupart avec peu de retour d'expériences. Pour autant, plusieurs entreprises spécialisées dans le paulownia se développent aujourd'hui en France comme la start-up **AB Paulownia** créée fin 2022 et basée à Fyé, dans la Sarthe. Elle accompagne les clients dans leur projets depuis l'achat des plants jusqu'à la vente du bois. C'est le distributeur exclusif du clone « Cotevisa 2 » produit par l'entreprise espagnole **COTEVISA**, un hybride de *P. elongata* et *P. fortunei*. **Arbrepaulownia** est un pépiniériste représentant de WeGrow en France. Le consortium **WeGrow** fondé en 2009 en Allemagne fait partie des principaux producteurs d'arbres paulownia en Europe mais également un important exploitant des plantations de paulownia. Arbrepaulownia distribue les hybrides NordMax21<sup>®</sup>, Phoenix One<sup>®</sup>, H2F3<sup>®</sup> et H2F4<sup>®</sup> (*P. catalpifolia* x *fortunei*), tous produits par WeGrow. Sa société sœur KIRITEC basée en Allemagne est spécialisée dans la vente de paulownia en s'approvisionnant sur le marché Européen. Elle gère toute la chaîne de production : du transport, du séchage et du stockage jusqu'au sciage et à la transformation et la vente du bois. On peut également citer d'autres pépiniéristes comme **Paulownia France** implanté depuis 2018 dans le Lot-et-Garonne. Cette société, une des leaders du marché en France, a introduit cette culture dans l'hexagone depuis quelques années. Elle propose les variétés « Shan Tong », « G3 », « Lankao », « Z07 », « EMPRESS DYNAMITE » qui est une exclusivité de l'entreprise pour un usage agroforestier et ornemental mais aussi les espèces pures *P. fortunei* et *P. elongata*. **Paulownia Energy**, société fondée en Ukraine en 2017 s'est installé en France en 2022. Le groupe a également ouvert des pépinières en Pologne et en Italie en 2023.

Il produit les variétés suivantes : « Shan Tong », « Pao Tong Z07 », le paulownia « Energy » (*P. fortunei* x *elongata*) produit in vitro par l'entreprise en Ukraine ainsi que les espèces *P. tomentosa* et *P. elongata*.

## 4 Autécologie du Paulownia

### 4.1 Conditions climatiques

**Les paulownias sont répartis des zones tropicales aux zones tempérées.** Les températures maximales absolues dans leur aire de répartition peuvent varier entre 31 et 47°C. On les trouve à des altitudes allant du niveau de la mer jusqu'à environ 2400 m d'altitude (Danciu et al., 2016).

- *P. tomentosa* nécessite des températures supérieures à un minimum de -20°C ;
  - *P. elongata* et *P. catalpifolia* : de -15 °C à -18 °C ;
  - *P. fortunei*, *P. australis*, *P. kawakamii* et *P. fargesii* : de -5 °C à -10 °C.
- d'après Berdon et al (2017), confirmés par Lugli et al. (2023).

Danciu et al. (2016) avancent plutôt que *P. elongata* supporte des températures jusqu'à -26°C, non sans conséquence néanmoins sur la croissance. En effet, selon Olave et al. (2015) , les hivers très froids limitent la croissance des paulownia dans les latitudes nordiques.

**Des écologues chinois ont réalisés une étude sur l'aire de répartition de 3 espèces principales de paulownia en Chine** (aire de répartition naturelle) mais aussi dans ses aires d'introduction pour *P. tomentosa* (Fang et al., 2011).

Les résultats ont été repris par Georges Pottecher, fondateur de FORESTYS qui a également calculé les limites climatiques de *P. tomentosa* sur l'ensemble de ses aires de présence (naturelle et introduction) à partir de 11 236 observations recensées par le GBIF (global biodiversity information facility) et en croisant ces zonages avec les données climatiques de Chelsa Climate. Ainsi la niche climatique identifiée pour ces espèces confirme les chiffres précédemment cités, tout en apportant des précisions supplémentaires.

Espèce	Température moyenne annuelle	Température moyenne du mois le plus chaud	Température minimale absolue	Température moyenne du mois le plus froid	Pluie annuelle (mm)	Pluie estivale (mm)
<i>Paulownia elongata</i> (Chine)	12,5 à 16 °C	24 à 28 °C	-15°C	-4 à 4 °C	600-1400	350-550
<i>Paulownia fortunei</i> (Chine)	15 à 23 °C	19 à 30 °C	-10°C	0 à 17 °C	1200-2500	370-1400
<i>Paulownia tomentosa</i> (Chine)	11 à 17 °C	16 à 29 °C	-25 à -20°C	-15 à 14 °C	500-1500	230-900
<i>Paulownia tomentosa</i> (monde, GBIF)	9,4 à 16,0 °C	Moyenne des Tmax : 21 < Tx < 30,5 °C		Moyenne des Tmin : -3,9 < Tn < 4,7 °C	585-1420 (> 900 dans la partie la + chaude de l'aire)	110-390 (50-150 dans la partie la + chaude de l'aire)
Saint Quentin (02) pour 1991-2020	10,8 °C *	18,4 °C Tx = 24,0 °C	-20 °C en 1985 -14,8 °C en 2013	3,6 °C Tn = 1,1 °C	683	191

Tableau 1 – d'après Georges Pottecher, FORESTYS

La dernière ligne du tableau correspond aux données climatiques de la ville de Saint Quentin dans l'Aisne, dans un contexte climatique tempéré océanique dégradé typique de la région Hauts-de-France. On constate que *P. tomentosa* apparaît comme l'espèce la plus adaptée à ces conditions typiques du Nord de la France.

Selon El-Showk et El-Showk , les températures optimales de croissance pendant la saison de végétation se situeraient entre 24°C et 29°C quelle que soit l'espèce. Plusieurs articles (Hassanzad Navroodi, 2013; Jakubowski, 2022) considèrent plutôt des températures optimales entre 15 et 23°C.

Les conditions climatiques méditerranéennes affectent négativement la production des paulownias, en raison d'un fort déficit de pression de vapeur (VPD) entraînant une forte évapotranspiration (Icka et al., 2016).

L'hybride « Shantong » qui a été développé en Chine en 1982 peut résister à des températures jusqu'à -29°C. Il présente de surcroît une croissance plus rapide et une résistance plus élevée à la sécheresse que les espèces pures dont il est issu. Il est adapté à conditions continentales rencontrées en Europe de l'est, comme en Roumanie (Danciu et al., 2016).



Carole Penpoul - CRPF PACA ©  
Photographie 5 – Feuille de paulownia  
– Source : Carole Penpoul, CRPF PACA

Concernant les autres hybrides, ils sont actuellement principalement cultivés dans le sud de l'Europe, où les gelées sévères ne se produisent pas, il n'y a donc pas de données confirmées sur la résistance au gel des hybrides introduits, et les essais dans des régions plus froides sont souvent trop jeune pour pouvoir conclure (Berdón et al., 2017). L'hybride « Cotevisa 2 », commercialisé en France par AB Paulownia est réputé résistant au gel en hiver mais des dégâts ont été observés en France face aux gelées tardives en avril, avec une perte de dominance apicale en raison d'un débourrement précoce.

**Cependant, certaines observations ont déjà été faites dans des zones géographiques plus froides** : le taux de survie des plants dans des expériences turques sur des plants originaires de Chine se situe entre 50 % et 90 % en raison du gel. En Irlande du Nord, la survie variait de 70 % à 95 % pour les hybrides d'origine espagnole, sauf pour une étude où le taux de survie n'était que de 20 %. En revanche la survie des hybrides d'origine marocaine était de 30 % en moyenne.

Une étude menée à Zaporizhzhia entre 2000 et 2019 montre que *Paulownia tomentosa* est affecté par les gelées tardives en raison de sa phénologie : sa saison de végétation commence fin avril pour finir fin novembre dans la zone d'étude (Dubova et al., 2019). En revanche les températures minimums restant supérieur à -20°C à Zaporizhzhia, *P. tomentosa* s'est globalement acclimaté et est utilisé dans l'aménagement paysagé (Berdón et al., 2017). Les mêmes auteurs signalent pourtant une mortalité complète des plants en hiver dans une plantation en Turquie à 1400 m d'altitude.

Certaines études ont souligné que le gel est particulièrement dommageable pour la croissance des jeunes plants de paulownia lorsque les pousses sont vertes, c'est-à-dire au début de l'hiver ou pendant les gelées printanières. Les clones in vitro « 112 » de paulownia créés par les espagnols (hybride *P. elongata* x *fortunei*) présenteraient une grande résistance aux températures extrêmes, entre -25 et +45°C, et un bois de haute qualité (Durán Zuazo et al., 2013). Cependant, des recherches menées en République tchèque ont montré une croissance insatisfaisante de ces clones au cours des deux premières années de culture en raison du gel (Kadlec et al., 2021) . D'autres chercheurs ont enregistré des dommages importants causés par la neige en hiver 2001 sur le site d'Ulubey situé en altitude en Turquie. A l'inverse, des essais menés en Albanie dans la région de Korça, confrontée à des hivers froids avec des températures descendant jusqu'à -25°C et une pluviométrie limitée (750 mm par an), ont montré des résultats satisfaisants sur la croissance avec peu de mortalité (Icka et al., 2016). Pour citer des hybrides diffusés en France, si on en croit l'entreprise Arbrepaulownia qui le commercialise, le cultivar « NordMax21 » résisterait au gel jusqu'à -22°C. « H2F3 » et « H2F4 » tiendraient jusqu'à -20°C tandis que « Phoenix One » ne tiendrait pas en dessous de -10°C.



Carole Penpoul - CRPF PACA ©  
 Photographie 6 – *Paulownia tomentosa* en PACA – Source : Carole Penpoul, CRPF PACA

Les paulownias sont réputés sensibles au vent, particulièrement les 3 premières années. Ils ont de très grandes feuilles à leur état juvénile, et la tige n'est pas suffisamment ligneuse à ce stade, ce qui la rend fragile aux dommages mécaniques. De plus le système racinaire des jeunes plants n'est pas encore très développé comparé à leur taille, avec le risque de chablis et de plans inclinés (El-Showk and El-Showk, 2003). Par la suite, la tige est plus solide et les feuilles plus réduites, ce qui limite le risque. Par exemple, des expériences menées en Nouvelle-Zélande ont montré sur de jeunes plantations des dégâts sur les branches causés par des vents de l'ordre de 40 km/h, des observations corroborés par Barton L. (2007), observant même des ruptures de tige pour des vents de force comparable.

Le vent limiterait également la croissance des arbres (Berg et al., 2020), affectant même la croissance annuelle 3 à 4 ans après le fort coup de vent (Tusevhaan et al., 2023) et déforme la bille de pied. Pástor et al. (2022) confirment dans leur étude en Slovaquie une grande sensibilité de paulownia aux dommages causés par le vent : cinq ans après la plantation, près de 25% des individus plantés de paulownia présentaient des signes de dommages à la couronne (branches ou tige centrale cassées). Des essais menés en Slovaquie (Pástor et al., 2022) ont montré des résultats très contrastés avec des échecs attribués à différents événements météorologiques inhabituels (gel, sécheresse et vents forts). **Il est recommandé de planter les paulownias sur une zone protégé du vent mais avec un bon ensoleillement, idéalement en exposition Sud** (El-Showk and El-Showk, 2003).

#### 4.2 Un fort besoin en eau



Patricia Woods ©  
 Photographie 7 - Plantation de paulownia pour la production de bois d'œuvre, avec système d'irrigation goutte à goutte - Queensland, Australie – Source : Patricia Woods

**On retrouverait des paulownias dans des zones géographiques avec des précipitations annuelles très variables, entre 500 et 2800 mm (Hassanzad Navroodi, 2013) avec un optimum au-dessus de 1400 mm (sans apport par irrigation).**

**Comme nous l'avons vu le paulownia est réputé sensible aux inondations et à l'engorgement et nécessite donc un bon drainage des sols.** Les arbres perdent leurs feuilles et peuvent même mourir après que le terrain ai été inondé pendant une courte période de 3 à 5 jours en période de végétation (Danciu et al., 2016). **Pour autant le besoin en eau est important.**

L'aire de répartition concerne des précipitations annuelles variant de 500 mm à 2 600 mm avec une forte disparité entre populations et espèces (Berdón et al., 2017), **un minimum de 750 mm/an revient souvent dans la littérature** (Danciu et al., 2016), **sachant que des précipitations moindres sont supportables si la majorité de l'eau tombe pendant la période de végétation, ou si des paramètres compensateurs sont présents** (présence d'une nappe d'eau à faible profondeur). Ces chiffres sont confirmés par l'analyse de Georges Pottecher résumée dans le chapitre précédent une forte amplitude de précipitation allant de 500 mm (pour *P. tomentosa*) à 2500 mm (pour *P. fortunei*). Hassanzad Navroodi (2013) donne une fourchette entre 500 et 2800 mm avec un optimum au-dessus de 1400 mm, les paulownias étant affectés par le manque d'eau en dessous de ce seuil sans facteur compensateur ou apport par irrigation. Il faut naturellement prendre ses chiffres de façon indicative, car ils dépendent de nombreux facteurs : espèces, conditions stationnelles, microclimat, répartition des pluies dans l'année ...

Dans tous les cas, **les rendements exceptionnels de production qu'on retrouve dans la littérature demandent une forte quantité d'eau et d'engrais.** Les systèmes culturaux pour la production de biomasse à très courte rotation s'inscrivent davantage dans une approche de culture conventionnelle que de sylviculture. L'approvisionnement en eau peut contribuer à la production de plus de feuilles et, par conséquent, à une croissance accrue des pousses (Berdón et al., 2017). L'arbre doit être bien irrigué jusqu'à ce qu'il établisse un système racinaire suffisant (El-Showk and El-Showk, 2003). **Le Paulownia doit consommer par exemple 1000 à 2000 litres d'eau par arbre en première année de végétation pour atteindre une production soutenue** (García-Morote et al., 2014). Arbrepaulownia préconise 3000 m<sup>3</sup>/ha/an d'eau pour les hybrides que l'entreprise commercialise. L'irrigation est donc généralement nécessaire, sauf si les conditions stationnelles suffisent à satisfaire les forts besoins en eau de la plante, particulièrement les premières années. Selon El-Showk (2003) **les jeunes plants doivent impérativement être irrigués le jour de leur plantation et à nouveau quelques jours plus tard et à plusieurs reprises pendant la saison de végétation jusqu'à ce qu'il établisse un système racinaire suffisant.** Dans les régions du monde très arrosées, l'irrigation n'est cependant pas nécessaire. Le paillage peut aider à minimiser les pertes dues à l'évaporation pendant la saison chaude.

Berón et al. (2017) insiste sur l'importance de l'irrigation les premières années dans le contexte du sud-ouest de l'Espagne, en précisant qu'elle n'est plus indispensable par la suite pour la survie des plants mais incontournable pour optimiser les rendements pendant les

périodes de sécheresse. Les irrigations par aspersion qui délivrent des doses optimales d'eau aux plantes sont recommandées (Ptach et al., 2017). Des essais dans le sud-est de la Pologne Litwińczuk et Jacek (2023) montrent que l'irrigation est indispensable pour la croissance des paulownias sur sols sableux : augmentation de 65,5% de la croissance en hauteur et de 53,3% de la croissance en diamètre par rapport aux témoins non irrigués.

**En France, Arbrepaulownia et AB Paulownia s'entendent sur la nécessité absolue d'un arrosage régulier pendant les 8 à 12 premières semaines pour réussir la plantation.** AB Paulownia recommande par exemple 5 à 10 litre d'eau par arbre et par semaine sur cette période. Par la suite, le besoin en système d'irrigation va dépendre des conditions stationnelles (accessibilité de la nappe, réserve en eau du sol), des conditions climatiques (pluviométrie, bilan hydrique) et des objectifs de production.

### 4.3 Conditions édaphiques

**On ne retrouve pas une bibliographie très foisonnante en ce qui concerne les conditions pédologiques dans lesquelles les paulownias ont été testés en Europe.** De façon générale, les exigences édaphiques de ces espèces (profondeur, taux d'argile, humidité et drainage, pH) diffèrent peu entre elles. **Les paulownias sont considérés comme assez plastiques**, même si les meilleurs rendements se font nécessairement sur les stations les plus fertiles avec des sols profonds (Danciu et al., 2016).

**Les paulownias peuvent bien pousser dans des sols pauvres en éléments nutritifs, où sa grande capacité à absorber les ions Ca<sup>++</sup> et Mg<sup>++</sup> lui confère un avantage. En conséquence de sa rusticité quant aux conditions trophiques, il permet la valorisation des terrains difficiles** (Yadav et al., 2013). Il a été par exemple utilisé avec un grand succès dans des projets de restauration minière (El-Showk and El-Showk, 2003) même si les enjeux de production sont limités dans ces conditions.

**Sa capacité à pousser dans les sols très salins fait débat.** Jakubowki (2022) par exemple le considère sensible au sel. Tusevhaan et al. (2023) considèrent à l'inverse que les paulownias ne sont pas adaptés à des sols à pH inférieur à 5 mais qu'ils peuvent supporter des PH de 8 ou 9 typiques des sols salés. **Dans tous les cas la qualité du sol affectera fortement les rendements de production. On peut globalement considérer que le pH est optimal entre 5,5 et 7,5, comme pour beaucoup d'essences.** Les paulownias n'ont pas montré un comportement particulièrement calcifuge dans les retours d'expérience de plantation en terrain calcaire.



Photographie 8 - Plantation en forêt alluviale de *P. tomentosa* en Caroline du Sud – Source : Gene Williams

**Les meilleurs rendements sont atteints sur des sols riches en éléments nutritifs, fertilisés plusieurs fois par an avec des engrais azotés** (Danciu et al., 2016). Par exemple, des essais dans le Sud-Ouest de l'Espagne ont donné de bons rendements sur des sols alluviaux bien

drainés (pH de 7,5) et un apport de 500 kg/ha d'un engrais 15-10-15 (N-P-K) appliqué de début juin 2012 (année de la plantation) jusqu'en juin 2014 (Berdón et al., 2017). Un apport de fertilisation au printemps en amont et au moment de la plantation peut également être recommandé selon Arbrepaulownia. AB Paulownia recommande des apports d'engrais pendant environ 5 ans. **L'entreprise ne recommande pas la plantation dans des sols pH < 5 pour des questions de rendement.**

**Ils sont en revanche sensibles à l'engorgement ou encore au manque d'eau, appréciant donc les sols frais filtrant et profonds** (El-Showk and El-Showk, 2003). Ainsi les sols sableux, argilo-sableux voire limoneux conviennent bien si la nappe est accessible à moins de 1,5-2 m de profondeur (Danciu et al., 2016). **A l'inverse, les sols argileux, rocheux et à régime hydrique déficitaires ne sont pas favorables.**

**En raison de la rapidité de production de biomasse des paulownias, il peut y avoir des changements notables dans le sol après leur plantation** (Tusevhaan et al., 2023). Après un an de suivi du sol, il a été constaté que la population microbienne du sol avait diminué autour des arbres, ce qui était lié à une diminution de la teneur en nutriments. D'autres chercheurs ont rapporté des changements similaires liés à l'activité microbienne du sol. Cependant Pástor et al. (2022) rappellent l'intérêt de ces arbres en agroforesterie : les racines profondes de l'arbre aident à retenir l'humidité, tandis que les feuilles mortes agissent comme un engrais. Les troncs et les grandes houppiers des arbres fournissent de l'ombre, protègent le sol contre l'érosion éolienne et abritent les cultures contre les vents desséchants.

