



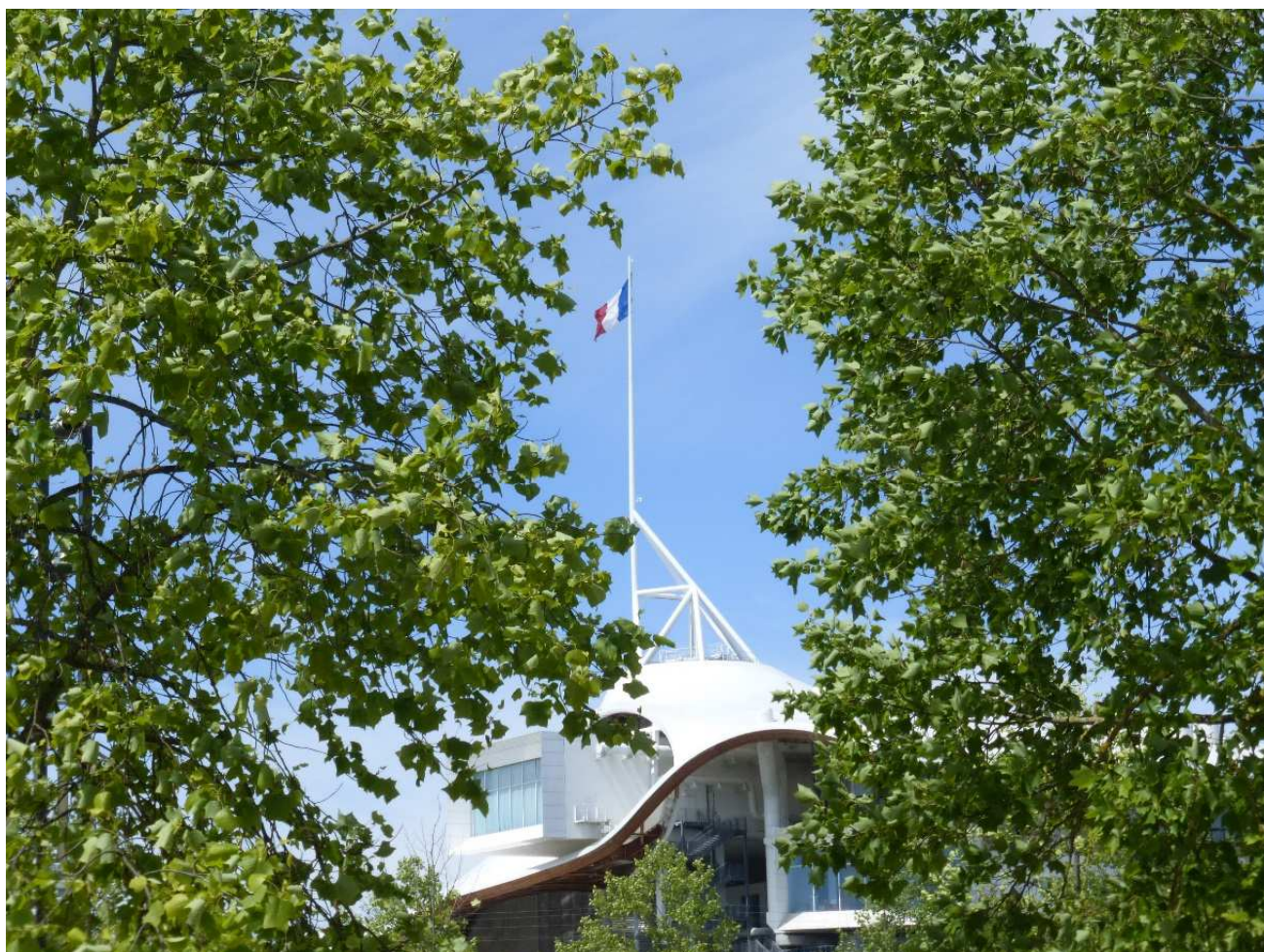
Cerema

Direction territoriale Est



SESAME

Services écosystémiques rendus par les
arbres, modulés selon l'essence



Novembre 2019




Références de la commande

Nom de l'organisme financier : Cerema, Ville de Metz, Communauté d'Agglomération de Metz Métropole, DREAL Grand Est
Nom des correspondants :
Ville de Metz : Marylin Molinet, Ville de Metz, Pôle Développement durable et solidaire, Conseil-lère déléguée à la biodiversité, Metz Métropole : Guy Bergé, Vice-Président de Metz Métropole, en charge du développement durable et de la transition énergétique, DREAL : Grégoire Palierse, chargé de mission trame verte et bleue
Référence de la commande : C16EA0040

Historique des versions du document

Version	Auteur	Commentaires
Version 1	Luc Chrétien	
Version 2	Luc Chrétien	Version soumise au comité de pilotage le 23/8/2019
Version 3	Luc Chrétien	Version soumise au comité de pilotage du 30/9/2019

Affaire suivie par

Luc Chrétien - chef de la division Biodiversité, eau & aménagement au Cerema Est		
Tél. 03 87 20 46 12 - Mél. luc.chretien@cerema.fr		
	Auteur	Date et signature
Rédigé par :	Luc Chrétien, chef de la division Biodiversité, Eau & Aménagement au Cerema Est	Le 12/11/2019 
Contrôle par :	Cécile Vo Van, Chef de Projet Services écosystémiques, Nature en ville et Biodiversité	le 12.11.2019 
Le chef de division :	Luc Chrétien	Le 12/11/2019 

Equipe projet Cerema : Nadia Aubry, Juliette Babin, Cécile Douay-Bertrand, Marylou Dufournet, Nadjwa Pailloux, Rémi Suaire. Stagiaire : Mélanie Poirier (M1).

Photo de couverture : Centre Pompidou-Metz © Shigeru Ban Architects Europe et Jean de Gastines Architectes, avec Philip Gumuchdjian pour la conception du projet lauréat du concours / Metz Métropole, photo Luc Chrétien, Cerema

« Les arbres méritent mieux que la pierre estime dans laquelle nous les tenons, puisqu'ils sont vivants, beaux, utiles, discrets, robustes, silencieux, autonomes, rassurants, faciles à satisfaire et d'une complète non-violence. »

Francis Hallé (Hallé, 2011)

Sommaire

Préambule.....	3
Introduction	4
Chapitre I Les services écosystémiques rendus par les arbres et arbustes en milieu urbain : quels enjeux ?	5
1 - Qu'est-ce qu'un service écosystémique ?	5
2 - Les services écosystémiques rendus par les arbres et arbustes en milieu urbain et péri-urbain	8
3 - Les services écosystémiques rendus par les végétaux dans l'écosystème urbain : quels enjeux ?	11
4 - Des services différenciés selon les espèces végétales et leur organisation dans l'espace 13	
Chapitre II Objectifs et méthodologie	15
1 - Principaux objectifs poursuivis	15
1.1 - Différencier les espèces selon les services rendus	15
1.2 - Émettre des préconisations générales	15
1.3 - Mettre au point un outil d'aide à la conception territorialisé	16
2 - Méthodologie	17
2.1 - Démarche partenariale – comité de pilotage et groupe technique	17
2.2 - Identification des services écosystémiques examinés dans cette étude	17
2.3 - Établissement d'une liste d'espèces	22
2.4 - Méthodologie retenue en matière de qualité de l'air	22
2.5 - Méthodologie retenue en matière de régulation du climat local	29
2.6 - Méthodologie retenue en matière de régulation du climat global	30
2.7 - Méthodologie retenue en matière de biodiversité	32
2.8 - Méthodologie retenue en matière de Paysage et cadre de vie	40
2.9 - Méthodologie retenue en matière de risque allergique	47
2.10 - Méthodologie retenue en matière de contraintes physiques	48
2.11 - Autres paramètres abordés	52
2.12 - Rédaction d'une fiche par espèce	57
2.13 - Émission de recommandations générales facilitant l'expression des services écosystémiques	58
2.14 - Proposition d'un outil d'aide à la conception	59
3 - Limites	59
Chapitre III Résultats	62
1 - Liste des espèces retenues dans le cadre de l'étude	62
2 - Résultats de l'analyse par service et contrainte	66
2.1 - Qualité de l'air	66

2.2 -	Régulation du climat local	69
2.3 -	Régulation du climat global	72
2.4 -	Biodiversité	74
2.5 -	Paysage et cadre de vie	78
2.6 -	Contraintes	82
2.7 -	Autres paramètres	91
3 -	Recommandations générales visant à favoriser l'expression des services écosystémiques	99
3.1 -	Mettre en place une gouvernance favorable à la préservation et au développement du patrimoine arboré	99
3.2 -	Organisation des végétaux dans l'espace	100
3.3 -	Bien installer et entretenir le végétal pour favoriser sa survie en bonne santé	113
•	Mener une réflexion sur le végétal avant l'aménagement	113
•	Préparer avec soin la fosse et le substrat	115
❖	Dimensionnement de la fosse	115
❖	Choix du substrat	116
❖	Revêtement de surface	117
❖	L'achat et l'installation des arbres	117
	Choix des plants en pépinière	117
	Taille des plants	117
	Transport et stockage des plants	118
	Période de plantation	118
	Installation de mobilier protecteur : tuteur et haubanage	118
❖	La conduite après la plantation	119
	Protection des plants	119
	Gestion du besoin en eau des nouvelles plantations	119
	Travaux de taille	119
	Lors de travaux à proximité de l'arbre	120
4 -	Fiches synthétiques par espèce	122
5 -	Outil d'aide à la conception	125
5.1 -	Principales fonctionnalités	125
5.2 -	Variantes testées	127
5.3 -	Test réalisé sur le terrain	129
	Conclusion	132
	BIBLIOGRAPHIE	133
	LISTE DES TABLEAUX	137
	LISTE DES FIGURES	139
	ANNEXES	142

Préambule

La ville de Metz a souhaité développer un programme de recherche destiné à répondre à un ensemble de problématiques liées au réchauffement climatique, au maintien de la biodiversité et à la qualité de l'air, par des solutions fondées sur la nature, en particulier les arbres.

Quels arbres planter aujourd'hui pour les villes de demain ? Comment assurer leur préservation ? Cette étude, menée par le Cerema, avec le soutien de Metz Métropole, a permis de réunir un haut niveau de compétences et de mobiliser des domaines de connaissances très diversifiés et spécifiques, permettant d'assumer la complexité des interactions, d'approfondir une méthodologie transposable à d'autres territoires, et d'apporter ainsi des réponses très concrètes.

L'ambition de cette recherche, également enrichie par un comité de pilotage ouvert à des experts, comportant une étude fine des différents types d'espaces et de paysages urbains, a été d'approcher au plus près la réalité du terrain aussi bien que l'anticipation nécessaire, pour affronter les multiples défis du temps présent.

Marylin Molinet
Conseillère déléguée à la biodiversité
Ville de Metz

Depuis de nombreuses années, Metz Métropole s'est engagée dans une démarche vertueuse en faveur de l'environnement, en termes d'économie d'énergie, d'amélioration de la qualité de l'air, d'adaptation au changement climatique ou encore de préservation de la biodiversité, qu'elle soit rare ou ordinaire. C'est dans ce cadre de l'écologie urbaine et humaine que s'inscrit la Métropole.

En identifiant et en développant les continuités écologiques locales à travers sa Trame Verte et Bleue intercommunale, la métropole poursuit son engagement et affirme sa volonté de préserver son patrimoine naturel. Ce patrimoine est notamment constitué des arbres participant à la Trame Verte et plus particulièrement à la sous-trame urbaine du territoire.

L'étude SESAME présentée ici sera un pilier fondamental de la structuration des actions en faveur de la Nature en ville, dans son aspect végétal. Le rôle de la métropole étant entre autres d'accompagner ses communes dans différentes démarches, cet outil permettra de les aider dans leurs choix de plantations et de ce fait, d'améliorer la diversité et l'adaptation des espèces à leur environnement dans un contexte de modifications climatiques. Dans cet élan de réflexion autour des arbres et de leur devenir, Metz Métropole souhaite inviter les communes et autres partenaires à l'utiliser dans leurs projets d'aménagement.

Guy BERGE, Vice-Président de Metz Métropole

Le projet SESAME, mené par le Cerema en partenariat avec la ville de Metz et la communauté d'agglomération Metz Métropole, apparaît comme un projet fortement novateur pour le vieux continent, s'inspirant toutefois de travaux menés outre-Atlantique sur ce sujet depuis plusieurs décennies. Son objectif est de permettre aux gestionnaires des espaces verts de la Ville et de la Métropole de choisir et de planter les espèces ligneuses les mieux adaptées en fonction de critères préalablement définis.

L'intérêt, mais aussi la difficulté, de la démarche est que les propositions doivent répondre aux besoins actuels, mais également et surtout anticiper les contraintes (en particulier climatiques) et les besoins de services écosystémiques futurs, à la fin du 21ème siècle, lorsque les arbres auront atteint leur pleine maturité.

La palette d'espèces d'arbres et d'arbustes étudiées dans ce projet reste modeste, elle pourra encore être complétée afin d'intégrer la panoplie des espèces ligneuses potentiellement utilisables pour agrémenter et embellir l'agglomération messine.

Je souhaite que ce travail pilote soit largement utilisé et valorisé par les gestionnaires des espaces verts et permette une augmentation et une diversification des espèces ligneuses présentes dans l'agglomération, mais également qu'il serve de « prototype » pour une extension de la démarche à d'autres espèces ligneuses valorisables et également à d'autres agglomérations, tant en France qu'à l'étranger.

Serge MULLER
Professeur de botanique au Muséum national
d'Histoire naturelle, Paris

Introduction

« *Plantons des arbres et les racines de notre avenir s'enfonceront dans le sol* »

Celle qui plante les arbres (2007) de Wangari Muta Mathai, biologiste, professeur d'anatomie en médecine vétérinaire et militante politique et écologiste, prix Nobel de la paix 2004 (Kenya)

L'arbre urbain est peut-être en train de terminer sa traversée du désert.

Jadis exclu des villes resserrées sur elles-mêmes, il a connu son heure de gloire au XIX^{ème} siècle, quand la prise de conscience de la nécessité d'introduire des espaces végétalisés dans des métropoles qui devenaient tentaculaires s'est imposée. Mais l'arrivée massive de l'automobile l'a relégué au second rang. Consommateur d'un espace toujours plus précieux, il céda face aux parkings et la considération dont il jouissait diminua d'autant. Devenu mobilier urbain, souvent entretenu *a minima*, taillé et tailladé : les trente glorieuses ne l'étaient pas pour lui.

Au tournant des années 2000, plusieurs facteurs se conjuguent pour laisser espérer une période plus favorable. L'urgence climatique, l'urgence écologique nous font prendre conscience qu'aucune survie, en tous cas dans des conditions décentes, ne sera possible dans nos villes sans le végétal. La recherche apporte chaque jour des preuves des services qu'il nous rend : air, eau, fraîcheur, sérénité, nature, santé physique et morale, ...

Ces dernières années, la prise de conscience de l'importance du végétal a amené les décideurs à mieux considérer la place qui lui est donnée et les soins qui doivent lui être apportés.

Metz a depuis longtemps entretenu un rapport particulier avec les végétaux urbains. La période allemande a laissé de vastes espaces végétalisés. L'empreinte de Jean-Marie Pelt a fait perdurer et a renforcé cette sensibilité.

Suite à la publication fin 2015 par l'OMS des chiffres de mortalité précoce, la ville de Metz s'est intéressée particulièrement aux services rendus par les végétaux en matière de qualité de l'air : absorption des polluants gazeux et fixation des particules fines. Elle a mené des recherches qui l'ont conduite à souhaiter la réalisation d'une étude transdisciplinaire, permettant de croiser plusieurs indicateurs et de prendre en compte la complexité du sujet. La très importante contribution à la régulation du climat urbain, notamment l'atténuation des îlots de chaleur, ainsi que la capacité des arbres et arbustes à constituer des supports de biodiversité ont été identifiés comme services écosystémiques à étudier prioritairement, en même temps que la problématique de survie des végétaux dans un contexte de changement climatique.

Le Cerema, établissement public national fortement impliqué dans les démarches de ville durable a développé des compétences en matière de nature en ville, de paysage, de continuité écologique et de biodiversité et cherchait à mettre en place des démarches innovantes avec des collectivités motivées par ces sujets.

Le projet développé dans ce qui suit, repose sur un partenariat équilibré établi entre la ville de Metz, Metz Métropole et le Cerema, en vue de proposer un outil intégrateur de ces questions de végétalisation de la ville, tourné vers l'opérationnel, et transposable dans d'autres contextes. Il s'est agi également d'intégrer à la démarche, le rôle des végétaux comme supports de biodiversité dans le tissu urbain, sans oublier leur contribution au paysage de nos villes. Considérant l'aspect innovant de cette étude, celle-ci a bénéficié d'une contribution à hauteur de 50% du Cerema, ainsi que de l'implication d'une équipe pluridisciplinaire. De plus, le comité de pilotage, outre les trois partenaires, a été enrichi par la venue d'experts extérieurs dont le regard et les contributions ont été très utiles.

Souhaitons que les outils proposés ici contribuent à leur échelle, à permettre au végétal urbain d'apporter à l'Homme toute l'aide possible. Les défis pour l'avenir restent nombreux : la nécessaire densification urbaine risque-t-elle à nouveau de le rendre encombrant ? Les effets du changement climatique, qu'il peut nous aider à supporter, peuvent-ils dépasser ses capacités de résistance ?

Aider à choisir les végétaux les plus aptes à prospérer dans le milieu hostile qu'est la ville du XXI^{ème} siècle, optimiser les services qu'ils peuvent rendre aux hommes et à la nature, mais aussi participer à la prise de conscience de leur importance, tels sont les objectifs auxquels ce travail souhaite contribuer.

Chapitre I

Les services écosystémiques rendus par les arbres et arbustes en milieu urbain : quels enjeux ?

1 - Qu'est-ce qu'un service écosystémique ?

Les services écosystémiques, ou services écologiques, se définissent comme « les biens et services que les hommes peuvent tirer des écosystèmes, directement ou indirectement, pour assurer leur bien-être » (Comité français de l'UICN, 2012). La figure ci-dessous offre une représentation schématique de ce concept.



Figure 1 : Illustration des services écosystémiques (Photo Luc Chrétien, Cerema)

Cet arbre fruitier fournit des fruits comestibles pour les Humains, anime le paysage et apporte de l'ombre. Mais il ne s'agit là que d'une petite partie des services écosystémiques qu'il nous procure.

Plus précisément, il s'agit des bénéfices que nous pouvons tirer des processus naturels à travers la fourniture de biens matériels, la valorisation des modes de régulation écologique, l'utilisation des écosystèmes de support des activités non productrices de biens matériels (activité artistique, éducation, ...).

On distingue schématiquement trois grands types de services écologiques dont l'homme tire des bénéfices :

- Les processus de base nécessaires au fonctionnement de tous les écosystèmes : cycles naturels, formation des sols, photosynthèse, cycle de l'eau, etc. sont quelquefois qualifiés de services supports (Millennium ecosystem assessment, 2005). Cette qualification de services supports est juste si l'on considère que ces processus sont à l'origine des 3 types de services. Cependant, elle s'avère très restrictive et anthropocentrée puisque la biodiversité et les processus écologiques existent indépendamment des services rendus à l'homme (EFESE, cadre conceptuel (Ministère de l'Environnement et de la mer ; Fondation pour la recherche sur la biodiversité, 2017)).
- **Les services de régulation** : ils correspondent à la contribution à la régulation de paramètres en interaction avec les êtres vivants, comme le climat local ou le climat global, la pollinisation, etc.

- **Les services d'approvisionnement** (ou de prélèvement) : il s'agit des ressources matérielles que peuvent fournir les êtres vivants, des « produits finis ».
- **Les services culturels** : ils correspondent aux services non matériels obtenus des écosystèmes à travers l'enrichissement spirituel, le développement cognitif, la réflexion, l'inspiration artistique ou les loisirs.

La notion de services écosystémiques a été largement popularisée par le « rapport sur l'évaluation des écosystèmes pour le millénaire » (Millennium ecosystem assessment, 2005) :

« Où que nous vivions, nous dépendons tous de la nature et des services fournis par les écosystèmes pour accéder à une vie décente, sûre et en bonne santé. »

Suite à la publication du *Millennium Ecosystem Assessment* en 2005, mettant en exergue la nécessité de s'informer sur l'état des écosystèmes dans le monde, les recherches scientifiques en lien avec la thématique des services écosystémiques se sont multipliées et les méthodes d'évaluation se sont diversifiées afin d'améliorer le niveau de connaissance sur le sujet (De Groot, Wilson, & Boumans, 2002) . Le milieu urbain notamment fait de plus en plus l'objet d'études des services écosystémiques du fait de la concentration de la population mondiale dans les villes.

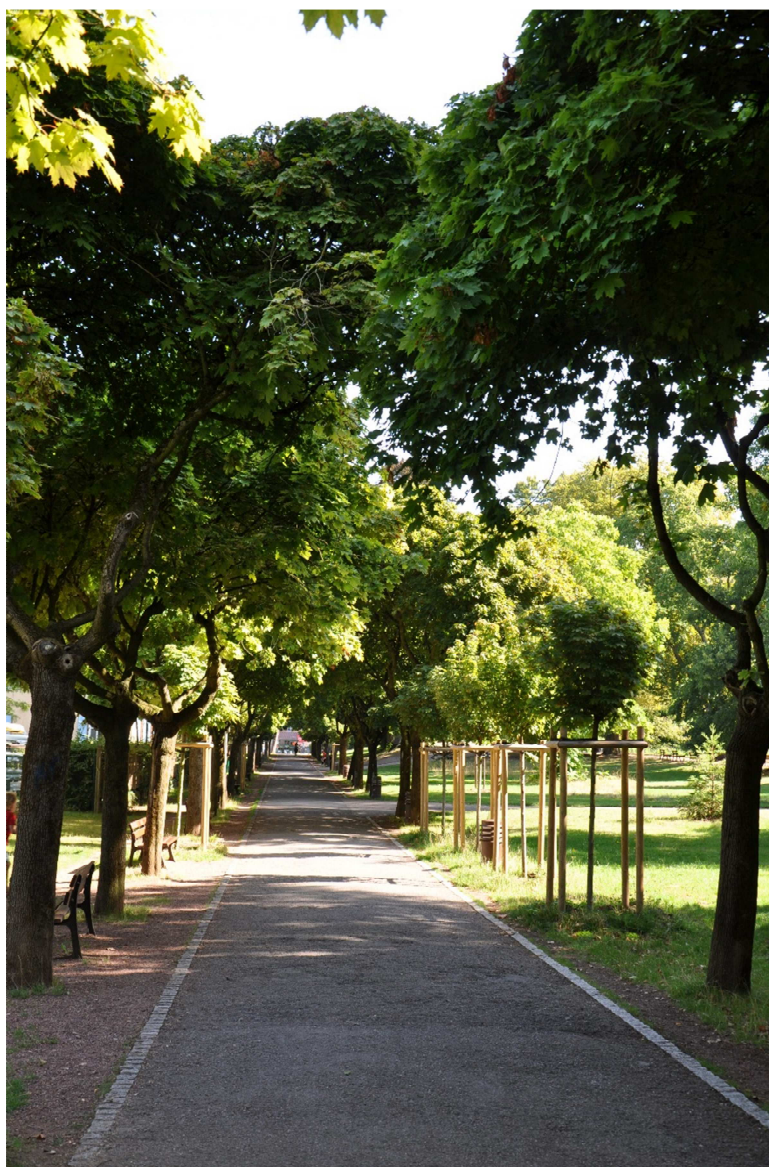


Photo Nadia Aubry, Cerema

L'écosystème urbain est déséquilibré et déficitaire en termes de services écologiques puisque concentrant la majorité des bénéficiaires des services dans un espace contraint et où la place de la biodiversité est soumise aux pressions les plus fortes.

Parmi les plus cités et étudiés dans ce milieu, on retrouve les services de régulation :

- Du climat local (réduction d'effet d'îlot de chaleur urbain ICU),
- Du climat global (fixation du CO₂ atmosphérique),
- De la qualité de l'air (épuration des polluants atmosphériques),
- De la qualité de l'eau (épuration de l'eau par rétention et/ou dégradation des polluants),
- Des risques naturels (inondations, tempêtes, tsunamis...),
- De la pollinisation (Bolund & Hunhammar, 1999) (Fischer, Turner, & Morling, 2009) (Gómez-Baggethun & Barton, 2013) (McPhearson, Kremer, & Hamstead, 2013).

On retrouve également les services d'approvisionnement en aliments et en eau, ainsi que les services culturels (récréation, observation de la faune, éveil).

Cette liste reste cependant non exhaustive et variable au regard des différences pouvant être observées entre les villes en fonction de leur contexte local, et de l'importance de chaque service qui dépend du système considéré et de ses enjeux territoriaux.

Plus récemment, le concept de « **solutions fondées sur la nature** » (SFN) est venu compléter la notion de SE en servant d'élément de communication pour la valorisation des bienfaits de la nature pour le développement des sociétés humaines, et comme outil de lutte contre le changement climatique et l'érosion de la biodiversité notamment (Union Internationale pour la Conservation de la Nature, 2016) . Les espaces arborés en ville (haies, alignements d'arbres, arbres isolés, forêts urbaines, etc.) sont des écosystèmes urbains fournissant divers services écosystémiques. Ils constituent en ce sens des espaces « multifonctionnels » (Plante & Cité / ONEMA - A. Sauve, F. Glatard, P. Faucon, O. Damas, 2014), et peuvent par ailleurs être considérés comme des SFN permettant de lutter contre les risques et de s'adapter au changement climatique, en réponse aux enjeux sanitaires, de protection des populations et des milieux naturels. En complément, ces écosystèmes peuvent rendre d'autres services comme l'apport de biodiversité (animale et végétale), l'amélioration du cadre de vie, l'offre d'activités récréatives et la structuration du paysage (Grimm, et al., 2008).



Photo Nadia Aubry, Cerema

2 - Les services écosystémiques rendus par les arbres et arbustes en milieu urbain et péri-urbain

Au cours de sa croissance et pendant l'ensemble de sa vie, le végétal est en interaction avec son environnement : échanges gazeux avec l'atmosphère, captation d'une partie des rayons lumineux, développement d'une architecture particulière propre à l'espèce (IRSTEA - C. Werey, B. Rulleau, M. Mattar, 2017), à la variété et à l'individu, développement d'un système racinaire qui entre en interaction avec le sol et avec le cycle de l'eau, ...

Ces interactions sont à l'origine de modifications de l'environnement immédiat du végétal, qui peuvent avoir elles-mêmes une influence directe ou indirecte sur l'Homme : qualité et diversité de l'environnement, santé, paysage, cadre de vie, ...