## 5 (Sylvi)culture

Outre les arbres d'ornement, on retrouve le paulownia principalement dans des systèmes agricoles conventionnels ou en taillis à courte rotation.

### 5.1 Travaux avant plantation

Quelques articles présentent les travaux réalisés avant l'installation des essais de paulownia. **Les plantations se font généralement après un travail important du sol** : labour en plein sur 30-40 cm de profondeur, passage d'une houe rotative / covercrop (Danciu et al., 2016), sous-solage à 80 cm de profondeur (Berdón et al., 2017). Il est conseillé de réaliser les travaux du sol (décompactage, herse, rotavateur) quelques mois avant la plantation pour laisser le temps au sol de reposer (travaux entre janvier et mars pour une plantation à partir de fin avril par exemple).



Photographie 9 - Passage de covercrop sur sol labouré –  
Source : Philippe Van Lerberghe - IDF

**Il est impératif de planter les paulownias en pleine lumière** (une légère ombre peut causer des déformations, et un ombrage plus marqué peut entraîner la mort des plants rapidement (El-Showk and El-Showk, 2003). Les plantations se faisant en milieu ouvert, il est recommandé un désherbage mécanique ou chimique (glyphosate) avant et après plantation (El-Showk and

El-Showk, 2003). **Plusieurs désherbages mécaniques peuvent être nécessaires durant la première année si la végétation concurrente est vigoureuse.** Le paillage est également recommandé dans ces conditions de compétition avec les adventices, et permet de surcroît d'éviter le gel du système racinaire en hiver, comme l'étude de Kadlec et al. (2021) en Ukraine a pu le démontrer sur le Paulownia clone in vitro « 112 ». Certaines plantes de couverture comme le trèfle peuvent aussi être semées (préconisations de AB Paulownia) car elles présentent une concurrence moindre pour l'eau, tout en enrichissant le sol en azote. L'application d'engrais NPK est recommandée pour viser de bons rendements comme nous l'avons déjà vu (Kadlec et al., 2021).

## 5.2 La plantation

**Il est recommandé de planter des plants d'un an d'un diamètre minimum à la base de la tige de 1,0 cm en potet travaillé dans des trous de 30 x 30 x 30 cm.** Kadlec et al. (2021) ont montré que la croissance et le taux de reprise était meilleur que pour des trous de 20 cm de côtés. El-Showk et El-Showk (2003) recommandent même des trous de 70-80 cm de côté pour 50-60 cm de profondeur pour des plants de 1 ou 2 ans. **Les plants peuvent être vendus en racine nue ou en godet.**



Photographie 10 - Jeunes plants de paulownia en motte à la pépinière SCG, Panama – Source : Keren Visser

AB Paulownia propose des plants en pots de 9 cm de côté, produits en Espagne. Arbrepaulownia propose quant à lui des plants en motte. **Ils sont produits à la demande en serre pendant quelques semaines avant d'être livrés et plantés.**

**On trouve différentes recommandations concernant la période de plantation : idéalement au printemps après les dernières gelées (fin avril, début mai).** Les périodes propices pour la plantation des boutures vont de novembre à fin avril (Danciu et al., 2016). Arbrepaulownia recommande pour ses hybrides une plantation entre mi-avril et début Aout afin qu'ils aient le temps de développer leur racine pivot avant l'hiver. AB Paulownia recommande de planter soit à l'automne (septembre à novembre), soit au printemps (mi-avril à juin).



Photographie 11 - Ouverture de potets, mini-pelle & dent becker – Source : René Sabatier

Les trous peuvent être remplis d'un mélange de tourbe et d'engrais (Danciu et al., 2016) pour accentuer la croissance initiale. **Il faut veiller à ne pas enterrer le collet, voir à le laisser dépasser de 2-3 cm au-dessus du niveau du sol.** La qualité du plant (racine bien développé, tige lignifié) est naturellement un élément fondamental à la bonne reprise de même que la qualité de la plantation (El-Showk and El-Showk, 2003). Si la plantation est exposée au vent, il est nécessaire de

mettre un tuteur de soutien au cours des premières années de croissance.

**Les paulownias sont généralement plantés en plein ou en ligne. L'écartement recommandé dépend des objectifs de production** (Tusevhaan et al., 2023). **Pour une valorisation en bois d'œuvre, Danciu et al. (2016) recommande un écartement minimum de 4 m entre les plants sur la ligne, pour des densités entre 550 et 750 arbres/ha. L'investissement est d'environ 3 000 euros/ha, auxquels s'ajoutent les coûts de préparation du sol** (labour, fraissage ou labour au disque, creusement de trous, etc.), **les dépenses d'entretien** (comprenant les activités de fertilisation, de taille et d'élimination des mauvaises herbes, de récolte et de stockage), ainsi que celles **de l'irrigation**, qui peuvent varier en fonction du système d'irrigation (écoulement dans les fossés, irrigation goutte à goutte) (Danciu et al., 2016).



Photographie 12 - Plantation de 3 mois de Paulownia après un labour et cover-crop - Bulgarie, 2012 – Source : europeanforestry

Une étude menée en Iran dans la forêt de Shast Kalate a testé 3 espacements : 5×6, 8×6 et 7×7 mètres. Les résultats globaux ont indiqué que les arbres qui avaient le plus grand diamètre, la plus grande hauteur et le plus grand volume moyen correspondent à l'espacement de 7×7 mètres, mais que l'espacement de 5×6 mètres permettait d'avoir la plus grande production moyenne de bois par hectare annuellement avec 24,6 m<sup>3</sup> par an (Z and D, 2010).

Toujours en Iran Nahid et al. (2008) ont mené une autre étude comparative entre *P. fortunei* et peuplier avec de plus faibles écartements : 3x3 mètres, 4x4 mètres et 5x5 mètres. Plus la distance entre plants est faible, plus la croissance en hauteur semble importante, ce qui est confirmé par d'autres études (Fang et al., 1988). Les peupliers ont été plus poussants que les paulownias (croissance annuelle moyenne en hauteur de 1,6 m pour les peupliers et 1,2 m pour les paulownias). En revanche la croissance en diamètre était supérieure en moyenne pour les paulownias (2,4 cm/an). Ces résultats sont inférieurs à la croissance moyenne des paulownias observée dans l'étude menée par Zhu et al. (1986) dans la région d'origine de l'espèce, soit 3 cm/an sur le diamètre et 1,3 m/an en hauteur en moyenne pour des écartements de 5x5 m.

Bien qu'il n'y ait **pas d'études publiées aujourd'hui sur les résultats des plantations de paulownias en France**, certaines entreprises comme Arbrepaulownia apportent des recommandations techniques précises pour leurs variétés.

Ainsi ils préconisent une plantation en 4x4 m (640 arbres/ha) pour les clones H2F3, NordMax21 et H2F4 avec des coupes envisageables dès 8 à 10 ans, et 4x3 m (800 arbres/ha) pour Phoenix One avec une première coupe possible dès la 5<sup>ème</sup> année.

Paulownia France prône des distances de plantation en France entre 5x5m et 6x6m en plein, ou de 4 à 6 m en ligne agroforestière, selon le cultivar de paulownia sélectionné.

AB Paulownia préconise entre 4x4 m et 6x6 m, soit entre 300 et 625 plants par hectare de « Cotevisa 2 ».

Les hybrides de paulownia sont cultivés dans des cycles courts de 5 à 10 ans pour le bois rond, mais ces cycles sont encore plus courts pour un objectif biomasse, soit 3 à 4 ans (Tusevhaan et al., 2023).

**Dans le cas où la plantation est destinée exclusivement à la production de biomasse, une densité de 1600 arbres/ha à 2000 arbres/ha est recherché** (Icka et al., 2016) ; impliquant un investissement d'au moins 8 000 euros/ha, auxquels s'ajoutent les autres dépenses (Danciu et al., 2016).

Berdón et al. (2017) ont testé 4 clones à ces densités pour la production de biomasse (« Cotevisa 2 », « L1 » (*P. elongata* x *fortunei*), « X1 » (*P. fortunei*), « 112 » dans le sud de l'Espagne avec des résultats satisfaisants. Tusevhaan et al. (2023) et Icka et al. (2016) mentionnent des plantations encore plus denses : 2000 à 3300 plants/ha notamment en Bulgarie (par exemple des écartements de 3,3x1 m ou 2x1,5 m).

**Pour l'agroforesterie, des écartements plus larges sont recommandés.** Par exemple, Yoon et Toomey (1986) ont montré que des arbres plantés à 5 mètres l'un de l'autre, avec 10 mètres entre chaque rangée permettait un rendement en blé comparable à une culture en champ ouvert.

**En milieu agricole, les paulownias vont rapidement jouer les rôles qu'on peut attendre d'un bon arbre agroforestier :** effet brise-vent, limitation de l'érosion, maintien des sols et enrichissement en matière organique riche en nutriment, ombrage et pouvoir rafraichissant de l'évapotranspiration, accueil d'une certaine biodiversité (insectes, oiseaux s'en servant comme perchoir par exemple) et constitution d'une trame verte, valorisations diverses (bois, feuilles, écorces).

### 4.3 Travaux sylvicoles (tailles, recépage)



Photographie 13 - Plantation de paulownias élagués en forêt de Richmond – Australie 2014 – Source : sugarbellaleah

**Pour la production de bois d’œuvre, il est recommandé de tailler les paulownias, de préférence dès la seconde année puis tous les ans jusqu’à atteindre entre 2 et 8 m de troncs sans branches.**

AB Paulownia fixe par exemple pour objectif d’atteindre une bille élaguée de 6,5 m pour des paulownias « Cotevisa 2 » de 3 ans. L’entreprise recommande d’élaguer les branches 2 fois par an sur la seconde et troisième année pour atteindre cet objectif. Il faut garder au moins 1/3 du houppier en feuilles pour ne pas ralentir la croissance de l’arbre et limiter les risques liés au vent (Berdón et al., 2017). **Il est conseillé d’opérer les tailles au printemps, avant la saison de croissance. Les semis d’1 an mal conformés peuvent être recépés avant l’émergence des nouvelles feuilles au début de la seconde ou troisième saison de végétation.**

Un recépage pratiqué un an après la plantation (à 4 cm du sol maximum) peut être recommandé de façon systématique comme le présente Pástor et al. (2022) sur des hybrides *P. elongata* × *fortunei* plantés à 625 plants/ha ou encore AB Paulownia sur le « Cotevisa 2 », lorsque les pieds ont atteint 8 à 10 cm de diamètre. L’année suivante, la tige la mieux conformée de chaque pied recépage est gardée, et les autres sont coupées (El-Showk and El-Showk, 2003). Il est conseillé ensuite d’éliminer les bourgeons qui vont repartir du pied, en maintenant uniquement la tige qui constituera la bille de pied. Zhu et al. (1986) ont été les premiers à développer des méthodes de taille de formation sur paulownias consistant à supprimer certains bourgeons et à en favoriser d’autres afin de contrebalancer le port naturellement court et mal conformé des principales espèces de paulownia.

**Pour la production de biomasse, un recépage est réalisé à très courte rotation (3-4 ans), aucune autre intervention que le recépage n’est nécessaire tant que les souches ne sont pas épuisées (Berdón et al., 2017). Selon Danciu et al. (2016), il est possible de récolter entre 3 et 5 cycles de cette façon avant de replanter des arbres de franc pied. Pour des cycles de production plus longs (8 ans), Icka et al. (2016) considèrent quant à eux qu’il est possible de faire 8 ou 9 rotations par recépage avant d’épuiser le système racinaire, pouvant vivre environ 70 ans.**

### 5.3 Récolte et productivité

**Les paulownias sont réputés pour leur croissance extraordinaire.** La génétique, le contexte pédoclimatique et les méthodes culturales sont autant de facteurs qui peuvent fortement faire varier cette productivité (Capaross et al., 2007). Des spécimens battant des records ont été décrits en Chine, comme le *P. fortunei* âgé de 80 ans qui poussait dans la province de Kweichow, atteignant une hauteur de 49,5 m pour un diamètre de 202 cm et un volume de bois de 34 m<sup>3</sup>. Parmi les arbres plus jeunes, un *P. fortunei* de 11 ans, cultivé dans la région



Photographie 14 - Plantation de paulownia et robinier à forte densité en Europe, 2012, Source : europeanforestry

autonome zhuang du Guangxi dans le sud de la Chine, mesurait 22 m de haut avec un diamètre de 75 cm et un volume de bois de 3,7 m<sup>3</sup> (Tusevhaan et al., 2023).

La plupart des espèces de paulownia peuvent être récoltées en moins de 15 ans (Akyildiz and Kol, 2010), et dès 6 ou 7 ans en moyenne pour les clones actuellement sur le marché pour la production de bois d'œuvre. **Il est conseillé de récolter les arbres pendant l'automne et l'hiver. En effet, le bois récolté pendant la saison de croissance peut contenir de grandes quantités de composés polyphénoliques**

**pouvant développer des taches après plusieurs années.** Il est aussi plus humide, donc sèche moins vite et est plus exposé aux agents de dégradations.

Des études comparatives ont montré la supériorité du paulownia en terme de croissance sur d'autres essences à croissance rapide comme les saules, les peupliers ou encore l'eucalyptus, à condition d'être dans des conditions optimales : pleine lumière, sol riche en nutriment, aéré et bien alimenté en eau (Cathy, 2021; Tusevhaan et al., 2023).

Dans des conditions naturelles, un arbre de **10 ans** peut mesurer **30 à 40 cm de diamètre** à hauteur de poitrine (Tusevhaan et al., 2023) et peut avoir un **volume** de bois de **0,3 à 0,5 m<sup>3</sup>** (Starfinger et al., 2003; Yadav et al., 2013) pour une **hauteur** totale de **8 à 12 m** et un rayon de couronne de 3 à 5 m. Il s'agit là de standards chinois en système extensif (Wang and Shogren, 1992). *P. elongata* présente de bonnes performances de croissance avec un accroissement **annuel moyen du diamètre** entre **3 et 4 cm par an** (et un maximum de 9 cm certaines années), pour un **accroissement moyen annuel sur le volume de 0,04 à 0,06 m<sup>3</sup>** (Kaymakci et al., 2013) soit une production moyenne entre **16 à 30 m<sup>3</sup>/ha/an** pour une densité de plantation classique (400-500 tiges/ha). Berdón et al. (2017) confirme ces tendances pour les clones de paulownia, avec des diamètres de **22 cm** atteints en **4 ans** et de **45 cm** en **10 ans** pour des rendements de l'ordre de **12 à 16 m<sup>3</sup>/ha/an**. La **croissance moyenne en hauteur** est d'environ **2 m par an** (Danciu et al., 2016; Lugli et al., 2023).

En système plus intensif, les arbres peuvent atteindre **1 m<sup>3</sup>** de bois en seulement **5 à 7 ans** comme cela a pu être observé en Turquie notamment (Lugli et al., 2023), avec en moyenne une **hauteur** de **17 m** et un **diamètre** à hauteur de poitrine de **30 cm** (YOON and TOOMEY, 1986), ce qui permet d'avoir une production totale sur cette période entre **150 tonnes** et **330 tonnes** de **matière sèche par hectare** pour une densité de 2000 plants/ha (Ates et al., 2008).

La **première année**, la croissance en **hauteur** peut atteindre jusqu'à **6 m** des conditions optimales puis **2 à 3 m** supplémentaire les années suivantes, pour atteindre un **diamètre de 20 à 25 cm** vers l'âge de **4 ans** (Hassanzad Navroodi, 2013).

Les clones de paulownia in Vitro « 112 » et paulownia « Cotevisa 2 » créés par des chercheurs espagnols présenteraient des croissances encore supérieures aux autres variétés, atteignant au maximum **25 à 30 cm de diamètre** et une **hauteur de 15 à 20 mètres** soit environ **0,3 m<sup>3</sup> de bois** en seulement **3 ou 4 ans** (Icka et al., 2016) dans des conditions de culture très intensives. Cela implique l'application de fertilisants N-P-K riches en azote plusieurs fois par an, un désherbage les premières années autour des plants, un bon travail du sol avant plantation pour garantir la reprise des plants et un régime d'arrosage soutenu (inondation 2 fois par semaine avec un minimum de 10 litres par plante au cours des premiers mois après la plantation) via un système de goutte à goutte par exemple (Danciu et al., 2016).

AB Paulownia fixe pour le « Cotevisa 2 » un objectif moyen entre **0,5 m<sup>3</sup>** et **1 m<sup>3</sup> de bois d'œuvre** par arbre en **7 ans**, avec un diamètre minimum à 1m30 de **35 cm**. On trouve indiqué sur leur site une productivité pouvant atteindre **310 à 600 m<sup>3</sup>/ha** atteint en 7 ans, auquel il faudrait ajouter d'après l'entreprise un volume équivalent de bois énergie (branches et houppier) bien qu'ils ne fassent pas clairement référence à une étude scientifique pour appuyer ces propos. Cela représente une productivité potentiellement considérable, fixée entre **44 et 85 m<sup>3</sup>/ha/an de bois d'œuvre sur 7 ans** et le **double** pour le volume total de bois. Cet objectif semble atteignable en système cultural très intensif, comme l'atteste par exemple les résultats records présentés par Icka et al. (2016) mais il reste à priori ambitieux et encore non démontré dans le contexte cultural et pédoclimatique français. A titre comparatif en France, d'après ClimEssences, un peuplement de Douglas produit entre **15 et 25 m<sup>3</sup>/ha/an** dans des conditions de production voire plus, un peuplement de sequoia géant autour de **20** et jusqu'à **44 m<sup>3</sup>/ha/an** pour une plantation en Belgique, un peuplement d'Eucaplyptus « Gundal » entre **10 et 40 m<sup>3</sup>/ha/an** suivant la disponibilité en eau ou encore un peuplement de sequoia toujours vert jusqu'à **30 m<sup>3</sup>/ha/an** (50 m<sup>3</sup>/ha/an atteint en Nouvelle Zélande).



Photographie 15 - Plantation de paulownia en forêt de Richmond – Australie 2014 – Source : Jan Aonzo

Cependant Pástor et al. (2022) ont trouvé des résultats bien inférieurs aux chiffres avancés par AB Paulownia pour « Cotevisa 2 » en Slovaquie. Les plants ont atteint un diamètre moyen de **21,5 cm**, **7 ans** après la plantation pour une hauteur de 11,2 m. Le dispositif expérimental

n'a pas été équipé d'un système d'irrigation. Le sol était riche en nutriment et aéré mais pas fertilisé. **En système moins intensif, les performances moyennes sont donc globalement plus faibles. Les résultats de croissance et de production sont aussi généralement plus élevés dans le Sud de l'Europe par rapport à l'Europe centrale** (Jakubowski, 2022). Danciu et al. (2016) proposent pour l'Europe des rendements indicatifs présentés dans le tableau suivant :

The growth rate /	Height [m]	Diameter [m]
approx. 6 months	2 ... 3	4 ... 6)x10 <sup>-2</sup>
1 year	4 ... 5	(8 ... 10)x10 <sup>-2</sup>
2 years	10 ... 12	(15 ... 20)x10 <sup>-2</sup>
3 years (approx. 0.3 m <sup>3</sup> )	15 ... 20	(24 ... 30)x10 <sup>-2</sup>
6 years (approx. 0.5 m <sup>3</sup> )	18 ... 22	(35 ... 40)x10 <sup>-2</sup>
9 years (approx. 0.7 m <sup>3</sup> )	20 ... 25	(45 ... 55)x10 <sup>-2</sup>

Ces résultats sont globalement conformes avec les performances obtenues dans les systèmes de production intensifs étudiés.

Les plantations de paulownias orientées vers la production de biomasse gagnent en popularité. Le recépage peut se faire tous les 3-4 ans pour un volume de bois de l'ordre de **0,3 m<sup>3</sup>** par plant (Icka et al., 2016), ce qui fournit entre **200 et 500 m<sup>3</sup> de bois par ha** suivant les densités de départ. On peut noter encore une fois de fortes variabilités de performances entre espèces et hybrides testés dans des contextes pédoclimatiques variés.

En Espagne certains essais montrent des productivités de l'ordre de 6 tonnes de matière sèche par hectare et par an (**6 t/ha/an**) (Ayrilmis and Kaymakci, 2013).

Détaillons le cycle cultural d'un dispositif particulièrement productif pour mettre en perspective les résultats obtenus : l'étude de Berdón et al. (2017) dans la région de l'Extremadura au sud-ouest de l'Espagne s'intéresse aux 4 clones suivants : « Cotevisa 2 », « L1 », « X1 », « 112 ». Les dispositifs sont irrigués par un système de goutte à goutte, assurant également la fertilisation via un engrais N-P-K 15-10-15 appliqué pendant les 2 premières années. Le terrain a subi un travail du sol important (labour en plein, sous-solage et désherbage mécanique + traitement chimique) avant l'installation des plants. Les plants sont protégés des lagomorphes (lapin), un traitement au glyphosate est réalisé après plantation, et plusieurs traitements phytosanitaires sont réalisés afin d'avorter les attaques pathogènes. Dans ces conditions, les clones « L1 », « Cotevisa 2 » et « 112 » ont montré un comportement similaire en termes de croissance en diamètre et de rendement en biomasse. Ces trois clones sont nettement supérieurs au clone « X1 », ce qui signifie qu'ils sont mieux adaptés à la région étudiée. La production totale de la parcelle pour la production de biomasse était de **24,3 tonne de matière sèche par hectare** avec un cycle de coupe de 3 ans, soit **8,1 t/ha/an** pour la parcelle entière.

En Bulgarie, Gyuleva (2008) rapporte une expérience de 5 ans comparant la productivité de deux paulownias : l'espèce *P. tomentosa* et l'hybride de *P. elongata* × *P. fortunei*. *P. tomentosa* avait une productivité plus élevée de **3,5 t/ha** (matière sèche) après 2 ans de croissance et de **37 t/ha/an** après 4 ans (soit **9,2 t/ha/an**), tandis que la productivité de *P. elongata* × *P. fortunei* était de 2,7 t/ha après 2 ans et de **20 t/ha** après 4 ans (soit **5 t/ha/an**). Les meilleurs résultats provenaient de la partie Sud-Ouest du pays. Au Kirghizistan, (Baier et

al. (2021) ont démontré une production de biomasse allant de **1,5 à 3,4 kg par arbre et par an**, avec une consommation d'eau allant de **433 à 613 litres par arbre et par an** apporté par un système d'irrigation.

D'autres études montrent des résultats contrastés sur certains hybrides : les « Cotevisa 2 » et « Suntzu 11 » cultivés en Espagne dans la province de Séville ont montré une production de **4 à 7 t/ha/an** (Icka et al., 2016), « Cotevisa 2 » montrant une productivité moyenne 1,8 fois supérieur à « Suntzu 11 ». Cependant les mêmes clones testés dans la région de Cordoue en Espagne n'ont montré qu'une productivité de **1,7 à 2,3 t/ha/an** de matière sèche (Tusevhaan et al., 2023) dans des conditions culturales moins intensives mais avec un régime hydrique satisfaisant. Sur les sols dégradés ou plus pauvres, les paulownias présentent donc un taux de croissance plus faible (Jakubowski, 2022). Dans une étude de 3 ans en Espagne par exemple, un rendement en biomasse de *P. fortunei* géré de façon extensive n'a atteint que 3,3 t/ha de matière sèche (soit **1,1 t/ha/an** sur 3 ans), ce qui est très faible comparé à l'*Eucalyptus globulus* cultivé en parallèle (40,4 t/ha/an) (Gyuleva, 2008).

**Bien qu'il faille rester vigilant en comparant les accroissements moyens en masse entre des dispositifs d'âge différent, on peut conclure que les bonnes productivités sont obtenues dans des systèmes fertilisés, traités et irrigués, le paulownia étant très exigeant quant aux conditions hydriques et édaphiques. L'irrigation est très souvent indispensable à la survie des plants les premières années** (Akyildiz and Kol, 2010).

**Dans les pays où le marché du paulownia s'est développé comme les Etats-Unis, son bois d'œuvre peut atteindre de bons prix**, parfois même supérieurs au noyer (Berdón et al., 2017). Le prix du bois de paulownia varie en fonction de sa qualité. Le bois d'œuvre vendu en Chine peut varier de **250 \$ à 550 \$ / m<sup>3</sup>** en fonction de la qualité du bois, tandis que le bois de haute qualité en provenance d'Australie peut coûter jusqu'à **2 000 \$ / m<sup>3</sup>**. **Rappelons que le marché du paulownia ne s'est pas encore développé en France.** AB Paulownia propose à ses clients des contrats d'exclusivité pour le rachat de bois d'œuvre à des prix entre **150 €/ m<sup>3</sup>** bord de route pour la meilleure qualité et **80 €/ m<sup>3</sup>** pour une bille plus « branchue », soit un revenu espéré à l'hectare entre **60 000 et 80 000 €** d'après les estimations qu'ils mettent en avant. S'agissant d'un rachat bord de route, l'exploitation, le façonnage et le stockage des grumes sont à la charge du client propriétaire de la plantation. **L'entreprise ne s'engage pas sur la productivité ou la qualité espérée de la plantation.**

## 6 Risques sanitaires

L'histoire des préoccupations sanitaires des paulownias est marquée dès le début du XXème siècle par de premières publications décrivant des problématiques dans leur aire d'origine asiatique. Nécroses corticales sur troncs et branches, attribuées au pathogène *Valsa paulowniae*, sont alors décrites, provoquant dépérissements et mortalités en 1916 en Chine (Hemmi, 1916).

Plus tard, dans les années 80, sous l'impulsion d'un engouement pour l'essence en rapport avec sa productivité et nombreux usages qu'elle a pu susciter à travers le monde (Milenković et al., 2018; Snow, 2015; Stepchich, 2017), des campagnes d'introduction dans tous les continents ont progressivement amené ont assez vite fait l'objet d'attentions portées sur les risques sanitaires et écologiques que l'usage des différentes espèces paulownia faisaient courir. Les risques sanitaires ont

même assez tôt représenté des chapitres structurants dans les premiers guides de gestion (Rao, 1986), s'appuyant sur une littérature grandissante dans ce domaine.

Comme toutes les espèces, les paulownias s'exposent à des risques sanitaires dans tous les contextes dans lesquels ils sont cultivés. En dehors des dommages d'origine abiotique exprimant les caractères écologiques et sensibilités de l'essence (Aloi et al., 2021; Owfi, 2021; Ray et al., 2005; Stepchich, 2017), les dommages provoqués par des bio-agresseurs sont également fréquemment rapportés et étudiés.

Les publications qui décrivent et analysent l'impact de ces différentes problématiques sanitaires à travers le monde, constituent l'opportunité de profiter d'expériences édifiantes pour éclairer les stratégies françaises de valorisation de l'essence. Néanmoins, l'évaluation de ces risques doit nécessairement passer par une contextualisation qui doit aussi déterminer la nature du danger potentiel ainsi que la cible. En ce sens, on peut distinguer deux angles d'approche : (i) les risques sanitaires auxquels s'expose directement l'essence ; (ii) les risques que fait peser son introduction sur les écosystèmes en place.

L'introduction via du matériel végétal importé de bio-agresseurs inféodés aux paulownias depuis leur aire d'origine (pathogènes ou ravageurs ayant co-évolué avec les paulownias), comme l'exposition à des bio-agresseurs déjà présents dans les contextes environnementaux dans lesquels les paulownias sont introduits, représentent dans cette synthèse les angles de vigilance structurant pour l'évaluation des risques sanitaires qui y est proposée.

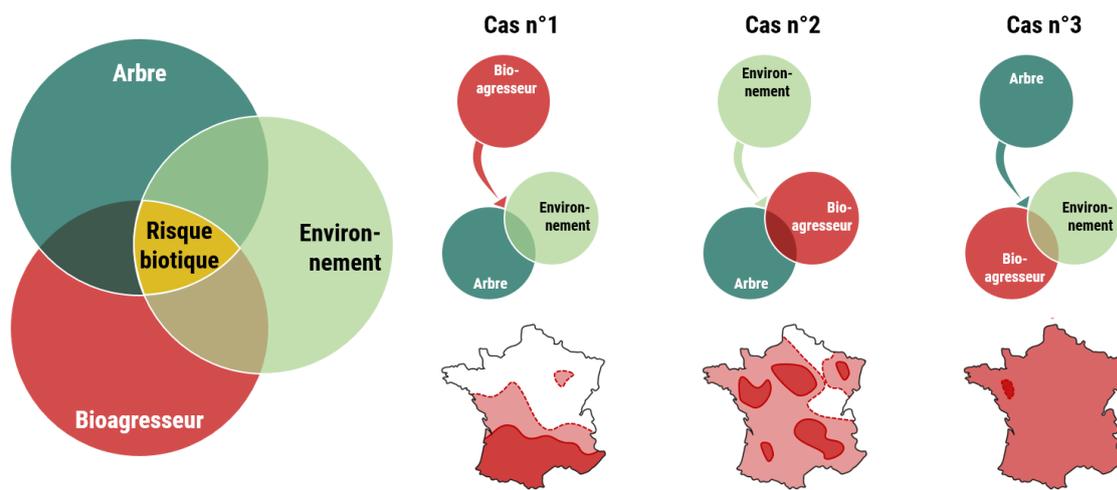


Figure 1 - Schéma adapté d'après Robin, Deprez-Loustau – Promedmail.com

Le contexte évoluant du changement climatique est par ailleurs susceptible de modifier les impacts de ces risques en catalysant ou en neutralisant la pathogénicité ou l'agressivité des agents de dommages et bio-agresseurs, mais aussi en jouant sur la vulnérabilité de l'essence. En ce sens tous les processus physiologiques (de la plante hôte), biologiques (reproduction, multiplication des agents de dommages), épidémiologique (diffusion, colonisation des agents de dommage), ou encore pathologiques (processus infectieux, propagation...), sont autant d'effets documentés dans la bibliographie mondiale auxquels la culture des paulownias en France ne saurait sans doute échapper.

Sans objectif d'exhaustivité, les paragraphes suivants listent et décrivent certains des exemples de risques abiotiques et biotiques les plus cités dans la littérature scientifique.

## 6.1 Risques abiotiques

Les risques abiotiques les plus fréquents auxquels s'exposent les paulownias sont le reflet de leurs caractères autécologiques décrits précédemment. Des liens entre conditions environnementales et vitalité ou encore productivité sont régulièrement établis par de nombreux travaux de recherches et publications (Stepchich, 2017). Dans son aire d'origine en Asie, les paulownias reçoivent beaucoup d'eau durant l'été coïncidant avec sa saison de végétation (Ray et al., 2005). Il exige donc des conditions généreuses de climat et sol et ne répond pas bien aux sols pauvres. Ils sont sensibles à la sécheresse, aux vents forts, aux salinités et alcalinité élevées, aux sols hydromorphes et mal drainés (sensibilités des graines aux pourritures), engorgements, grands froids températures < -20°C (Owfi, 2021; Ray et al., 2005).

Peu de publications font mention de dégâts conjoncturels d'origine abiotique (gelées, inondations, sécheresses...). Cela est sans doute le fruit d'une répartition mondiale en adéquation avec ses caractères écologiques jusqu'à présent. On peut noter toutefois que le gradient de température semble être le plus discriminant pour l'essence qui montre un caractère de sensibilité au froid capable par exemple d'établir des corrélations nettes entre présence de l'espèce et altitude (Essl, 2007). L'étude a montré que 81% des occurrences de paulownias en Autriche étaient situées entre 100 et 300 m d'altitude (100% des signalements < 500 m).

Il est donc probable que le réchauffement climatique offre à l'avenir de plus larges perspectives de possibilités sous nos latitudes de climats tempérés, bien que les climats méditerranéens puissent représenter des facteurs limitants face à ses exigences d'humidité atmosphérique et d'alimentation en eau dans le sol. En Australie, le climat de type méditerranéen (étés secs) impose le recours systématique à l'irrigation dans les systèmes de culture (Ray et al., 2005).

Cela explique sans doute aussi que les gradients de comportement entre les différentes espèces de Paulownias, aient déjà soutenu des arbitrages lisibles quant à l'introduction artificielle de l'essence : *P. elongata* et *P. fortunei* plus adaptés aux climats chauds et secs du sud de l'Europe et *P. tomentosa* en France (Aloi et al., 2021).

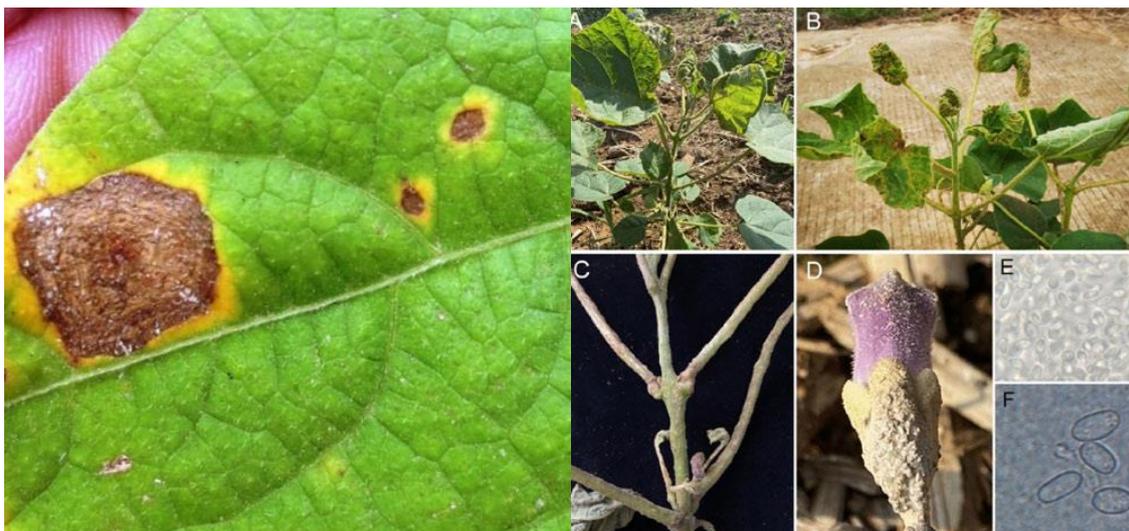
## 6.2 Risques biotiques

### 6.2.1 Agents pathogènes

#### **Sur feuilles, pousses et rameaux.**

De nombreuses espèces de pathogènes foliaires des Paulownias sont régulièrement citées. S'illustrant en différents endroits du globe, les agents d'anthracnose des feuilles abondent dans la littérature. Ces maladies d'origine cryptogamique expriment leurs dommages par des processus d'obstruction des stomates consécutivement au développement mycélien des champignons pathogènes à l'origine de l'infection.

*Sphaceloma paulowniae*, s'inscrit comme une des espèces les plus citées à l'origine d'impacts importants (Nirmal, 2012; Phillips and Burdekin, 1992; Rao, 1986; Ray et al., 2005). Les nécroses foliaires brunes et bordées d'un liseré jaune pâle caractéristique, sont les principaux symptômes qui manifestent la maladie dans les premiers stades. Ces nécroses aboutissent au flétrissement et au dessèchement des feuilles, des fleurs et tiges dont l'infection est également possible.



Photographie 16 – Nécroses foliaires (à gauche) et flétrissements, dessèchements provoqués par l'antracnose du Paulownia (*Sphaceloma paulowniae*) + vues microscopiques des spores infectieuses – Source : ("www.paulownia.energy.france.fr," 2024)

Comme pour beaucoup de pathologies foliaires liées à des champignons, les conditions atmosphériques de développement jouent un rôle important dans la sévérité et la précocité des attaques. En ce qui concerne l'antracnose, la température optimale pour la germination des spores est de 25°C et l'humidité relative optimale est de 90-100%. Pendant la période de végétation, les précipitations et l'humidité influencent la propagation et le développement de la maladie. Si les semis sont trop denses, mal ventilés, à l'ombre, ou en conditions d'humidité atmosphérique plus élevée, le taux d'infection devient plus important.

De nombreux autres agents d'antracnose sont régulièrement cités comme : *Gloeosporium kawkamii* et *Spliacelorna paulowniae* aux Etats-Unis (Nirmal, 2012), *Pseudocercospora sp.*, *Cercospora sp.*, *Corynespora cassicola* et *Ascochyta paulowniae* en Australie (Ray et al., 2005), ou encore *Didymella tandonii*, *Phomopsis indica*, *Phaeoseptoria paulowniae sp. nov.* et *Cercospora apii* qui ont inquiété les communautés forestières d'Inde à la fin des années 80 (Dadwal et al., 1987). Dans cette étude, les dépérissements observés sur *Paulownia taiwaniana* ont particulièrement pu être attribués à *P. indica*.