Les végétaux fournissent dès lors un certain nombre de services écosystémiques, que ce soit en groupe (forêt, bosquet, alignement) ou individuellement (individu isolé) (Comité français de l'UICN, 2012), dont on retient ci-dessous ceux dans lesquels les végétaux sont les plus impliqués :

- **Biodiversité (ou Services de support):**
 - **Offre d'habitats** : dans le milieu hostile que constitue la ville, les végétaux sont susceptibles d'offrir aux espèces animales et végétales de multiples habitats où elles peuvent s'abriter, se reproduire et s'alimenter.
 - **Formation et maintien des sols** : les végétaux contribuent au processus de création et de renouvellement des sols, et contribuent également à les maintenir en place,
 - **Cycle des éléments nutritifs** : les végétaux jouent un rôle important dans les processus qui font circuler le carbone, l'azote, le phosphore et de nombreux autres éléments,
 - **Photosynthèse** : les végétaux synthétisent de la matière organique en transformant le CO₂ en O₂, fournissant l'oxygène atmosphérique,
 - **Production primaire de biomasse** : par les processus de photosynthèse et d'assimilation d'éléments nutritifs, les végétaux peuvent jouer un rôle important dans les chaînes alimentaires.
 - **Cycle de l'eau** : les végétaux influent fortement sur les processus par lesquels l'eau est transportée des milieux aquatiques et aquifères (sous forme liquide) à l'atmosphère (sous toutes ses formes).
- **Services de régulation :**
 - **Régulation du climat global** : les végétaux capturent et stockent certains gaz de l'atmosphère participant au climat global, notamment le CO₂,
 - **Régulation du climat local** : les végétaux influencent la température locale par le biais de plusieurs processus : d'une part, leur structure crée un effet d'ombrage et influence les courants aérauliques modifiant ainsi la température, et d'autre part l'évapotranspiration, qui transfère l'eau liquide du sol en eau gazeuse dans l'atmosphère, consomme de la chaleur dans le milieu environnant et modifie donc la température locale.

- **Régulation de la qualité de l'air** : les végétaux peuvent piéger les polluants de l'air, soit parce qu'ils en absorbent une partie (polluants gazeux), soit parce que les polluants se déposent sur leur surface (particules fines).
- **Atténuation des nuisances sonores** : les végétaux peuvent contribuer, dans une certaine mesure, à atténuer le bruit ambiant, par l'écran qu'ils créent mais aussi par le bruit de leur feuillage qui rentre en concurrence avec les nuisances sonores perçues (bruit du trafic par exemple). Par ailleurs, en accueillant l'avifaune, ils contribuent indirectement à une modification de l'ambiance sonore de la cité, avec les chants d'oiseaux.
- **Régulation de la qualité de l'eau** : dans les zones humides en particulier, les végétaux contribuent à la filtration et à l'autoépuration des eaux.
- **Régulation des espèces nuisibles, des infections et des maladies** : comme les milieux naturels, les végétaux peuvent héberger des prédateurs naturels de parasites ou de ravageurs, comme les chauves-souris.
- **Pollinisation** : les végétaux peuvent largement favoriser le maintien et le développement de nombreuses espèces de pollinisateurs, qui jouent un rôle indispensable pour la reproduction des espèces végétales sauvages et des cultures. Notons que ce service est parfois classé dans les services de support.
- **Détoxification et dégradation des déchets** : il peut s'agir notamment d'autoépuration, de détoxification en fixant les polluants.
- **Régulation des risques naturels** : les végétaux urbains peuvent notamment contribuer à la régulation des inondations et dans certains cas particuliers contribuer à réguler des risques de glissement de terrain.
- **Services d'approvisionnement** :
 - **Fourniture de nourriture** : fruits notamment,
 - **Fourniture de matériaux** : principalement du bois,
 - **Fourniture de ressources ornementales**, notamment de fleurs ou de fruits,
- **Services culturels** :
 - **Services à dimension culturelle** : support d'activités culturelles, mais également de valeurs spirituelles ou symboliques, de systèmes de connaissance, de valeur ou d'éducation et d'héritage culturel, d'inspiration, de valeurs esthétiques, de sentiment d'appartenance,
 - **Services à dimension de loisirs** : tourisme, sports, etc.

Les services rendus par les arbres

Services EcoSystémiques rendus par les Arbres Modulés selon l'Essence
Un projet d'innovation sur le territoire de la métropole de Metz

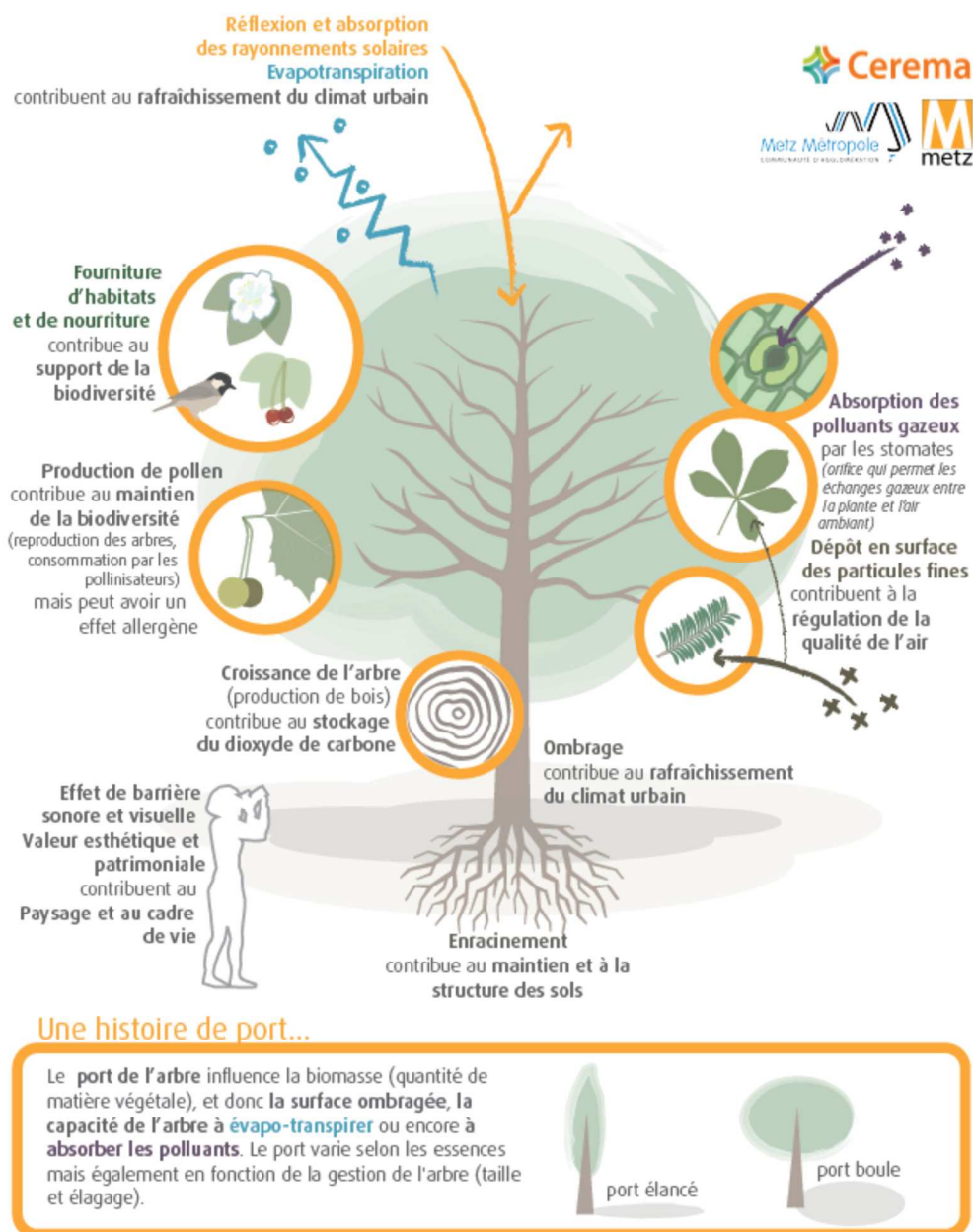


Figure 2 : Visuel récapitulant les services écosystémiques fournis par les arbres, conçu dans le cadre du projet (Cerema, dessin Marylou Dufournet)

On le voit, les services rendus par les végétaux sont nombreux et très diversifiés. Pourtant, ces services demeurent très largement méconnus du grand public. Le service le plus largement reconnu est la valeur paysagère (service culturel), mais ce service rendu est souvent mis en regard de l'espace utilisé par le végétal. Il peut être confiné à un rôle de décor, voire de camouflage, et assimilé à un « mobilier urbain » qui de surcroît « prend de la place ».

« Beaucoup de professionnels de la politique ne voient dans les arbres des villes que du mobilier urbain, comme un panneau publicitaire ou une borne anti-stationnement : toutefois ils grandissent avec le temps, et n'ont donc pas la docilité d'un réverbère ou d'un horodateur ! » (Hallé, 2011)

Par ailleurs, le végétal impose des contraintes, il en résulte que l'arbitrage entre services rendus, place « perdue » et « nuisances » ne se fait pas toujours en sa faveur.

Il convient dès lors de bien mesurer les enjeux que représentent de nos jours les services écosystémiques fournis par les végétaux dans l'espace urbain.

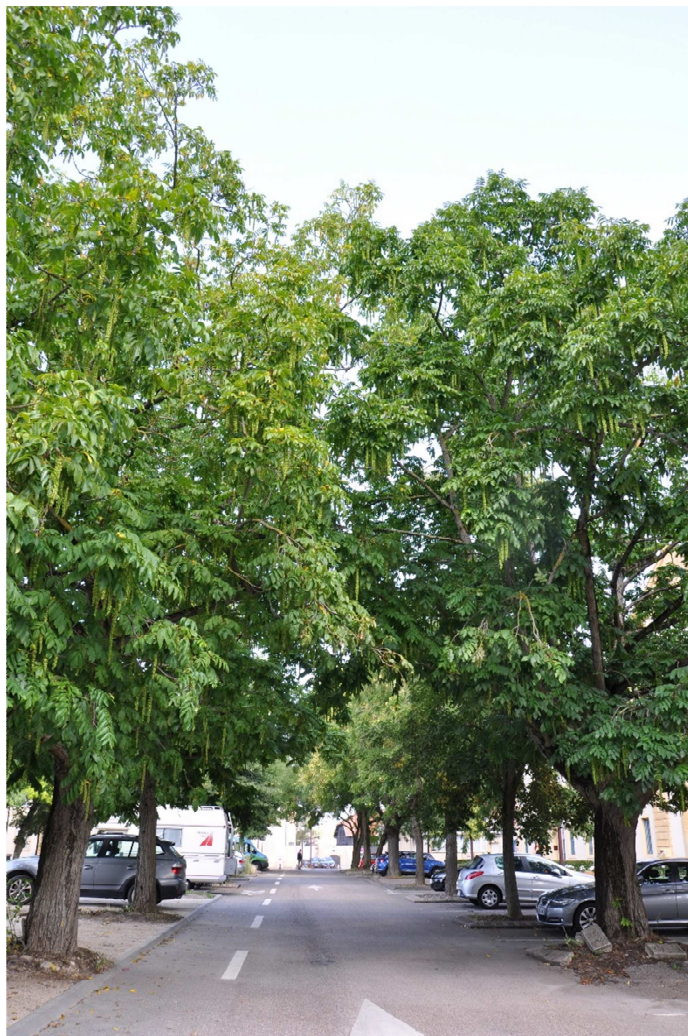


Photo Nadia Aubry, Cerema

3 - Les services écosystémiques rendus par les végétaux dans l'écosystème urbain : quels enjeux ?

L'espace urbain, présente de nombreux êtres vivants en interaction les uns avec les autres et en interaction avec les milieux qui les supportent. On peut donc parler d'écosystème urbain (Ministère en charge de l'écologie, 2009).

Pour bien comprendre ces enjeux, il faut avant tout être conscient des caractéristiques spécifiques que présentent les écosystèmes urbains, par rapport aux écosystèmes naturels (Comité français de l'UICN, 2013) :

- Ils sont très dépendants des apports externes et ne fournissent pas toujours aux espèces l'ensemble des éléments nécessaires pour assurer leur cycle de vie efficacement,
- La qualité de l'environnement y est altérée, au niveau de l'air, de l'eau et des sols. Les particules fines participent à la nitrification des sols, les concentrations en azote, en phosphore et en métaux lourds peuvent être élevées. Les sols sont très hétérogènes horizontalement et verticalement, souvent composés d'éléments grossiers de taille variable, compactés (masses volumiques souvent comprises entre 1,7 et 1,9 t/m³, ces valeurs rendant difficile la prospection par les racines). Leur pH est basique (souvent entre 7,5 et 8,5), et la richesse en matière organique et en éléments minéraux nutritifs est faible (Plante & Cité, 2016),
- La température extérieure est plus élevée en raison des gaz émis par les automobiles et les bâtiments, de la réflexion des rayons solaires sur les bâtiments et du phénomène d'îlot de chaleur urbain, avec parfois des phénomènes de réverbération, ou des revêtements sombres amplifiant les îlots de chaleur,
- Les écosystèmes urbains présentent une forte imperméabilisation de leurs sols, en grande partie recouverts,
- La ville est un lieu d'agression permanente pour le végétal : blessures liées aux chantiers ou à la circulation, piétinement, stationnement, roulement, ...

Roloff (Roloff, 2016) propose la liste suivante de contraintes auxquelles sont confrontés les arbres urbains :

Ensoleillement toute la journée	Lumière artificielle	Dommages et blessures (houppier, tronc, racines)	Urine humaine et animale
Stress hydrique	Impact des poussières	Emission de polluants	Température élevée
Fuites des réseaux	Carences en nutriments	Anoxie du sol	pH neutre à alcalin (>7)
Coupe et taille	Réflexion sur les bâtiments	Impact du sel routier ¹	Restriction de l'espace racinaire
Arbres solitaires	Contamination des sols	Compaction des sols ²	Couverture / imperméabilisation des sols

Tableau 1 : Conditions de vie des arbres urbains, d'après (Roloff, 2016), traduction Cerema

Les difficultés liées aux écosystèmes urbains sont par ailleurs à replacer dans le contexte d'une artificialisation rapide des terres et d'une progression continue de l'urbanisation. Actuellement, la part des surfaces artificialisées (somme des superficies bâties et revêtues) augmente de 1,6% par an en France depuis 2000, mouvement qui semble s'accélérer par rapport à la fin du XX^{ème} siècle (Commissariat général au développement durable, 2018) (Comité pour l'économie verte, 2019).

Or, agir en faveur de la nature en ville, c'est mieux comprendre et valoriser les multiples bénéfices fournis par les écosystèmes urbains. Les preuves scientifiques s'accumulent sur la relation positive entre bien-être, santé et espaces verts (Millennium ecosystem assessment, 2005).

Les arbres et arbustes implantés par l'Homme en milieu urbain (mais aussi la végétation qui se développe spontanément) contribuent fortement à l'expression de cette nature en ville.

Chaque végétal va jouer un rôle à son échelle, en tant qu'individu : il va fixer du carbone, tendre à améliorer la qualité de l'air, héberger certaines espèces animales et végétales... Mais c'est en tant que groupe (alignement d'arbres, bosquets plus ou moins mélangés, parcs, jardins, plus ou moins connectés entre eux) qu'ils vont significativement contribuer à enrichir l'écosystème urbain et les services qu'il rend à l'Homme.

¹ En Allemagne, 1 500 000 tonnes de sel de déneigement sont utilisés par an (Raasch and Spengler 2006 in (Roloff, 2016) : or le sel agit comme un poison violent sur la plupart des végétaux.

² « pas d'oxygène → pas de racines, pas d'eau → pas de racines, sol impénétrable → pas de racines » Perry, 1978, in (Roloff, 2016)

Dans un milieu urbain toujours en croissance, et abritant une part toujours croissante de l'humanité, la gestion du végétal est un des principaux paramètres influençant les services écosystémiques rendus, sur lesquels l'aménageur et l'urbaniste vont agir. Ils le font souvent sans en avoir conscience, car les services écosystémiques en général, et les services rendus par le végétal en particulier, restent peu connus.

Cependant, de nombreuses initiatives de collectivités, d'associations ou de citoyens, contribuent à la pédagogie, à la convivialité et au changement de regard autour du végétal en milieu urbain.

Notre travail cherche à contribuer à ce mouvement vers une meilleure connaissance de ces services écosystémiques. Il vise également à faire des services écosystémiques rendus, un des paramètres à prendre en compte dans l'aménagement du territoire.

4 - Des services différenciés selon les espèces végétales et leur organisation dans l'espace

Les services écosystémiques rendus par les arbres et arbustes, cités plus haut, ne sont pas rendus de manière homogène en tout point de l'espace, pourvu que des végétaux y soient implantés.

Plusieurs paramètres viennent modifier la capacité des végétaux à rendre ces services :

- La densité des végétaux,
- L'âge des végétaux,
- L'état de santé des végétaux,
- Leur répartition dans l'espace,
- Les espèces considérées,
- Au sein d'une espèce, les variétés considérées.

Un des objectifs principaux de notre travail est d'identifier les différences entre les différentes espèces végétales, vis-à-vis de la capacité à fournir les services écosystémiques recherchés.

Il ne s'agit pas ici, de partir à la quête de l'espèce idéale, qui rendra de manière optimale l'ensemble des services écosystémiques recherchés, mais de progresser dans la connaissance, pour une espèce donnée, des services pour lesquels elle apparaît à même de fournir des services importants, et a contrario d'identifier les services pour lesquels d'autres espèces devront être préférées.

Un postulat qui sous-tend notre travail est que dans un espace donné (une agglomération par exemple) les services rendus tiennent avant tout à la diversité des êtres vivants qui composent l'écosystème urbain. Pour ce qui concerne les arbres et arbustes par exemple, certains vont jouer un rôle de régulation du climat local très notable, et d'autres non. Certains vont avoir des caractéristiques morphologiques, une fructification, une production de pollen qui vont favoriser de manière importante l'expression de la biodiversité, alors que d'autres offriront d'autres services. Un arbre au feuillage persistant aura l'intérêt de fournir un service paysager particulier en hiver, alors que les autres espèces sont défeuillées, alors qu'un arbre à feuillage caduc facilitera l'arrivée de la lumière au sol en hiver. C'est l'ensemble des végétaux qui participent à l'écosystème urbain, qui vont fournir des services aux humains habitant cet espace.

Par ailleurs, l'organisation des végétaux dans l'espace influencera de manière importante les services écosystémiques rendus. En effet, l'effet d'ombrage pourra par exemple être influencé par la position de l'arbre dans l'espace public, alors que le rôle d'un alignement d'arbres sur la continuité écologique sera fortement dépendant de son inscription dans la trame verte et bleue urbaine. Les relations entre les différentes strates végétales, en particulier entre les arbres et les arbustes disposés en haies, vont également influencer leur capacité à rendre des services. Ainsi un bosquet ou une haie dense formant une

barrière physique à la circulation de l'air aura un effet significativement différent d'un alignement ou d'arbres épars sur la qualité de l'air et la régulation du microclimat.

Ces considérations plaident en faveur d'une densité végétale et d'une diversité du végétal en ville. Dans cet état d'esprit, la ville de Lyon, et beaucoup d'autres maintenant, se posent la question d'apporter de la diversité dans les alignements d'arbres. Il s'agit de sortir du schéma de plantation mono-spécifique, sauf dans quelques cas bien particuliers liés à la morphologie urbaine.

Pour ces raisons, notre travail ne vise aucunement à préconiser, pour un contexte donné, une seule espèce adaptée : c'est toujours un cortège d'espèces adaptées à une situation donnée qu'il faut privilégier.

Par ailleurs, la diversité du végétal tient aussi à son organisation dans l'espace : la présence de plusieurs strates de végétation démultiplie les services rendus.

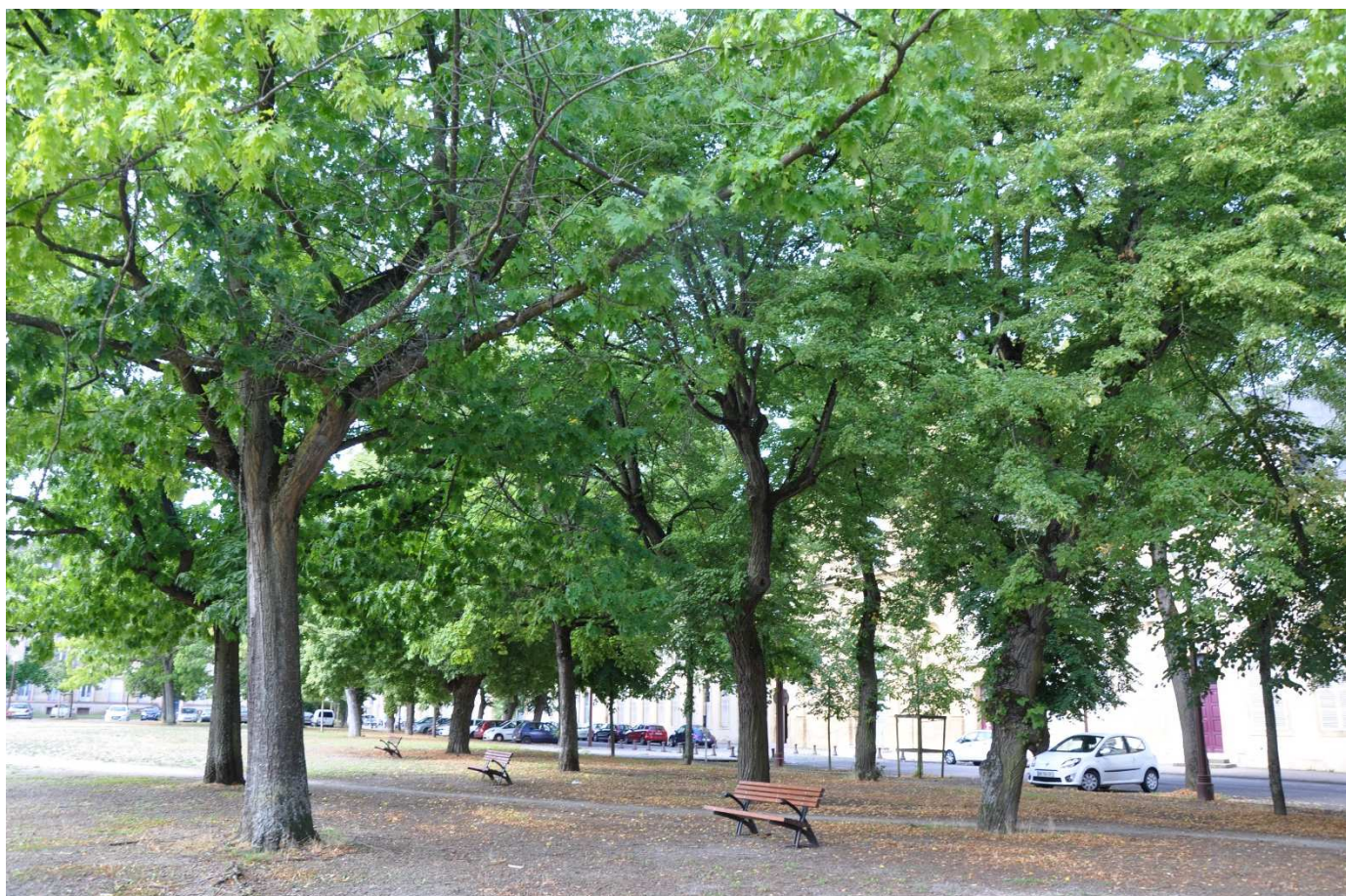


Photo Nadia Aubry, Cerema

Chapitre II

Objectifs et méthodologie

1 - Principaux objectifs poursuivis

La ville de Metz, Metz Métropole et le Cerema ont défini leur partenariat pour ce projet, par une convention signée le 3 octobre 2017. Elle est fournie en annexe 1.

Les objectifs peuvent être résumés comme suit :

1.1 - Différencier les espèces selon les services rendus

L'objectif principal du projet est de fournir des outils permettant de caractériser les services potentiels rendus par les végétaux, en fonction d'un contexte donné et des espèces disponibles, ainsi que la capacité des végétaux à résister aux effets du changement climatique et, dans une certaine mesure, d'en atténuer les effets.

En second lieu, il s'agit de caractériser les contraintes correspondant aux espèces végétales examinées. Ces contraintes sont de deux ordres : d'une part, le risque allergique, d'autre part les contraintes physiques (liées aux dimensions du végétal, à la production de miellat, aux racines susceptibles de provoquer des dommages, etc.).

Dans l'imaginaire du grand public, les contraintes liées aux arbres tendent à l'emporter sur les services qu'ils nous rendent : les premières sont évidentes, les seconds peu visibles, comme le dit très bien Andreas Roloff :

« Trees often and quickly gain a bad reputation, caused by falling branches or entire trees, roots in sewage drains, neighbor fighting over fruit or leaves littering their gardens, health issues from pollen allergies, etc. The problems caused by city trees are usually more conspicuous and have greater ramifications. Their advantages can often be difficult to record and to assess. As a result, the negative impacts are much more widely discussed, whereas extensive papers about their positive aspects are rare. » (Roloff, 2016)

« Les arbres ont vite fait de gagner une mauvaise réputation, en raison des chutes de branches ou d'arbres, de racines pénétrant dans les canalisations, de querelles de voisinage liées aux fruits ou feuilles parsemant les jardins, ou encore de problèmes de santé liés aux allergies au pollen, etc. Les problèmes causés par les arbres urbains sont généralement plus visibles et ont de plus grandes conséquences. En revanche, leurs avantages peuvent être difficiles à percevoir et à évaluer. En conséquence, les impacts négatifs sont beaucoup plus traités, alors que les publications complètes sur les aspects positifs sont plus rares. » (Traduction Cerema)

Notre démarche vise à maximiser les services rendus par les arbres, tout en minimisant les contraintes, par un choix judicieux des espèces à planter.

1.2 - Émettre des préconisations générales

L'implantation de végétaux dans les espaces urbanisés n'est pas qu'une question de choix des espèces. Des conditions essentielles à la réussite d'un projet et à l'expression des services écosystémiques sont au moins aussi importantes que le choix des végétaux :

- la qualité de la plantation : taille de la fosse, qualité des plants, premiers entretiens, etc. Elle conditionne en particulier la longévité du végétal ; or l'expression des services écosystémiques est directement liée à la longévité, ou en tous cas à la capacité des végétaux à atteindre une taille adulte.
- l'organisation des végétaux dans l'espace : la répartition dans l'espace, horizontale et verticale (étalement), va jouer un rôle de premier plan dans la qualité des services fournis (Stewart, 2002) (TDAG, 2016) (Pugh, 2012).
- le rapport des espèces entre elles : plantes compagnes, mais aussi plantes répulsives pour d'autres végétaux.