Plus récemment étudiée en Chine en 2021, la « galle du Paulownia » a pu être attribuée *Elsinoe ampelina*, agent d'antracnose bien connu en France pour les dégâts qu'il a pu provoquer sur le vignoble par le passé. L'étude a révélé une identité génétique proche de *Sphaceloma paulowniae* et a confirmé des dommages et dégâts importants sur *Paulownia fortunei* dans son aire d'origine (Liu et al., 2022).

Toujours sur les feuilles, des pathologies foliaires de type Mildew comme *Phyllactinia guttata*, *Uncinula clintonii* (Nirmal, 2012) ou encore *Phyllosticta paulowniae* (Dadwal et al., 1987; Nirmal, 2012; Ray et al., 2005) sont également citées. Ces pathologies provoquent également des tâches foliaires à l'origine de réductions de croissance qui compromet la production de biomasse-énergie aux Etats-Unis (Nirmal, 2012) et engendrent des mortalités en pépinières (Dadwal et al., 1987).

A l'ouest de l'Australie, un autre complexe impliquant 4 espèces du genre *Alternaria* a provoqué des dégâts significatifs au début des années 2000 (Ray et al., 2005). La maladie des tâches sombres des feuilles ou « brûlure du Paulownia » a trouvé son nom des symptômes caractéristiques de tâches foliaires se présentant sous la forme de plages nécrotiques noires devenant brun clair, avec une décoloration à l'interface des tissus sains. Les nécroses sont décrites comme démarrant du pétiole de la feuilles et se propagent aux rameaux pour provoquer des chancres sur les tissus lignifiés. Les

dommages se résument à une mortalité des parties aériennes situées au-dessus des chancres, pouvant entraîner la mort totale de la tige sur les jeunes individus de 0 à 5 ans.

Le complexe de pathogènes a fréquemment isolé d'autres agents dont la pathogénicité reste complexe à pondérer (Ray et al., 2005). Parmi les espèces les plus fréquemment citées sont :

- dans les chancres : *Picocccum* sp. (15%), *Chaetomium* sp. (10%), *Ulocladium* sp. (10%) et *Stemphylium* sp. (10%),
- dans les feuilles : *Epicocccum* sp. (36%), *Curvularia* sp. (14%), *Ulocladium* sp. (18%) et *Fusarium* sp. (14%)

D'autres études démontrent les effets des conditions environnementales (températures, humidité, stade de développement des feuilles) sur les processus pathologiques d'*Alternaria alternata* (Pleysier et al., 2006).

Une autre pathologie provoquée par un complexe de champignons associant bien souvent *Rhizoctonia solani* et *Fusarium sp.*, est rapportée en plusieurs endroits du globe, comme étant à l'origine de fontes de semis (Mehrotra and Mehrotra, 2000; Phillips and Burdekin, 1992; Rao, 1986). La maladie affecte principalement les jeunes plantations de printemps.

Ses principaux symptômes sont la nécrose des bourgeons, la dessiccation, des nécroses sur tiges, feuilles et racines. Les agents pathogènes passent l'hiver sur des fragments de plantes dans le sol et commencent à se propager au début du printemps après un dégel. La gravité de l'infection dépend des caractéristiques du sol, de niveau d'inoculum dans le sol et surtout des facteurs de propagation (Rao, 1986; Ray et al., 2005).



Photographie 17 – Vue microscopique du mycélium de *Rhizoctonia solani* (à gauche) et nécrose sur pousses de jeunes semis provoquant la fonte des semis (à droite) – source : ("[www.paulownia.energy.france.fr](http://www.paulownia.energy.france.fr)," 2024)

### **Sur rameaux, branches et tronc.**

Parmi les cas de dommages les plus cités sur rameaux et branches, on retrouve la maladie du « balai de sorcière », provoquée par une bactérie du genre *Phytoplasma*, et signalée dans divers contextes géographiques, avec une forte occurrence asiatique d'où l'agent pathogène semble originaire, notamment en Chine, en Corée et au Japon (Hiruki, 1999; Rao, 1986). Des signalements en Argentine, aux USA (Mehrotra and Mehrotra, 2000; Phillips and Burdekin, 1992), ainsi qu'en Europe (Zhang et al., 2024), pourraient être les conséquences d'introductions via du matériel infecté ayant permis à l'agent pathogène de se propager à travers le globe.

La maladie s'exprime par des symptômes touchant les organes pérennes de l'arbre (branches, tronc, racines). Elle se manifeste par un développement anarchique et très abondant de bourgeons dormants de l'axe infecté, aboutissant à la formation d'une ramification à l'architecture déstructurée. Jaunissement des feuilles et microphyllie complètent le tableau symptomatologique.

Des dégâts sont fréquemment rapportés avec des pertes de croissance ainsi que des mortalités importantes dans les peuplements aux stades jeunes semis à gaulis, liées à des destructions racinaires. La réduction de croissance peut atteindre 20 à 25% sur arbres adultes, alors que l'incidence de la maladie peut atteindre de 5% dans les jeunes stades à 30% de mortalité en pépinière, pour 50 à 80% de tiges infectées en peuplements adultes (Rao, 1986).

La transmission de la maladie est en général opérée par du matériel végétal infecté, bien que des insectes vecteurs soient également cités, comme la cicadelle *Empoasca flavescens* (Rao, 1986), ou encore plusieurs espèces de punaises du genre *Halyomorpha* (Hiruki, 1999).

L'existence de plusieurs revues qui expertisent la maladie du balai de sorcière, accompagnée d'études sur la résistance des Paulownias à son égard - en particulier les hybrides de Paulownia (*P. tomentosa* x *P. fortunei*) plus récemment obtenus pour répondre à des objectifs de production - indiquent bien le caractère d'enjeu prioritaire que cette problématique traduit à travers le monde, en particulier en Asie d'où elle est originaire (Liu et al., 2013; Nirmal, 2012; Zhang et al., 2024).



Photographie 18 – Développement anarchique de la ramification (à gauche) et mortalités de rameaux (à droite) provoqués par la maladie du balai de sorcière (*Phytoplasma* sp) – Source : ("[www.paulownia.energy.france.fr](http://www.paulownia.energy.france.fr)," 2024)

En effet, la maladie du balai de sorcière a fait l'objet d'études importantes, notamment pour soutenir les programmes de créations variétales en faveur de l'obtention des hybrides de Paulownia (*P. tomentosa* x *P. fortunei*). Certains travaux ont notamment permis l'identification des séquences génétiques responsables de l'expression de la maladie, pour sélectionner les caractères de résistance des hybrides (Liu et al., 2013).

Concernant d'autres problématiques signalées sur branches et rameaux, il convient aussi de noter les dommages (plus anecdotiques mais sérieux) provoqués par le parasitisme de deux espèces de gui (*Loranthus parasiticus* et *Loranthus yadoriki*), qui sont rapportés depuis les années 80 en Chine (Rao, 1986).

### Sur tronc, collet et racines

Des dégâts de type pourriture blanche attribués au champignon basidiomycète *Pycnoporus cinnabarinus* ont été signalés à l'ouest de l'Australie comme étant à l'origine de mortalités importantes sur *Paulownia* (Bayliss et al., 2007). Habituellement saproxylophage, et même utilisé dans l'industrie papetière pour dégrader la lignine, ce pathogène a révélé un comportement primaire sur *Paulownia*, ce qui a provoqué inquiétude de la filière de production de l'essence. L'étude documente des symptômes de pourriture blanche du collet aboutissant à la mortalité de la tige.



Photographie 19 - A gauche : jeunes basidiomes de *Pycnoporus cinnabarinus* éclatant à travers l'écorce d'un individu de *Paulownia fortunei* âgé de 6 ans dans une plantation commerciale en Australie occidentale. Le développement de la pourriture blanche bien visible, provoque un décollement de l'écorce. A droite : Pourriture du bois causée par *Pycnoporus cinnabarinus* se produisant sous le collet et s'étendant jusqu'aux racines d'un arbre *Paulownia fortunei* âgé de 6 ans. NB : basidiomes proéminents, mycélium orange et pourriture blanche bien visible – Source : (Bayliss et al., 2007)

L'étude met également en évidence les principaux facteurs de dissémination du pathogène, tels que la transmission par les outils et blessures de tailles. Les conditions de rayonnement solaire et état de stress hydrique des arbres y sont également décrits comme des facteurs d'expression de la maladie, suggérant plutôt un rôle secondaire du pathogène dans le processus épidémiologique dont le risque pourrait alors devenir grandissant dans le contexte du changement climatique.

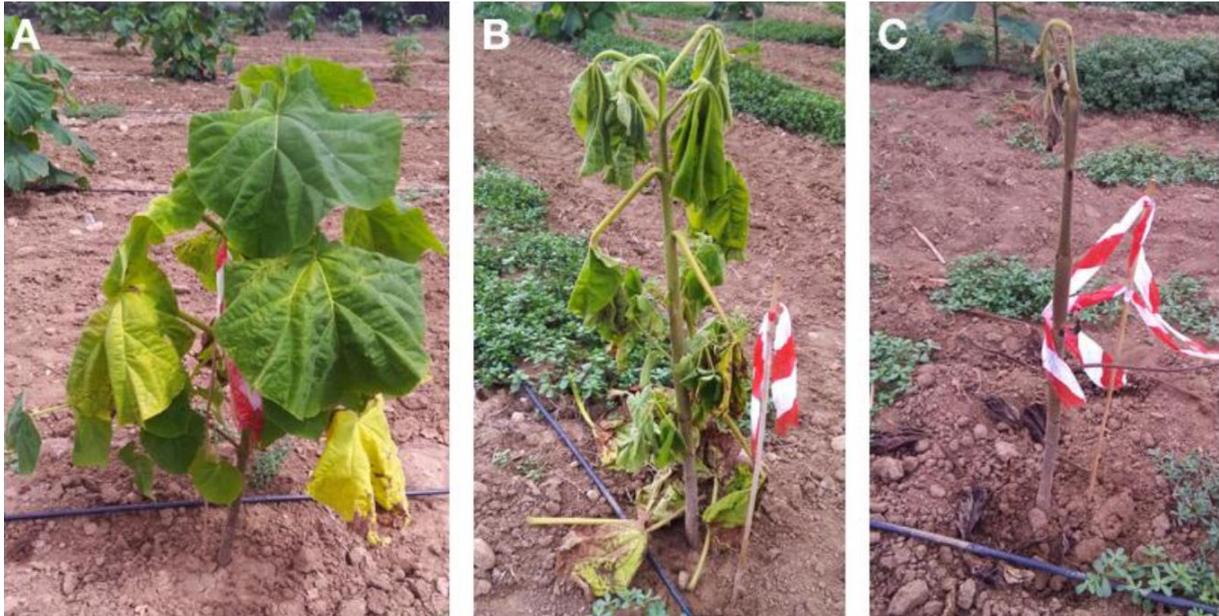
Les dégâts d'une autre pourriture blanche provoqués par *Trametes hirsuta* sont documentés en Serbie et mentionnent dépérissements et casses importantes de tiges sur jeunes plantations (Milenković et al., 2018).



Photographie 20 - A gauche : Sporophores du champignon *Trametes hirsuta* – Au Centre : dommage sur tronc de *P. tomentosa* provoqués par pourriture blanche – A droite : Dégâts à l'échelle d'une parcelle – source : (Milenković et al., 2018)

Problématiques un peu plus inquiétantes pour leur proximité avec la France, des Phytophthoras sont également mentionnés sur *Paulownia* en Italie. Une étude récente en Calabre (sud du pays) a mis en évidence des dégâts très importants provoqués par *Phytophthora nicotinae* et *P. palmivora* identifiés sur près de 40% des tiges de plantations d'hybrides *Paulownia elongata* x *P. fortunei* (Aloi et al., 2021).

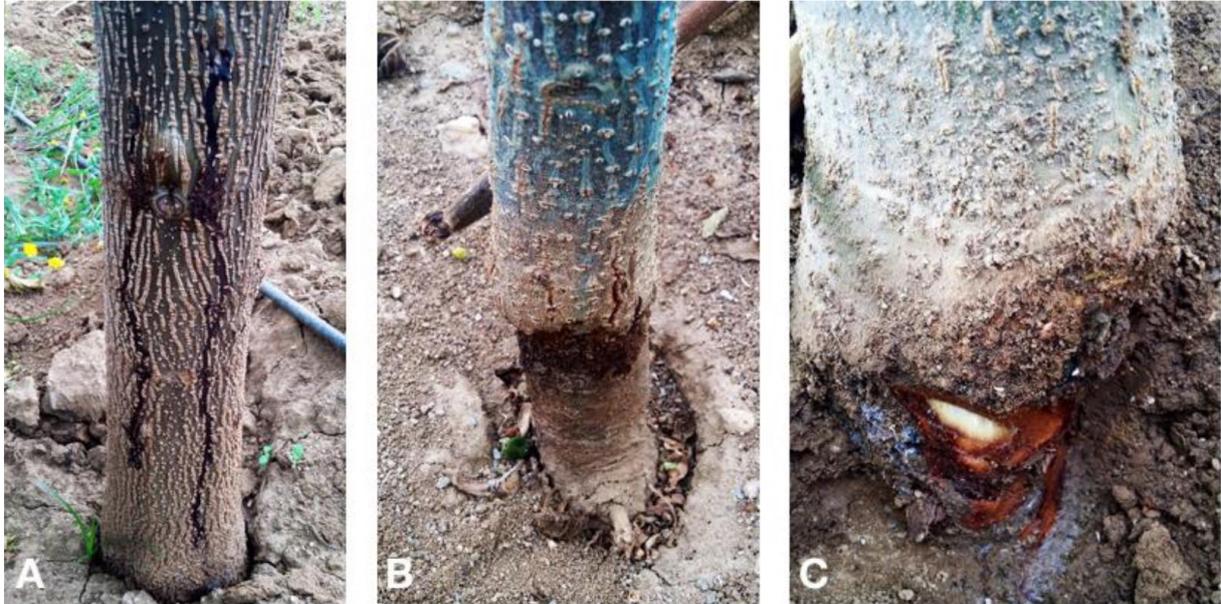
Les symptômes rapportés décrivent des feuilles chlorotiques, jusqu' à un jaunissement total, des flétrissements, retards de croissance et des nécroses à la base du tronc et au collet. Les dégâts sont décrits comme très importants avec des mortalités totales.



Photographie 21 - Symptômes de flétrissement, de retard de croissance, de jaunissement des feuilles, de défoliation et de mortalité total dans une jeune plantation d'hybrides de paulownia (*Paulownia elongata* x *P. fortunei*) en Calabre – Source : (Aloi et al., 2021)

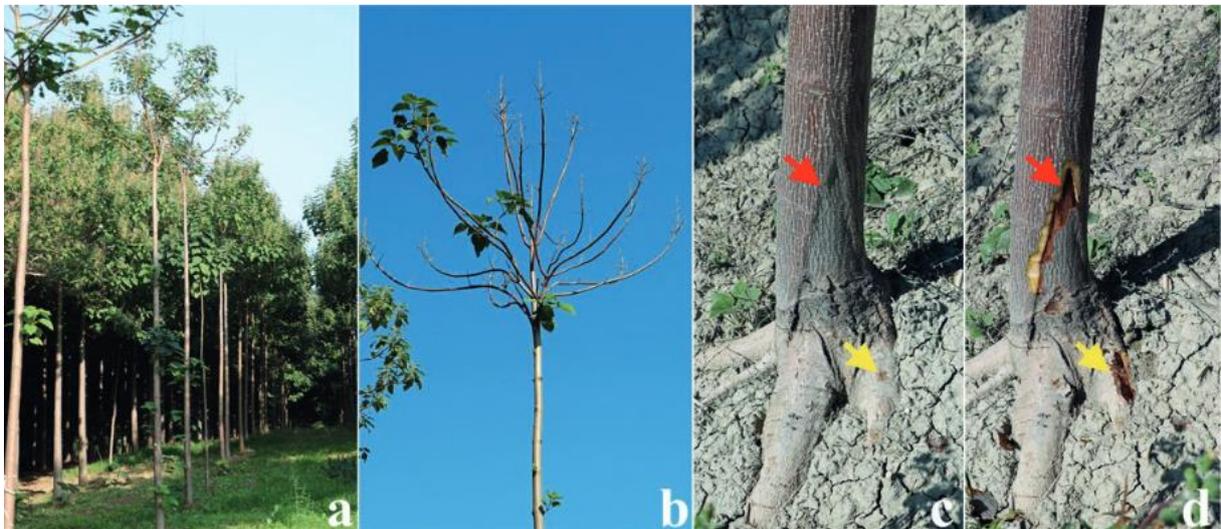


Photographie 22 – Feuilles chlorotiques, flétrissements et retards de croissance dans une jeune plantation de 4 ans. A droite : au premier plan, regarni pour remplacer les arbres morts, provenant d'une pépinière différente – Source : (Aloi et al., 2021)



Photographie 23 - Nécrose au collet de la tige avec exsudat brun foncé sur des hybrides *Paulownia elongata* × *P. fortunei*. Symptômes de pourriture sévère du collet sur les jeunes arbres (4 ans) – Source : (Aloi et al., 2021)

Plus au nord, d'importants dégâts ont également été rapportés dans le centre de l'Italie grâce à des méthodes de télédétection et imageries drone durant les printemps 2022 et 2023 (Bregant et al., 2023). Les mêmes symptômes de jaunissement, chancres suintants à la base des troncs et au collet, des pourritures racinaires, comme des mortalités de rameaux, branches, voire d'individus entiers, ont pu être observés. Les travaux de recherche qui s'en sont suivis ont mis en évidence l'implication de plusieurs pathogènes, dont 3 phytophthoras distincts de ceux découverts en Calabre : *Macrophomina phaseolina*, *Botryosphaeria dothidea* associés à *Phytophthora pseudocryptogea*, *P. citrophthora* et *P. erythroseptica* (Bregant et al., 2023).



Photographie 24 – Aperçu des symptômes détectés sur les plants de paulownia suivis dans l'étude : dépérissement important des houppiers (A et B) ; arbre présentant un chancre avec renflement au collet causé par *Macrophomina phaseolina* (flèche rouge) et un chancre suintant de *Phytophthora* sur la racine principale causé par *Phytophthora pseudocryptogea* (flèche jaune) (C), particulier de la lésion nécrotique interne (écorce interne) sur celle-ci arbre (D), chancre en coupe transversale (E), symptômes typiques de pourriture des racines causée par *Phytophthora* (F) – Source : (Bregant et al., 2023)



Photographie 25 – Chancre en coupe transversale (E), symptômes typiques de la pourriture des racines causée par *Phytophthora* (F) – Source : (Bregant et al., 2023)

A noter qu'il existe de très nombreuses espèces de *Phytophthora* en France (établies dans les sols), dont seulement quelques-unes sont connues pour leur caractère pathogène sur des espèces forestières (châtaignier, chênes, aulne, mélèze, cyprès...). Leur pathogénicité est pour le moment inconnue sur paulownia. Par ailleurs, la question de la présence en France des espèces déjà problématiques en Italie, reste entière...