Le présent rapport comporte donc une synthèse de la bibliographie donnant les principales recommandations à appliquer dans ces deux domaines (voir plus loin le chapitre III).

1.3 - Mettre au point un outil d'aide à la conception territorialisée

La compilation de données relatives aux services écosystémiques rendus rend possible la mise en place d'un outil d'aide à la conception³. Le principe retenu est celui d'une pondération des différents services écosystémiques recherchés, faisant ressortir les espèces *a priori* les plus adaptées à un projet donné.

Les contraintes physiques sont intégrées en définissant des critères d'exclusion, en fonction du niveau d'exigence d'un projet donné.

Dans la réflexion sur ce sujet, est intégrée la problématique liée à la diffusion sur le terrain d'un outil simple et peut-être simplificateur, qui ne doit pas se substituer à une analyse experte projet par projet. Il y a donc à ce sujet, un enjeu de présentation de l'outil et de communication.

La possibilité d'adaptation de l'outil pour d'autres territoires que la région messine, est un objectif initial du projet.

Le travail réalisé était adapté à un contexte particulier mais adaptable relativement aisément à d'autres contextes :

- Par un travail complémentaire sur le service « support de biodiversité » (notamment le caractère exogène ou indigène)
- Par un travail complémentaire sur le service « paysage et cadre de vie », qui implique un échange avec les acteurs locaux,
- Par un travail complémentaire sur le critère « adaptation au climat urbain, dans le contexte du changement climatique »

³ La terminologie « aide à la conception » a été préférée à « aide à la décision », pour rendre compte du fait qu'un tel outil n'a pas pour objet de se substituer à la décision de l'aménageur, mais de lui fournir des éléments pour l'aider à concevoir son projet.

2 - Méthodologie

2.1 - Démarche partenariale – comité de pilotage et groupe technique

Les trois partenaires du projet (Metz, Metz Métropole et le Cerema) ont souhaité s'entourer de partenaires techniques et scientifiques permettant de garantir la qualité des éléments produits.

La composition du comité de pilotage est renseignée ci-dessous.

Qualité	Nom
Représentant de la ville de Metz	Maryline MOLINET, Conseillère Déléguée à la biodiversité Franck ROGOVITZ, Chef de la Mission Développement Durable
Représentants de Metz Métropole	Guy BERGE, Vice-Président de Metz Métropole Coraline DESCAMPS, Chargée de missions Biodiversité et Gestion des Milieux Naturels Bruna DIAMANTE, Chargée de missions Biodiversité et Gestion des Milieux Naturels
AgroParisTech, Co-responsable de la spécialisation "Ingénierie des espaces végétalisés urbains" (IEVU) Responsable de l'option "Urban Forestry"	Marie-Reine FLEISCH
Professeur du Muséum national d'Histoire naturelle Responsable scientifique de l'herbier national, Institut de Systématique, Evolution, Biodiversité	Serge MULLER
Directeur des jardins botaniques du Grand Nancy et de l'Université de Lorraine	Frédéric PAUTZ
Directrice adjointe de l'école doctorale Environnements-Santé Directrice du Cours Master en Ingénierie Environnement-Territoires Laboratoire Chrono-environnement UMR CNRS 6249 - Université de Franche-Comté	Nadine BERNARD

Tableau 2 : Composition du comité de pilotage

Par ailleurs, le Cerema a souhaité bénéficier des retours d'expérience des services gestionnaires des espaces verts dans les collectivités. Le pôle Parcs, jardins et espaces naturels de la ville de Metz a répondu favorablement à cette attente et s'est fortement investi dans les échanges avec le Cerema, notamment pour ce qui concerne l'approche paysagère, l'adaptation au climat et les contraintes physiques.

Enfin, la DREAL Grand Est a souhaité contribuer à un financement complémentaire de cette étude en proposant de consacrer une part de la subvention pour charge de service public que le Cerema met à disposition des services déconcentrés de l'Etat.

2.2 - Identification des services écosystémiques examinés dans cette étude

Les services écosystémiques sont nombreux et diversifiés, et les sources documentaires, qui permettent de les lier à une espèce végétale ou une autre, sont disparates.

Par ailleurs, le dimensionnement de l'étude et son caractère exploratoire imposent de sélectionner quelques services qui feront l'objet de ce qui suit.

La posture initiale pour cette étude, mettait en avant plusieurs services ciblés dès le départ qui intéressaient particulièrement les trois partenaires : d'une part, le fait de **rendre la ville respirable** est un souci premier de la collectivité, ce qui a amené à s'intéresser au rôle des végétaux dans la fixation et l'absorption des polluants, et d'autre part, en raison de l'urgence écologique, le rôle que les végétaux peuvent jouer en matière de support de biodiversité. L'atténuation des îlots de chaleur urbains (ICU) répondait également à une priorité dans l'espace urbain, de même que les capacités de stockage de carbone des végétaux, en raison de projets de forêts urbaines sur le territoire de la ville de Metz.

Ces services ont donc été préférentiellement intégrés dans l'étude. Pour compléter le panel, d'autres services ont été retenus. Ils ont été choisis après une première approche des sources de données existantes, et du caractère discriminant de l'espèce, tel qu'il pouvait être pressenti, ainsi que des compétences de l'équipe de travail.

Il s'est agi d'une démarche pragmatique, liée également au caractère fini des moyens disponibles. Le tableau ci-dessous reprend les arguments en faveur de l'étude des différents services, mais le choix ne s'est pas opéré de manière aussi formalisée.

La sélection s'est opérée en considérant plusieurs paramètres :

- la connaissance de sources de données fiables et exploitables concernant le lien entre les espèces végétales et le service considéré,
- la prise en compte relative des différents services considérés par les politiques publiques au moment de la rédaction du présent rapport,
- les compétences réunies au sein de l'équipe projet,
- les échanges préalables au lancement de l'étude avec Metz et Metz Métropole, qui ont permis d'identifier les services ressentis comme prioritaires à traiter pour ces deux collectivités.

Le tableau ci-dessous synthétise cette approche.

Service considéré	Argument en faveur de l'intégration de ce service à l'étude	Argument en défaveur de l'intégration de ce service à l'étude	Service écosystémique retenu ou non dans le cadre de l'étude
Services de support			
Offre d'habitats	Influence réputée notable de l'espèce végétale sur la capacité à favoriser une biodiversité riche (pollen, fructification, abri, ...) Renforcement de la prise en compte de la biodiversité dans la loi ⁴ Etude portée par une élue en charge de la biodiversité	Manque de données pertinentes sur certaines espèces exotiques	Service « support de biodiversité » retenu pour l'étude
Formation et rétention des sols	Rôle important du système racinaire pour la fixation des sols	Difficulté a priori pour collecter des données pertinentes par espèce Service jugé non prioritaire dans l'agglomération considérée	Service non retenu pour l'étude
Cycle des éléments nutritifs	La participation des végétaux aux cycles des éléments nutritifs est une composante	Difficulté a priori pour collecter des données pertinentes par espèce	Service non retenu pour l'étude

⁴ On peut citer à cet égard L'article L.110-II 6° du code de l'environnement : « (...) Le principe de solidarité écologique, qui appelle à prendre en compte, dans toute prise de décision publique ayant une incidence notable sur l'environnement des territoires concernés, les interactions des écosystèmes, des êtres vivants et des milieux naturels ou aménagés »

Service considéré	Argument en faveur de l'intégration de ce service à l'étude	Argument en défaveur de l'intégration de ce service à l'étude	Service écosystémique retenu ou non dans le cadre de l'étude
	importante du fonctionnement des sols.		
Photosynthèse		Service a priori peu différencié par espèce d'arbre et d'arbuste	Service non retenu pour l'étude
Production primaire de biomasse	La production primaire de biomasse permet aux végétaux de jouer un rôle important dans les chaînes alimentaires Information relative à la biomasse produite par espèce accessible (mais pas forcément dans le contexte du milieu urbain)	Service indirectement intégré dans l'offre d'habitats Dimensionnement de l'étude	Service non retenu pour l'étude
Cycle de l'eau	Rôle majeur des végétaux dans le cycle de l'eau Rôle des espaces végétalisés dans la prévention des inondations	Difficulté a priori pour collecter des données pertinentes par espèce Dimensionnement de l'étude	Service non retenu pour l'étude
Services de régulation			
Régulation du climat global	Arbres et arbustes participent notablement à la fixation des gaz à effet de serre Service bien connu du public	Le service rendu par les végétaux urbains paraît faible en comparaison du service rendu par les milieux naturels	Service retenu pour une approche globale dans l'étude, mais non intégré dans l'outil d'aide à la conception
Régulation du climat local	Rôle des végétaux dans la régulation des îlots de chaleur urbains Contexte du changement climatique Données par espèce a priori accessibles et valorisables Service facilement valorisable auprès du public	Prépondérance des conditions d'implantation et de l'organisation dans l'espace qui minimise l'importance de l'espèce	Service retenu pour l'étude
Régulation de la qualité de l'air	Rôle des végétaux dans la régulation de la qualité de l'air Enjeux de qualité de l'air en milieu urbain : polluants gazeux, particules fines Enjeux de santé	L'effet des végétaux sur la qualité de l'air est certes limité mais avéré ⁵ , et passe par une massification de la « forêt urbaine ». Prépondérance des conditions d'implantation et de l'organisation dans l'espace qui minimise l'importance de l'espèce	Service retenu pour l'étude
Régulation de la qualité de l'eau	Objectifs réglementaires d'amélioration de la qualité de l'eau	Difficulté a priori pour collecter des données pertinentes par espèce Dimensionnement de l'étude	Service non retenu pour l'étude
Régulation du bruit	Les végétaux peuvent contribuer à atténuer le bruit ambiant. Ils réduisent toutefois le ressenti lié au bruit, en rendant la source invisible, et peuvent réduire les effets d'écho. ⁶	Cet effet est relativement faible : ainsi, pour avoir un effet similaire à celui d'un mur anti-bruit de 2 m de haut, une ceinture d'arbres de 25-30 mètres est nécessaire. ⁷	Service non retenu pour l'étude

⁵ (Selmi, et al., 2016)⁶ Kniesel in (Roloff, 2016)⁷ Kniesel in (Roloff, 2016)

Service considéré	Argument en faveur de l'intégration de ce service à l'étude	Argument en défaveur de l'intégration de ce service à l'étude	Service écosystémique retenu ou non dans le cadre de l'étude
Régulation des espèces nuisibles, des infections et des maladies	Rôle des végétaux comme habitat des espèces régulatrices	Rôle des végétaux comme habitat des espèces nuisibles	Service non retenu pour l'étude
Pollinisation	Service écosystémique majeur (Millennium ecosystem assessment, 2005)	Faible contribution de l'écosystème urbain à ce service	Le service de pollinisation est intégré comme un sous-critère du service « support de biodiversité »
Détoxification et des dégradation des déchets	Rôle des végétaux dans la détoxification des sols – phytoremédiation Données par espèce a priori accessibles et valorisables	Dimensionnement de l'étude	Service non retenu pour l'étude
Régulation des risques naturels	Contribution importante des végétaux à la régulation des risques naturels	Dimensionnement de l'étude	Service non retenu pour l'étude
Services d'approvisionnement			
Fourniture de nourriture	Données par espèce a priori accessibles et valorisables	Service non considéré comme un enjeu majeur pour les arbres et arbustes de l'espace public Dimensionnement de l'étude	Service non retenu pour l'étude
Fourniture de matériaux	La capacité des espèces à fournir des matériaux (notamment du bois) peut être appréciée par espèce	Dépendance à la longévité des végétaux dans le contexte difficile de l'écosystème urbain Service non considéré comme un enjeu majeur pour les arbres et arbustes de l'espace public urbain.	Service non retenu pour l'étude
Fourniture de ressources ornementales		Service non considéré comme un enjeu majeur pour les arbres et arbustes de l'espace public urbain. Dimensionnement de l'étude	Service non retenu pour l'étude
Services culturels			
Support d'activités récréatives	Capacité des espèces à contribuer au divertissement, à l'amusement ou à la distraction	Difficultés à obtenir de la donnée par rapport au dimensionnement de l'étude et à la multiplicité des activités récréatives (définition).	Service retenu « paysage et cadre de vie » sur des critères esthétiques, de création d'ambiance, d'éveil des sens et de capacité à donner du sens au lieu et de confort aux usagers
Source de loisirs et tourisme	Intérêt pour le confort et la convivialité mais aussi capacité à structurer l'espace	Difficultés à obtenir de la donnée par rapport au dimensionnement de l'étude, service rattaché à la notion de confort	
Expérience esthétique et paysagère	Capacité de l'espèce à créer des ambiances propres à chaque lieu, à composer avec l'existant, ce qui permet de contextualiser l'étude et de nourrir la donnée avec le retour d'expériences des services techniques et données d'experts.	Dimensionnement de l'étude. Absence de données chiffrées. Données reposant sur le ressenti et l'expérience (paysagiste et expériences des services techniques.	
Inspirations artistiques		Difficultés pour collecter de la donnée. Il faudrait définir les contours de l'inspiration artistique.	

Service considéré	Argument en faveur de l'intégration de ce service à l'étude	Argument en défaveur de l'intégration de ce service à l'étude	Service écosystémique retenu ou non dans le cadre de l'étude
Inspiration spirituelle ou symbolique	Charge symbolique de l'espèce en lien avec le lieu. Le lieu est sa symbolique peut être un critère de sélection. Le choix d'une espèce pour sa symbolique apporte du sens à l'aménagement	Toutes les espèces n'ont pas une valeur symbolique identifiée. Le lieu est à prendre en considération	
Valeur patrimoniale	Capacité à l'espèce à s'imposer dans l'espace et dans le temps.	Absence de critères d'évaluation de la valeur, peut-être trop discriminant pour certaines espèces	
Identité culturelle	Basée sur l'appropriation, le sentiment d'appartenance des espaces, la popularité des espèces et leur lien avec le lieu et les pratiques locales.	Dimensionnement de l'étude	

Tableau 3 : Sélection des services écosystémiques retenus pour la suite de l'étude

Les principaux services retenus ci-dessus sont décrits de manière générale dans ce qui suit.



Photo Nadia Aubry, Cerema

2.3 - Établissement d'une liste d'espèces

La convention du 3 octobre 2017 liant la ville de Metz, Metz Métropole et le Cerema prévoyait l'examen de « 50 à 80 espèces d'arbres et arbustes ».

Le principe retenu était de sélectionner 50 à 80 espèces d'après deux grands types de critères :

- l'adaptation au climat lorrain dans la perspective et la prise en compte du réchauffement climatique,
- l'intérêt général présenté pour les services écosystémiques étudiés, d'après une première approche.

A partir d'un panel de 218 espèces, établi à partir des espèces présentes dans l'agglomération messine et des espèces considérées comme utilisables après un examen sommaire des exigences climatiques et stationnelles, une sélection a été opérée sur la base des critères d'exclusion définis ci-dessous.

Les 218 espèces examinées et le choix opéré sont détaillés en annexe II.

1	exclusion des espèces présentant des caractères rédhibitoires :
1.1	espèces à caractère invasif avéré.
1.2	espèces affectées par une maladie remettant en cause la survie des individus ou en tous cas la fourniture des services écosystémiques.
1.3	espèces non adaptées ou peu adaptées aux conditions pédo-climatiques locales
1.4	espèces climatiquement fragiles
2	espèces éliminées sur la base des éléments disponibles sur les services écosystémiques rendus et ne présentant pas une balance favorable
3	espèces présentant un faible intérêt pour les services de la ville et pour lesquelles le Cerema n'a pas identifié d'intérêt particulier en termes de services rendus

Tableau 4 : Critères d'exclusion dans le choix des espèces retenues pour l'étude

Il en résulte une liste de 88 espèces (quelques-unes correspondant à des groupes d'espèces) présentés plus bas en III-1.

Par ailleurs, l'approche retenue de sélection de 50 à 80 espèces présente des limites importantes, qui sont détaillées plus bas en II-3-1.

2.4 - Méthodologie retenue en matière de qualité de l'air

L'air urbain est particulièrement soumis aux pressions anthropiques augmentant la pollution de l'air : émissions dues aux bâtiments (chauffage, construction, ...), aux transports et à l'industrie.

Les arbres urbains contribuent au service de régulation de la qualité de l'air par deux processus ou fonctions écologiques en 1) fixant les polluants particulaires ; 2) absorbant les polluants gazeux (cf. **Figure 3**).

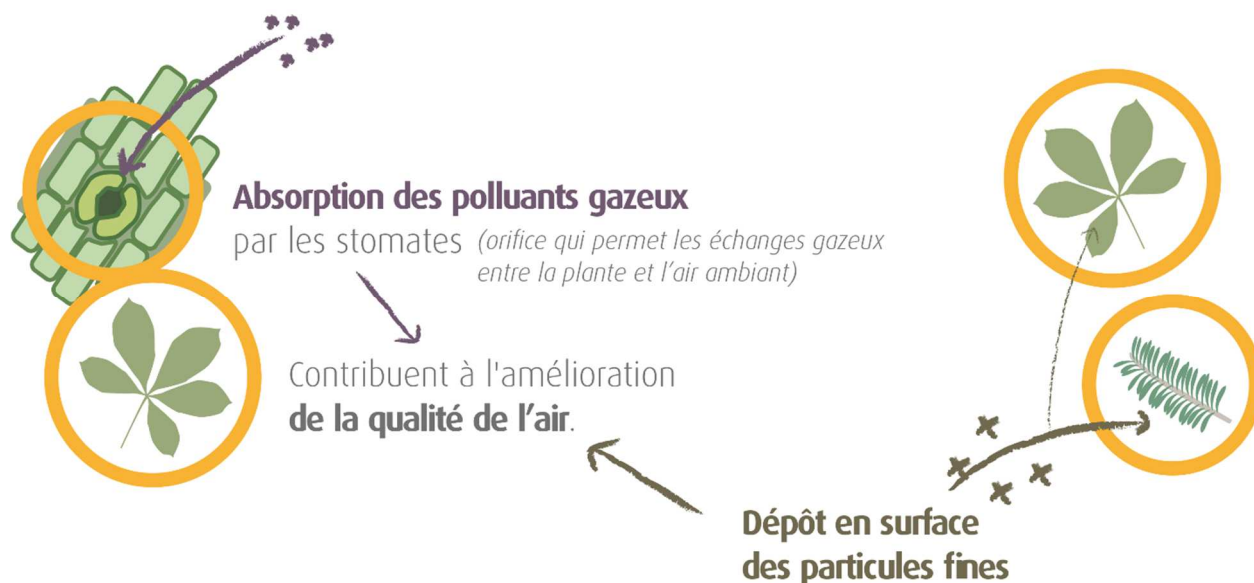


Figure 3 : Contribution à la régulation de la qualité de l'air par les arbres (source : Cerema, dessin Marylou Dufournet)

En effet, la végétation en ville au sens large (espaces verts, toitures végétalisées...), et particulièrement les arbres, peuvent contribuer à améliorer la qualité de l'air au niveau local (Tiwari, 2009) et améliorer les conditions de vie des citoyens (Hiemstra, Schoenmaker - Van der Bijl, & Tonneijck, 2008)⁸. Outre l'apport d'oxygène sous l'effet de la photosynthèse, plusieurs travaux démontrent que la végétation intercepte les particules atmosphériques (dont les PM₁₀) (Becket, Freer-Smith, & Taylor, 2000) et absorbe les polluants (effet prouvé en particulier pour le NO₂ et le SO₂).

L'interception des particules polluantes est un processus majoritaire par rapport à l'absorption dans les stomates (Nowak & Dwyer, 2007) d'un point de vue quantitatif. Ces deux processus dépendent notamment d'un certain nombre de caractéristiques intrinsèques des végétaux, caractéristiques variables par espèce : surface foliaire (Escobedo & Nowak, 2009), surface de couverture de la végétation (canopée) (Nowak D. J., 2006), rugosité des feuilles et présence d'enduit adhésif (Nowak D. J., 2006), ...

Outre l'effet direct sur les polluants, les arbres urbains peuvent également contribuer, de manière indirecte, à améliorer la qualité de l'air en réduisant la température de l'air (régulation du climat local) et en réduisant la consommation d'énergie par les bâtiments (Nowak & Dwyer, 2007). En effet, la température agit sur la chimie des polluants : le froid diminue la volatilité de certains gaz tandis que la chaleur estivale est favorable à la formation photochimique de l'ozone. Ainsi, en été, une augmentation de température (2 à 4°C) augmente la formation d'ozone troposphérique.

La contribution globale du patrimoine arboré urbain à la qualité de l'air fait débat d'un point de vue quantitatif. En effet, s'il est avéré que les arbres piègent des polluants de l'air, cette rétention est-elle significative comparativement aux émissions ?

Les études menées à une échelle appropriée (échelle urbaine ou territoriale) sont rares. L'exemple de l'Eurométropole de Strasbourg démontre toutefois en comparant le taux d'élimination des polluants par les arbres et les taux d'émission de polluants atmosphériques que la végétation arborée permet d'éliminer 0,03% du CO, 7% des PM₁₀⁹, 1,5% des PM_{2.5}, et 0,5% du SO₂ (Selmi, et al., 2016). Cette efficacité limitée est modélisée à l'échelle de la collectivité et sans appliquer de politique volontariste pour améliorer la régulation

⁸ Cette publication a fait l'objet d'une traduction en français par Val'hor (Hiemstra, Tonneijck, Schoenmaker - van der Bijl, & Val'Hor (traduction), 2008)

⁹ Les PM₁₀ (de l'anglais *particulate matter*) sont les particules en suspension dans l'air, d'un diamètre inférieur à 10 micromètres. Les PM_{2.5} ont un diamètre inférieur à 2,5 micromètres. Ces particules sont, dans leur ensemble, classées cancérogènes par le Centre international de recherche sur le cancer (Source : CIRC).

de la qualité de l'air à l'échelle de Strasbourg. Elle démontre toutefois un potentiel qui à défaut d'être une réponse unique à la problématique de la qualité de l'air est a minima non négligeable (en particulier pour la pollution particulaire) et à explorer en complément d'une politique de réduction des émissions, qui doit rester la priorité pour améliorer la qualité de l'air.

Il faut souligner que l'effet des arbres sur la pollution de l'air est très dépendant de leur organisation dans l'espace.

Un mauvais agencement des végétaux peut par exemple aboutir à un effet de « tunnel vert » (augmentation de concentration causé par le freinage de la vitesse du vent). Cet effet négatif peut être évité en veillant à aménager des plantations permettant une porosité suffisante (Hiemstra, Tonneijck, Schoenmaker - van der Bijl, & Val'Hor (traduction), 2008). Ces précautions sont particulièrement importantes dans le cas des rues étroites bordées de bâtiments (les « rues canyons »).

A contrario, il a été démontré par l'université de Lancaster que la présence d'un alignement d'arbres peut réduire de 50% la concentration des particules fines dans les logements avoisinants, (Stewart, 2002).

Ainsi, si la répartition des végétaux intègre correctement cette problématique, a fortiori sur plusieurs strates de végétation, il est possible d'améliorer la qualité de l'air au droit des espaces fréquentés par les habitants.

Les arbres sont par ailleurs des émetteurs de polluants, tout arbre produisant des composés organiques volatiles (ou COV), notamment des terpènes. Afin d'évaluer de manière globale le service rendu, il convient également d'intégrer cette dimension négative :

- 1) soit dans un calcul global en parallèle de la capacité d'absorption/stockage de polluants ;
- 2) soit dans un indicateur spécifique de la capacité d'émission de COV.

La méthodologie retenue pour discriminer les espèces en fonction de leur capacité à fixer les polluants particuliers et à absorber les polluants gazeux est la suivante :

1. recherche d'un indicateur biophysique du service « régulation de la qualité de l'air » traduisant de manière globale la balance entre la capacité de l'arbre à capter/absorber des polluants et son émission de COV.

Ce type d'indicateur existe dans la littérature, notamment dans les travaux de Nowak, mais les données par espèce sont construites sur la base de modélisations et mesures adaptées au contexte nord-américain. Parmi les espèces retenues dans notre projet, l'information n'existe pas faute de mesure pour plus de la moitié. Cet indicateur global en kg de polluants stockés/retenus par arbre et par an pour une espèce donnée a donc été abandonné.

2. identification de sous-critères morphologiques ou physiologiques (dont la donnée est disponible par espèce) ou « indicateurs d'état » permettant de caractériser la capacité de l'espèce à capter des polluants particuliers d'une part et à absorber des polluants gazeux d'autre part.
3. identification des sources de données disponibles pour renseigner la capacité d'émission de COV par espèce (ce critère étant considéré comme une contrainte, il est décrit en détail dans la partie 2.10).
4. calcul de deux indicateurs globaux sur la base des indicateurs d'état : un pour la régulation de la pollution particulaire et un pour la régulation de la pollution gazeuse,
5. renseignement espèce par espèce des indicateurs d'état et calcul des indicateurs de service.

Les indicateurs d'état de l'arbre par espèce (considérés pour un individu en bonne santé d'âge adulte et dans un contexte urbain) sont les suivants : persistance des feuilles, rugosité des feuilles (présence de poils ou micro-rugosités), nature de l'arbre (conifère ou feuillu), taille moyenne, largeur du houppier, taille des feuilles (fourchette min-max), port de l'arbre, forme des feuilles, densité des feuilles.

Pour l'ensemble de ces critères, les différentes modalités font ensuite l'objet d'une notation présentée dans le tableau ci-dessous.

Densité	
Dense	3
Moyennement dense	2
Ouvert	1
Forme de l'arbre	
Arrondi/Ovale	7 (4)
Etalé	6 (3)
Etalé bas	5 (3)
Conique large	4 (2)
Conique	3 (2)
Conique étroit	2 (2)
Buissonnant	1 (1)
Persistance	
Persistant conifère	2 (3)
Persistant feuillu	2 (2)
Caduc	1
Rugosité	
Glabre	1
Lustré	2
Glutineux	3 (2)
Poilues légèrement	4 (3)
Pubescent sur le revers	5 (4)
Pubescent	6 (5)
Forme des feuilles	
Aiguille	1 (1)
Composée/Folioles	2 (2)
Palmilobées	3 (3)
Lobées	4 (3)
Lancéolées	5 (4)

Oblongue	6 (4)
Simples	7 (5)
Conifère/Feuillu	
Conifere	1
Feuillu	3

Tableau 5 : Correspondances entre critères qualitatifs et numériques
(Valeurs attribuées in fine entre parenthèses)

La construction des indicateurs de service rendu (pour la régulation de la pollution particulaire et pour la régulation de la pollution gazeuse) a ensuite été réalisée. En première approche, une somme pondérée simple a été testée. Une régression linéaire multiple a été mise en œuvre pour caler les coefficients de pondération. Les valeurs proposées par (Nowak D. J., 2006) pour la capacité des différentes espèces à réguler la qualité de l'air ont été utilisées comme valeurs de référence.