#### **Dans les vaisseaux du bois.**

Des manipulations d'inoculation artificielles en laboratoire d'une étude espagnole ont démontré que les hybrides de *P. elongata* x *P. fortunei* étaient résistants à la verticilliose maladie provoquée par le champignon pathogène *Verticillium dahliae* (Jiménez-Fernández et al., 2015). Outre l'opportunité de conversion des parcelles d'oliviers infectés que cela représente en Espagne, ce caractère de résistance pourrait être utile en France où la verticilliose est fréquemment présente dans les sols, provoquant ponctuellement des dommages (sur érables notamment).

#### 6.2.2 Insectes ravageurs.

Des travaux de recherche ont démontré que les Paulownias présentaient des structures morphologiques particulières dans leurs feuilles et organes de reproduction qui (selon les stades de développement des organes), participaient à lutter contre les consommations (d'animaux herbivores comme insectes défoliateurs). Héritées d'une longue évolution sur le plan génétique, ces structures traduisent en effet différentes stratégies mises en place par la plante comme le caractère répulsif de substances ou attractif d'auxiliaires de lutte, ou encore le développement d'organes spécifiques participant au dysfonctionnement des mécanismes d'établissement comme l'entrave à la progression des chenilles par exemple (Kobayashi et al., 2008). C'est probablement la raison pour laquelle les publications faisant état de risques sanitaires liés à des insectes ravageurs, sont moins nombreuses. Certaines d'entre elles confirment bien cette caractéristique avantageuse en mentionnant une globalement faible sensibilité des Paulownias aux insectes (Nirmal, 2012).

Néanmoins, l'essence n'en reste pas moins appétente pour de nombreuses espèces. La plupart des mentions d'insectes ravageurs sur paulownias, concerne des défoliateurs, en moindres mesures des piqueurs-suceurs et des xylophages.

Ordre	Famille	Types de dommages		
		Défoliateurs	Xylophages	Piqueurs-suceurs
Lépidoptères	Noctuidae	<i>Agrostis ipsilon</i> <sup>1,2</sup> <i>Agrostis toxionis</i> <sup>1</sup> <i>Agrostis segetum</i> <sup>1</sup> <i>Heliothis armigera</i> <sup>2</sup> <i>Heliothis peltigera</i> <sup>2</sup> <i>Plusia orichalcea</i> <sup>2</sup> <i>Plusia nigrisigna</i> <sup>2</sup>		
	Geometridae	<i>Hyposidra talaca</i> <sup>3</sup> <i>Ectropis bhurmitra</i> <sup>3</sup> <i>Pingasa chlora</i> <sup>3</sup>		
	Pieridae	<i>Catopsilia crocale</i> <sup>2</sup>		
	Lymantridae	<i>Lymantria sp.</i> <sup>2</sup>		
	Brachodidae	<i>Phycodes radiata</i> <sup>2</sup>		
	Nymphalidae	<i>Precis orithya</i> <sup>2</sup>		
	Sphingidae		<i>Psilogramma menephron</i> <sup>1</sup>	
Coléoptères	Scarabaeidae	<i>Maladera orientalis</i> <sup>1</sup> <i>Anomala corpulenta</i> <sup>1</sup> <i>Holotrichia diomphalia</i> <sup>1</sup>		
	Chrysomelidae	<i>Basiprionota bisignata</i> <sup>1</sup>		
	Cerambycidae		<i>Batocera horsfieldi</i> <sup>1</sup> <i>Megopis sinica</i> <sup>1</sup> <i>Xylotrechus stebbingii</i> <sup>2</sup>	
Orthoptères	Gryllotalpidae	<i>Gryllotalpa unispina</i> <sup>1</sup> <i>Gryllotalpa africana</i> <sup>1</sup>		
Hémiptères	Cicadellidae			<i>Empoasca flavescens</i> <sup>1</sup> <i>Cicadella viridis</i> <sup>1</sup>
	Aleyrodidae			<i>Aleuroplatus pectiniferus</i> <sup>2</sup>
	Miridae			<i>Cyrtopeltis tenuis</i> <sup>2</sup>
	Margarodidae			<i>Drosicha stebbingii</i> <sup>2</sup>
	Aphididae			<i>Myzus persicae</i> <sup>2</sup>
Isoptères	Pentatomidae			<i>Halyomorpha halys</i> <sup>4,5</sup> <i>Halyomorpha mista</i> <sup>5</sup> <i>Halyomorpha picus</i> <sup>5</sup>
	Termitidae		<i>Odontotermes obesus</i> <sup>2</sup>	

<sup>1</sup>(Rao, 1986) / <sup>2</sup>(Bajwa and Gul, 2000) / <sup>3</sup>(Mukhtar et al., 2003) / <sup>4</sup>(Jones and Lambdin, 2009) / <sup>5</sup>(Hiruki, 1999)

Tableau 2 – Revue (non-exhaustive) des mentions répertoriées d'insectes ravageurs sur Paulownias

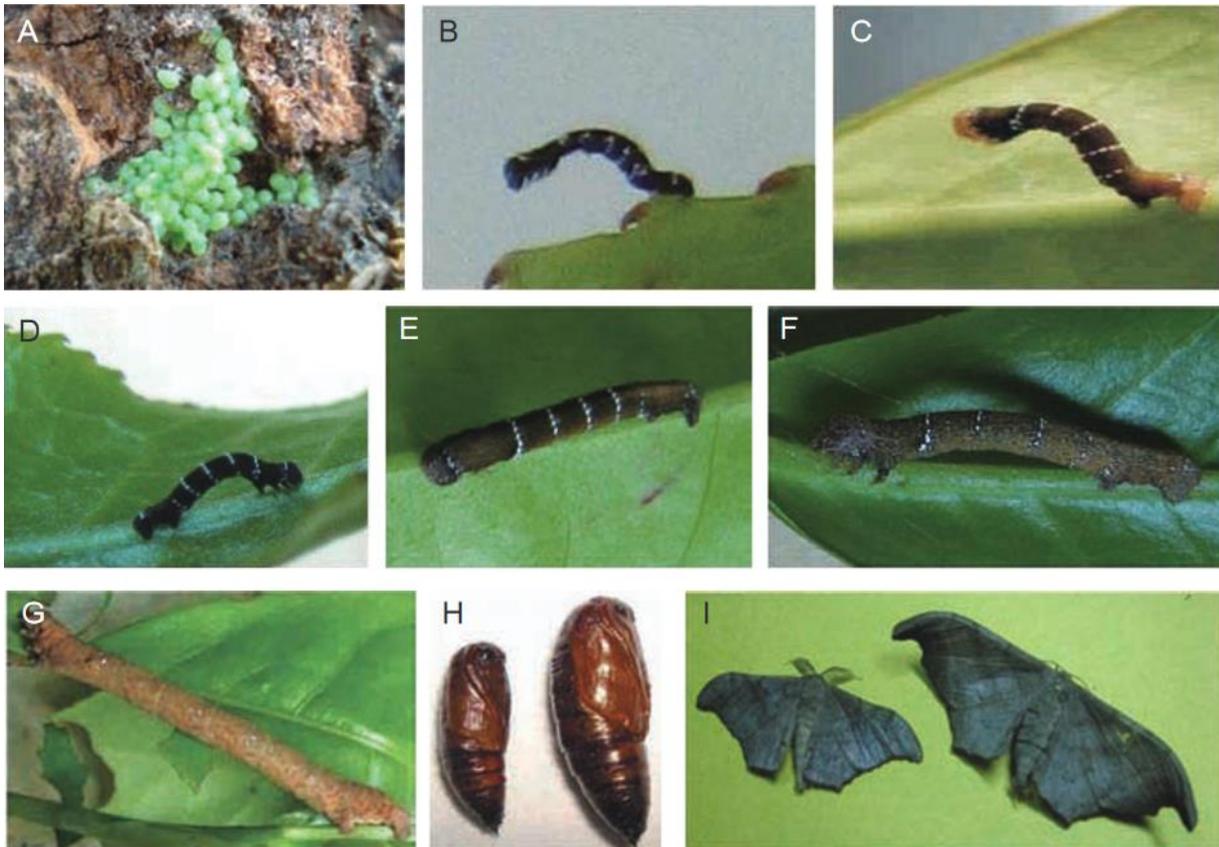
Si peu de ces espèces identifiées n'a réellement suscité d'inquiétude, l'une d'entre elles s'est révélée épidémique et a justifié de mise en œuvre de stratégies de lutte alliant insecticides, bandages des troncs et travaux du sol pour destruction des œufs (Bajwa and Gul, 2000). Il s'agit de *Xylotrechus stebbingii* (Cerambycidé originaire d'Asie). Cette espèce est proche de *Xylotrechus chinensis*, intercepté en Europe (Allemagne) pour la première fois en 2007, mais ayant depuis fait l'objet de découvertes de plusieurs foyers européens importants. Il a notamment été signalé pour la première fois en Espagne (Catalogne) en 2013, où il est aujourd'hui considéré comme établi puis, en 2018 dans la région de Valence. En 2017, il a été découvert près du port d'Héraklion en Crète (Grèce) et une nouvelle interception a été effectuée en Allemagne dans un conteneur d'articles en bois de bouleau et de saule. Cet insecte pourrait donc représenter un risque pour la culture de paulownias en France, où il est déjà mentionné présent dans le sud-est et occurrent en quelques foyers dans le centre du pays ("INPN," 2024).



Photographie 26 – Adultes de *Xylotrechus stebbingii* – Source : INPN, 2024 ©Photos : J. Touroult, B. Calmont

La même publication cite aussi une étude conduite au Pakistan sur des plantations et Pépinières de cinq espèces de Paulownia (*P. elongata*, *P. fargesii*, *P. fortunei*, *P. kawakamii*, *P. tomentosa*) a mis en évidence l'implication de 14 espèces d'insectes responsables de dommages significatifs – voir Tableau 2 (Bajwa and Gul, 2000).

Une autre publication fait état de dégâts importants observés en Inde et provoqués par 3 espèces de géométrides (*Hyposidra talaca*, *Ectropis bhurmitra* et *Pingasa chlora*). Si les deux dernières ont montré un impact plus mineur, la première est à l'origine des principaux dommages sur *Paulownia fortunei* (Mukhtar et al., 2003).



Photographie 27 - Stades de développement de *Hyposidra talaca*. Œufs (A), larve de 1er stade (B), larve de 2e stade (C), larve de 3e stade (D), larve de 4e stade (E), larve de 5ème stade (F), larve de 5e stade (avancée) (G), pupes (H), papillons adultes (mâles et femelles) (I) - Source : (Roy et al., 2017)

Enfin, la punaise diabolique (*Halyomorpha halys*) originaire d'Asie est mentionnée dans une étude américaine comme étant à l'origine de défoliations importantes de paulownias dans le Tennessee (Jones and Lambdin, 2009). Au-delà des dommages de défoliation qui ne semblent pas les plus impactants, c'est surtout son rôle de vecteur du phytoplasme responsable de la maladie du balai de sorcière (cf 6.2.1) qui est ici ciblé, mentionnant même le risque de dissémination d'autres phytoplasmes dangereux pour d'autres espèces végétales. Beaucoup de publications citent *H. halys* comme une espèce invasive à travers le monde (Kuhar and Kamminga, 2017; Nielsen and Hamilton, 2009).

L'espèce est déjà abondamment décrite en France comme une espèce exotique envahissante ("ANSES," n.d.; "E-Phytia," n.d.) dont l'établissement fait l'objet de nombreuses alertes, notamment citée comme un ravageur de plusieurs variétés d'arbres fruitiers et légumes (FREDON, s. d.)



Photographie 28 – Stade larvaire (à gauche) et stade adulte (à droite) d'*Halyomorpha halys* – Source : (Streito, 2022)

A noter qu'en plus d'*Halyomorpha halys*, deux autres espèces de punaises (*H. picus* et *H. mista*) étaient déjà mentionnées en Chine, Corée et au Japon comme des vecteurs potentiels de la maladie du balai de sorcière sur paulownias (Hiruki, 1999). Au-delà de leur impact direct sur les paulownias, *H. halys* pourrait donc représenter un risque supplémentaire de transmission de certaines maladies.

## 7 Impacts sur l'écosystème

L'introduction de paulownia en dehors de son aire d'origine suscite beaucoup de questionnements autour des risques d'impacts sur les écosystèmes en place. En conséquence, les travaux de recherche et publications sont très nombreux. La principale préoccupation (la plus documentée) reste le risque d'invasion qui semble être avéré dans une grande partie des contextes mondiaux dans lesquels l'essence a été introduite. Les autres impacts susceptibles de mettre en évidence d'autres types de déséquilibres écosystémiques, sont plus marginaux...

### 7.1 Caractère invasif

La richesse de la littérature sur le caractère invasif des paulownias confirme que le sujet représente une préoccupation importante dans tous les contextes du globe où ses différentes espèces sont cultivées. On détecte cependant des nuances de positionnement sur cette question parfois clivante, reposant à la fois sur des résultats scientifiques (gradients assez variables de l'invasivité très dépendante de facteurs contextuels ou des espèces de paulownias...), et à la fois de considération des enjeux.

Plusieurs publications citent un caractère invasif de *Paulownia tomentosa* plus expressif que *Paulownia elongata* (Aloi et al., 2021; Snow, 2015) et une problématique nettement plus impactante en Asie, qu'en Amérique du nord et qu'en Europe (Owfi, 2021).

Aux Etats-Unis, une thèse explore de manière très approfondie le sujet dès le début des années 2000 (Longbrake, 2001). Fondée sur une étude menée dans l'Ohio, l'objectif d'évaluation de l'invasivité de *Paulownia tomentosa* selon un gradient de perturbations des milieux en forêts gérées a permis d'éprouver des méthodes associant évaluation de la croissance et du taux de survie dans les jeunes stades de développement, mais aussi délivrer des conclusions sur les facteurs d'invasion, parmi lesquels :

- *P. tomentosa* est capable de constituer des banques de graines dans le sol pouvant survivre très longtemps
- Les coupes rases engendrent les risques les plus élevés d'invasion en modifiant la température des premiers horizons du sol et en favorisant la germination des graines et le développement des semis.
- Les sol riches en azote pourraient permettre à *P. tomentosa* de se maintenir en sous-étage (ombre)
- La compétition des autres espèces présentes peut ne pas être suffisamment performante pour entraver le potentiel invasif de *P. tomentosa* (selon certaines conditions)

Par la suite, plusieurs autres études ont confirmé les mêmes postulats, mais aussi et surtout permis d'établir une relation entre intensité de l'invasivité et perturbation du milieu. Le pouvoir de colonisation de *P. tomentosa* après des événements brutaux (tempêtes de grêle, incendies et traitements chimiques de la végétation...) est alors établi dans l'Ohio, décrivant la dynamique de végétation de l'essence plus compétitive que celle des espèces natives (Chongpinitchai, 2012; Chongpinitchai and Williams, 2021). L'impact sur la biodiversité locale y est également mis en évidence.

D'autres études éclairent le rôle des incendies pouvant représenter des événements activateurs du potentiel invasif de l'espèce. Une étude des performances de germination des graines de *P. tomentosa* après un incendie a notamment permis de démontrer que les concentrations plus élevées de certains éléments chimiques du sols issus de produits de combustion, conjuguées à l'augmentation de température et un apport de lumière massif, favorisent la germination (Todorović et al., 2010).

L'étude de la Forêt d'Etat de Shaunee dans l'Ohio, incendiée en 2009 sur plus de 1200 ha, vient néanmoins nuancer ces conclusions en démontrant que *P. tomentosa* a recolonisé les espaces brûlés au même titre que d'autres espèces présentes avant la crise. Les densités et proportions de tiges n'ont pas montré de progression significative entre milieux incendiés et non-incendiés, indiquant un caractère invasif non-corrélé (Williams and Wang, 2021). Il semble donc que le caractère invasif du paulownia aux Etats-Unis ne soit pas aussi problématique qu'en Asie, et s'exprime surtout de manière assez variable en réponse à une conjugaison subtile de plusieurs conditions environnementales fondées sur la perturbation des milieux en place (Owfi, 2021). Le pouvoir multiplicateur de l'essence par les graines semble notamment moins performant que les rejets et drageons, du fait de leur petite taille (faibles réserves nutritives). Les besoins de lumière au sol pour activer la germination confirme bien son statut de pionnier strict de l'essence (Owfi, 2021), ce qui tendrait à pondérer les risques en milieux naturels plus fermés.



Photographie 29 – A gauche : colonisation post-incendie de *Paulownia tomentosa* dans la région naturelle de Linville Gorge, Caroline du Nord. Photo : Danois Kuppinger – A droite : régénération naturelle de *Paulownia tomentosa* en milieu naturel – Source : [www.hovos.com](http://www.hovos.com)

En Europe, les tendances renvoient les mêmes signaux. Une étude comparative de 6 outils de classification des risques liés à l'usage d'espèces exotiques (dont *Paulownia*) appliqué à des cas d'étude (120 points) en Allemagne, conclut que les risques liés à l'usage du *Paulownia* restent globalement faibles à modérés (moindres que d'autres essences nord-américaines examinées comme le chêne rouge, le frêne rouge ou encore le Douglas). La capacité du *P. Tomentosa* à coloniser des milieux y est reconnue performante, classant spécifiquement le risque d'invasivité à un niveau élevé. Des biais importants comme le manque de recul (antériorité de présence de l'essence), la faible représentativité de l'essence ou encore son occurrence assez systématique en milieux très anthropisés, tendent à relativiser la fiabilité de ce type de conclusion (Bindewald et al., 2020).

Une autre étude s'est attachée suivre le processus d'invasion de *Paulownia tomentosa* en Autriche. A partir de 151 placettes échantillonnées sur tout le territoire (selon divers gradients contextuels structurées selon des cartes de végétation), l'étude a montré que dans la majorité des cas (83%) *P. tomentosa* se présentait en micro-populations et se comportait comme un pionnier au comportement très rudéral (colonise fortement les milieux urbains, perturbés et anthropisés... = dans les fissures de milieux urbanisés, balastes de chemins de fer...). La colonisation d'habitats naturels à partir des points de présence recensés (7%) comme les clairières forestières, incluant reboisements et ripisylves, reste rare (Essl, 2007).