Dans un deuxième temps, en raison des incohérences relevées dans les résultats de la méthode statistique par régression linéaire, une somme pondérée des indicateurs d'état a été construite en fixant les pondérations en fonction du poids accordé dans la littérature à chaque critère morphologique, en appliquant ensuite une méthode d'analyse multicritère qui classe des alternatives en fonction de leurs performances (les alternatives étant ici les différentes espèces). Cette méthode est explicitée dans l'encart ci-dessous.



Photo Nadia Aubry, Cerema

Utilisation de la méthode ELECTRE III pour la qualité de l'air

La méthode ELECTRE III est une méthode d'analyse multicritère qui **classe** des alternatives en fonction de leurs performances.

Dans le cas de SESAME, les alternatives sont les **différentes essences d'arbres** et les performances sont les **critères** considérés comme importants pour discriminer les essences d'arbre selon l'amélioration de la qualité de l'air.

Ainsi, la méthode va comparer des alternatives (=arbres) deux par deux et les classer l'un par rapport à l'autre, et cela pour tous les arbres. Au final on obtient donc un classement relatif des arbres selon leurs performances.

- **Le tableau de performance**

La méthode a donc besoin en entrée d'un tableau appelé « **tableau de performance** ». Ce tableau contient en ligne les différentes alternatives (=arbres) et en colonne les différents critères retenus (=performances).

Ces critères doivent être des critères **quantitatifs**. Toutefois, si l'on a des critères qualitatifs il est possible de les transformer en critères quantitatifs pour les intégrer à la méthode (voir **Tableau 5**). Dans notre cas, les critères de forme des feuilles, du port de l'arbre, de la rugosité (etc.) ont donc été transformés en critères quantitatifs pour être intégrés à la méthode.

Dans le document excel (**ELECTRE III vierge-1**) ce tableau de performance correspond à l'onglet « **Data** » avec chacun des critères en colonne et chacune des alternatives en lignes.

- **Le tableau de paramétrage**

En second lieu, il faut renseigner le **tableau de paramétrage**. Ce dernier reprend en colonne les différents critères et pour chacun d'entre eux il faut maintenant renseigner les poids, les seuils d'indifférence, de préférence, de veto et le sens.

- Les **poids** : cela correspond à l'intérêt porté à un critère pour effectuer le classement. Plus le poids est important, plus le critère sera décisif et impactera la décision prise.
- L'**indifférence** : ce seuil permet de prendre en compte la notion d'indifférence du décideur. Par exemple, si l'on imagine classer des pains au chocolat selon un critère de distance à la boulangerie, que la boulangerie soit à 50 m ou que la boulangerie soit à 51 m cela n'impacte pas beaucoup le choix de la personne qui achète le pain au chocolat. Dans notre cas, ce seuil d'indifférence nous permet de gérer la précision de nos données (source de données différentes, mesures peu précises, etc.).
- La **préférence** : à partir d'un certain moment, la différence de valeur pour un même critère pour deux alternatives devient déterminante. Ainsi dans notre exemple, un pain au chocolat dans une boulangerie située à 50 m sera préféré à un pain au chocolat d'une boulangerie située à 100m. Cette différence de 50m a conditionné notre choix, on ne sera plus **indifférent** au critère de distance à la boulangerie, on préférera le plus proche.
- Le **veto** : on peut fixer une valeur à partir de laquelle la différence entre deux alternatives est tellement importante qu'on préférera obligatoirement une des alternatives. Ainsi, si l'on fixe notre veto à 2km, entre un pain au chocolat d'une boulangerie à 50 m et celui d'une à 3 km, on préférera toujours celui le plus proche qu'importe les autres critères.

Dans notre cas, nous ne souhaitons pas mettre de veto, ainsi les valeurs sont volontairement très hautes pour ne pas gêner dans le calcul (cela génère un message d'erreur à ne pas prendre en compte).

- Le **sens** : si l'on cherche à maximiser un critère on renseigne le chiffre 1 et si l'on cherche à minimiser le critère on renseigne le chiffre -1.

- **Transformation du rang (classement) en note sur 10**

Une fois le classement obtenu, il faut le transformer le rang de chaque essence d'arbre dans le classement en note. Pour cela, on normalise le rang c'est à dire qu'on transforme ce rang en une note sur 10.

Pour cela on effectue le calcul suivant (produit en croix) :

$$Note\ initiale\ sur\ 10 = \frac{Rang\ 10}{Rang\ maximum}$$

Avec :

- **Rang** : le rang actuel (valeur de moy des deux rangs pour chaque espèce)
- **Rang maximum** : valeur maximum dans le classement, c'est-à-dire rang de la dernière essence dans le classement final, c'est à dire la plus haute valeur de « moy des deux rangs » dans ELECTRE.

Une fois cette note sur 10 obtenue, plus la valeur est proche de 10 plus le rang est élevé et donc la capacité moindre à rendre le service. Il faut donc inverser cette note, pour que plus la note est proche de 10 plus la capacité est grande à rendre un service (ce qui constitue la note finale).

A partir de la littérature (Hiemstra, Schoenmaker - Van der Bijl, & Tonneijck, 2008), on note que pour la qualité de l'air les critères de **taille**, de **persistance**, de **rugosité**, et la **caducité** sont prépondérants pour discriminer les essences ; un poids maximal a été affecté à ces quatre critères.

Concernant la qualité de l'air, le poids maximal est de 8 car le critère « taille » a été divisé en 4 sous-critères ayant chacun un poids de 2. Tous les autres critères, moins importants dans le choix, ont un critère de 1 (poids min). Concernant les poids du climat local, seuls les critères de taille, de forme des feuilles et de densité sont considérés, avec le même jeu de poids que pour la qualité de l'air (chiffres entre parenthèses sur la figure ci-dessous).

Choix des critères ou indicateurs et de la pondération

Critères	Poids accordé	Sens pour les particules	Sens pour les polluants gazeux	Poids Climat local	
• Persistance	Poids max	↗	↗	Poids min	↗
• Rugosité	Poids max	↗	↘	
• Conifère/Feuillu	Poids max	Conifère	Feuillu	
• Taille arbre	Poids max	↗	↗	Poids max	
• Largeur du houppier					
• Taille min des feuilles					
• Taille max des feuilles	Poids min	↗	↗	Poids min	↗
• Port de l'arbre	Poids min	↗	↗	Poids min	↗
• Forme des feuilles	Poids min	↗	↗	Poids min	↗
• Densité	Poids min	↗	↗	Poids min	↗

Classement relatif des essences

Figure 4 : Schéma de la répartition des poids (entre parenthèses sur le schéma) et des "sens" (flèches) pour les critères sélectionnés

2.5 - Méthodologie retenue en matière de régulation du climat local

Les végétaux, les sols et l'eau présents au sein de l'écosystème urbain peuvent jouer un rôle significatif dans l'abaissement des températures locales. Ce service de régulation est particulièrement important en ville en raison du phénomène d'îlot de chaleur urbain. Il permet d'améliorer le confort thermique des citoyens lors des fortes chaleurs. Au-delà de cet apport en matière de bien-être et de qualité de vie, il contribue à limiter les lourdes conséquences sanitaires associées aux épisodes de canicule.

De nombreuses études se sont intéressées au rôle de la végétation en ville sur l'îlot de chaleur urbain, par la modélisation ou la mesure (Laïle, Provendier, & Colson, 2013). Il a, par exemple, pu être démontré que les parcs sont plus frais que les zones qui les entourent, cette différence étant plus marquée la nuit que le jour (Laïle, Provendier, & Colson, 2013). L'intensité et la netteté de ce phénomène dépendent de la taille et de la composition végétale du parc notamment.

L'abaissement des températures par les végétaux est notamment lié :

- à l'ombrage,
- à l'évapotranspiration,
- à un albédo plus élevé qu'une grande partie des revêtements,
- l'apport de rugosité sur la circulation de l'air (l'effet de la rugosité peut être positif ou négatif : il aura tendance à diminuer la vitesse du vent, alors que la disposition des arbres peut par exemple l'accélérer localement).

L'arbre urbain joue un rôle prépondérant dans l'ensemble de ces processus à l'origine de l'effet rafraîchissant de la végétation.

Ainsi les houppiers des arbres (la canopée) absorbent et réfléchissent une partie des rayonnements solaires. De ce fait seule une partie du rayonnement est transmise au sol. L'ombre des arbres rafraîchit ainsi l'air sous la canopée et évite à la population d'être soumise à la chaleur directe du plein soleil. D'autre part, l'ombre issue de la végétation évite que les surfaces du sol et des bâtiments accumulent de la chaleur et la dissipent ultérieurement. Ainsi les habitants ressentent également un meilleur confort thermique au sein de leur habitation.

L'évapotranspiration est un processus qui dissipe une partie de l'énergie solaire en flux d'humidité. En s'évaporant, l'eau change de phase et consomme de l'énergie : elle rafraîchit donc l'atmosphère.

Les espèces d'arbres peuvent être discriminées les unes par rapport aux autres en fonction de leur capacité à rafraîchir l'air sur la base de ces deux critères (ombrage et évapotranspiration). En effet des caractéristiques morphologiques et physiologiques spécifiques comme la densité foliaire, la consommation d'eau, ou les dimensions de l'arbre (et en particulier des feuilles et du houppier) vont influencer sa capacité à réguler le climat local. L'influence des arbres sur la circulation aéraulique étant très variable en fonction de leur disposition dans l'espace, ce critère n'a pas été retenu pour discriminer les espèces les unes par rapport aux autres.

La méthodologie retenue a été la suivante :

1. recherche d'un indicateur biophysique du service « régulation du climat local » traduisant de manière globale la capacité des arbres par espèce à contribuer à diminuer localement la température de l'air.

À l'image des travaux menés sur le rôle des arbres dans la régulation de la qualité de l'air, ce type d'indicateur existe mais les données par espèce utilisées pour le construire sont non disponibles (ou non transposables) pour le contexte de l'étude. Cet indicateur global a donc été abandonné.

2. identification de sous-critères morphologiques ou physiologiques (dont la donnée est disponible par espèce) ou « indicateurs d'état » permettant de caractériser la capacité de l'espèce à diminuer la température localement par l'effet d'ombrage et l'évapotranspiration.
3. calcul d'un indicateur global sur la base des indicateurs d'état.
4. renseignement espèce par espèce des indicateurs d'état et calcul de l'indicateur de service.

Les indicateurs d'état de l'arbre par espèce (considérés pour un individu en bonne santé d'âge adulte et dans un contexte urbain) sont identiques à ceux utilisés pour le service de régulation de la qualité de l'air mais pondérés différemment : persistance des feuilles, rugosité des feuilles (présence de poils ou micro-rugosités), nature de l'arbre (conifère ou feuillu), taille moyenne, largeur du houppier, taille des feuilles (fourchette min-max), port de l'arbre, forme des feuilles, densité des feuilles (voir Tableau 5 pour la notation des critères).

Pour construire la note finale sur 10 par espèce, la méthode ELECTRE (voir encart ci-dessus) est de nouveau appliquée en utilisant les pondérations décrites dans la Figure 4.

2.6 - Méthodologie retenue en matière de régulation du climat global

« On admirera cette complémentarité providentielle entre l'arbre et nous : pour sa croissance il n'a besoin que de l'atome de carbone, C, dont il nous débarrasse, et il nous restitue l'oxygène, O₂, indispensable à notre respiration. L'arbre et l'Homme pourraient-ils vivre l'un sans l'autre ? La dissymétrie n'est pas à notre avantage : il n'a nullement besoin de nous, mais nous avons de lui un besoin vital. » (Hallé, 2011)

L'effet de serre est un phénomène naturel indispensable à la vie sur Terre en permettant d'avoir une température moyenne sur terre de 15 °C contre -18°C si cet effet n'existait pas. Toutefois, la concentration des gaz à effet de serre s'est sensiblement modifiée en raison des activités humaines, provoquant un changement climatique global lourd de conséquences (aggravation des phénomènes climatiques extrêmes, crises liées aux ressources alimentaires, augmentation des risques sanitaires, etc.).

Par leur capacité de séquestration du carbone, les végétaux urbains (plus particulièrement les arbres et arbustes), ainsi que les sols, peuvent participer à l'atténuation du réchauffement climatique global. Ils sont alors considérés comme des puits de carbone, qui contribuent à limiter, au moins temporairement, la quantité de CO₂ atmosphérique. Il est important de souligner que les écosystèmes urbains (au même titre que les autres écosystèmes) sont aussi une source de gaz à effet de serre (respiration de la végétation, décomposition de la matière organique).

Au sein de ce service de régulation du climat global joué par les écosystèmes urbains, il convient de distinguer deux sous-catégories : le stockage de carbone et la fixation du carbone.

Le **stockage de carbone** correspond à la masse de carbone déjà capturée par la végétation et les sols. En effet, une partie du carbone absorbée par la végétation et le sol est intégrée dans la matière organique et n'est pas directement relâchée dans l'atmosphère. Il se retrouve stocké dans les compartiments aérien et souterrain de l'écosystème. Soulignons que le stockage du carbone n'est jamais permanent. À titre d'exemple, pendant la phase de sénescence, les végétaux se dégradent et relâchent dans l'atmosphère une partie du carbone qu'ils avaient précédemment stocké par photosynthèse. Bien que le stockage ne soit pas permanent, il contribue à retarder l'effet de serre et à réguler les températures.

La **fixation de carbone** représente, quant à elle, le flux de carbone présent dans un écosystème pendant un temps donné, par exemple une année. Le flux résulte de processus écologiques tels que la photosynthèse, la respiration ou la décomposition de la matière organique dans les sols. En étudiant le flux global d'un végétal sur une année, trois cas de figure peuvent se présenter : fixation du carbone, émission de carbone ou bilan neutre. Cela dépend du rapport entre les fonctions de source (respiration, décomposition) ou puits de carbone (photosynthèse) lors de la période considérée. La quantité de carbone fixée augmente avec le développement du feuillage et la taille de l'arbre. Lorsque celui-ci atteint sa maturité, il ne se développe presque plus et la quantité de carbone fixée se stabilise.

Le taux de fixation et le stockage du carbone dans les arbres dépendent donc des caractéristiques de croissance de l'arbre, des conditions dans lesquels il se trouve et de la densité de matière sèche (bois et feuilles). La fixation est plus importante dans les premiers stades de croissance.

Ces paramètres peuvent être évalués par espèce et donner un indicateur de la capacité des espèces en question à atténuer le changement climatique. Une manière de calculer un indicateur global par espèce consiste à considérer les arbres à l'âge adulte, et à calculer leur volume total de bois et de feuilles par une formule géométrique prenant en compte les dimensions moyennes de l'espèce et des critères morphologiques.

La méthodologie retenue pour discriminer les espèces en fonction de leur capacité à réguler le climat global est donc basée sur le calcul suivant :

1. calcul de la « masse » aérienne totale de l'arbre (masse de bois et de feuilles) par la formule : $W = 8,8 \cdot D^2 \cdot H$ où W est la masse totale en kg, D le diamètre du tronc en cm et H la hauteur de l'arbre en m pour $D < 28\text{cm}$ et $W = 14,7 \cdot D^2 \cdot H$ pour $D > 28\text{cm}$ (Clark, Saucier, & McNab, 1986);
2. calcul de la « masse » totale de l'arbre en considérant la masse du système racinaire comme équivalente à 20 % de la masse aérienne (Clark, Saucier, & McNab, 1986);
3. calcul de la masse sèche totale équivalente à 72,5 % de la masse totale en moyenne (DeWald, Scott, & Erdkamp, 2005) ;
4. calcul de la masse de carbone équivalente à 50 % de la masse sèche en moyenne (Birdsey, 1992) ;
5. calcul de la masse de CO_2 séquestrée dans l'arbre (stockée et fixée à un instant « t ») équivalente à 3,6663 fois la masse de carbone (en prenant en compte les masses molaires respectives du carbone et de l'oxygène) ;

Sur cette base un calcul de séquestration annuelle peut être effectué. Les données d'entrée sont issues de deux types de sources : la taille de l'arbre en m est la même que celle utilisée pour les services de régulation de la qualité de l'air et du climat local, alors que le diamètre de l'arbre est calculé à partir de la base de données publique des arbres de New-York : New York City Street Tree Map, disponible en ligne (New York City, 2019) .

Pour la détermination d'un diamètre de tronc par espèce, une moyenne est effectuée pour les individus adultes, à défaut pour les jeunes individus. On obtient ainsi par exemple : pour le marronnier d'Inde adulte, un diamètre moyen du tronc en milieu urbain de 51 cm et une masse de CO_2 séquestrée de 6 688 kg, ou

encore pour le bouleau adulte un diamètre moyen du tronc en milieu urbain de 26 cm et une masse de CO₂ séquestrée de 1 251 kg.

2.7 - Méthodologie retenue en matière de biodiversité

« *J'aime les jardins qui sentent fort le sauvage.* »

Pierre de Ronsard, réponse aux injures et calomnies, 1563, cité dans (Jullien, 2010)

Les végétaux qui sont installés par l'Homme en milieu urbain ou péri-urbain (aussi bien que ceux qui s'y développent spontanément) servent de support au développement d'autres êtres vivants : végétaux, animaux, champignons.

Dans ce qui suit, on évoquera uniquement l'intérêt en termes de biodiversité des végétaux installés volontairement par l'Homme. Toutefois, il faut préciser ici que de nombreux végétaux s'installent spontanément en ville et contribuent, aux côtés des végétaux souhaités à une « trame du vivant » en milieu urbain. Cette végétation spontanée peut jouer un rôle particulièrement important dans les friches, en termes de continuité écologique notamment (Clément, 2004). Mais même ailleurs, elle constitue une trame discrète.



Figure 5 : Dans une rue de Metz, la végétation spontanée (photo Luc Chrétien, Cerema)

Le rôle de support de biodiversité se manifeste de plusieurs manières (liste non limitative) :

- support au sens propre, pour le repos des oiseaux, insectes, chiroptères, mais aussi la croissance des mousses et des lichens, des plantes parasites comme le gui,
- site de reproduction, de nidification,
- source de collecte de nourriture : fruits, graines, pollen, nectar, mais aussi tiges, feuilles, bourgeons, bois, racines, en tenant compte du fait que cette source de nourriture est apportée à des moments de l'année très différents,
- source indirecte de nourriture, par exemple en permettant le développement de pucerons, qui vont à leur tour jouer un rôle dans la chaîne alimentaire,
- rôle d'abri, par exemple dans les cavités de l'arbre, sous l'écorce, notamment pour les insectes, les oiseaux, les chiroptères,

- interaction privilégiée avec d'autres espèces vivantes : certains insectes par exemple sont spécifiques d'une espèce végétale donnée, alors que d'autres sont liées à un ou plusieurs genres, ou plus généralistes,
- etc.

De par leurs caractéristiques génétiques, morphologiques, chimiques, les différentes espèces de végétaux apportent des services différenciés en matière de biodiversité.

La méthodologie retenue en matière de biodiversité est la suivante :

- 1) recherche d'un indicateur général, à caractère intégrateur, caractérisant l'intérêt d'une espèce végétale en tant que support de biodiversité.
L'idée première était de trouver dans la littérature scientifique un indicateur rendant compte globalement du rôle plus ou moins important que pourrait jouer une espèce végétale dans l'expression de la diversité biologique d'un site. Un tel indicateur n'a pas été trouvé.
- 2) identification de sous-critères permettant de renseigner d'après la littérature, la fourniture de services en termes de biodiversité. Les sous-critères ont vocation à couvrir l'ensemble des phases du cycle de vie des espèces végétales et animales : ainsi l'alimentation, la reproduction, le développement et l'abri sont considérés.
- 3) agglomération des sous-critères pour construire un indice global,
- 4) renseignement espèce par espèce des sous-critères et obtention de l'indice global biodiversité.

Le principe retenu est de noter chaque sous-critère avec une notation positive simple basée sur le principe suivant :

+3	La littérature identifie cette espèce comme jouant un rôle majeur comme support de biodiversité pour le sous-critère considéré, c'est l'une des espèces les plus relevées à ce sujet.
+2	La littérature identifie cette espèce comme jouant un rôle particulier par rapport au sous-critère considéré, nombreuses sources concordantes
+1	La littérature identifie cette espèce comme jouant un rôle par rapport au sous-critère considéré
0	La littérature ne permet pas d'identifier l'espèce comme jouant un rôle particulier vis-à-vis de ce sous-critère

Ce principe de notation positive est retenu car on considère ici que la simple présence d'un végétal constitue a priori un intérêt en termes de biodiversité dans un espace urbain, quel que soit ce végétal. Deux exceptions peuvent être considérées pouvant conduire à des notations négatives :

- Les espèces reconnues comme exotiques envahissantes jouent un rôle négatif en termes de préservation de la biodiversité (Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer, en charge des négociations sur le climat, 2017). Elles suscitent donc ici une note négative, bien qu'en pratique les espèces exotiques envahissantes aient été généralement exclues du panel d'espèces retenues.
- Dans certains cas particuliers, des espèces peuvent constituer des pièges écologiques. On peut citer le cas – controversé – de la mortalité des Apidés liée à la présence de *Tilia tomentosa* (Tilleul argenté). Toutefois aucun cas équivalent n'a été observé dans les espèces retenues.

2.7.1 - Caractère indigène – exogène

Les espèces indigènes¹⁰ ont tissé au fil des siècles des liens étroits avec les autres espèces composant leur environnement.

¹⁰ Une espèce est considérée comme indigène dans un territoire donné, si ce territoire est situé dans l'aire de répartition naturelle de cette espèce (Meyer in (Roloff, 2016))

Toutefois, les espèces exogènes n'ont pas en elles-mêmes d'effet négatif sur leur environnement. Il faut de ce point de vue mettre à part le cas des espèces exotiques reconnues comme envahissantes, qui peuvent avoir un effet négatif en termes de diversité biologique et de services écosystémiques.

Enfin, le cas de certaines espèces naturalisées¹¹ a été examiné, mais le caractère naturalisé, qui correspond à l'aptitude à se reproduire sans assistance humaine, est peu pertinent en milieu urbain, et sans corrélation directe avec l'intérêt en termes de biodiversité. La distinction des espèces naturalisées n'a finalement pas été retenue.



Photo Nadia Aubry, Cerema

La littérature abonde de références plus ou moins argumentées, visant à favoriser les espèces indigènes, ou bien évoquant l'intérêt des espèces exogènes :

- Ainsi, Shackleton met en évidence dans un espace urbain sud-africain, une utilisation significativement supérieure des arbres indigènes, par rapport aux arbres exogènes présents, par les oiseaux (Shackleton, 2016),
- Dans un contexte de changement climatique et de conditions de vie très difficiles pour les végétaux en milieu urbain, la recherche de « nouvelles » espèces peut présenter un intérêt pour adapter la « forêt urbaine » à des conditions particulièrement ardues,
- L'utilisation d'une « nouvelle » espèce exotique induit un risque de diffusion d'une nouvelle espèce potentiellement envahissante (Roloff, 2016).

L'Eurométropole de Strasbourg, dans son remarquable fascicule « plantons local » (Eurométropole de Strasbourg, 2013), n'exclut pas la plantation de certaines espèces exogènes à des fins de biodiversité :

¹¹ Une espèce est naturalisée dans une aire donnée, si les conditions locales lui permettent de se reproduire sans assistance humaine (Meyer in (Roloff, 2016)) ; le Marronnier d'Inde est considéré comme tel.

certaines sont riches en nectar, certaines sont des plantes hôtes, d'autres encore ont une période de floraison tardive, très favorable aux pollinisateurs.

Les échanges menés dans le cadre de cette étude, avec des entomologistes locaux (Société lorraine d'entomologie) et avec le Conseil d'Architecture, d'Urbanisme et de l'Environnement de Seine-et-Marne (M. Bonnardot) permettent de nuancer l'intérêt relatif des espèces indigènes par rapport aux espèces exogènes. Les relations des espèces indigènes utilisées en foresterie avec l'entomofaune locale par exemple sont bien connues, alors que les interactions entre les espèces exogènes et l'entomofaune locale le sont mal : les essences exotiques n'ont pas été introduites avec tout leur cortège d'insectes associés mais ne seraient-elles vraiment pas compatibles avec l'entomofaune indigène ? Peut-on facilement comparer les connaissances importantes que nous avons de l'entomofaune des chênes indigènes, avec les informations très partielles que nous avons de l'utilisation, par exemple du Catalpa par la faune locale ?

Précisons enfin qu'on s'intéresse ici au choix des espèces en contexte urbain et péri-urbain, en milieu rural la balance devrait d'autant plus pencher vers les espèces indigènes, que le milieu dans lequel on intervient est exempt d'espèces exogènes.

En milieu urbain, l'utilisation d'espèces locales est souhaitable, toutefois le panel d'espèces locales disponibles et adaptées aux conditions particulières du lieu, et aux conditions difficiles du milieu urbain en général fait qu'un panachage d'espèces locales et non locales paraît raisonnable. Sans disposer d'éléments scientifiques l'étayant, il paraît plausible d'utiliser un « bouquet » d'espèces dont au moins un tiers soient locales.

Après échange avec le comité de pilotage, il est acquis de ne pas donner un poids important à ce sous-critère ; en milieu urbain de nombreuses espèces exogènes peuvent contribuer notablement à l'offre de nourriture ou d'abri, par exemple, de la faune en général.

Ici, le territoire de référence pour considérer les espèces exogènes ou indigènes, est le plateau lorrain.

valeurs	espèce autochtone	+2
	espèce allochtone	0
	exotique à surveiller	-2
	invasive potentielle	-3
	invasive avérée	-5

Tableau 6 : Sous-critère A : indigène – exogène ; source : (Bonassi, Cartier, & Courte, 2015)

2.7.2 - Recommandation par guides locaux en faveur de la biodiversité

Des acteurs locaux ont édicté des guides de plantation visant à valoriser les espèces ligneuses dont la plantation améliore la biodiversité. Ces guides, s'ils mettent en avant les espèces autochtones, évoquent aussi certaines espèces exotiques particulièrement favorables, par exemple, à l'alimentation de la faune.