L'essence est même maintenue en dehors de listes d'espèces invasives en Bulgarie car elle est reconnue globalement plus profitable pour la protection des sols contre l'érosion, la production de miel ou encore de biomasse (Stepchich, 2017). En revanche toutes les études dont consensus sur le fait que les effets du changement climatique pourraient catalyser son comportement invasif et contribuer à une progression du risque d'invasivité (Aloi et al., 2021; Bindewald et al., 2020; Essl, 2007; Todorović et al., 2010). Certaines publications passent en revue de nombreuses démarches entreprises à travers le monde pour le développement de méthodes de lutte contre le caractère invasif du *Paulownia*, notamment par procédés chimiques, mécaniques ou biologique (Owfi, 2021).

## 7.2 Autres impacts sur l'environnement

Les autres impacts sur l'environnement liés au *Paulownia* renvoient peu de publication ou mentions, à l'exception de la capacité de l'essence à fixer l'azote et en amender le sol (Owfi, 2021), caractéristique susceptible de modifier les cortèges végétaux en place et menacer des espèces natives patrimoniales d'intérêt potentiellement conservatoire.

A noter que la culture du Paulownia s'illustre aussi dans la littérature pour les atouts qu'elle présente en matière de phytoremédiation. Certaines études ont démontré les capacités de l'essence à dépolluer les sols de certains intrants comme les pesticides à forte rémanence (Mamirova et al., 2022).

## 8 Valorisations

### 8.1 Propriétés du bois



**Feuille pionnier à croissance très rapide, le paulownia présente sans surprise un bois très léger**, comparable au bois de balsa (Lugli et al., 2023). Sa densité varie de 218 à 353 kg/ m<sup>3</sup> (Jakubowski, 2022; Tusevhaan et al., 2023) pour une teneur en humidité de 12%, avec une moyenne autour de 268 kg/ m<sup>3</sup> d'après l'entreprise (KIRITEC, 2020) pour 253 kg/ m<sup>3</sup> à 0% d'humidité (densité à sec étuvé). **C'est donc un bois environ 2 à 3 fois plus léger que du chêne sessile par exemple.** La densité du bois varie principalement en fonction de la vitesse de croissance (largeur des cernes) bien qu'il existe une **différence significative entre espèces à largeur de cerne comparable** (Bozkurt and Erdin, 1990).

*P. tomentosa* présente une densité moyenne légèrement plus élevée que *P. elongata* et *P. fortunea* par exemple. Une densité de bois de plus de 400 kg/ m<sup>3</sup> a été mesurée pour l'hybride Shan Tong en Bulgarie. L'hybride « Cotevisa 2 » présenterait une densité entre 250 et 300 kg/ m<sup>3</sup>. D'après les conclusions d'une étude turque (Akyildiz and Kol, 2010), c'est un bois très poreux (de l'ordre de 80%) lié à sa faible densité, permettant une teneur en humidité maximale de 303% (Cathy, 2021).

Les propriétés mécaniques du paulownia ne sont pas très éloignées du bois de peuplier. La résistance à la flexion statique du bois de paulownia varie de 24 à 43,6 MPa, selon l'espèce, tandis que le module d'élasticité varie de 2651 à 4917 MPa, voire jusqu'à 5900 MPa pour *P. tomentosa* (Tusevhaan et al., 2023). Les tests mécaniques de l'entreprise (KIRITEC, 2020) donnent des résultats globalement supérieurs sur leurs hybrides : entre 36,2 et 50,5 MPa (moyenne à 42,5 MPa) pour la résistance à la flexion et entre 3120 et 6842 MPa (moyenne à 5033 MPa) pour le module d'élasticité. L'ensemble des autres caractéristiques techniques du bois de paulownia testé par (KIRITEC, 2020) est résumé sur le tableau ci-dessous :

MECHANICAL PROPERTIES	STANDARD	UNIT	AVERAGE	MINIMUM	MAXIMUM
Flexural strength	fol. DIN 52186	N/mm <sup>2</sup>	42,47	36,24	50,47
Flexural modulus of elasticity	fol. DIN 52186	N/mm <sup>2</sup>	5033	3120	6842
Tensile strength parallel to the grain	fol. DIN 52188	N/mm <sup>2</sup>	43	27,17	61,72
Compressive strength parallel to the grain	fol. DIN 52185	N/mm <sup>2</sup>	23,42	14,64	40,26
Impact bending test	DIN 52189	Nm/cm <sup>2</sup>	2,2	1,0	3,4
Brinell resistance to indentation radial	fol. DIN 1534	N/mm <sup>2</sup>	7,22	4,79	10,68
Brinell resistance to indentation tangential	fol. DIN 1534	N/mm <sup>2</sup>	7,33	4,98	12,25
Brinell resistance to indentation longitudinal	fol. DIN 1534	N/mm <sup>2</sup>	23,50	16,38	31,37
Withdrawal resistance (screw) radial	fol. EN 320	N	511	338	737
Withdrawal resistance (screw) longitudinal	fol. EN 320	N	509	175	771
Withdrawal resistance (screw) tangential	fol. EN 320	N	544	236	793

Dans l'étude de Akyildiz et Kol (2010), le module d'élasticité du paulownia s'est avéré inférieur à celui des espèces comparées (peuplier tremble, aulne glutineux, châtaignier commun, hêtre d'orient). Dans cette étude, le bois de paulownia peut être classé comme très faible pour la résistance à la compression et faible pour le module d'élasticité et la résistance à la flexion, selon la classification de Bozkurt et Erdin (1990). **Ce bois malléable présente donc une faible résistance. Par conséquent, il n'est pas adapté à une utilisation comme bois de construction nécessitant une bonne résistance mécanique (Akyildiz and Kol, 2010).**

**Ceci étant dit, relativement à sa densité très basse, c'est un bois plutôt résistant à la torsion, et à la contraction (pas de fente ou de fissures) (Danciu et al., 2016). Bien qu'ayant une résistance mécanique globalement faible comparé à d'autres essences utilisés dans la construction bois, les paulownias ont donc un rapport résistance-densité élevé, très utile, notamment lorsque des structures très légères mais robustes sont requises, comme dans la construction de panneaux composites. Il faut garder en tête que les propriétés mécaniques sont assez variables entre les différentes espèces.** Cet aspect a été souligné par Feng et al. (2020) qui ont testé 23 clones et ont démontré une forte variation dans les propriétés du bois.

**Le bois est réputé peu putrescible et d'une grande stabilité dimensionnelle (Bergmann, 1998). Il est résistant aux vers du bois et aux termites en raison de sa teneur élevée en tanins (Yadav et al., 2013).**

**Il sèche rapidement mais se déforme peu en séchant (Danciu et al., 2016; El-Showk and El-Showk, 2003). Il peut être séché en séchoir en 24 à 48 heures et à l'air libre en 30 à 60 jours (Ates et al., 2008; Yadav et al., 2013). Il présente un faible coefficient de rétrécissement et ne gauchit pas en séchant (Akyildiz and Kol, 2010). En effet le retrait (retraits radial, tangential et volumétrique) et le gonflement volumétriques du bois de paulownia sont inférieurs à ceux d'espèces similaires, ce qui le classe comme **bois à faible retrait** (Bozkurt and Erdin, 1990). Les tests mécaniques menées par l'entreprise allemande (KIRITEC, 2020) donnent les résultats suivants : retrait différentiel radial entre 8% et 15% avec une moyenne de 12% ; retrait différentiel tangential entre 16% et 27% avec une moyenne à 22%. **De même, les produits en****

**bois de paulownia subissent peu de déformations avec les variations d'humidité au cours de leur vie comparé à d'autres types de bois.** Cette propriété offre un avantage très important dans différents domaines d'utilisation comme le mobilier.

**Le bois de paulownia est doux, à grain droit poreux avec un lustre satiné** (Kalaycioglu et al., 2005). Il est réputé facile à raboter, scier ou sculpter sans risque d'éclats (Kaymakci et al., 2013) et accepte facilement les teintures, la peinture et la colle (Icka et al., 2016). **C'est un bois d'une faible conductivité thermique** (0,063-0,086 kcal x m<sup>-1</sup> x hr<sup>-1</sup> x C<sup>-1</sup>) (Akyildiz and Kol, 2010), ce qui en fait donc un **bon isolant** (Ayrilmis and Kaymakci, 2013) et un atout en tant que matériau de construction là où l'isolation est requise (Zhang et al., 2020). Au Japon, il était d'usage de mettre ses objets de valeurs dans des coffres en paulownia car en cas d'incendie, c'était souvent le dernier bois à brûler. **Il est naturellement résistant au feu** (Akyildiz and Kol, 2010) avec une température d'allumage élevée de 420-430°C par rapport à la moyenne des feuillus dont la température d'allumage est de 220-225°C (Danciu et al., 2016). **Les propriétés d'absorption sonore sont toutefois médiocres**, ce qui réduit sa qualité d'insonorisation par rapport au balsa par exemple. Ceci dit, un traitement hydrothermal (Kolya and Kang, 2021) des panneaux permet d'améliorer l'absorption sonore pour des usages résidentiels (Tusevhaan et al., 2023).

**En conclusion le bois de paulownia n'est pas adapté aux utilisations nécessitant une bonne résistance mécanique (poutres, pièces porteuses, ossature bois). Il est léger, résistant à la pourriture et exempt de déformations et fissures (Akyildiz and Kol, 2010) et peut donc trouver de nombreux usages.**

## 8.2 Bois d'œuvre

En Chine et dans certains autres pays asiatiques, le bois de paulownia est beaucoup utilisé de façon traditionnelle : ameublement (tables, chaises, coffres, boîtes ...), sabots, articles de cuisine (pots de riz, seaux d'eau, bols, cuillères et bâtonnets), des outils agricoles ou d'artisanat (Akyildiz and Kol, 2010). Son bois léger et facile à travailler trouve une variété d'autres applications telles que la construction navale, l'aéronautique, les caisses d'emballage, les cercueils, la menuiserie et le moulage (Jr. Flynn and Holder, 2001). Plus récemment, il est utilisé en bois d'ingénierie, pour la fabrication de ski ou de planches de surf (Lugli et al., 2023) mais aussi pour le revêtement de sol (Kaymakci et al., 2013) ou encore les contreplaqués et les panneaux (Beel et al., 2005). Pour la construction, son bois léger et peu putrescible est un atout à condition de ne pas l'exposer à de fortes contraintes mécaniques. Il est utilisé pour les portes, les fenêtres, les cloisons ou les plafonds par exemple (El-Showk and El-Showk, 2003).



Photographie 30 - Saladier en *P. tomentosa*  
– Source : Stephen Mildenhall



Photographie 31 - Tabouret en *P. tomentosa*  
– Source : Emmanuel Delahaye

En raison de sa faible conductivité thermique, la laine de bois de paulownia serait idéale comme matériau d'isolation. Les ruches fabriquées en bois de paulownia sont légères et bien isolées et produisent un rendement de miel plus élevé (El-Showk and El-Showk, 2003).



Photographie 32 - Guitare avec manche en paulownia – Source : Limerot

Le paulownia est fréquemment utilisé pour la fabrication d'instruments de musique, bien que son bois ne soit pas un bon absorbant sonore (Jakubowski, 2022). Il aurait pourtant d'excellentes qualités de résonance d'après El-Showk and El-Showk (2003). Rappelons que les bois de résonance qui rentrent dans la fabrication des violons par exemple sont souvent des arbres qui ont poussé lentement mais régulièrement (épicéa de montagne par exemple). Des tests ont également montré que le bois de paulownia se prête bien à la fabrication de crayons, présentant des propriétés prometteuses par rapport au peuplier et au genévrier, couramment utilisés dans ces produits.

### 8.3 Bois d'industrie



Photographie 33 - Utilisation de paulownia pour la conception de panneaux d'alcôve au Japon – Source : Howard Stanbury

En raison de sa concentration élevée en cellulose allant jusqu'à 440 g de cellulose/kg (Yadav et al., 2013) le bois de paulownia est adapté à la fabrication de pâte de cellulose (Ates et al., 2008). Les Etats-Unis développent aujourd'hui le paulownia dans la fabrication de pâte à papier (Tusevhaan et al., 2023). Cependant les chercheurs ont souligné que les fibres de paulownia sont courtes et ne conviennent qu'à certaines qualités de papier. La taille des fibres prennent des valeurs typiques des espèces à feuilles caduques utiles dans cette industrie, plus

courte que les fibres de résineux (Icka et al., 2016). Le bois est également commercialisé pour la production de panneaux de particules orientées (Akyildiz and Kol, 2010). Les propriétés de ces panneaux peuvent être améliorées, notamment via des méthodes de traitement à haute pression qui fonctionnent bien pour des bois de faible densité comme le paulownia (Tusevhaan et al., 2023). Il y a actuellement beaucoup de recherches en cours visant à promouvoir l'utilisation du bois de paulownia dans la production de plastiques et de composites bois et dans la production de biopolymères (Akyildiz and Kol, 2010).

## 8.4 Bois énergie



Photographie 34 - Billons de paulownia pour le bois énergie à l'Institut d'Expérimentation pour la Populiculture - Casale Montferrato – Source : Alain Csakvary – CRPF RA

S'agissant d'un bois léger, le pouvoir calorifique rapporté au volume de bois de Paulownia reste nécessairement assez médiocre comparé à d'autres essences. Une comparaison des granulés, selon les normes européennes, produits à partir de plantations jeunes de *P. elongata* × *P. fortunei* a montré leur mauvaise qualité par rapport aux granulés de *Pinus radiata* et *Eucalyptus nitens*. Cependant, dans une autre étude évaluant la production de briquettes et de granulés à partir de sciure, des effets énergétiques satisfaisants ont été obtenus pour *P. tomentosa* et *P. elongata*. Les hybrides testés (9501 et Shan Tong) ont produit des valeurs calorifiques brutes légèrement inférieures de 19,5 MJ/kg (hybride 9501) et 19,6 MJ/kg (Shan Tong) par rapport au saule (19,9 MJ/kg) et au peuplier (19,8 MJ/kg) (Tusevhaan et al., 2023). Dans l'étude de Jakubowski (2022), le bois de paulownia se comporte encore moins bien, avec un pouvoir calorifique calculé de 15,4 MJ/kg (3680 kcal/kg). Bien qu'il n'est pas une bonne réputation comme bois de chauffage, il est valorisé pour la production de charbon de bois en raison de son cycle de production rapide (Ates et al., 2008). Par ailleurs, sa forte teneur en cellulose permet de valoriser le paulownia pour la fabrication de bioéthanol (Yadav et al., 2013).

## 8.5 Autres usages



Les fleurs et les feuilles de paulownia sont une bonne source de graisses, de sucres et de protéines pour l'alimentation du bétail (Al-Sagheer et al., 2019). La teneur en composés azotés des feuilles de paulownia peut être comparée à celle de plusieurs plantes de la famille des légumineuses (Icka et al., 2016), famille évolutivement proche du genre paulownia. Les feuilles de paulownia sont également utilisées comme engrais vert sous forme de compost (Yadav et al., 2013). Un arbre âgé de 8 à 10 ans produit environ 100 kg de matière verte contenant environ 2,8 à 3 % d'azote et 0,4 % de potassium (Bergmann, 1998). Le bois lui-même serait un bon matériau pour le compostage ; il est à la fois riche et renouvelable rapidement (El-Showk and El-Showk, 2003). De par sa croissance rapide, le paulownia est un bon fixateur de carbone. Un seul arbre fixerait environ 22 kg de CO<sub>2</sub> et rejetterait 6 kg d'O<sub>2</sub> par an selon Lucas-Borja et al. (2011), ce qui représenterait une fixation de carbone à l'hectare d'environ 1250 tonnes/ha/an (Bikfalvi, 2017). La floraison abondante de paulownia est une

bonne source de production de miel (Yadav et al., 2013), permettant d'obtenir une production de miel allant jusqu'à 700 kg/ha/an (Bikfalvi, 2017).

Les fleurs, les feuilles, les fruits et l'écorce de paulownia contiennent des substances agissant favorablement sur le foie, les reins, la vésicule biliaire et les poumons. Ils peuvent donc être utilisés comme médicaments, avec des effets anti-inflammatoires, antitussifs, diurétiques et antihypertenseurs (Lugli et al., 2023). Traditionnellement, son écorce de tige a été utilisée dans la médecine traditionnelle chinoise comme composant de remèdes pour les maladies infectieuses telles que la gonorrhée, l'érysipèle (Kolya and Kang, 2021) ou encore la bronchite, la dysenterie bactérienne, l'entérite aiguë, la parotidite et la conjonctivite aiguë (Liao et al., 2008). Le thé et le sirop extraits des fleurs de paulownia ont un effet positif sur les problèmes de foie et de rate ainsi que sur la bronchite. Récemment, les feuilles et les fleurs sont utilisées dans l'industrie cosmétique pour la production de parfums, de crèmes, etc (Danciu et al., 2016).



C'est également un arbre ornemental (Asai et al., 2008) très répandu dans le monde. Il serait adapté pour la restauration des mines et la gestion des eaux usées comme nous l'avons déjà vu. Des tentatives d'utilisation des espèces de paulownia pour la phytoremédiation des métaux lourds dans les sols contaminés ont indiqué une accumulation significative de métaux tels que le cuivre, le zinc et le cadmium, bien que cela soit dû à leur productivité élevée en biomasse plutôt qu'à leur potentiel d'accumulation de métaux (Tusevhaan et al., 2023). Une autre étude a trouvé une différence significative dans les accumulations de plomb et de zinc entre différents hybrides (Macci et al., 2012).



*Photographie 35 - P. tomentosa, avenue Carnot Paris 17<sup>ème</sup> – Source : Vincent Tourret - IDF*

## 9 Aspects législatifs et fiscaux en France

Arbre paulownia présente le paulownia comme un arbre non forestier qui ne serait pas soumis à la législation pour les bois et les forêts. Selon eux, l'implantation de paulownia n'est soumise

à aucune réglementation sauf dans le contexte des zones protégées type Natura 2000 (N2000).

Pour rappel, les plantations en plein d'essence forestière qui rentrent dans la définition de la forêt de l'Inventaire forestier national (IFN : surface de plus de 0,5 ha, surface de recouvrement > 10%, hauteur des arbres à maturité > 5m, largeur > 20m) avec une destination forestière (production principale de bois) sont considérées comme des forêts au niveau réglementaire. De ce fait la plantation doit être précédée d'une étude au cas par cas, voire d'une étude d'impact si exigée par la Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL). La plantation peut également être soumise à des réglementations spécifiques (réglementation des boisements sur certaines communes, autres zonages réglementaires : N2000, arrêté de protection du biotope...). Une fois planté, il faut également réaliser le changement de nature de culture en nature de bois au niveau du cadastre.

Le statut réglementaire du paulownia n'est pas encore clairement défini en France. Si à l'avenir il est répertorié comme une essence forestière, il rentrerait dans cette réglementation. En revanche, si ce n'est pas le cas, cela peut avoir d'autres conséquences : le remplacement d'un milieu forestier par une plantation de paulownias, correspondrait alors à une suppression de l'état boisé suivi d'un changement d'affectation et perte de la destination forestière. Cette transformation est soumise à la réglementation sur le défrichement.

Envisageons le paulownia comme une essence forestière, bien qu'il ne soit pas clairement défini comme tel selon le Ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire (MASA) aujourd'hui. Dès lors que la culture de paulownia apparaît non conforme aux schémas régionaux de gestion sylvicoles (SRGS) qui cadrent la gestion durable en forêt privé, elle n'est pas considérée comme une pratique de gestion durable des forêts et on ne peut donc pas l'intégrer dans un document de gestion durable (PSG, CBPS+, RTG). Or la plupart des SRGS spécifient une rotation minimale de 15 ans pour le taillis, ce qui disqualifie les cultures de paulownia qui ont généralement des rotations plus courtes, même pour la production de bois d'œuvre. Le SRGS de Bretagne précise par exemple que la gestion de type taillis à très courtes rotation (inférieurs à 15 ans) est proscrite. Les taillis à courte rotation ne sont pas considérés comme des peuplements forestiers, mais comme des cultures agricoles. La culture de paulownia en France s'inscrivant dans ce cas, elle ne peut donc pas être intégrée à un document de gestion forestière. De plus, la conversion d'une forêt en plantation de paulownia qui constitue un taillis n'est pas autorisée par les SRGS, ne respectant pas le principe de non régression de l'état boisé.

En ce qui concerne les subventions publiques, aides régionales (FEADER), nationales (France 2030, LBC) ou européennes ou les dispositifs fiscaux (crédits d'impôt DEFIT travaux...), les paulownias ne sont actuellement pas finançables, n'étant pas sur les listes des arrêtés MFR (matériels forestiers de reproduction). De plus, il faut disposer d'un document de gestion durable pour bénéficier de ces aides.

Concernant le nouveau volet « règlement européen contre la déforestation et la dégradation des forêts » (RDUE), on peut considérer la plantation de paulownia comme une forêt de

plantation au sens de l'article 2 point 11 du RDUE en raison de ses caractéristiques : plantation monospécifique, équienne, à courte rotation, comportant des pratiques agricoles (labour, irrigation). Or la transformation d'une forêt régénérée naturellement vers une forêt de plantation est considérée comme une dégradation au sens du RDUE, ce qui rend illégale la commercialisation du bois issu de la forêt qui était naturellement régénérée. En revanche, la conversion d'une peupleraie en plantation de paulownia n'est pas considérée comme une dégradation au sens du RDUE, ne conduisant donc pas à une interdiction de commercialisation du bois de peuplier.

Les démarches règlementaires précédemment présentées ne sont pas à réaliser dans un contexte de plantation ne rentrant pas dans la réglementation forestière. Cependant, le MASA précise que la plantation de paulownia n'est pas une surface agricole au sens de la PAC. Il ne figure pas dans la liste des espèces éligibles aux aides de la PAC pour culture ligneuse de moins de 20 ans. Dans tous les cas, au-delà de 100 plants/ha, les parcelles plantées d'arbres ne peuvent pas bénéficier des subventions de la PAC. En revanche l'implantation de Paulownia en ligne ou de façon isolée à faible densité, permettant l'exercice d'une activité agricole dans une prairie ou culture, n'empêche pas l'admissibilité aux aides surfaciques de la PAC.

## 10 Conclusion

Bien connu historiquement en Chine où ils sont utilisés en agroforesterie et pour divers usages traditionnels, les paulownias ont d'abord conquis les parcs et jardins des grandes villes du globe pour leur intérêt ornemental. Dès le 19<sup>e</sup> siècle, ils ont été cultivés pour leur bois dans de nombreux pays du monde (Australie, Etats-Unis...) et progressivement dans toute l'Europe.

Les paulownias sont des champions en termes de productivité. Leur bois, bien que très léger et peu adapté aux usages mécaniquement contraignants trouvent pour autant de nombreuses applications anciennes comme nouvelles comme bois d'œuvre et dans un usage industriel (bioplastiques, bioéthanol...). On comprend alors aisément pourquoi ils suscitent tant d'intérêt et de passions. Récemment, plusieurs entreprises se sont implantées en France dans le but de développer le paulownia dans l'hexagone. Certaines entreprises promettent des gains formidables, à l'issue d'un très court cycle de production.

**Il n'y a pas à ce jour de publications scientifiques rendant compte des capacités de production des plantations de Paulownia en France. Ailleurs, les forts rendements annoncés ne sont atteints que dans des conditions culturales très intensives alliant travail du sol en profondeur, irrigation, fertilisation et épandage de produits phytosanitaires.** Le manque d'eau, tout comme son excès, apparaît comme particulièrement limitant pour la survie et la croissance des paulownias qui ont donc besoin d'un apport contrôlé et soutenu en eau.

Le paulownia, tel un pur-sang arabe, est un arbre d'une incroyable rapidité de croissance, atteignant des hauteurs remarquables en peu de temps. Toutefois, comme le pur-sang, il nécessite une attention délicate et des soins constants pour prospérer : contrôle de la végétation, taille dynamique et recépage les premières années. Son caractère sensible le

rendant particulièrement vulnérable aux aléas (coup de vent, gel, engorgement, sécheresse). **Son entretien est comparable à celui d'une monture de prestige, exigeant des investissements significatifs en temps et en ressources.**

Au-delà de cette métaphore équestre approximative, on peut affirmer que la production de bois de paulownia repose sur des façons culturales intensives propres au monde agricole. C'est d'ailleurs aux agriculteurs que s'adressent les promoteurs du paulownias et non aux forestiers. Rappelons enfin que les taillis à très courte rotation dont fait partie la culture de paulownia, ne sont pas considérés comme des méthodes de gestion durable de la forêt d'après les SRGS notamment. Finalement, peut-on encore parler ici de forêt ?

Face au changement climatique, l'introduction de nouvelles essences mieux armées face aux sécheresses et aux canicules est un des leviers d'action envisagés par les forestiers. A ce titre, les paulownias sont de piètres candidats. Sensibles au manque et à l'excès d'eau, aux gelées tardives et au vent même modéré. Enfin l'utilisation de clones sur le marché actuel amenuise le risque d'invasivité mais l'absence de diversité génétique sur ces plantations clonales est un autre facteur de vulnérabilité identifié face aux pathogènes.

## 11 Entreprises citées

**AB Paulownia** - URL : <https://www.abpaulownia.fr/>

**WeGrow** – URL : <https://www.wegrow.de/>

**arrepaulownia (WeGrow)** – URL : <https://www.arrepaulownia.fr/>

**KIRITEC** – URL : <https://www.kiritec.eu/>

**Paulownia France** – URL : <https://www.paulowniafrance.com/>

**Paulownia Energy** – URL : <https://paulownia.energy/fr/>

## 12 INDEX DES ILLUSTRATIONS

Photographie 1 – Paulownia en fleur -Source : ferencsomogvi.....	4
Photographie 2 – Fruit de Paulownia tomentosa – Source : Mireille Mouas IDF.....	5
Photographie 3 – Portrait d'Anna de Pavlovna – Source : Jan Baptist van der.....	6
Photographie 4 – Paulownia en fleur en jardin horticole – Source : Vincent Tourret - IDF.....	7
Photographie 5 – Feuille de paulownia – Source : Carole Penpoul, CRPF PACA.....	9
Photographie 6 – Paulownia tomentosa en PACA – Source : Carole Penpoul, CRPF PACA.....	11
Photographie 7 - Plantation de paulownia pour la production de bois d'œuvre, avec système d'irrigation goutte à goutte - Queensland, Australie – Source : Patricia Woods.....	11
Photographie 8 - Plantation en forêt alluviale de P. tomentosa en Caroline du Sud – Source : Gene Williams.....	13
Photographie 9 - Passage de covercrop sur sol labouré – Source : Philippe Van Lerberghe - IDF.....	14

Photographie 10 - Jeunes plants de paulownia en motte à la pépinière SCG, Panama – Source : Keren Visser .....	15
Photographie 11 - Ouverture de potets, mini-pelle & dent becker – Source : René Sabatier.....	15
Photographie 12 - Plantation de 3 mois de Paulownia après un labour et cover-crop - Bulgarie, 2012 – Source : europeanforestry .....	16
Photographie 13 - Plantation de paulownias élagués en forêt de Richmond – Australie 2014 – Source : sugarbelleah .....	18
Photographie 14 - Plantation de paulownia et robinier à forte densité en Europe, 2012, Source : europeanforestry .....	19
Photographie 15 - Plantation de paulownia en forêt de Richmond – Australie 2014 – Source : Jan Aonzo.....	20
Photographie 16 – Nécroses foliaires (à gauche) et flétrissements, dessèchements provoqués par l’anthraxose du Paulownia ( <i>Sphaceloma paulowniae</i> )+ vues microscopiques des spores infectieuses – Source : (“www.paulownia.energy.france.fr,” 2024).....	25
Photographie 17 – Vue microscopique du mycélium de <i>Rhizoctonia solani</i> (à gauche) et nécrose sur pousses de jeunes semis provoquant la fonte des semis (à droite) – source : (“www.paulownia.energy.france.fr,” 2024).....	26
Photographie 18 – Développement anarchique de la ramification (à gauche) et mortalités de rameaux (à droite) provoqués par la maladie du balai de sorcière ( <i>Phytoplasma</i> sp) – Source : (“www.paulownia.energy.france.fr,” 2024).....	27
Photographie 19 - A gauche : jeunes basidiomes de <i>Pycnoporus cinnabarinus</i> éclatant à travers l'écorce d'un individu de <i>Paulownia fortunei</i> âgé de 6 ans dans une plantation commerciale en Australie occidentale. Le développement de la pourriture blanche bien visible, provoque un décollement de l'écorce. A droite : Pourriture du bois causée par <i>Pycnoporus cinnabarinus</i> se produisant sous le collet et s'étendant jusqu'aux racines d'un arbre <i>Paulownia fortunei</i> âgé de 6 ans. NB : basidiomes proéminents, mycélium orange et pourriture blanche bien visible – Source : (Bayliss et al., 2007).....	28
Photographie 20 - A gauche : Sporophores du champignon <i>Trametes hirsuta</i> – Au Centre : dommage sur tronc de <i>P. tomentosa</i> provoqués par pourriture blanche – A droite : Dégâts à l'échelle d'une parcelle – source : (Milenković et al., 2018).....	29
Photographie 21 - Symptômes de flétrissement, de retard de croissance, de jaunissement des feuilles, de défoliation et de mortalité total dans une jeune plantation d'hybrides de paulownia ( <i>Paulownia elongata</i> × <i>P. fortunei</i> ) en Calabre – Source : (Aloi et al., 2021) .....	29
Photographie 22 – Feuilles chlorotiques, flétrissements et retards de croissance dans une jeune plantation de 4 ans. A droite : au premier plan, regarni pour remplacer les arbres morts, provenant d'une pépinière différente – Source : (Aloi et al., 2021).....	29
Photographie 23 - Nécrose au collet de la tige avec exsudat brun foncé sur des hybrides <i>Paulownia elongata</i> × <i>P. fortunei</i> . Symptômes de pourriture sévère du collet sur les jeunes arbres (4 ans) – Source : (Aloi et al., 2021) .....	30
Photographie 24 – Aperçu des symptômes détectés sur les plants de paulownia suivis dans l'étude : dépérissement important des houppiers (A et B) ; arbre présentant un chancre avec renflement au collet causé par <i>Macrophomina phaseolina</i> (flèche rouge) et un chancre suintant de <i>Phytophthora</i> sur la racine principale causé par <i>Phytophthora pseudocryptogea</i> (flèche jaune) (C), particulier de la lésion nécrotique interne (écorce interne) sur celle-ci arbre (D), chancre en coupe transversale (E), symptômes typiques de pourriture des racines causée par <i>Phytophthora</i> (F) – Source : (Bregant et al., 2023).....	30
Photographie 25 – Chancre en coupe transversale (E), symptômes typiques de la pourriture des racines causée par <i>Phytophthora</i> (F) – Source : (Bregant et al., 2023).....	31

Photographie 26 – Adultes de <i>Xylotrechus stebbingii</i> – Source : INPN, 2024 ©Photos : J. Touroult, B. Calmont .....	33
Photographie 27 - Stades de développement de <i>Hyposidra talaca</i> . Œufs (A), larve de 1er stade (B), larve de 2e stade (C), larve de 3e stade (D), larve de 4e stade (E), larve de 5ème stade (F), larve de 5e stade (avancée) (G), pupes (H), papillons adultes (mâles et femelles) (I) - Source : (Roy et al., 2017)	33
Photographie 28 – Stade larvaire (à gauche) et stade adulte (à droite) d' <i>Halyomorpha halys</i> – Source : (Streito, 2022).....	34
Photographie 29 – A gauche : colonisation post-incendie de <i>Paulownia tomentosa</i> dans la région naturelle de Linville Gorge, Caroline du Nord. Photo : Danois Kuppinger – A droite : régénération naturelle de <i>Paulownia tomentosa</i> en milieu naturel – Source : <a href="http://www.hovos.com">www.hovos.com</a> .....	36
Photographie 31 - Saladier en <i>P. tomentosa</i> – Source : Stephen Mildenhall .....	39
Photographie 30 - Tabouret en <i>P. tomentosa</i> – Source : Emmanuel Delahaye.....	39
Photographie 32 - Guitare avec manche en paulownia – Source : Limerot.....	40
Photographie 33 - Utilisation de paulownia pour la conception de panneaux d'alcôve au Japon – Source : Howard Stanbury.....	40
Photographie 34 - Billons de paulownia pour le bois énergie à l'Institut d'Expérimentation pour la Populiculture - Casale Montferrato – Source : Alain Csakvary – CRPF RA .....	41
Photographie 35 - <i>P. tomentosa</i> , avenue Carnot Paris 17 <sup>ième</sup> – Source : Vincent Tourret - IDF .....	42

## 13 BIBLIOGRAPHIE

Accueil | ClimEssences [WWW Document], n.d. URL <https://climessences.fr/node/2> (accessed 3.10.24).

Akyildiz, M.H., Kol, H.S., 2010. Some technological properties and uses of paulownia (*Paulownia tomentosa* Steud.) wood.

Aloi, F., Riolo, M., La Spada, F., Bentivenga, G., Moricca, S., Santilli, E., Pane, A., Faedda, R., Cacciola, S.O., 2021. Phytophthora Root and Collar Rot of Paulownia, a New Disease for Europe. *Forests* 12, 1664. <https://doi.org/10.3390/f12121664>

Al-Sagheer, A.A., Abd El-Hack, M.E., Alagawany, M., Naiel, M.A., Mahgoub, S.A., Badr, M.M., Hussein, E.O.S., Alowaimer, A.N., Swelum, A.A., 2019. Paulownia Leaves as A New Feed Resource: Chemical Composition and Effects on Growth, Carcasses, Digestibility, Blood Biochemistry, and Intestinal Bacterial Populations of Growing Rabbits. *Animals (Basel)* 9, 95. <https://doi.org/10.3390/ani9030095>

ANSES [WWW Document], n.d. URL <https://www.anses.fr/fr/system/files/ANSES-FRI-La-punaise-diabolique.pdf>

Asai, T., Hara, N., Kobayashi, S., Kohshima, S., Fujimoto, Y., 2008. Geranylated flavanones from the secretion on the surface of the immature fruits of *Paulownia tomentosa*. *Phytochemistry* 69, 1234–1241. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2007.11.011>

- Ates, S., Ni, Y., Akgul, M., Tozluoglu, A., 2008. Characterization and evaluation of Paulownia elongata as a raw material for paper production. *African Journal of Biotechnology* 7.
- Ayrilmis, N., Kaymakci, A., 2013. Fast growing biomass as reinforcing filler in thermoplastic composites: *Paulownia elongata* wood. *Industrial Crops and Products* 43, 457–464. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.07.050>
- Baier, C., Thevs, N., Villwock, D., Emileva, B., Fischer, S., 2021. Water productivity of Paulownia tomentosa x fortunei (Shan Tong) in a plantation at Lake Issyk-Kul, Kyrgyzstan, Central Asia. *Trees* 35, 1627–1637. <https://doi.org/10.1007/s00468-021-02141-8>
- Bajwa, G.A., Gul, H., 2000. Some observations on insect species of Paulownia species at Pakistan Forest Institute Campus, Peshawar. 50, 71–80.
- Barton L., T., 2007. ISSN 1174-5096 ©New Zealand Forest Research Institute Limited 2007.
- Bayliss, K.L., Foster, C., Dell, B., Hardy, G.E.St.J., 2007. *Pycnoporus cinnabarinus* is pathogenic on living Paulownia trees. *Austral. Plant Pathol.* 36, 53. <https://doi.org/10.1071/AP06079>
- Beel, M., Davis, S., Murphy, J., Piper, P., 2005. Product potential of paulownia timber. *Australian Forestry* 68, 3–8. <https://doi.org/10.1080/00049158.2005.10676219>
- Berdón, J., Montero-Calvo, A., Barroso, L., Alcobendas, A., Cortés, J., 2017. Study of Paulownia's Biomass Production in Mérida (Badajoz), Southwestern Spain. *Environment and Ecology Research* 5, 521–527. <https://doi.org/10.13189/eer.2017.050709>
- Berg, E.C., Zarnoch, S.J., McNab, W.H., 2020. Survivorship, attained diameter, height and volume of three Paulownia species after 9 years in the southern Appalachians, USA. *J. For. Res.* 31, 2181–2191. <https://doi.org/10.1007/s11676-019-01021-9>
- Bergmann, B.A., 1998. Propagation method influences first year field survival and growth of Paulownia. *New Forests* 16, 251–264. <https://doi.org/10.1023/A:1006529622871>
- Bikfalvi, M., 2017. The intelligent tree.
- Bindewald, A., Michiels, H.-G., Bauhus, J., 2020. Risk is in the eye of the assessor: comparing risk assessments of four non-native tree species in Germany. *Forestry: An International Journal of Forest Research* 93, 519–534. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpz052>
- Bozkurt, Y., Erdin, N., 1990. Les caractéristiques physiques et mécaniques des arbres utilisés dans le commerce.
- Bregant, C., Carloni, F., Balestra, M., Linaldeddu, B.T., Murolo, S., 2023. Pathogenicity of Botryosphaeriaceae and Phytophthora species associated with Paulownia dieback, canker and root rot in Italy. *Phytopathol. Mediterr.* 62, 481–488. <https://doi.org/10.36253/phyto-14910>
- Capaross, S., Diaz, M.J., Ariza, J., Lopez, F., Jiménez, L., 2007. New perspectives for Paulownia fortunei L. valorisation of the autohydrolysis and pulping processes - ScienceDirect [WWW Document]. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852407001058> (accessed 2.19.24).
- Cathy, 2021. Empress Splendor trees and Invasiveness [WWW Document]. *World Tree*. URL <https://worldtree.eco/paulownia-and-invasiveness/> (accessed 2.6.24).
- Chelsa Climate [WWW Document], n.d. . Chelsa Climate. URL <https://chelsa-climate.org/> (accessed 3.3.24).