Les guides pris en compte sont les suivants :

- guide pratique fleurs, arbres et arbustes du nord-est de la France, PNR Lorraine, Ballons des Vosges, Vosges du nord (Parcs Naturels Régionaux de Lorraine, 2012),
- note refuges LPO (ligue de Protection des Oiseaux, non daté)

valeurs	espèce citée dans le guide PNR et dans le guide LPO	+2
	espèce citée dans le guide PNR ou dans le guide LPO	+1
	espèce non citée	0

Tableau 7 : Sous-critère B : recommandation par guides locaux en faveur de la biodiversité

2.7.3 – Nombre d'espèces d'insectes associées

Le nombre d'espèces d'insectes associées à une espèce ligneuse est pris ici comme un indicateur général de la biodiversité susceptible d'être en lien avec cette espèce.



Elevage de pucerons par une fourmi sur un Saule blanc (photo Luc Chrétien, Cerema)

Ce sous-critère est à examiner avec les réserves suivantes :

- il s'agit de valeurs théoriques, une partie des espèces d'insectes concernées n'étant pas forcément susceptibles de prospérer en milieu urbain ou péri-urbain,
- pour certaines espèces, les sources sont disparates ou absentes.

Ce sous critère est donc à considérer comme une ébauche qui mériterait d'être appuyée par des données scientifiques systématiques.

valeurs	Espèce associée d'après la littérature à plus de 100 espèces d'insectes	+3
	Espèce associée d'après la littérature à plus de 20 espèces d'insectes	+2
	Espèce associée d'après la littérature à plus de 10 espèces d'insectes	+1
	Pas de références trouvées ou faible nombre d'espèces	0

Tableau 8 : Sous-critère C : nombre d'espèces d'insectes associées

2.7.4 – Éléments comestibles pour l'avifaune et la moyenne faune

Il s'agit ici sur la base de critères morphologiques, d'identifier les espèces fournissant une nourriture favorable aux oiseaux et à la moyenne faune.

Sont considérés ici comme des éléments favorables :

- la production de nourriture en abondance et en qualité, qu'il s'agisse de fruits charnus ou non,
- la production tardive ou précoce de ces aliments, susceptible de favoriser la faune pendant les périodes difficiles de l'année.

L'indice ne repose pas sur des données quantifiées mais sur des données qualitatives issues de la littérature.

valeurs	espèce apportant une source de nourriture à la faune, particulièrement importante et/ou appréciée et/ou précoce ou tardive.	+3
	espèce dont les fruits sont assez abondants et généralement appréciés par la faune.	+2
	espèce produisant des fruits pouvant entrer notablement dans l'alimentation de la faune.	+1
	espèce présentant peu d'intérêt de ce point de vue, relevé dans la littérature.	0

Tableau 9 : Sous-critère D : éléments comestibles pour l'avifaune et la moyenne faune

2.7.5 – intérêt pour les pollinisateurs

Ce sous-critère repose sur la capacité de l'espèce à produire un nectar et un pollen, à la fois en quantité, et en qualité, susceptible d'attirer les pollinisateurs.

Les pollinisateurs visés ici sont les pollinisateurs sauvages, l'indice n'est pas focalisé sur l'abeille domestique. Les groupes concernés sont en premier lieu les Hyménoptères (guêpes, abeilles) et les Lépidoptères (Papillons), mais on trouve aussi des Syrphes ou des Coléoptères parmi les pollinisateurs sauvages.

selon la bibliographie, espèce parmi les plus attractives pour les pollinisateurs.	+3
espèce citée dans la littérature comme produisant nectar et pollen en quantité importante et/ou particulièrement attractifs pour les pollinisateurs.	+2
espèce citée dans la littérature comme favorable aux pollinisateurs.	+1
espèce présentant peu d'intérêt de ce point de vue, relevé dans la littérature.	0

Tableau 10 : Sous-critère E : intérêt pour les pollinisateurs

L'examen de ce sous-critère a permis en particulier, par principe de précaution, l'exclusion de *Tilia tomentosa* (le Tilleul argenté) de la liste des espèces retenues dans l'étude. Bien que discuté, l'effet négatif de cette espèce sur les populations d'Apidés (bourdons en particulier) semble avéré (Rasmont, 2010).

2.7.6 – intérêt pour les Lépidoptères (biomasse)

Ce sous-critère repose sur la capacité de l'espèce à attirer les Lépidoptères. Il s'agit en particulier de l'apport de biomasse pour la croissance des chenilles.

Ce sous-critère a été ajouté bien que le précédent concerne également en partie les lépidoptères. Il intègre un besoin supplémentaire concernant les Lépidoptères, qui est en général un besoin de biomasse très important pour la croissance des chenilles.

Certaines espèces de Lépidoptères sont très spécifiques et associées à une seule espèce végétale, d'autres sont beaucoup plus généralistes.

selon la bibliographie, espèce parmi les plus attractives pour les papillons.	+3
espèce citée dans la littérature comme source de nourriture pour de nombreuses espèces de papillons, notamment source de biomasse pour les chenilles.	+2
espèce citée dans la littérature comme favorable aux papillons, notamment le développement des chenilles.	+1
espèce présentant peu d'intérêt de ce point de vue, relevé dans la littérature.	0

Tableau 11 : Sous-critère F : Intérêt pour les Lépidoptères (biomasse)

2.7.7 – Capacité à générer des habitats et gîtes pour la faune (hors chiroptères) – rôle de « plante hôte »

Différents éléments de la morphologie des végétaux peuvent contribuer à générer des habitats pour la faune :

- un buisson très touffu : sites d'abri, de nidification,
- un houppier très fourni en branches : sites d'abri et de nidification,
- une écorce qui se délite, offrant abri à de nombreux insectes,
- caractère gainant d'une plante grimpante qui va offrir une multitude d'abris à la faune,
- etc.



Figure 6 : Ce lierre qui gaine complètement le tronc de son support, offre un abri à une faune diversifiée. Le Lierre se sert de l'arbre comme support et ne lui porte pas atteinte (photo Cerema).

Ce sous-critère n'inclut pas la capacité à accueillir des gîtes propices aux chauves-souris, qui est traitée dans le sous-critère H.

espèce citée dans la littérature comme offrant un abri particulièrement recherché pour la faune : buissons denses, houppier protecteur, etc.	+2
espèce dont la morphologie peut offrir un abri, de nature variable, à la faune.	+1
espèce présentant peu d'intérêt de ce point de vue, relevé dans la littérature.	0

Tableau 12 : Sous-critère G : capacité à générer des habitats et gîtes pour la faune (hors chiroptères) – rôle de « plante hôte »

2.7.8 – Intérêt en tant qu'arbre-gîte pour les chiroptères

La capacité d'un arbre à accueillir un gîte de chiroptères dépend de nombreux facteurs : âge, situation, orientation, situation par rapport aux territoires de chasse...

Toutefois, certaines espèces de par leur morphologie semblent plus susceptibles de générer des gîtes favorables aux Chiroptères.

L'approche serait à compléter sur la base de données d'associations spécialisées, sur la base de relevés de terrain.

espèce générant de nombreux arbres-gîtes pour les chiroptères	+3
espèce générant des arbres-gîtes pour les chiroptères	+2
espèces citées dans la littérature (ou comm. pers.) pour leur intérêt.	+1
espèce présentant peu d'intérêt de ce point de vue, relevé dans la littérature.	0

Tableau 13 : Sous-critère H : intérêt en tant qu'arbre-gîte pour les chiroptères

2.7.9 – Capacité à accueillir des populations de lichens diversifiés

Ce sous-critère est destiné à aborder la diversité végétale induite par les ligneux, alors que tous les autres sous-critères intègrent la diversité faunistique.

L'intégration d'un sous-critère « non faunistique » correspond à une demande expresse du comité de pilotage. Les lichens sont le groupe qui a été examiné, car nous présumons qu'en raison de leur intérêt en tant qu'indicateurs de la qualité de l'air, il serait possible de travailler à partir de données permettant de lier les populations de lichens aux populations d'arbres.

Le sous-critère repose sur les données aimablement communiquées par Atmo-Grand Est.

Ces données font ressortir entre autres :

- l'intérêt des fruitiers, en tant que support de populations lichéniques abondantes et diversifiées,
- l'intérêt, entre autres, des peupliers, érables, frênes,
- le faible intérêt des espèces qui renouvellent rapidement leur écorce, comme le bouleau et le platane,
- la faible diversité pour les espèces résineuses.

espèces susceptibles de porter des populations les plus abondantes et variées de lichens : fruitiers, peupliers.	+3
espèces susceptibles de porter des populations abondantes et variées de lichens : érables et frênes.	+2
autres espèces feuillues	+1
espèces a priori peu susceptibles de développer des populations abondantes et variées de lichens : platane, bouleaux, résineux	0

Tableau 14 : Sous-critère I : capacité à accueillir des populations de lichens diversifiées

Les données rassemblées montrent très nettement un effet « espèce ». Toutefois, le nombre d'individus relativement réduit sur lequel portent les données impliquerait de conforter ces données par d'autres cortèges. Par ailleurs, le nombre d'espèces de lichens portées par les arbres reste une approche simplificatrice : toutes les espèces de lichens n'ont pas forcément la même valeur patrimoniale. Il constitue toutefois un indicateur de biodiversité.

2.7.10 – Synthèse

Le critère biodiversité est renseigné par la somme des sous-critères A à I. La valeur obtenue est théoriquement comprise entre -5 et 24, mais en pratique de 0 à 20. Par cohérence avec les autres critères, le critère biodiversité est ramené sur une échelle de 0 à 10. Les espèces pour lesquelles de très bonnes références favorables ont été identifiées, obtiennent une valeur de 10. Celles pour lesquelles aucun élément favorable n'a été trouvé obtiennent une valeur de 0. Il est rappelé toutefois que ces espèces restent elles aussi, favorables à l'expression de la biodiversité en milieu urbain, de manière générale. On peut rappeler également ici, l'importance des incertitudes et inconnues en la matière, en particulier pour les espèces exogènes.

2.7.11 – Limites de l'approche

La méthodologie détaillée ci-dessus présente un certain nombre de limites qui sont énumérées ci-après :

- elle est essentiellement qualitative, chaque note accordée à un sous-critère résultant d'une appréciation au regard des sources disponibles, comportant forcément un effet observateur notable,
- les notes de -5 à +2, 0 à +2 ou 0 à +3 pondèrent de fait les différents sous-critères entre eux, sans qu'il soit aisé d'argumenter cette pondération.
- pour un sous-critère donné, l'absence de données se caractérise par une appréciation de 0. Cette approche reste toutefois cohérente, si l'on considère que dans chaque sous-critère sont appréciés les éléments qui constituent des atouts en termes de biodiversité ; une valeur de 0 n'est donc pas considérée comme un effet défavorable à la biodiversité.

2.8 - Méthodologie retenue en matière de Paysage et cadre de vie





Rôle des végétaux dans le paysage :

En termes de paysage, quatre services ou rôles principaux peuvent être attribués au végétal dans l'espace public. On peut les définir comme constituant un apport significatif en termes de qualité de cadre de vie pour les usagers de l'espace public et les riverains.

Ces services reposent sur des critères qualitatifs au regard de la perception de l'espace, de la perception d'une ambiance, d'un bien-être généré et de l'inscription dans l'histoire et les pratiques locales. Chaque

rôle implique de répondre à des critères qualitatifs bien spécifiques. Le tableau ci-dessous définit ces attendus en termes de services paysagers et précise les caractéristiques ou les conditions pour y répondre.

Tableau 15 : Définition des principaux rôles paysagers

Rôles	Définition	Critères / conditions
Structurer, composer l'espace avec le végétal 	<ul style="list-style-type: none"> - Contribution à la composition urbaine - Délimitation des espaces, création d'écrans ou de filtres... - Organisation et hiérarchisation des espaces - Articulation entre échelle du bâti et échelle humaine - Contribution à une unité d'ensemble, une cohérence - Mise en scène, création de perspectives - Orientation des points de vue, balisage des déplacements - Création d'un rythme dans le parcours 	Densité du feuillage Persistance en fonction de la structuration de l'espace souhaitée Régularité du houppier Rapport d'échelle Capacité à supporter la taille Architecture harmonieuse
Animer l'espace, qualifier une ambiance 	<ul style="list-style-type: none"> - Création d'ambiance - Embellissement des espaces pour faciliter la convivialité (lieu de rencontre, espaces pédagogiques et récréatifs, implication citoyenne et scolaire...) - Rendre attractif les circulations modes actifs - Marquage des saisons - Signalement d'un événement, d'un espace, une architecture, un petit patrimoine particulier - Eveil des sens 	Caractères remarquables Variations saisonnières : floraison, fructification, bois remarquable, couleurs automnales Texture et graphisme du feuillage Bruit du feuillage Ampleur et aspect majestueux Luminosité du feuillage
Apporter du confort ou de la sécurité 	<ul style="list-style-type: none"> - Créer des abris (vent, poussière, soleil, pluie...) - Créer un ombrage l'été, réduire l'éblouissement - S'isoler de la circulation, du trafic (bruit, vue et pollution) - Contribution au bien-être en ville et à la santé physique (pratiquer une activité physique) et mentale (se ressourcer) 	Densité et compacité du feuillage Qualité de l'ombre et lumière Absence d'éléments blessant
Symboliser et conforter une identité 	<ul style="list-style-type: none"> - Contribution au sentiment d'appartenance, à l'identité culturelle du lieu, de la région - Evocation d'un milieu - Expérimentation, pédagogie, contribution à la connaissance, à l'histoire locale, à la symbolique du lieu 	Patrimoine local Symbolique végétale Popularité

Il n'y pas du point de vue du paysage de bonnes ou de mauvaises espèces, mais des espèces plus ou moins adaptées en fonction d'un contexte très urbanisé à peu urbanisé, minéralisé ou non ainsi qu'à une situation de plantation et d'entretien allant de confortable pour l'espèce à très contrainte. C'est aussi à la maîtrise d'ouvrage ou au concepteur de faire le choix d'une ambiance ou d'un parti pris d'aménagement prenant en compte la valorisation de l'arbre et de ses conditions de bon développement en toute harmonie avec le lieu. Cette approche implique de s'interroger sur le lieu, ses contraintes au même titre que l'ambiance et le confort que l'on souhaite apporter à la pratique des lieux.

Le type d'espace est donc déterminant.

Identification des principales typologies d'espaces publics et définitions

Douze typologies d'espaces publics ont été identifiées. Ces typologies sont définies par :





- un pictogramme, que l'on retrouvera dans les 'fiches espèce'. La présence d'une typologie signalera que l'espèce est appropriée à ce type d'espace,
- le rôle spécifique du végétal attendu pour chaque typologie,
- le type de mise en situation sur l'espace public et les conditions de plantation pour que la croissance et l'entretien soient optimaux.
- les contraintes ou exigences principales, imposées aux végétaux par chacune des typologies.

L'entrée par typologie d'espace permet aux services techniques de cibler rapidement dans quel contexte et quelles contraintes l'espèce va devoir évoluer. L'objectif est de garantir au regard du contexte local, des conditions de plantation, de la croissance et des conditions d'entretien, à la fois la longévité de l'espèce, le respect de ses caractéristiques et sa contribution à la qualité de vie en milieu urbanisé.


Il s'agit de répondre à la question : quelle typologie d'espace les services, ou le concepteur, envisagent-ils de végétaliser ? Un choix parmi 12 typologies proposées, permet alors d'identifier les critères les plus pertinents en termes de rôles à jouer mais aussi les critères sélectifs en termes de contraintes de milieu ou d'exigence.




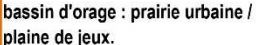
Une fois la typologie exprimée, il sera possible d'arbitrer sur les priorités à retenir.

Tableau 16 : Tableau de croisement des espèces et des typologies d'espaces

Typologie	Pictogramme de principe	Rôle recherché	Caractéristiques de l'espace et de ses usages : pressions exercées sur le végétal	Points de vigilance dans le choix de l'espèce
1 Voirie urbaine  Avenue / rue résidentielle / rue commerçante / ceinture de ville / boulevard...		Structurer l'espace Donner une limite, une échelle Donner un repère Conforter une identité	Milieu le plus souvent contraint par : Caractéristiques des aménagements _ Une largeur de la rue limitée _ Un espace disponible entre chaussée et façade réduit _ L'échelle (espace, bâti...) _ Une présence de réseaux sous terrains, parfois aériens _ Une minéralisation / imperméabilisation du sol Impacts des usages / de l'entretien _ Des passages de véhicules _ Des circulations de piétons et cycles, des piélinements _ Des stationnements _ Une pollution de l'air et du sol _ Des dépôts divers _ Un risque de blessure Phénomènes liés au contexte _ Des courants d'air _ Des ombres portées du bâti _ La chaleur et une sécheresse de l'air _ Des phénomènes de réverbération	_ Une envergure et une hauteur de l'espèce à l'âge adulte adaptées à l'espace disponible _ Une taille à l'âge adulte en cohérence avec l'échelle et l'ambiance de l'espace et du bâti _ Un type de racinaire adapté (traçant, pivotant ?) _ Une résistance à la pollution (air et sol) _ L'absence de miellat et de fruits pouvant causer des dommages ou de l'inconfort _ Une facilité d'entretien et de taille _ L'absence de sensibilité au vent (branches cassantes) _ Type de revêtement (minéral : imperméabilisation du sol sécheresse) _ Eviter l'ombre portée sur les façades en l'hiver (persistants) _ Une résistance à la chaleur et à la sécheresse de l'air _ Peu émetteur de pollen
2 Voirie périurbaine à inter urbaine  Entrée de ville : avenue / quartier résidentiel / Zone d'activités économiques / Terre Plein Central / rond-point... Peut être doublé d'une piste cyclable		Structurer l'espace Donner une limite, créer un écran, un filtre Animer donner un repère	Milieu le plus souvent contraint par : Caractéristiques des aménagements _ Une largeur de la rue variable _ Un espace disponible de plantation qui peut être réduit _ Une échelle à prendre en compte (espace, bâti, perspective...) _ Une présence de réseaux sous terrains, parfois aériens _ Une minéralisation / imperméabilisation du sol + bordures Impacts des usages / de l'entretien _ Des passages de véhicules _ Des circulations de piétons et cycles, des piélinements _ Des stationnements intempestifs _ Une pollution de l'air et du sol (déplacements, industrie,...) _ Des dépôts divers _ Un risque de blessure _ Une nécessité de taille drastique (arbustes sur terre plein central) Phénomènes liés au contexte _ La chaleur et une sécheresse de l'air _ La concurrence entre espèces dans les compositions mixtes	_ Une envergure et une hauteur de l'espèce à l'âge adulte adaptées à l'espace disponible _ Une taille à l'âge adulte en cohérence avec l'échelle et l'ambiance de l'espace et du bâti _ Un type de racinaire adapté (traçant, pivotant ?) _ Une résistance à la pollution (air et sol) _ L'absence de fruits pouvant causer des dommages ou de l'inconfort _ Une facilité d'entretien et de taille notamment en termes d'accès _ L'absence de sensibilité au vent (branches cassantes) _ Adapté au type de revêtement (si non engazonné) et résistance à l'imperméabilisation du sol (sécheresse et compactage) _ Une résistance à la chaleur et à la sécheresse de l'air _ Peu émetteur de pollen (si milieu urbanisé)

Typologie	Pictogramme de principe	Rôle recherché	Caractéristiques de l'espace et de ses usages : pressions exercées sur le végétal	Points de vigilance dans le choix de l'espèce
3 Stationnement  Secteur urbain et péri urbain / ZAE / équipements / parking relais en peigne ou mail.		Structurer l'espace Donner une limite, créer un écran ou un filtre Apporter du confort	Milieu le plus souvent contraint par : Caractéristiques des aménagements _ Un espace de plantation réduit (un arbre = une place de stationnement en moins...) _ Un rapport d'échelle (espace et type de stationnement) à prendre en compte _ La présence de réseaux sous terrains, parfois aériens _ Une forte minéralisation / imperméabilisation du sol Impacts des usages / de l'entretien _ Recherche d'ombre _ Des passages de véhicules _ Des circulations de piétons et cycles, des piétinements _ Du stationnements permanents avec risque de chocs et blessures _ Une forte pollution de l'air et du sol _ Des dépôts divers Phénomènes liés au contexte _ La chaleur et une sécheresse de l'air _ Des phénomènes de réverbération _ La sécheresse et la pauvreté des sols	_ Une envergure et une hauteur de l'espèce à l'âge adulte adaptées à l'espace disponible _ Une taille à l'âge adulte en cohérence avec l'échelle et l'ambiance de l'espace et du bâti (si bâti à proximité) _ Un type de racinaire adapté (pas de racinaire traçant) et sensible au roulement _ Une résistance à la pollution (air et sol) _ L'absence de miellat et de fruits pouvant causer des dommages _ Une facilité d'entretien et de taille _ Peu sensible au vent (branches cassantes) _ Densité du feuillage _ Port adapté _ Type de revêtement (minéral : imperméabilisation du sol sécheresse) _ Une résistance à la chaleur et à la sécheresse de l'air _ Peu exigeant sur la qualité du sol
4 Espaces intermédiaires  Porte de ville / espaces interstitiels : vide urbain ou espaces résiduels / grands ensembles.		Animer l'espace, le qualifier Apporter du confort (Re)Structurer l'espace	Milieu le plus souvent contraint par : Caractéristiques des aménagements _ Un espace limité _ Des espaces de tailles et de formes variables, morcelés _ Une proximité avec le bâti _ L'échelle de l'espace et du bâti _ Des réseaux sous terrains, parfois aériens _ Une minéralisation / imperméabilisation du sol Impacts des usages / de l'entretien _ Des circulations de piétons et cycles, des piétinements _ Des stationnements intempestifs _ Une pollution de l'air et du sol _ Des dépôts divers _ Un risque de blessure Phénomènes liés au contexte _ Des courants d'air _ Des ombres portées du bâti sur les végétaux _ La chaleur et une sécheresse de l'air _ Des phénomènes de réverbération _ Une mauvaise image de l'espace, perçu comme résiduel	_ Une envergure et une hauteur de l'espèce à l'âge adulte adaptées à l'espace disponible _ Une taille à l'âge adulte en cohérence avec l'échelle et l'ambiance de l'espace et du bâti (si bâti à proximité) _ Un type de racinaire adapté (pas de racinaire traçant hors pelouse ou massif) _ une résistance à la pollution (air et sol) _ l'absence de fruits pouvant causer des dommages ou fruits toxiques _ une facilité d'entretien et de taille _ Peu sensible au vent (branches cassantes) _ une qualité ornementale _ Type de revêtement (minéral : imperméabilisation du sol sécheresse) _ Une résistance à la chaleur et à la sécheresse de l'air _ Peu exigeant sur la qualité du sol
5 Place  / esplanade / terrasse / quai / allée.		Structurer l'espace Donner une échelle Participer à la composition urbaine Apporter du confort Animer et qualifier Jouer sur la symbolique	Milieu le plus souvent contraint par : Caractéristiques des aménagements _ L'échelle (espace, bâti...) _ Présence de réseaux sous terrains, parfois aériens _ Une minéralisation / imperméabilisation du sol _ Présence de mobilier urbain Impacts des usages / de l'entretien _ Des circulations de piétons et cycles, des piétinements _ Des stationnements intempestifs _ Une pollution de l'air et du sol _ Des dépôts divers _ Un risque de blessure (passages, animations temporaires...) _ Une recherche d'ombre Phénomènes liés au contexte _ Des courants d'air ou poids de la neige (pour les persistants) _ Des ombres portées du bâti _ La chaleur et une sécheresse de l'air _ Un fort éclairage nocturne	_ Une envergure adaptée à l'échelle de la place _ Un type de racinaire adapté (pas de racinaire traçant si revêtement dur ou maçonnerie) _ Une résistance à la pollution (air et sol) _ L'absence de fruits pouvant causer des dommages ou fruits toxiques _ Une facilité d'entretien et de taille _ Peu sensible au vent (branches cassantes) _ Une qualité ornementale (architecture, port, particularités...) _ Une qualité d'ombrage _ Une résistance au type de revêtement (minéral : imperméabilisation du sol sécheresse) _ Une résistance à la chaleur et à la sécheresse de l'air _ Peu exigeant sur la qualité du sol

Typologie	Pictogramme de principe	Rôle recherché	Caractéristiques de l'espace et de ses usages : pressions exercées sur le végétal	Points de vigilance dans le choix de l'espèce
6 Placette  / place de quartier / place de village ou parvis.		_ Donner une identité, _ Animer l'espace, _ mettre en valeur le lieu (architecture, élément du patrimoine) _ Apporter du confort	Milieu le plus souvent contraint par : Caractéristiques des aménagements _ L'échelle (espace, bâti...) _ Présence de réseaux sous terrains, parfois aériens _ Une minéralisation / imperméabilisation du sol _ Présence de mobilier urbain Impacts des usages / de l'entretien _ Des circulations de piétons et cycles, des piétinements, des séjours _ Des stationnements intenses _ Une pollution de l'air et du sol (si place de quartier en milieu très urbain) _ Des dépôts divers _ Un risque de blessures (passages, animations temporaires...) Phénomènes liés au contexte _ Des courants d'air _ Des ombres portées du bâti _ La chaleur et une sécheresse de l'air _ Un fort éclairage nocturne	→ Une envergure adaptée à l'échelle de la place _ Un type de racinaire adapté (pas de racinaire traçant si revêtement dur ou risque de stationnement) → Une résistance à la pollution (air et sol) _ L'absence de fruits pouvant causer des dommages ou fruits toxiques _ Peu sensible au vent (branches cassantes) _ Résistant aux piétinements _ Une qualité ornementale (architecture, particularités) voire symbolique _ Une qualité d'ombrage → Une résistance à la chaleur et à la sécheresse de l'air et du sol _ Peu exigeant sur la qualité du sol
7 Parc  jardin / cimetière.		_ Structurer l'espace, _ composer des espaces _ Animer et, donner des ambiances _ Apporter du confort _ Jouer la symbolique et donner une identité _ Rôle pédagogique	Milieu le plus souvent contraint par : Caractéristiques des aménagements _ Plantation sur surface engazonnée _ Mixité des espèces et des formes Impacts des usages / de l'entretien _ Des circulations de piétons et cycles, des piétinements, des séjours _ Une pollution de l'air et du sol (si parc de quartier en milieu très urbain) _ Un risque de blessures (passages, animations temporaires, cueillette...) Phénomènes liés au contexte _ La chaleur et une sécheresse de l'air l'été _ Une concurrence entre espèce _ Vent, courants d'air, gel et humidité l'hiver _ Concentration de pollen	→ Une envergure adaptée à l'échelle du parc et des espaces qui le composent _ Un racinaire et une envergure adaptée si éléments maçonnés → Une résistance à la pollution (air et sol si parc urbain et sol pollué) _ L'absence de fruits toxiques _ Une qualité ornementale (architecture, diversité, particularité, aspect pédagogique...) voire symbolique _ Une qualité d'ombrage → Une résistance à la chaleur et à la sécheresse de l'air et du sol
8 Cours  square, aire de jeux		_ Créer des limites, des écrans _ Apporter des ambiances _ Apporter du confort _ Pour un rôle d'ambiance, de confort de limite. _ Rôle pédagogique	Milieu le plus souvent contraint par : Caractéristiques des aménagements _ Plantation sur surface engazonnée ou minérale _ Mixité des espèces et des formes _ L'échelle de l'espace _ Le type de revêtement, le mobilier et les jeux Impacts des usages / de l'entretien _ Des circulations, des piétinements, des séjours (cachette dans le buissons) _ Une pollution de l'air et du sol (si place de quartier en milieu très urbain) _ Un risque de blessure (passages, animations temporaires, cueillette...) _ Ombre recherchée _ Perméabilité des vues (limite visuelle avec la rue) Phénomènes liés au contexte _ La chaleur et une sécheresse de l'air l'été _ Courant d'air ou humidité l'hiver _ Concentration de pollen _ Une concurrence entre espèce	→ Une envergure adaptée à l'échelle du square et des espaces qui le composent _ Un racinaire et une envergure adaptée si éléments maçonnés _ Une adaptation à la taille drastique (notamment pour les arbustes menés en haie séparative) → Une résistance à la pollution (air et sol) _ L'absence de fruits pouvant causer des dommages ou fruits toxiques _ Peu sensible au vent et sujet aux branches cassantes _ Une qualité ornementale et espèce locale _ Une qualité d'ombrage → Une résistance à la chaleur et à la sécheresse de l'air et du sol _ Peu émetteur de pollen _ Bon brise vent si risque de courant d'air