Chongpinitchai, A.R., 2012. The Effects of Wildland Fire and Other Disturbances on the Nonnative Tree *Paulownia tomentosa* and Impacts on Native Vegetation. The Ohio State University.

Chongpinitchai, A.R., Williams, R.A., 2021. The response of the invasive princess tree (*Paulownia tomentosa*) to wildland fire and other disturbances in an Appalachian hardwood forest. *Global Ecology and Conservation* 29, e01734. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01734>

Dadwal, V.S., Soni, K.K., Jamaluddin, J., 1987. Foliage diseases of *Paulownia* in nursery and their control. *Indian Journal of Forestry* 10, 253–256.

Danciu, A., Vl, V., Grigore, I., Soric, C., Cristea, M.A., Muscalu, A., Pruteanu, A., Marin, E., Usenko, M., 2016. CONSIDERATIONS ON THE IMPORTANCE OF THE PAULOWNIA TREES PLANTING. *International Journal of Engineering*.

Dubova, O., Voitovych, O., Boika, O., 2019. PAULOWNIA TOMENTOSA – NEW SPECIES FOR THE INDUSTRIAL LANDSCAPING 8.

Durán Zuazo, V., Bocanegra, J., Torres, F., Rodriguez, C., Martínez, J.R., 2013. Biomass yield potential of paulownia trees in a semi-arid Mediterranean environment (S Spain). *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)* 3, 789–793.

El-Showk, S., El-Showk, N., 2003. The Paulownia Tree: An Alternative for Sustainable Forestry.

E-Phytia [WWW Document], n.d. URL <http://ephytia.inra.fr/fr/C/20532/Agiir-Punaise-diabolique>

Essl, F., 2007. From ornamental to detrimental? The incipient invasion of Central Europe by *Paulownia tomentosa*. *Preslia* 377–389.

Fang, J., Wang, Z., Tang, Z., 2011. Atlas of Woody Plants in China: Distribution and Climate. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-15017-3>

Fang, L., Qi, L., TiShun, Z., 1988. Simulated study on the model of radiation transmission in agrisilvicultural systems.

Feng, Y., Cui, L., Zhao, Y., Qiao, J., Wang, B., Yang, C., Zhou, H., Chang, D., 2020. Comprehensive Selection of the Wood Properties of Paulownia Clones Grown in the Hilly Region of Southern China. *BioResources* 15, 1098–1111.

FORESTYS Information pour adapter la sylviculture au changement global [WWW Document], n.d. . FORESTYS. URL <https://www.forestys.fr/> (accessed 3.3.24).

García-Morote, F.A., López-Serrano, F.R., Martínez-García, E., Andrés-Abellán, M., Dadi, T., Candel, D., Rubio, E., Lucas-Borja, M.E., 2014. Stem Biomass Production of *Paulownia elongata* × *P. fortunei* under Low Irrigation in a Semi-Arid Environment. *Forests* 5, 2505–2520. <https://doi.org/10.3390/f5102505>

GBIF [WWW Document], n.d. URL <https://www.gbif.org/fr/> (accessed 3.3.24).

Georgieva, K., Ivanova, K., Georgieva, T., Geneva, M., Petrov, P., Stancheva, I., Markovska, Y., 2018. EDTA and citrate impact on heavy metals phytoremediation using paulownia hybrids. *International Journal of Environment and Pollution* 63, 31. <https://doi.org/10.1504/IJEP.2018.092985>

Gyuleva, V., 2008. Project “Establishment of geographical plantation of *Paulownia elongata* hybrids in Bulgaria” - Contract 37 with State Forestry Agency (2007-2010). NEWS Bulgarian Academy of

Sciences MONTHLY INFORMATIONAL BULLETIN ABOUT SCIENCE AND TECHNOLOGIES December 2008, 3–5.

Hassanzad Navroodi, I., 2013. Comparison of growth and wood production of *Populus deltoides* and *Paulownia fortunei* in Guilan province (Iran). *Indian Journal of Science and Technology* 6, 84–88. <https://doi.org/10.17485/ijst/2013/v6i2.14>

Hemmi, T., 1916. On the Die-back Disease of *Paulownia tomentosa* caused by a New Species of *Valsa*. *Shokubutsugaku Zasshi* 30, en304–en315. <https://doi.org/10.15281/jplantres1887.30.304>

Hiruki, C., 1999. PAULOWNIA WITCHES'-BROOM DISEASE IMPORTANT IN EAST ASIA. *Acta Hort.* 63–68. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1999.496.6>

Icka, P., Robert, D., Icka, E., 2016. *Paulownia tomentosa*, a Fast Growing Timber. *Annals "Valahia" University of Targoviste - Agriculture* 10. <https://doi.org/10.1515/agr-2016-0003>

INPN [WWW Document], 2024. URL [https://inpn.mnhn.fr/espece/cd\\_nom/223106](https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/223106)

Jakubowski, M., 2022. Cultivation Potential and Uses of *Paulownia* Wood: A Review. *Forests* 13, 668. <https://doi.org/10.3390/f13050668>

Jiménez-Fernández, D., Olivares-García, C., Trapero-Casas, J.L., Requena, J., Moreno, J., Jiménez-Díaz, R.M., 2015. Symptomless Host and Nonhost Responses of *Paulownia* (*Paulownia* spp.) to Olive-Defoliating *Verticillium dahliae*. *Plant Disease* 99, 962–968. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-14-0883-RE>

Jones, J.R., Lambdin, P.L., 2009. New County and State Records for Tennessee of an Exotic Pest, *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae), with Potential Economic and Ecological Implications. *Florida Entomologist* 92, 177–178. <https://doi.org/10.1653/024.092.0132>

Jr. Flynn, J.H., Holder, C.D. (Eds.), 2001. *A Guide to Useful Woods of the World*, 2nd edition. ed. Forest Products Research, Madison, Wis.

Kadlec, J., Novosadová, K., Pokorný, R., 2021. Preliminary results from a plantation of semi-arid hybrid of *Paulownia* Clone in vitro 112<sup>®</sup> under conditions of the Czech Republic from the first two years. *Baltic Forestry* 27. <https://doi.org/10.46490/BF477>

Kalaycioglu, H., Deniz, I., Hiziroglu, S., 2005. Some of the properties of particleboard made from paulownia. *J Wood Sci* 51, 410–414. <https://doi.org/10.1007/s10086-004-0665-8>

Kaymakci, A., Bektas, I., Bal, B., 2013. Some Mechanical Properties of *Paulownia* (*Paulownia elongata*) Wood.

KIRITEC, 2020. KIRITEC | SPECIALIST FOR KIRI WOOD [WWW Document]. KIRITEC. URL <https://www.kiritec.eu/en/> (accessed 2.28.24).

Kobayashi, S., Asai, T., Fujimoto, Y., Kohshima, S., 2008. Anti-herbivore Structures of *Paulownia tomentosa*: Morphology, Distribution, Chemical Constituents and Changes During Shoot and Leaf Development. *Annals of Botany* 101, 1035–1047. <https://doi.org/10.1093/aob/mcn033>

Kolya, H., Kang, C.-W., 2021. Hygrothermal treated paulownia hardwood reveals enhanced sound absorption coefficient: An effective and facile approach. *Applied Acoustics* 174, 107758. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107758>

- Kuhar, T.P., Kamminga, K., 2017. Review of the chemical control research on Halyomorpha halys in the USA. *J Pest Sci* 90, 1021–1031. <https://doi.org/10.1007/s10340-017-0859-7>
- Liao, L., Mei, H., Li, J., Li, Z., 2008. Estimation and prediction on retention times of components from essential oil of *Paulownia tomentosa* flowers by molecular electronegativity-distance vector (MEDV). *Journal of Molecular Structure: THEOCHEM* 850, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.theochem.2007.10.008>
- Litwińczuk, W., Jacek, B., 2023. Growth of Paulownia ssp. Interspecific Hybrid ‘Oxytree’ Micropropagated Nursery Plants under the Influence of Plant-Growth Regulators. *Agronomy* 13, 2474. <https://doi.org/10.3390/agronomy13102474>
- Liu, R., Dong, Y., Fan, G., Zhao, Z., Deng, M., Cao, X., Niu, S., 2013. Discovery of Genes Related to Witches Broom Disease in Paulownia tomentosa × Paulownia fortunei by a De Novo Assembled Transcriptome. *PLoS ONE* 8, e80238. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0080238>
- Liu, Y., Zhong, F., Chen, J., 2022. Elsinoe ampelina causing Paulownia scab in China. *Eur J Plant Pathol* 162, 989–994. <https://doi.org/10.1007/s10658-021-02446-x>
- Longbrake, A.C.W., 2001. ECOLOGY AND INVASIVE POTENTIAL OF PAULOWNIA TOMENTOSA (SCROPHULARIACEAE) IN A HARDWOOD FOREST LANDSCAPE.
- Lucas-Borja, M.E., Wic-Baena, C., Moreno, J.L., Dadi, T., García, C., Andrés-Abellán, M., 2011. Microbial activity in soils under fast-growing Paulownia (*Paulownia elongata* × *fortunei*) plantations in Mediterranean areas. *Applied Soil Ecology* 51, 42–51. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.08.011>
- Lugli, L., Mezzalana, G., Lambardi, M., Zhang, H., La Porta, N., 2023. Paulownia spp.: A Bibliometric Trend Analysis of a Global Multi-Use Tree. *Horticulturae* 9, 1352. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9121352>
- Macci, C., Doni, S., Peruzzi, E., Ceccanti, B., Masciandaro, G., 2012. Bioremediation of polluted soil through the combined application of plants, earthworms and organic matter. *J Environ Monit* 14, 2710–2717. <https://doi.org/10.1039/c2em30440f>
- Mamirova, A., Baubekova, A., Pidlisnyuk, V., Shadenova, E., Djansugurova, L., Jurjanz, S., 2022. Phytoremediation of Soil Contaminated by Organochlorine Pesticides and Toxic Trace Elements: Prospects and Limitations of Paulownia tomentosa. *Toxics* 10, 465. <https://doi.org/10.3390/toxics10080465>
- Mehrotra, M., Mehrotra, A., 2000. Butt and root rot — a threat to Paulownia at New Forest. *Indian Journal of Forestry* 23, 220. *Indian Journal of Forestry* 23, 200.
- Milenković, I., Tomšovský, M., Karadžić, D., Veselinović, M., 2018. Decline of *Paulownia tomentosa* caused by *Trametes hirsuta* in Serbia. *Forest Pathology* 48, e12438. <https://doi.org/10.1111/efp.12438>
- Mukhtar, A., Manoj, K., Ramakant, M., 2003. Infestation level and population trends of geometrids on Paulownia fortunei. *Indian Forester* 129, 1399–1404.
- Nahid, R., Asghar, F., K, M.S., Y, G.M., 2008. COMPARING THE GROWTH OF PAULOWNIA FORTUNEI AND POPULUS DELTOIDES PLANTATIONS UNDER DIFFERENT SPACING IN NORTHERN IRAN 16, 444–454.

- Nielsen, A.L., Hamilton, G.C., 2009. Life History of the Invasive Species *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) in Northeastern United States. *Annals of the Entomological Society of America* 102, 608–616. <https://doi.org/10.1603/008.102.0405>
- Nirmal, J., 2012. Paulownia, in: *Handbook of Bioenergy Crop Plants*. pp. 671–686.
- Olave, R., Forbes, G., Muñoz, F., Lyons, G., 2015. Survival, early growth and chemical characteristics of Paulownia trees for potential biomass production in a cool temperate climate. *Irish Forestry*.
- Owfi, R., 2021. ECOPHYSIOLOGICAL STUDY OF PAULOWNIA TOMENTOSA. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CURRENT RESEARCH* 9, 63582–63591.
- Pástor, M., Jankovič, J., Belko, M., Modranský, J., 2022. Evaluation of selected growth parameters of Paulownia cotevisa plantation in the Danubian Lowland. *J. For. Sci.* 68, 156–162. <https://doi.org/10.17221/155/2021-JFS>
- Phillips, D.H., Burdekin, D.A., 1992. *Diseases of Forest and Ornamental Trees*. Palgrave Macmillan UK, London. <https://doi.org/10.1007/978-1-349-10953-1>
- Pleysier, C.E., Bayliss, K.L., Dell, B., Hardy, G.E.St.J., 2006. Temperature, humidity, wounding and leaf age influence the development of *Alternaria alternata* lesions on leaves of *Paulownia fortunei*. *Austral. Plant Pathol.* 35, 329. <https://doi.org/10.1071/AP06030>
- Ptach, W., Łangowski, A., Rolbiecki, R., Rolbiecki, S., Jagosz, B., Grybauskiene, V., Kokoszewski, M., 2017. THE INFLUENCE OF IRRIGATION ON THE GROWTH OF PAULOWNIA TREES AT THE FIRST YEAR OF CULTIVATION IN A LIGHT SOIL. *International scientific conference RURAL DEVELOPMENT 2017* 763–768.
- Rana, N., Thapa, P., Khadka, U., Joshi, J., Sharma, K., Marasini, B., Parajuli, N., Thapa, G., Magar, L., Khadka, S., Marasini, B., 2018. Total Biomass Carbon Sequestration Ability under the Changing Climatic Condition by Paulownia tomentosa Steud.
- Rao, A.N., 1986. Paulownia in China: cultivation and utilization. *Asian Network for Biological Science : International Development Research Center*, Singapore.
- Ray, J.D., Burgess, T., Malajczuk, N., Hardy, G.E.S.J., 2005. First report of *Alternaria* blight of *Paulownia* spp. *Austral. Plant Pathol.* 34, 107. <https://doi.org/10.1071/AP04087>
- Roy, S., Das, S., Handique, G., Mukhopadhyay, A., Muraleedharan, N., 2017. Ecology and management of the black inch worm, *Hyposidra talaca* Walker (Geometridae: Lepidoptera) infesting *Camellia sinensis* (Theaceae): A review. *Journal of Integrative Agriculture* 16, 2115–2127. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61573-3](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61573-3)
- Santi, F., Muller, S., 2023. Dans nos villes et nos campagnes, le paulownia est-il un arbre aussi « magique » qu'on le dit ? [WWW Document]. *The Conversation*. URL <http://theconversation.com/dans-nos-villes-et-nos-campagnes-le-paulownia-est-il-un-arbre-aussi-magique-quin-le-dit-217851> (accessed 3.1.24).
- Snow, W.A., 2015. Ornamental, crop, or invasive? The history of the Empress tree ( *Paulownia* ) in the USA. *Forests, Trees and Livelihoods* 24, 85–96. <https://doi.org/10.1080/14728028.2014.952353>
- Starfinger, U., Kowarik, I., Rode, M., Schepker, H., 2003. From Desirable Ornamental Plant to Pest to Accepted Addition to the Flora? – the Perception of an Alien Tree Species Through the Centuries. *Biological Invasions* 5, 323–335. <https://doi.org/10.1023/B:BINV.0000005573.14800.07>

- Stepchich, A., 2017. ENVIRONMENTAL ASPECTS IN CULTIVATION OF PAULOWNIA IN BULGARIA, in: Agrotechnology and Plant Protection. Presented at the AGROSYM 2017, Sofia.
- Streito, J.-C., 2022. Halyomorpha halys - e-phytia [WWW Document]. URL <http://ephytia.inra.fr/fr/C/27104/Agiir-Reconnaitre-la-punaise-diabolique>
- Todorović, S., Božić, D., Simonović, A., Filipović, B., Dragičević, M., Giba, Z., Grubišić, D., 2010. Interaction of fire-related cues in seed germination of the potentially invasive species *Paulownia tomentosa* Steud. Plant Species Biology 25, 193–202. <https://doi.org/10.1111/j.1442-1984.2010.00293.x>
- Tusevhaan, N., Mambetov, B., Abayeva, K., 2023. Paulownia. Scientific Collection «InterConf» 93–107.
- Wang, Q., Shogren, J.F., 1992. Characteristics of the crop-paulownia system in China. Agriculture, Ecosystems & Environment 39, 145–152. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(92\)90050-L](https://doi.org/10.1016/0167-8809(92)90050-L)
- Williams, R., Wang, H., 2021. Effects of Wildfire and the Presence of the Invasive Paulownia tomentosa on the Regeneration of Native Tree Species in North-Central Appalachia. Fire 4, 60. <https://doi.org/10.3390/fire4030060>
- [www.paulownia.energy.france.fr](http://www.paulownia.energy.france.fr) [WWW Document], 2024. . Les principales maladies et insectes nuisibles de Paulownia. URL <https://paulownia.energy/fr/article/view/les-principales-maladies-et-insectes-nuisibles-de-paulownia/>
- Yadav, N.K., Vaidya, B.N., Henderson, K., Lee, J.F., Stewart, W.M., Dhekney, S.A., Joshee, N., 2013. A Review of *Paulownia* Biotechnology: A Short Rotation, Fast Growing Multipurpose Bioenergy Tree. American Journal of Plant Sciences 04, 2070. <https://doi.org/10.4236/ajps.2013.411259>
- Yavorov, N., Petrin, S., Valchev, I., Nenkova, S., 2015. Potential of fast growing poplar, willow and paulownia for bioenergy production. Bulgarian Chemical Communications 47, 5–9.
- YOON, C.S., TOOMEY, G., 1986. China's wonder tree.
- Young, S.N.R., Lundgren, M.R., 2023. C4 photosynthesis in Paulownia? A case of inaccurate citations. PLANTS, PEOPLE, PLANET 5, 292–303. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10343>
- Z, S., D, A., 2010. EFFECT OF SPACING ON GROWTH CHARACTERISTICS OF PAULOWNIA FORTUNEI (CASE STUDY: DR. BAHRAM NIA FOREST MANAGEMENT PLAN, GORGAN) 2, 151–163.
- Zhang, M., Chen, Y., Du, L., Wu, Y., Liu, Z., Han, L., 2020. The potential of Paulownia fortunei seedlings for the phytoremediation of manganese slag amended with spent mushroom compost. Ecotoxicology and Environmental Safety 196, 110538. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110538>
- Zhang, Y., Qiao, Z., Li, J., Bertaccini, A., 2024. Paulownia Witches' Broom Disease: A Comprehensive Review. Microorganisms 12, 885. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12050885>
- Zhu, Chao, Lu, Xiong, 1986. paulownia in china: cultivation and utilization [WWW Document]. CABI Digital Library. URL [https://www.cabidigitallibrary.org/action/doSearch?do="+Paulownia+in+China%3A+cultivation+and+utilization.](https://www.cabidigitallibrary.org/action/doSearch?do=) (accessed 2.9.24).