Typologie	Pictogramme de principe	Rôle recherché	Caractéristiques de l'espace et de ses usages : pressions exercées sur le végétal	Points de vigilance dans le choix de l'espèce
9 Usours communaux. 		Renforcer l'identité Animer, rendre convivial Donner du confort	Milieu le plus souvent contraint par : Caractéristiques des aménagements _ Plantation sur surface engazonnée ou minérale _ Echelle (petit espace ouvert devant bâti) _ Impacts des usages / de l'entretien _ Des circulations, jeux _ Stationnement possible _ Espaces privatifs, entretien et choix des végétaux appartenant parfois aux propriétaires _ Phénomènes liés au contexte _ concentration de pollen	<div>→</div> _ Une envergure adaptée à l'échelle de l'usoir _ Adapté à la taille _ <div>→</div> _ L'absence de fruits toxiques _ Peu sensible au vent et sujet aux branches cassantes _ Une qualité ornementale _ Une qualité d'ombrage _ Popularité de l'espèce (espèce locale typique des jardins lorrains) _ <div>→</div> _ Une résistance à la chaleur et à la sécheresse de l'air et du sol _ Peu émetteur de pollen _ Bon brise vent si risque de courant d'air
10 Pistes cyclables / cheminement piéton / venelle. 		Structurer, créer un écran, une limite pour protéger Apporter du confort Créer des ambiances pour rythmer le parcours	Milieu le plus souvent contraint par : Caractéristiques des aménagements _ Un espace disponible de plantation qui peut être réduit _ Présence de réseaux sous terrains, parfois aériens _ Une minéralisation / imperméabilisation du sol _ Impacts des usages / de l'entretien _ Des passages de véhicules _ Des circulations cycles _ Une pollution de l'air et du sol (déplacements, industrie...) _ Des dépôts divers _ Un risque de blessures _ Une nécessité de taille drastique _ Phénomènes liés au contexte _ La chaleur et une sécheresse de l'air _ La concurrence entre espèce dans les compositions mixtes _ Concentration de pollen	<div>→</div> _ Une envergure de l'espèce à l'âge adulte adaptée à l'espace disponible _ Une taille à l'âge adulte en cohérence avec l'échelle et l'ambiance de l'espace _ Un type de racinaire adapté _ <div>→</div> _ Une résistance à la pollution (air et sol) _ L'absence de fruits pouvant causer des dommages ou de l'inconfort _ Une facilité d'entretien et de taille _ Peu sensible au vent (branches cassantes) _ Une qualité ornementale _ Bon brise vent _ <div>→</div> _ une résistance à la chaleur et à la sécheresse de l'air _ Peu émetteur de pollen
11 Berges de cours d'eau  canal / chemin de halage		Structurer, accompagner la trame bleue, le canal, le cheminement Créer une ambiance Animer la promenade Apporter du confort Apporter une identité, jouer sur la symbolique	Milieu le plus souvent contraint par : Caractéristiques des aménagements _ Un espace disponible de plantation qui peut être réduit _ Des berges maçonnées _ Impacts des usages / de l'entretien _ Des circulations piétons et des cycles _ Des blessures possibles _ Phénomènes liés au contexte _ La chaleur et une sécheresse de l'air	<div>→</div> _ Une envergure de l'espèce à l'âge adulte adaptée à l'espace disponible _ Un type de racinaire adapté _ Belle proportion avec le canal ou le cours d'eau _ <div>→</div> _ Une résistance à la pollution (air et sol en milieu urbain) _ Une facilité d'entretien et de taille (si nécessaire) _ Une qualité ornementale _ <div>→</div> _ Une résistance à la chaleur et à la sécheresse de l'air _ Supporte l'humidité
12 Noues  bassin d'orage : prairie urbaine / plaine de jeux.		Créer une ambiance Signaler un milieu Rôle pédagogique	Milieu le plus souvent contraint par : Caractéristiques des aménagements _ Engazonnement _ Milieu humide par intermittence (sol qui peut être temporairement gorgé d'eau) _ Impacts des usages / de l'entretien _ Des blessures possibles _ Phénomènes liés au contexte _ Concentration de pollen _ Concurrence entre végétaux	<div>→</div> _ Une envergure de l'espèce à l'âge adulte adaptée à l'échelle de l'espace _ <div>→</div> _ Une résistance à la pollution (air et sol si milieu urbain à proximité) _ Absence de fruits toxiques _ Une qualité ornementale et évocatrice du milieu _ Une diversité des espèces _ <div>→</div> _ Supporte l'humidité _ Peu émetteur de pollen si proximité avec de l'habitat

Croisement entre les espèces et les typologies d'espace

Dans la littérature, les données relatives au paysage sont limitées aux caractéristiques physiques. Elles sont issues pour certaines espèces des pépiniéristes (catalogues) mais aussi et surtout de données d'experts à partir des expériences menées par les paysagistes concepteurs et les retours des services techniques rencontrés. C'est à ce titre que des échanges entre le Cerema et les services techniques de la ville de Metz ont permis d'enrichir et de conforter la base de données.

Le tableau ci-dessous présente les résultats de cette confrontation entre les caractéristiques ou critères de croissance et critères esthétiques (mises en avant par les pépiniéristes), le regard du paysagiste (ambiances créées par l'arbre dans un contexte donné) et la réalité du terrain afin de répondre au plus près de la situation locale.

			1	2	3	4	5	6
10	Nom vernaculaire	nom scientifique						
22	Cerisier à grappes	<i>Prunus padus</i>						
23	Cerisier de Sargent et à fleurs	<i>Prunus sargentii-subhirtella</i>						
24	Charme houblon	<i>Ostrya caprinifolia</i>						Si sol pas trop sec trop longtemps
25	Chêne blanc	<i>Quercus alba</i>						
26	Chêne chevelu de bourgogne	<i>Quercus cerris</i>	Grande largeur de voie					
27	Chêne de Hongrie	<i>Quercus frainetto</i>	Grande largeur de voie			Si espace		
28	Chêne de Turner	<i>Quercus x turneri pseudoturneri</i>						
29	Chêne du Caucase	<i>Quercus macranthera</i>	Largeur limitée : port l'aiguë					
30	Chêne pédonculé	<i>Quercus robur</i>						
31	Chêne rouge d'Amérique	<i>Quercus rubra</i>	Grande largeur de voie					
32	Chêne sessile	<i>Quercus petraea</i>	<i>Quercus petraea</i>					
33	Chêne vert	<i>Quercus ilex</i>						
34	Epicéa commun	<i>Picea abies</i>				Si espace et humidité du sol		
35	Érable champêtre	<i>Acer campestre</i>	Largeur de voie limitée					
36	Érable de Montpellier	<i>Acer monspessulanum</i>						
37	Érable hybride	<i>Acer rubrum fremanii</i>		si sol humide				
38	Érable plane	<i>Acer platanoides</i>						
39	Érable sycomore	<i>Acer pseudoplatanus</i>						
40	Févier d'Amérique	<i>Gleditsia triacanthos</i>	Grande largeur de voie					
41	Frêne à fleurs	<i>Fraxinus ornus</i>	Largeur de voie limitée					
42	Ginkgo	<i>Ginkgo biloba</i>	Grande largeur de voie					
43	If	<i>Taxus baccata</i>						

Figure 7 : Croisement de la typologie d'espaces publics avec les exigences des espèces (extrait)

Pour les besoins des fiches et d'harmonisation avec les autres services écosystémiques, un indicateur composite a été mis au point. Celui-ci permet d'identifier les espèces répondant à un maximum de critères paysagers. Ainsi, à partir des 4 rôles identifiés une espèce se voit attribuer 1 ou 0 en fonction de sa capacité à répondre ou pas à un faisceau de critères. La somme de ces valeurs, représente donc la capacité d'une espèce végétale à apporter des services paysagers diversifiés.

TAB 2		Services paysagers attendus									
		Critères d'évaluation									
		Données Cerema									
Services paysagers attendus		Structurer l'espace			Animer l'espace / qualifier une ambiance		Apporter du confort		Jouer sur la symbolique du lieu Conforter une identité		
Critères d'évaluation	Port architectural	Qualité du feuillage persistant ou dense	capacité à supporter la taille : former des écran ou des filtres	Saisonnalité / événement ponctuel	Particularité repère	Ombre lumière	brise vent / écran / limite	Identité et popularité locale	symbolique	évocateur d'ambiance ou milieu	synthèse sur 10 points
	oui = 1 non = 0	oui = 1 non = 0	oui = 1 non = 0	oui = 1 non = 0	oui = 1 non = 0	oui = 1 non = 0	oui = 1 non = 0	oui = 1 non = 0	oui = 1 non = 0	oui = 1 non = 0	oui = 1 non = 0

Figure 8 : Services paysagers attendus

2.9 - Méthodologie retenue en matière de risque allergique

« S'agissant des pathologies allergiques, elles sont en forte hausse en France. Ainsi, d'après les statistiques du gouvernement, les allergies respiratoires liées aux pollens allergisants touchent 30 % de la population adulte et 20 % des enfants contre moins de 4 % en 1968. En particulier, le changement climatique conduit à des floraisons et pollinisations précoces notamment pour les espèces qui pollinisent à la fin de l'hiver et au début du printemps comme le cyprès, le frêne et le bouleau. Par exemple, des études menées sur le bouleau, qui a un potentiel allergisant très élevé et libère de grandes quantités de pollens dans l'air, montrent que la quantité de pollen de bouleau a significativement augmenté entre 1989 et 2018 entraînant ainsi une augmentation des allergies. »

DEMANDE PREALABLE INDEMNITAIRE
"l'affaire du siècle" page 13

Des études épidémiologiques récentes indiquent une augmentation de la fréquence des allergies polliniques. La pollinose se développerait par une augmentation de l'agressivité des pollens sous l'influence combinée des polluants atmosphériques : certains pollens subissent une modification biochimique consécutive à la pollution ambiante, qui les rend plus allergènes (CERTU, 2011).

Face à l'enjeu de santé publique que représentent les allergies, l'approche de notre étude ne pouvait pas méconnaître la contrainte que représente l'effet allergisant de certains pollens de végétaux. La méthodologie retenue a été la suivante :

- 1) collecte des informations sur le risque allergisant de chaque espèce.
La source principale d'information a été le Réseau National de Surveillance Aérobiologique : (Réseau National de Surveillance Aérobiologique, 2019) (Réseau National de Surveillance Aérobiologique, 2018)
La source secondaire, essentiellement pour certaines espèces américaines, a été de consulter les données américaines de référence : <https://www.pollen.com/> (IMS Health Incorporated, 2019).
- 2) traduction des informations trouvées en un indice de 0 à -10

Risque allergique	Note
Nul/ Non allergisant	0
Très faible	-2
Faible	-4
Moyen	-6
Elevé	-8
Très élevé	-10
Pas d'information trouvée	-5

Tableau 17 : Caractérisation du risque allergique

- 3) traitement des espèces sans information
La note moyenne de -5 a été jugée peu pertinente pour les 5 espèces pour lesquelles l'information n'était pas disponible. Pour résoudre ce problème, un contact direct par courriel a été pris avec le

Réseau National de Surveillance Aérobiologique qui a permis de vérifier l'absence de risque pour toutes les espèces considérées. Ainsi, la catégorie « pas d'information trouvée » a été abandonnée.

2.10 - Méthodologie retenue en matière de contraintes physiques

L'objet principal de l'étude est d'examiner les services rendus par les végétaux ligneux en milieu urbain et péri-urbain. Toutefois, il faut se garder d'une vision simpliste et utilitariste des végétaux.

Etres vivants complexes, les végétaux n'ont pas vocation à rendre des services à l'Homme. Certaines résultantes de leur présence dans un milieu donné sont interprétées par l'Homme comme des services rendus. A contrario, certaines expressions de leur présence peuvent être considérées par l'Homme comme des inconvénients : cet aspect de la question est développé dans ce qui suit.

Nous avons choisi de ne pas retenir le terme de « *disservice* », parfois utilisé dans la littérature (Lyytimäki & Sipilä, 2009) . En effet ce terme, ou celui de « service négatif » pourrait être vu comme contrebalançant globalement les services écosystémiques « positifs » détaillés plus haut. Or un des enjeux de ce travail est de valoriser les services écosystémiques rendus par les végétaux.

Nous avons donc retenu le terme plus neutre de « contraintes ».

En effet, les végétaux dans les espaces anthropisés sont fréquemment considérés comme une source de contraintes pour l'Homme. Très souvent, pour une partie des riverains, les services rendus sont méconnus et le végétal est ramené aux « nuisances » observées. La presse locale abonde en articles faisant état des « méfaits » des végétaux. Curieusement, si l'arbre est tenu pour responsable d'avoir détruit l'enrobé, la couche de surface, on met rarement en cause l'imperméabilisation d'un trottoir par de l'enrobé sans avoir tenu compte des besoins du végétal. Ce « rapport de force » peu équilibré se solde souvent malheureusement par une atteinte au végétal, comme dans l'exemple ci-dessous.

Bernard et Marie-Thérèse Dreux dénoncent les dégâts provoqués par les arbres plantés sur leur trottoir. « Tout le mur de la clôture est à refaire ».

« Regardez là », lance Bernard Dreux en désignant une grosse fissure traversant le muret de sa clôture. Faisant le tour de sa coquette maison de l'avenue Jean-Moulin, le retraité tente d'ouvrir la porte du jardin donnant sur la rue. En vain.

Ces dommages sont provoqués par les arbres plantés sur le trottoir. Les racines ont fini par soulever le terrain et « pousser » le muret de la famille Dreux. « Nous vivions ici depuis 25 ans, explique Marie-Thérèse Dreux. Quand nous sommes arrivés, ils plantaient les arbres. Aujourd'hui, voilà le résultat... ».

Elle ne peut plus promener ses petits enfants

Le phénomène concerne bon nombre de riverains puisque les arbres, de l'espèce des liquidambars, poussent dans l'ensemble de l'avenue. On en recense près de 70 dans ce secteur situé derrière la gare, à proximité du quartier des Rochelles. Il suffit de jeter un coup d'œil pour voir l'étendue des dégâts : les racines ont soulevé le bitume des trottoirs et quelques lézardes apparaissent sur la chaussée. Quand elle promène en poussette ses petits enfants, Marie-Thérèse n'ose pas s'aventurer sur le trottoir, de peur d'être déstabilisée par un sol devenu instable. « Je dois descendre sur la rue. C'est dangereux. Les handicapés en fauteuil roulant ne peuvent même pas circuler ».

La Ville a entamé depuis quelques jours une opération d'abattage. Les souches devraient être retirées prochainement. Si la famille Dreux n'a plus l'horizon obstrué par des arbres de plusieurs mètres, son muret nécessite de grosses réparations. Les experts ont établi des devis qui s'élèvent à 15.000 € en travaux de maçonnerie. « Le maçon nous a dit qu'il devait refaire des fondations plus profondes car la disparition des arbres va modifier l'état du sol. »



Figure 10 : dégâts causés par les racines, photo Famartin, Wikimedia commons

Figure 9 : L'écho républicain, 29 octobre 2015

Ces contraintes peuvent être organisées en trois grands groupes :

- émission de composés organiques volatiles (ou COV) : tous les végétaux émettent en effet des COV ; il est par exemple estimé que près de 90 % des isoprènes émis dans l'air proviennent de la végétation. L'émission de COV est par ailleurs associée à l'augmentation de la concentration d'ozone dans l'air (les isoprènes pouvant être convertis en ozone dans l'atmosphère),
 - production de pollens allergisants, ou d'autres substances présentant un caractère allergisant ou irritant,
 - contraintes physiques
- Sous ce troisième groupe, nous rassemblons les autres contraintes identifiées, liées principalement à la morphologie et à la composition chimique de l'arbre, notamment :
- tendance à générer des branches cassantes,
 - contraintes liées à la dimension de l'arbre : hauteur et largeur du houppier,
 - tendance à être renversé par le vent (chablis),
 - production d'éléments toxiques,
 - etc.

Un des postulats implicites des politiques publiques en matière de végétalisation est que de manière générale les végétaux produisent plus de services qu'ils n'imposent de contraintes.

Toutefois ce qui est vrai de manière générale ne l'est plus quand on examine un point précis du territoire : par exemple, des espèces sensibles au vent, ou produisant des branches cassantes, ou présentant des éléments toxiques, peuvent trouver leur place dans un grand parc périurbain, mais beaucoup moins dans la cour d'une école.

Un autre élément est à prendre en compte : une grande partie de la population, peu consciente des services rendus par les végétaux, identifie par contre très bien les contraintes qu'ils leur imposent. Dès lors les arbres sont vus uniquement comme les producteurs d'un miellat indésirable qui se dépose sur les voitures, ou bien comme la source de fruits durs qui peuvent entraîner de petits dommages, ou, plus grave, comme une source de danger les jours de tempête.

Il est important d'intégrer ces contraintes, afin de ne pas idéaliser le rôle des végétaux, mais aussi et surtout d'éviter d'utiliser un végétal présentant une contrainte donnée, justement dans un contexte où cette contrainte doit être particulièrement évitée.

La méthodologie retenue pour ces contraintes physiques est la suivante :

- 1) Définition d'une gradation de contraintes destinée à être déclinée par espèces :

	pas de contrainte
	contrainte faible (non négligeable)
	Contrainte moyenne (nuisance réelle susceptible de justifier dégâts / surcoût / plaintes)
	Contrainte forte (espèce à éviter dans certains contextes)

Tableau 18 : Caractérisation des contraintes physiques

- 2) A partir de la littérature, mais aussi d'articles de presse, identification d'une liste limitée de contraintes physiques prises en compte, constituant autant de sous-critères :

Les contraintes retenues sont les suivantes :

- racines superficielles et/ou puissantes susceptibles d'entraîner des dommages
Certains végétaux, de par la nature de leur système racinaire, peuvent entraîner des dommages aux revêtements, pavements, murs, fondations avoisinants. Ces dégâts sont majoritairement dus aux espèces à enracinement superficiel. Dans cette catégorie de contraintes, figure aussi la capacité de certaines plantes grimpantes à insérer leurs racines dans leurs supports (vieux murs, ...).
Il s'agit de l'une des contraintes les plus souvent citées. « *Il y a compétition pour l'espace souterrain, dont il résulte une forte possibilité de dommages aux infrastructures par les racines.* » (Roloff, 2016)
- branches cassantes
Tous les arbres sont susceptibles de perdre des branches, mais certaines espèces sont particulièrement sensibles à ce risque. Pour certaines, il s'agit même d'une composante de leur fonctionnement écologique normal (certains saules).
- espèces sensibles au chablis
Un chablis est un arbre renversé, généralement sous l'action du vent. Généralement les espèces à feuillage persistant y sont plus sensibles (car davantage sous l'effet des tempêtes hivernales). La sensibilité est également plus forte pour les espèces à enracinement superficiel. Enfin, il y a un fort effet individuel, selon les conditions de croissance et l'état sanitaire, toutefois cette variation individuelle n'est pas intégrée ici.
- fructifications pouvant entraîner des dommages
Certains fruits, de par leurs dimensions, leur poids, leur coque dure, peuvent entraîner des dommages d'ordres divers sur la chaussée, sur la carrosserie des véhicules, voire sur les humains. Les espèces les produisant sont donc à éviter dans certains contextes.
- Dépôt de miellat
Le miellat est un liquide épais et visqueux excrété par les insectes piqueurs-suceurs comme les pucerons et les cochenilles (Leroy, 2009).

Ce liquide peut constituer des dépôts collants considérés comme indésirables vis-à-vis des activités humaines.

- Fruits toxiques

De nombreux végétaux présentent des fruits toxiques. La toxicité et la gravité des effets varient selon l'espèce, le volume ingéré, l'état de maturité du fruit. L'incidence sur la santé humaine a été la seule considérée ici.

- Arbre de grande hauteur

En milieu urbain, la très grande taille atteinte par les arbres peut être considérée comme une nuisance (ombrage, volume très important de feuillage, humidité, ...).

C'est la hauteur maximale qui est considérée ici :

Arbre adulte de grande hauteur	
pas de contrainte	< 21 m
contrainte faible	21-25 m
contrainte moyenne	26-30 m
contrainte forte	> 30 m

Tableau 19 : Gradation des contraintes physique liée aux arbres de grande hauteur

- arbre de grande envergure

Certains végétaux ont tendance à étaler leur houppier avec le temps. Cette contrainte n'est pas liée à la hauteur des arbres : certains d'entre eux restent petits mais s'étalent très largement. Cette contrainte est à prendre en compte si l'espace est réduit, en tenant compte du fait que la taille n'est pas une réponse pertinente à l'étalement d'un végétal ; c'est l'analyse initiale des conditions d'implantation qui doit primer.

- production de fruits malodorants

Des fruits très malodorants peuvent être une véritable nuisance. Bien qu'a priori utilisé dans peu de cas (le seul cas connu est celui du *Ginkgo biloba*), ce sous-critère a été considéré. La solution, qui consiste à s'en prémunir en plantant uniquement des individus mâles, est démentie dans de nombreux cas, parce qu'il n'y a pas de certitude sur le genre au moment de la plantation.

- autres contraintes non retenues

Certaines contraintes n'ont pas été retenues dans le cadre de l'étude, non parce qu'elles étaient jugées non pertinentes, mais pour ne pas complexifier de manière trop importante la méthodologie. On peut citer :

- le caractère épineux (ex : *Gleditsia triacanthos*, le févier d'Amérique). Ce sous-critère aurait imposé de considérer aussi les variétés inermes (sans épine), de cette espèce.
- les feuilles volumineuses, épaisses, coriaces, comme celles du Platane. Ce sous-critère n'a pas été retenu, suite aux échanges avec les services techniques de la ville de Metz, considérant que les moyens techniques actuels permettaient de relativiser cette contrainte.

3) Caractérisation de chaque espèce pour chaque sous-critère, à partir de la littérature.

4) Echanges avec les services techniques de la collectivité, pour additionner aux données issues de la littérature l'expérience technique du service. Cet échange a par ailleurs permis d'identifier ensemble les références professionnelles les plus fiables sur le plan technique (catalogues de pépinières), qui ont dès lors fourni des données complémentaires à celles de la littérature.

5) Construction d'un indice global

La construction d'un indice global est essentiellement destinée à alimenter les « fiches espèces ». L'indice est une valeur négative entre 0 et -10, construit de la manière suivante :

0	pas de contrainte
-1	contrainte faible (non négligeable)
-2	contrainte moyenne
-3	contrainte forte
Valeur plancher : -10	

Tableau 20 : Modalités de construction de l'indice global lié aux contraintes physiques

Par exemple, une espèce présentant une contrainte faible, une contrainte moyenne et une contrainte forte aura un score de -6. Une espèce présentant quatre contraintes fortes aura un score de -10 (-12, ramené à -10).



Photo Nadia Aubry, Cerema

2.11 - Autres paramètres abordés

2.11.1 – Adaptation au climat messin, dans le contexte du changement climatique

La ville de Metz, Metz Métropole et le Cerema ont retenu le principe d'étudier 50 à 80 espèces d'arbres et

arbustes via le projet Sésame. L'idée de départ était de retenir uniquement les espèces les plus adaptées au contexte local dans la perspective du changement climatique déjà à l'œuvre, et son intensification attendue dans les années à venir.

Toutefois, il est vite apparu que 50 à 80 espèces représentaient en réalité un panel très faible. Il a été jugé nécessaire, d'ajouter un paramètre relatif à l'adaptation des espèces au climat messin, dans le contexte du changement climatique. L'ajout de ce paramètre permettra dans un deuxième temps d'étendre de manière importante le spectre des espèces examinées, en permettant à l'utilisateur de sélectionner s'il le souhaite les espèces les plus adaptées, et ce dans d'autres contextes que celui du territoire messin.

La sélection d'espèces d'arbres et d'arbustes, capables de résister aux conditions climatiques difficiles de la ville, et de résister aux effets attendus du changement climatique, correspondait à l'attente forte de la ville de Metz dès les prémisses du projet.

La bibliographie, l'expérience et les échanges avec les collectivités permettent de considérer que de manière générale, un végétal pourra prospérer dans un environnement urbain donné si trois conditions sont réunies :

- il est adapté au climat local : température moyenne, écarts de températures, gelées tardives, niveau et répartition des précipitations, ...
- il est résistant aux spécificités urbaines : fortes chaleurs, air sec, sol compact, alimentation en eau parfois difficile...
- il est résistant aux effets attendus du changement climatique, en particulier les fortes sécheresses et canicules estivales.



Figure 11 : Un jeune séquoia à Metz, n'ayant pas supporté la canicule de juin 2019 (photo Luc Chrétien, Cerema)

Il a donc été établi un critère « adaptation au climat messin, dans le contexte du changement climatique » à partir de 3 sous-critères correspondant aux conditions ci-dessus.

1) Adaptation au climat lorrain

Adaptation au climat lorrain

0	L'aire de présence naturelle de l'espèce présente des conditions très éloignées de celles du plateau lorrain et en particulier ne supporte pas les grands froids : secteur méditerranéen au sens strict...
1	L'aire de présence naturelle de l'espèce n'inclut pas le plateau lorrain, en particulier elle n'inclut pas de territoires présentant les facteurs limitants que sont les grands froids ou les gelées tardives.
2	L'aire de présence naturelle de l'espèce n'inclut pas le plateau lorrain, mais des régions présentant des similitudes en termes de climat (ex : nord-est des Etats-Unis, ...)
3	L'aire de présence naturelle de l'espèce inclut le plateau lorrain

Tableau 21 : constitution du sous-critère "adaptation au climat lorrain"

2) Adaptation aux spécificités urbaines

adaptation aux spécificités urbaines

0	La bibliographie présente cette espèce comme non résistante aux spécificités climatiques des aires urbaines (résistance à la pollution, aux chocs, au stress hydrique, aux fortes chaleurs), ou bien il s'agit d'espèces requérant une ambiance forestière marquée.
1	Espèce mal connue du point de vue de son adaptation aux spécificités urbaines, ou documentation absente.
2	La bibliographie et/ou les retours d'observation présentent cette espèce comme peu à moyennement résistante aux spécificités climatiques des aires urbaines, ou fragile vis-à-vis de certaines d'entre elles (résistance à la pollution, aux chocs, au stress hydrique, aux fortes chaleurs), ou bien il s'agit d'espèces requérant une ambiance forestière.
3	La bibliographie et/ou les retours d'observation présentent cette espèce comme adaptée aux spécificités des aires urbaines (résistance à la pollution, aux chocs, au stress hydrique, aux fortes chaleurs).
4	La bibliographie et/ou les retours d'observation présentent cette espèce comme très bien adaptée aux spécificités des aires urbaines (résistance à la pollution, aux chocs, au stress hydrique, aux fortes chaleurs)

Tableau 22 : Constitution du sous-critère "adaptation aux spécificités urbaines"

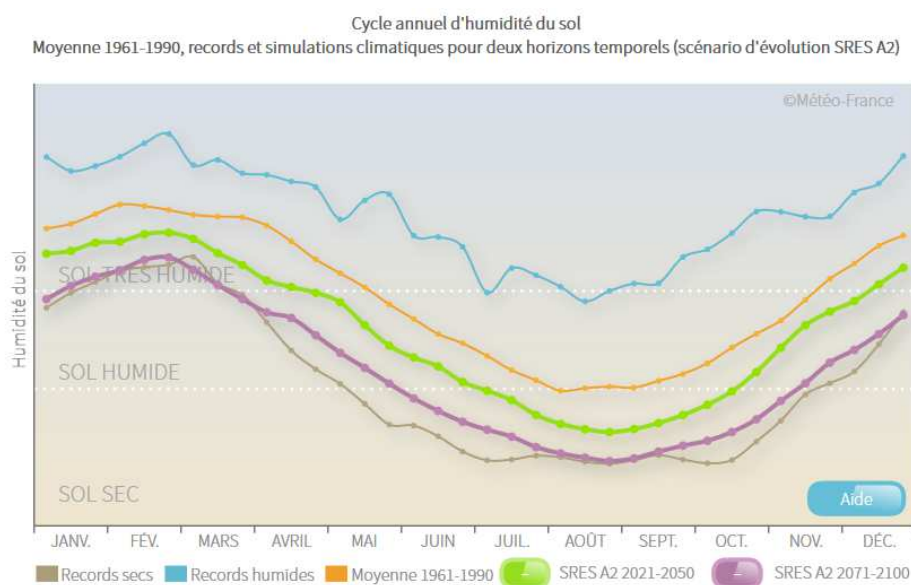
3) Adaptation supposée au changement climatique

Les effets du changement climatique sont à prendre en compte, quel que soit le scénario d'évolution du climat envisagé.

D'après les données de Météo France (Météo France, 2019), en Lorraine, comme sur l'ensemble du territoire métropolitain, le changement climatique se traduit principalement par une hausse des températures, marquée particulièrement depuis le début des années 1980. Sur la période 1959-2009, on observe une augmentation des températures annuelles d'environ 0,3°C par décennie pour les minimales et les maximales.

L'été notamment se réchauffe davantage, avec des hausses de 0,3°C à 0,4°C par décennie pour les températures minimales et d'environ 0,5°C pour les maximales. Le nombre de journées chaudes (températures maximales supérieures ou égales à 25°C) augmente et le nombre de jours de gel diminue. Ces changements ont des impacts sur l'évaporation des sols, qui s'accroît, conduisant à des sécheresses plus fréquentes et plus intenses.

Pour l'avenir, Météo-France prévoit pour la Lorraine (Météo France, 2019), la poursuite du réchauffement au cours du XXI^e siècle en Lorraine, quel que soit le scénario (selon le scénario sans politique climatique, le réchauffement pourrait atteindre près de 4°C à l'horizon 2071-2100 par rapport à la période 1976-2005), ainsi que la poursuite de la diminution du nombre de jours de gel et de l'augmentation du nombre de journées chaudes. L'assèchement des sols est de plus en plus marqué au cours du XXI^e siècle en toute saison.



La comparaison du cycle annuel d'humidité du sol sur la Lorraine entre la période de référence climatique 1961-1990 et les horizons temporels proches (2021-2050) ou lointains (2071-2100) sur le XXI^e siècle (selon un scénario SRES A2) montre un assèchement important en toute saison.

Figure 12 : Cycle annuel de l'humidité du sol : 1961-1990 (orange), 2021-2050 (vert) 2071-2100 (violet) source : (Météo France, 2019)

Adaptation supposée au changement climatique

0	La bibliographie et/ou les retours d'expérience présentent cette espèce comme très fragile vis-à-vis du changement climatique.
1	La bibliographie et/ou les retours d'expérience présentent cette espèce comme peu adaptée vis-à-vis des conséquences du changement climatique, ou les données sont absentes.
2	La bibliographie et/ou les retours d'expérience présentent cette espèce comme moyennement adaptée vis-à-vis des conséquences du changement climatique.
3	La bibliographie et/ou les retours d'expérience présentent cette espèce comme présentant de forts atouts vis-à-vis des conséquences du changement climatique. C'est une espèce recommandée.

Tableau 23 : Constitution du sous-critère "adaptation supposée au changement climatique"

Ainsi, la bibliographie fournit des éléments qui permettent d'apprécier les adaptations des différentes espèces aux effets du changement climatique attendu, notamment les sécheresses intenses : Orloff identifie ainsi des adaptations à court, moyen ou long terme, dont quelques extraits sont donnés ici pour des espèces faisant partie de notre panel :

Adaptations de court terme	Adaptations de moyen terme	Adaptations de long terme
Baisse du potentiel hydrique <i>Quercus rubra</i> Augmentation de la concentration hormonale <i>Acer platanoides</i>	Dépérissement des brindilles <i>Platanus</i>	Feuilles profondément lobées <i>Quercus frainetto</i>
Utilisation des réserves d'eau de la tige <i>Picea abies</i>	Modification de la densité stomatale <i>Quercus robur</i> Brunissement et perte des aiguilles dans les moins suivant la sécheresse <i>Abies</i>	Feuilles brillantes avec une épaisse couche de cire <i>Koeleria paniculata</i> Nervures nettement en relief <i>Quercus ilex</i> Système racinaire sur deux niveaux <i>Pinus</i>

Tableau 24 : Quelques adaptations à la sécheresse adaptées adapté de (Roloff, 2016)

4) Critère « adaptation au climat messin, dans le contexte du changement climatique »

Le critère est constitué en sommant les 3 sous-critères cités ci-dessus. On obtient une valeur de 0 à 10, homogène avec les critères étudiés par ailleurs.

2.11.2 - Organisation des végétaux dans l'espace

Bien que la présente étude n'aborde pas directement cette question d'organisation des végétaux dans l'espace, et l'impact qu'a cette organisation sur les services écosystémiques rendus, une approche bibliographique permet d'émettre des recommandations synthétiques en la matière.

La manière dont les végétaux s'organisent dans l'espace a une incidence très directe sur leur capacité à exprimer les services écosystémiques :

- l'organisation des végétaux dans l'espace a une incidence directe sur le rôle qu'ils vont jouer vis-à-vis des autres êtres vivants :
 - un arbre isolé qui produit des fruits, par exemple, servira de source d'alimentation uniquement aux êtres vivants qui auront la capacité de se déplacer jusqu'à lui,
 - les arbres et arbustes constituent un des éléments essentiels de la trame verte et bleue urbaine. Ils peuvent constituer des corridors, mais aussi à l'échelle d'une agglomération, des réservoirs de biodiversité (Frandon & Parisot, 2016),.
 - l'existence de plusieurs strates de végétaux (végétation herbacée basse, arbustes, arbres de taille moyenne et grands arbres) est un élément majeur de diversité sur le plan écologique.
- la régulation de la qualité de l'air par les arbres est largement influencée par leur disposition dans l'espace. Le contact entre la pollution et les feuilles est en effet essentiel pour obtenir une filtration efficace par les arbres. Les arbres forment par ailleurs un obstacle physique et agissent sur la vitesse du vent et sur les turbulences (Hiemstra, Schoenmaker - Van der Bijl, & Tonneijck, 2008).

- le rôle des arbres en matière de régulation du climat local dépendant essentiellement de l'effet d'ombrage et de l'évapotranspiration, ce service est largement influencé par des considérations concernant l'organisation des arbres dans l'espace, notamment par rapport à leur position et aux mouvements du soleil.
- l'organisation des végétaux a une incidence directe sur la perception de l'espace. L'arbre en isolé s'il remplit la fonction de signal (l'arbre du carrefour ou l'arbre de l'église par exemple), ou de centralité (l'arbre de la place) va devenir un élément de composition urbaine qu'il soit en groupe en alignement, en bosquet rythmant le parcours et balisant l'espace. Au-delà de sa fonction structurante, l'organisation des espèces dans l'espace aura une incidence sur le confort et les ambiances (densité, orientation, échelle...).

2.12 - Rédaction d'une fiche par espèce

A partir de l'ensemble des données rassemblées sur la base de la méthodologie exposée ci-dessus, une fiche synthétique par espèce a été établie.

Le public cible de cette fiche est constitué par :

- les professionnels de l'aménagement du territoire, à l'échelle projet,
- les élus.

Ce travail a reposé sur les postulats suivants :

- la littérature étant relativement abondante en ce qui concerne les conditions édaphiques et hydriques correspondant à la culture d'une espèce, nous avons préféré concentrer cette fiche synthétique sur les services écosystémiques et les contraintes étudiées,
- la fiche doit être clairement lisible et compréhensible par tous. A cette fin, l'AGURAM a gracieusement réalisé le modèle de fiche,
- la fiche doit comporter des pages de texte par service et contrainte étudiés, ainsi qu'un visuel rendant compte des indicateurs établis, de manière aussi claire que possible, elle comporte aussi des visuels des principaux contextes paysagers dans lesquels l'espèce est la plus adaptée.
- la fiche comporte un résumé faisant ressortir les principaux atouts et les principales limites de l'espèce.
- la fiche comporte une photographie de l'espèce, prise dans l'agglomération messine (sauf exception), montrant généralement la silhouette du végétal, et dans quelques cas un zoom sur un élément caractéristique.



Photo Nadia Aubry, Cerema

2.13 - Émission de recommandations générales facilitant l'expression des services écosystémiques

Les services écosystémiques rendus reposent essentiellement sur des arbres adultes et en bonne santé. Ainsi, le service rendu par un très jeune arbre dans les années qui suivent sa plantation est négligeable, aussi bien en matière de qualité de l'air, de régulation climatique, de support de biodiversité que de paysage. Il en résulte que le fait d'atteindre l'âge adulte en bonne santé est une condition à l'expression des services écosystémiques.

Or, comme nous l'avons vu, le milieu urbain est un milieu très hostile pour les végétaux.

Il est donc essentiel que les conditions favorables à la croissance des végétaux soient réunies dès la plantation.

Au cours des dernières décennies, de nombreuses collectivités ont pris conscience de l'importance des conditions d'installation du végétal, et ont émis des recommandations sous diverses formes.

Il est donc primordial dans notre approche de rappeler ces recommandations, et de renvoyer aux principaux documents didactiques en la matière.

2.14 - Proposition d'un outil d'aide à la conception

Les échanges avec les professionnels et avec les services chargés de l'instruction des documents d'urbanisme montrent que dans un projet d'aménagement, la végétalisation reste un « parent pauvre » du projet.

De nombreux projets ne s'intéressent pas au potentiel de la végétation préexistante en termes de services rendus. Les végétaux choisis pour le projet sont peu argumentés, et pratiquement jamais en termes de services écosystémiques : ce sont des éléments de décor.

C'est pourquoi, à partir de la matière réunie, il a été décidé de proposer un outil qui permet à l'aménageur de disposer d'éléments l'aidant dans le choix des espèces végétales à utiliser, en fonction des services écosystémiques qu'il souhaite valoriser.

Ce travail repose sur les postulats suivants :

- selon le contexte d'un projet donné, un service écosystémique peut être plus ou moins recherché. Ainsi, par exemple, en plein centre-ville, la régulation des îlots de chaleur peut être un objectif principal de la végétalisation. Dans un grand parc péri-urbain, ou dans un espace identifié comme contribuant à la trame verte, le support de biodiversité peut être l'objectif prioritaire. Il apparaît donc possible, pour un projet donné, de pondérer les services écosystémiques attendus pour identifier les espèces les plus adaptées au « bouquet » de services attendus.
- étant donné l'urgence écologique encore récemment rappelée par la FAO (FAO commission on genetic resources for food and agriculture, 2019), la pondération des services écosystémiques attendus ne peut pas se traduire par une pondération nulle du service de support de biodiversité : en effet celui-ci doit être recherché partout. Cette volonté de prendre en compte la biodiversité de manière obligatoire dans le projet, était une forte attente dès le départ de la ville de Metz.
- l'outil n'a pas vocation à se substituer à une analyse détaillée dans le cadre d'un projet, il fournit des pistes à vérifier et à développer par une analyse circonstanciée.

3 - Limites

Les principales limites du travail réalisé sont abordées ci-dessous.

3.1. Nombre d'espèces étudiées

Au départ du projet, l'étude de 50 à 80 espèces d'arbres et arbustes semblait suffisante en première approche. Et de fait cette gamme d'espèces a permis la mise au point de la méthodologie détaillée dans ce qui précède.

Toutefois, au vu du nombre d'espèces disponibles sur le marché et a priori adaptées au contexte climatique abordé, ce nombre apparaît très insuffisant pour développer un outil pleinement opérationnel.

Il paraît nécessaire d'aborder 200, voire 300 espèces pour ne pas laisser de côté des espèces présentant des intérêts notables.

Comme le travail a été réalisé sur un nombre d'espèces réduit, le nombre d'arbustes étudié est particulièrement faible (une dizaine). Dès lors, même si les données réunies sur ces espèces sont pertinentes, l'outil d'aide à la conception est encore d'un intérêt limité pour aussi peu d'espèces.

De la même manière, seules deux espèces grimpantes ont été examinées.

D'autre part, dans cette approche nous avons considéré les arbres, les arbustes et les plantes grimpantes selon la même approche. L'étude montre que les services rendus ne sont pas les mêmes. Une perspective

pour l'avenir, est de plus dissocier l'analyse des arbres, des arbustes et des plantes grimpantes, notamment en séparant leur examen dans l'outil d'aide à la conception.

Par ailleurs, la question s'est posée de faire porter l'étude, non pas sur les espèces, mais sur les variétés : si l'on considère le bouleau verruqueux *Betula pendula* par exemple, les principaux catalogues de pépinière consultés (Pépinière Bruns, 2019) fournissent pour cette espèce la variété type (« sauvage ») mais aussi les variétés *crispa*, *fastigiata*, *laciniata*, ...

Inclure les variétés dans l'étude revient à devoir examiner, non plus des centaines d'espèces, mais des milliers de variétés. Par ailleurs, et c'est le plus important, les données manquent cruellement pour aborder des services écosystémiques différenciés par variété, bien que l'on puisse présumer que la variété a une incidence non négligeable sur les services rendus, ne serait-ce que par la forme des feuilles et le port qui sont souvent très différents.

Pour ces raisons, l'approche par variété a été abandonnée, pour se concentrer sur la « variété type ». C'est toutefois une limite à prendre en compte.

3.2. Services écosystémiques étudiés

On l'a vu en 2.2, cinq services écosystémiques ont été retenus parmi un très grand nombre identifié dans la littérature. Cette sélection, imposée par le dimensionnement de l'étude, constitue une limite importante puisque la capacité de certaines espèces à rendre des services, par exemple sur la circulation de l'eau, la dépollution des sols ou l'offre de nourriture pour l'Homme, n'est pas valorisée.

Ces services non étudiés constituent un potentiel de développement ultérieur.

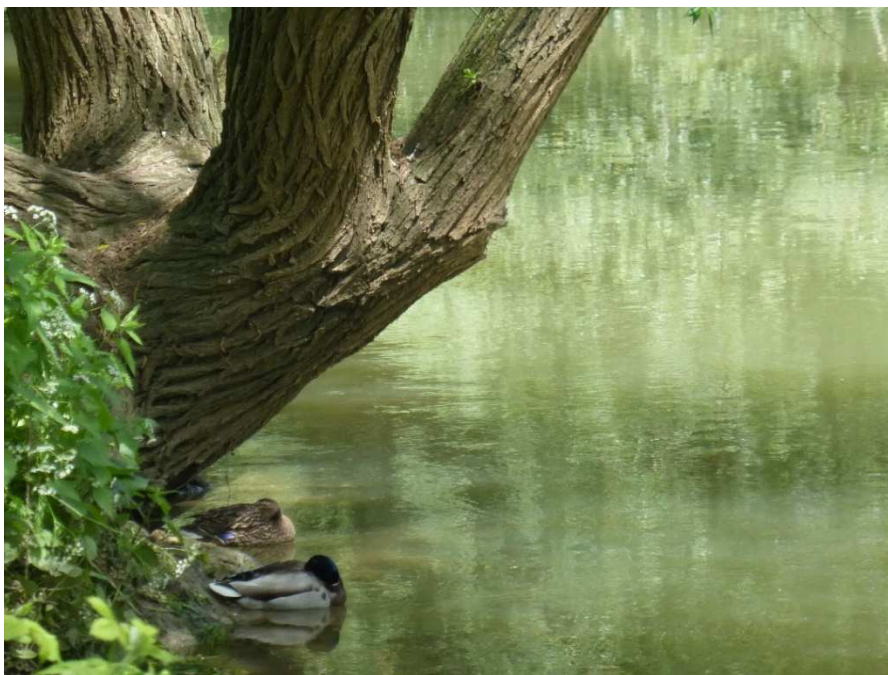


Photo Luc Chrétien, Cerema

3.3. Disponibilité et pertinence des bases de données

La disponibilité des bases de données pertinentes et utilisables dans le contexte étudié constitue une limite importante.

Certaines bases de données sont utilisées avec des réserves qui sont détaillées dans ce qui précède.

En ce qui concerne la biodiversité et le paysage, peu de données quantitatives ont été utilisées. Nous nous appuyons sur des données qualitatives issues de la bibliographie (monographies, flores, descriptifs de pépiniéristes) et des échanges tenus avec les services de la ville de Metz et d'autres experts.

Concernant les services de régulation du climat et de la qualité de l'air, la problématique de disponibilité de la donnée est essentiellement centrée sur l'absence de base de données européenne. En effet si les travaux menés en Amérique du Nord, notamment par Nowak (Nowak D. J., 2006), (Nowak & Dwyer, 2007), permettent de renseigner ces services pour de nombreuses espèces, les conditions climatiques et les enjeux locaux ne permettent pas une transposition simple de ces valeurs. Les services de régulation ont donc dû faire l'objet d'une approche par des indicateurs d'état des arbres (morphologiques notamment) permettant de décrire indirectement leurs capacités à rendre les services en question.

3.4. Caractère exploratoire de l'étude

La démarche menée n'a, à notre connaissance, pas d'équivalent en ce qui concerne son aspect synthétique et pluridisciplinaire. Elle permet une prise en compte de la complexité des solutions fondées sur la nature, assumée, qui jusqu'ici paraissait particulièrement difficile à aborder.

Actuellement, la base essentielle de choix des végétaux est constituée par les catalogues des pépiniéristes, avec un critère essentiel qui est la disponibilité des plants. Des outils existent pour faciliter le choix des végétaux en fonction du climat, du type de sol, des besoins en eau, des critères de floraison, de port, de fructification, ... Mais dans le contexte de crise écologique et climatique, il apparaît important de changer de paradigme en donnant une place importante aux services recherchés.

L'étude repose en grande partie sur des séries d'indicateurs et de sous-indicateurs qui individuellement se prêtent à la critique. La manière dont les sous-indicateurs et les indicateurs sont pondérés pourrait également être mise en question.

Certains sous-indicateurs en eux-mêmes sont réellement exploratoires : il en est ainsi de la capacité à héberger des populations de lichens diversifiées. D'autres pourraient être largement précisés, par exemple la capacité à abriter des gîtes pour les chiroptères, avec un travail approfondi avec les associations spécialisées.

Toutes ces limites peuvent également être considérées comme des pistes de perfectionnement et d'approfondissement : le travail présenté demande à être réactualisé, complété et enrichi en fonction des connaissances et expériences nouvelles.



Photo Nadia Aubry, Cerema

Chapitre III

Résultats



Photo Nadia Aubry, Cerema

1 - Liste des espèces retenues dans le cadre de l'étude

Les espèces retenues sont présentées dans le tableau suivant.
Quelques remarques peuvent être formulées à ce sujet :

- la liste comporte une majorité d'arbres et une petite dizaine d'arbustes. Le nombre d'arbustes sélectionnés est très insuffisant pour constituer une véritable palette végétale, et méritera d'être étoffée par la suite, toutefois les gammes variétales étendues de ces espèces peuvent d'ores et déjà apporter de la diversité.
- la liste ne comporte que deux espèces grimpantes : la vigne-vierge et le lierre grimpant. Bien que ces espèces présentent des difficultés méthodologiques, notamment en ce qui concerne la qualité de l'air et la régulation du climat, il a été décidé de les conserver en raison en particulier des services écosystémiques très importants rendus par le lierre.

- certaines espèces sont en réalité des groupes d'espèces dont les services rendus et contraintes ont été jugés homogènes : il en est ainsi des deux aubépines *Crataegus laevigata* & *Crataegus monogyna*, et d'une catégorie « autres sorbiers » par exemple.
- plusieurs espèces, non retenues initialement, l'ont été suite aux échanges avec la collectivité, en raison notamment de leur fort potentiel en milieu urbain : on peut citer *Quercus frainetto*, *Quercus x turneri* 'Pseudoturneri', *Abies concolor*, *Corylus colurna*.
- le fait de retenir *Picea abies*, *Sequoiadendron giganteum* et *Sequoia sempervirens* a fait débat, du fait des grandes performances possibles de ces espèces vis-à-vis de certains services, d'une part, mais du fait de leur très mauvaise adaptation au climat urbain et aux évolutions attendues du climat, d'autre part. Finalement, ces trois espèces ont été exclues du panel, afin que la liste limitée d'espèces étudiées ne soit pas interprétée comme une incitation à planter ces espèces très peu adaptées au climat urbain à venir.
- les espèces sujettes à des maladies remettant en cause leur utilisation ont été exclues du panel. Une exception a été faite pour les ormes, pour lesquels l'une des variétés résistantes à la graphiose a été sélectionnée. Les villes peuvent en effet contribuer à répandre ce genre qui a complètement disparu du territoire.
- la vigne vierge mérite une mention particulière, car elle est très utile en milieu urbain, mais certaines espèces présentent un caractère invasif :
 - *Parthenocissus quinquefolia*, la vigne vierge vraie, « peut former des peuplements denses dans les ripisylves. Son feuillage abondant peut recouvrir les buissons ou les arbres qu'elle prend comme support. Elle peut également couvrir des surfaces importantes au sol, réduisant la diversité floristique et gênant le rajeunissement du sous-bois » (GT-IBMA, 2019) ; elle « peut être considérée comme invasive » (Floraine, 2013) ;
 - *Parthenocissus inserta*, la vigne-vierge commune ou fausse vigne vierge de Virginie, est considérée comme présentant un caractère invasif en Île-de-France où elle est très bien implantée (CBNBP, 2018) ;
 - Il a finalement été décidé de retenir *Parthenocissus quinquefolia*, eu égard à son importance dans l'aménagement urbain, et au fait qu'elle est très présente dans les catalogues des pépinières ; mais la fiche espèce comportera des recommandations particulières sur son implantation. C'est la seule espèce exotique envahissante figurant dans le panel d'espèces. Dans l'approche biodiversité, son caractère envahissant vient fortement tempérer les services rendus notamment pour la faune.

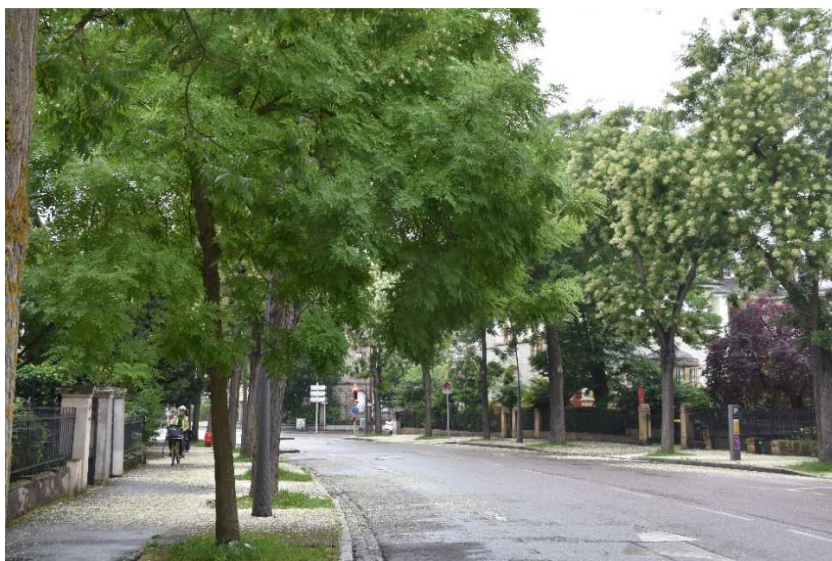


Photo Nadia Aubry, Cerema

Nom vernaculaire	Nom scientifique
<i>Abelia</i>	<i>Abelia floribunda</i>
<i>Sapin du colorado</i>	<i>Abies concolor</i>
<i>Sapin d'Espagne</i>	<i>Abies pinsapo</i>
<i>Érable champêtre</i>	<i>Acer campestre</i>
<i>Erable de Montpellier</i>	<i>Acer monspessulanum</i>
<i>Érable plane</i>	<i>Acer platanoides</i>
<i>Érable sycomore</i>	<i>Acer pseudoplatanus</i>
<i>Érable hybride</i>	<i>Acer rubrum fremanii</i>
<i>Marronnier d'Inde</i>	<i>Aesculus hypocastanum</i>
<i>Marronnier rouge</i>	<i>Aesculus x carnea</i>
<i>Aulne glutineux</i>	<i>Alnus glutinosa</i>
<i>Aulne blanc</i>	<i>Alnus incana</i>
<i>Amélanchier</i>	<i>Amelanchier ovalis</i>
<i>Épine vinette</i>	<i>Berberis vulgaris</i>
<i>Bouleau verruqueux</i>	<i>Betula pendula</i>
<i>Callicarpe, arbre aux bonbons</i>	<i>Callicarpa (genre)</i>
<i>Charme commun</i>	<i>Carpinus betulus</i>
<i>Catalpa</i>	<i>Catalpa bignonioides</i>
<i>Cèdre de l'Atlas</i>	<i>Cedrus atlantica</i>
<i>Cèdre du Liban</i>	<i>Cedrus libani</i>
<i>Micocoulier de Provence</i>	<i>Celtis australis</i>
<i>Micocoulier occidental</i>	<i>Celtis occidentalis</i>
<i>Arbre de Judée</i>	<i>Cercis siliquastrum</i>
<i>Cornouiller des pagodes</i>	<i>Cornus controversa</i>
<i>Cornouiller mâle</i>	<i>Cornus mas</i>
<i>Cornouiller sanguin</i>	<i>Cornus sanguinea</i>
<i>Noisetier</i>	<i>Corylus avellana</i>
<i>Noisetier de Byzance</i>	<i>Corylus colurna</i>
<i>Cotoneaster à feuilles de saule</i>	<i>Cotoneaster salicifolius</i>
<i>Aubépine épineuse & Aubépine monogyne</i>	<i>Crataegus laevigata & Crataegus monogyna</i>
<i>Fusain d'Europe</i>	<i>Euonymus europaeus</i>
<i>Frêne à fleurs</i>	<i>Fraxinus ornus</i>
<i>Ginkgo</i>	<i>Ginkgo biloba</i>
<i>Février d'Amérique</i>	<i>Gleditsia triacanthos</i>
<i>Lierre grimpant</i>	<i>Hedera helix</i>
<i>Houx</i>	<i>Ilex aquifolium</i>
<i>Genévrier commun</i>	<i>Juniperus communis</i>
<i>Savonnier</i>	<i>Koeleruteria paniculata</i>
<i>Mélèze d'Europe</i>	<i>Larix decidua</i>
<i>Lavande</i>	<i>Lavandula angustifolia</i>
<i>Troène commun</i>	<i>Ligustrum vulgare</i>
<i>Copalme d'Amérique</i>	<i>Liquidambar styraciflua</i>
<i>Tulipier de Virginie</i>	<i>Liriodendron tulipifera</i>
<i>Magnolia à grandes fleurs</i>	<i>Magnolia grandiflora</i>
<i>Charme houblon</i>	<i>Ostrya carpinifolia</i>
<i>Vigne vierge</i>	<i>Parthenocissus quinquefolia</i>
<i>Paulownia tomenteux ou impérial</i>	<i>Paulownia tomentosa</i>

Nom vernaculaire	Nom scientifique
<i>Seringa, Jasmin des poètes</i>	<i>Philadelphus coronarius</i>
<i>Photinia</i>	<i>Photinia serratifolia</i>
<i>Pin sylvestre</i>	<i>Pinus sylvestris</i>
<i>Poirier de Chine</i>	<i>Pirus calleryana</i>
<i>Platane</i>	<i>Platanus x acerifolia, x hybrida, x hispanica</i>
<i>Peuplier blanc</i>	<i>Populus alba</i>
<i>Tremble</i>	<i>Populus tremula</i>
<i>Merisier</i>	<i>Prunus avium</i>
<i>Cerisier à grappes</i>	<i>Prunus padus</i>
<i>Cerisier de Sargent et à fleurs</i>	<i>Prunus sargentii-subhirtella</i>
<i>Prunelier</i>	<i>Prunus spinosa</i>
<i>Buisson ardent</i>	<i>Pyracantha coccinea</i>
<i>Chêne blanc</i>	<i>Quercus alba</i>
<i>Chêne chevelu de Bourgogne</i>	<i>Quercus cerris</i>
<i>Chêne de Hongrie</i>	<i>Quercus frainetto</i>
<i>Chêne vert</i>	<i>Quercus ilex</i>
<i>Chêne du Caucase</i>	<i>Quercus macranthera</i>
<i>Chêne sessile</i>	<i>Quercus petraea</i>
<i>Chêne pédonculé</i>	<i>Quercus robur</i>
<i>Chêne rouge d'Amérique</i>	<i>Quercus rubra</i>
<i>Chêne de Turner</i>	<i>Quercus x turneri 'Pseudoturneri'</i>
<i>Saule blanc</i>	<i>Salix alba</i>
<i>Saule pourpre</i>	<i>Salix purpurea</i>
<i>Saule des vanniers</i>	<i>Salix viminalis</i>
<i>Sureau noir</i>	<i>Sambucus nigra</i>
<i>Sophora du Japon</i>	<i>Sophora japonica</i>
<i>Alisier blanc</i>	<i>Sorbus aria</i>
<i>Sorbier des oiseaux</i>	<i>Sorbus aucuparia, y compris S. aucuparia fastigiata</i>
<i>autres sorbiers (Alisier de Suède : sorbus intermédia, yc cultivar Brouwers , Sorbus x thuringiaca)</i>	<i>Sorbus intermedia, Sorbus intermedia Brouwers, Sorbus x thuringiaca</i>
<i>Alisier torminal</i>	<i>Sorbus torminalis</i>
<i>Lilas commun</i>	<i>Syringa vulgaris</i>
<i>If</i>	<i>Taxus baccata</i>
<i>Tilleul à petites feuilles</i>	<i>Tilia cordata</i>
<i>Tilleul à grandes feuilles</i>	<i>Tilia platyphyllos</i>
<i>orme résistant à la graphiose</i>	<i>Ulmus x resista Lutèce</i>
<i>Viorne lantane</i>	<i>Viburnum lantana</i>
<i>Viorne obier</i>	<i>Viburnum opulus</i>

Tableau 25 : Liste des espèces retenues dans le cadre de l'étude

2 - Résultats de l'analyse par service et contrainte

2.1 - Qualité de l'air

Les indicateurs d'états utilisés pour décrire la capacité des espèces sélectionnées à réguler la qualité de l'air sont représentés dans le tableau 26 où ils sont par ailleurs détaillés pour deux exemples. Pour mémoire deux notes sont attribuées pour la régulation de la pollution particulaire (pour les PM₁₀) et pour la régulation des polluants gazeux, notes construites sur la base de ces indicateurs. Le tableau 24 illustre pour deux exemples fournissant des résultats très différents, l'érable sycomore et le pin sylvestre, le rapport entre les indicateurs d'état de l'espèce et les notes de services rendus.

<i>Indicateurs d'état des différentes espèces</i>	<i>Érable sycomore</i>	<i>Pin sylvestre</i>
Densité	3 (très dense)	2 (moyennement dense)
Forme de l'arbre	3 (étalé)	2 (conique)
Persistance des feuilles	1 (caduc)	3 (persistant)
Rugosité des feuilles	1 (glabre)	1 (glabre)
Forme des feuilles	3 (lobées)	1 (aiguille)
Résineux ou feuillu	3 (feuillu)	1 (résineux)
Régulation de la qualité de l'air		
Note polluants gazeux	9	1
Note particules	5	8

Tableau 26 : Indicateurs d'état utilisés pour la construction des notes des services de régulation : exemple pour deux espèces, l'érable sycomore et le pin sylvestre

Le tableau 27 présente les résultats pour la qualité de l'air pour l'ensemble des espèces examinées.

Nom vernaculaire	nom scientifique	Régulation de la pollution gazeuse (note sur 10)	Régulation de la pollution particulière (note sur 10)
Abelia	<i>Abelia floribunda</i>	3	4
Sapin du colorado	<i>Abies concolor</i>	1	9
Sapin d'Espagne	<i>Abies pinsapo</i>	2	9
Érable champêtre	<i>Acer campestre</i>	6	1
Érable de Montpellier	<i>Acer monspessulanum</i>	6	1
Érable plane	<i>Acer platanoides</i>	9	4
Érable sycomore	<i>Acer pseudoplatanus</i>	9	5
Érable hybride	<i>Acer rubrum fremanii</i>	3	7
Marronnier d'Inde	<i>Aesculus hypocastanum</i>	10	6
Marronnier rouge	<i>Aesculus x carnea</i>	9	3
Aulne glutineux	<i>Alnus glutinosa</i>	6	1
Aulne blanc	<i>Alnus incana</i>	2	6
Amélanchier	<i>Amelanchier ovalis</i>	5	0
Épine vinette	<i>Berberis vulgaris</i>	5	0
Bouleau verruqueux	<i>Betula pendula</i>	6	1
Callicarpe, arbre aux bonbons	<i>Callicarpa</i> (genre)	2	6
Charme commun	<i>Carpinus betulus</i>	5	9
Catalpa	<i>Catalpa bignonioides</i>	4	8
Cèdre de l'Atlas	<i>Cedrus atlantica</i>	1	9
Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	0	9
Micocoulier de Provence	<i>Celtis australis</i>	6	9
Micocoulier occidental	<i>Celtis occidentalis</i>	7	2
Arbre de Judée	<i>Cercis siliquastrum</i>	7	1
Cornouiller des pagodes	<i>Cornus controversa</i>	4	8
Cornouiller mâle	<i>Cornus mas</i>	1	5
Cornouiller sanguin	<i>Cornus sanguinea</i>	0	4
Noisetier	<i>Corylus avellana</i>	2	5
Noisetier de Byzance	<i>Corylus colurna</i>	7	2
Cotoneaster à feuilles de saule	<i>Cotoneaster salicifolius</i>	2	3
Aubépine épineuse & Aubépine monogyne	<i>Crataegus laevigata</i> & <i>Crataegus monogyna</i>	4	0
Fusain d'Europe	<i>Euonymus europaeus</i>	5	0
Frêne à fleurs	<i>Fraxinus ornus</i>	9	3
Ginkgo	<i>Ginkgo biloba</i>	8	4
Févier d'Amérique	<i>Gleditsia triacanthos</i>	5	8
Lierre grimpant	<i>Hedera helix</i>	-	-
Houx	<i>Ilex aquifolium</i>	5	7
Genévrier commun	<i>Juniperus communis</i>	0	6
Savonnier	<i>Koeleruteria paniculata</i>	9	3
Mélèze d'Europe	<i>Larix decidua</i>	6	5
Lavande	<i>Lavandula angustifolia</i>	3	4
Troène commun	<i>Ligustrum vulgare</i>	3	4
Copalme d'Amérique	<i>Liquidambar styraciflua</i>	8	2
Tulipier de Virginie	<i>Liriodendron tulipifera</i>	9	4
Magnolia à grandes fleurs	<i>Magnolia grandiflora</i>	6	8
Charme houblon	<i>Ostrya carpinifolia</i>	3	6
Vigne vierge	<i>Parthenocissus quinquefolia</i>	-	-
Paulownia tomenteux ou impérial	<i>Paulownia tomentosa</i>	5	9

Nom vernaculaire	nom scientifique	Régulation de la pollution gazeuse (note sur 10)	Régulation de la pollution particulaire (note sur 10)
<i>Seringa, Jasmin des poètes</i>	<i>Philadelphus coronarius</i>	2	6
<i>Photinia</i>	<i>Photinia serratifolia</i>	8	3
<i>Pin sylvestre</i>	<i>Pinus sylvestris</i>	1	8
<i>Poirier de Chine</i>	<i>Pirus calleryana</i>	7	1
<i>Platane</i>	<i>Platanus x acerifolia, x hybrida, x hispanica</i>	10	8
<i>Peuplier blanc</i>	<i>Populus alba</i>	3	7
<i>Tremble</i>	<i>Populus tremula</i>	7	1
<i>Merisier</i>	<i>Prunus avium</i>	8	3
<i>Cerisier à grappes</i>	<i>Prunus padus</i>	7	2
<i>Cerisier de Sargent et à fleurs</i>	<i>Prunus sargentii-subhirtella</i>	8	3
<i>Prunelier</i>	<i>Prunus spinosa</i>	0	4
<i>Buisson ardent</i>	<i>Pyracantha coccinea</i>	2	4
<i>Chêne blanc</i>	<i>Quercus alba</i>	3	7
<i>Chêne chevelu de bourgogne</i>	<i>Quercus cerris</i>	4	9
<i>Chêne de Hongrie</i>	<i>Quercus frainetto</i>	9	5
<i>Chêne vert</i>	<i>Quercus ilex</i>	0	10
<i>Chêne du Caucase</i>	<i>Quercus macranthera</i>	5	9
<i>Chêne sessile</i>	<i>Quercus petraea</i>	9	5
<i>Chêne pédonculé</i>	<i>Quercus robur</i>	9	4
<i>Chêne rouge d'Amérique</i>	<i>Quercus rubra</i>	10	7
<i>Chêne de Turner</i>	<i>Quercus x turneri 'Pseudo-turneri'</i>	1	9
<i>Saule blanc</i>	<i>Salix alba</i>	8	2
<i>Saule pourpre</i>	<i>Salix purpurea</i>	2	6
<i>Saule des vanniers</i>	<i>Salix viminalis</i>	4	8
<i>Sureau noir</i>	<i>Sambucus nigra</i>	8	1
<i>Sophora du Japon</i>	<i>Sophora japonica</i>	7	10
<i>Alisier blanc</i>	<i>Sorbus aria</i>	2	7
<i>Sorbier des oiseleurs</i>	<i>Sorbus aucuparia, y compris S. aucuparia fastigiata</i>	3	8
<i>autres sorbiers (Alisier de Suède : sorbus intermedia, yc cultivar Brouwers , Sorbus x thuringiaca)</i>	<i>Sorbus intermedia, Sorbus intermedia Brouwers, Sorbus x thuringiaca</i>	7	2
<i>Alisier torminal</i>	<i>Sorbus torminalis</i>	3	8
<i>Lilas commun</i>	<i>Syringa vulgaris</i>	5	0
<i>If</i>	<i>Taxus baccata</i>	0	8
<i>Tilleul à petites feuilles</i>	<i>Tilia cordata</i>	3	7
<i>Tilleul à grandes feuilles</i>	<i>Tilia platyphyllos</i>	6	9
<i>orme résistant à la graphiose</i>	<i>Ulmus x resista Lutèce</i>	8	3
<i>Viorne lantane</i>	<i>Viburnum lantana</i>	1	5
<i>Viorne obier</i>	<i>Viburnum opulus</i>	2	6

Tableau 27 : Résultats Qualité de l'air pour l'ensemble des espèces examinées

2.2 - Régulation du climat local

Les notes attribuées pour la capacité des espèces sélectionnées à réguler le climat sont représentées dans le tableau 29. Le tableau 28 illustre pour deux exemples, l'érable sycomore et le pin sylvestre, le rapport entre les indicateurs d'état de l'espèce et les notes de services rendus.

Indicateurs d'état des différentes espèces	Érable sycomore	Pin sylvestre
Densité	3 (très dense)	2 (moyennement dense)
Forme de l'arbre	3 (étalé)	2 (conique)
Persistance des feuilles	1 (caduc)	3 (persistant)
Rugosité des feuilles	1 (glabre)	1 (glabre)
Forme des feuilles	3 (lobées)	1 (aiguille)
Résineux ou feuillu	3 (feuillu)	1 (résineux)
Régulation du climat		
Note climat local	9	4

Tableau 28 : Notes attribuées (sur 10) pour la capacité de l'érable sycomore et du pin sylvestre à réguler le climat local (par l'effet d'ombrage et l'évapotranspiration)

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Régulation du climat local (note sur 10)
Abelia	<i>Abelia floribunda</i>	1
Sapin du colorado	<i>Abies concolor</i>	9
Sapin d'Espagne	<i>Abies pinsapo</i>	6
Érable champêtre	<i>Acer campestre</i>	2
Érable de Montpellier	<i>Acer monspessulanum</i>	2
Érable plane	<i>Acer platanoides</i>	8
Érable sycomore	<i>Acer pseudoplatanus</i>	9
Érable hybride	<i>Acer rubrum fremanii</i>	5
Marronnier d'Inde	<i>Aesculus hypocastanum</i>	9
Marronnier rouge	<i>Aesculus x carnea</i>	7
Aulne glutineux	<i>Alnus glutinosa</i>	3
Aulne blanc	<i>Alnus incana</i>	3
Amélanchier	<i>Amelanchier ovalis</i>	1
Épine vinette	<i>Berberis vulgaris</i>	1
Bouleau verruqueux	<i>Betula pendula</i>	1
Callicarpe, arbre aux bonbons	<i>Callicarpa</i> (genre)	3
Charme commun	<i>Carpinus betulus</i>	8

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Régulation du climat local (note sur 10)
Catalpa	<i>Catalpa bignonioides</i>	6
Cèdre de l'Atlas	<i>Cedrus atlantica</i>	5
Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	6
Micocoulier de Provence	<i>Celtis australis</i>	8
Micocoulier occidental	<i>Celtis occidentalis</i>	5
Arbre de Judée	<i>Cercis siliquastrum</i>	4
Cornouiller des pagodes	<i>Cornus controversa</i>	6
Cornouiller mâle	<i>Cornus mas</i>	2
Cornouiller sanguin	<i>Cornus sanguinea</i>	0
Noisetier	<i>Corylus avellana</i>	3
Noisetier de Byzance	<i>Corylus colurna</i>	5
Cotoneaster à feuilles de saule	<i>Cotoneaster salicifolius</i>	0
Aubépine épineuse & Aubépine monogyne	<i>Crataegus laevigata</i> & <i>Crataegus monogyna</i>	1
Fusain d'Europe	<i>Euonymus europaeus</i>	1
Frêne à fleurs	<i>Fraxinus ornus</i>	4
Ginkgo	<i>Ginkgo biloba</i>	7
Février d'Amérique	<i>Gleditsia triacanthos</i>	3
Lierre grimpant	<i>Hedera helix</i>	#N/A
Houx	<i>Ilex aquifolium</i>	6
Genévrier commun	<i>Juniperus communis</i>	3
Savonnier	<i>Koeleruteria paniculata</i>	7
Mélèze d'Europe	<i>Larix decidua</i>	0
Lavande	<i>Lavandula angustifolia</i>	1
Troène commun	<i>Ligustrum vulgare</i>	1
Copalme d'Amérique	<i>Liquidambar styraciflua</i>	6
Tulipier de Virginie	<i>Liriodendron tulipifera</i>	8
Magnolia à grandes fleurs	<i>Magnolia grandiflora</i>	9
Charme houblon	<i>Ostrya carpinifolia</i>	4
Vigne vierge	<i>Parthenocissus quinquefolia</i>	#N/A
Paulownia tomenteux ou impérial	<i>Paulownia tomentosa</i>	7
Seringa, Jasmin des poètes	<i>Philadelphus coronarius</i>	3
Photinia	<i>Photinia serratifolia</i>	7
Pin sylvestre	<i>Pinus sylvestris</i>	4
Poirier de Chine	<i>Pirus calleryana</i>	3
Platane	<i>Platanus x acerifolia</i> , <i>x hybrid</i> , <i>x hispanica</i>	10
Peuplier blanc	<i>Populus alba</i>	4
Tremble	<i>Populus tremula</i>	3
Merisier	<i>Prunus avium</i>	6
Cerisier à grappes	<i>Prunus padus</i>	4
Cerisier de Sargent et à fleurs	<i>Prunus sargentii-subhirtella</i>	6
Prunelier	<i>Prunus spinosa</i>	1
Buisson ardent	<i>Pyracantha coccinea</i>	0
Chêne blanc	<i>Quercus alba</i>	5
Chêne chevelu de bourgogne	<i>Quercus cerris</i>	7
Chêne de Hongrie	<i>Quercus frainetto</i>	8
Chêne vert	<i>Quercus ilex</i>	6
Chêne du Caucase	<i>Quercus macranthera</i>	7
Chêne sessile	<i>Quercus petraea</i>	8

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Régulation du climat local (note sur 10)
Chêne pédonculé	<i>Quercus robur</i>	8
Chêne rouge d'Amérique	<i>Quercus rubra</i>	9
Chêne de Turner	<i>Quercus x turneri pseudotur- neri</i>	4
Saule blanc	<i>Salix alba</i>	5
Saule pourpre	<i>Salix purpurea</i>	3
Saule des vanniers	<i>Salix viminalis</i>	5
Sureau noir	<i>Sambucus nigra</i>	4
Sophora du Japon	<i>Sophora japonica</i>	9
Alisier blanc	<i>Sorbus aria</i>	4
Sorbier des oiseleurs	<i>Sorbus aucuparia</i> , y compris <i>S. aucuparia fastigiata</i>	5
autres sorbiers (Alisier de Suède : sorbus intermédia, yc cultivar Brouwers , <i>Sorbus x</i> <i>thuringiaca</i>)	<i>Sorbus intermedia</i> , <i>Sorbus</i> <i>intermedia Brouwers</i> , <i>Sorbus</i> <i>x thuringiaca</i>	5
Alisier torminal	<i>Sorbus torminalis</i>	4
Lilas commun	<i>Syringa vulgaris</i>	1
If	<i>Taxus baccata</i>	4
Tilleul à petites feuilles	<i>Tilia cordata</i>	5
Tilleul à grandes feuilles	<i>Tilia platyphyllos</i>	8
orme résistant à la graphiose	<i>Ulmus x resista Lutèce</i>	6
Viorne lantane	<i>Viburnum lantana</i>	2
Viorne obier	<i>Viburnum opulus</i>	2

Tableau 29 : Notes attribuées (sur 10) pour la capacité de l'ensemble des espèces étudiées, à réguler le climat local

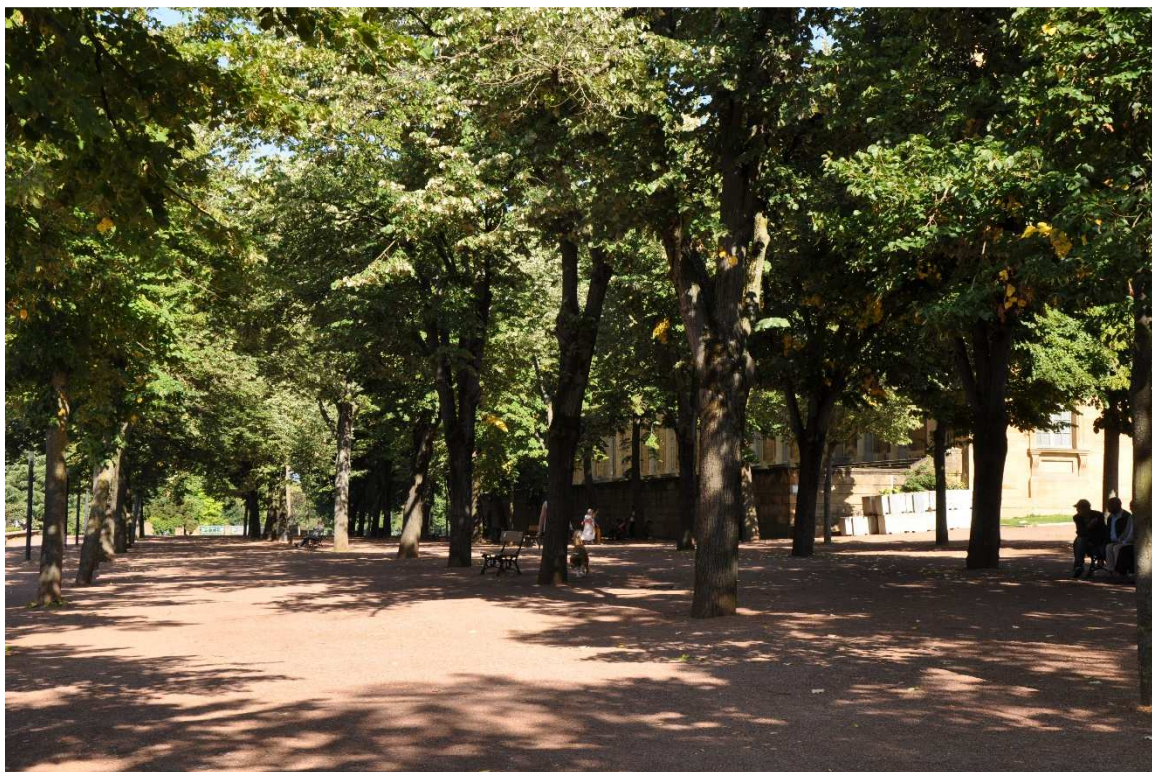


Photo Nadia Aubry, Cerema

2.3 - Régulation du climat global

Concernant la capacité des espèces sélectionnées à réguler le climat global, assimilée ici à la capacité de stockage et de fixation du carbone, les résultats (en kg de CO₂ séquestré par individu) sont représentés dans le tableau 30.

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Régulation du climat global (kg de CO ₂ séquestré dans un arbre à l'âge adulte)
<i>Abelia</i>	<i>Abelia floribunda</i>	-
<i>Sapin du colorado</i>	<i>Abies concolor</i>	3 292
<i>Sapin d'Espagne</i>	<i>Abies pinsapo</i>	1 692
<i>Érable champêtre</i>	<i>Acer campestre</i>	810
<i>Erable de Montpellier</i>	<i>Acer monspessulanum</i>	400
<i>Érable plane</i>	<i>Acer platanoides</i>	2 739
<i>Érable sycomore</i>	<i>Acer pseudoplatanus</i>	4 504
<i>Érable hybride</i>	<i>Acer rubrum fremanii</i>	3 723
<i>Marronnier d'Inde</i>	<i>Aesculus hypocastanum</i>	6 688
<i>Marronnier rouge</i>	<i>Aesculus x carnea</i>	2 058
<i>Aulne glutineux</i>	<i>Alnus glutinosa</i>	2 446
<i>Aulne blanc</i>	<i>Alnus incana</i>	4 509
<i>Amélanchier</i>	<i>Amelanchier ovalis</i>	-
<i>Épine vinette</i>	<i>Berberis vulgaris</i>	-
<i>Bouleau verruqueux</i>	<i>Betula pendula</i>	1 251
<i>Callicarpe, arbre aux bonbons</i>	<i>Callicarpa</i> (genre)	-
<i>Charme commun</i>	<i>Carpinus betulus</i>	1 115
<i>Catalpa</i>	<i>Catalpa bignonioides</i>	2 550
<i>Cèdre de l'Atlas</i>	<i>Cedrus atlantica</i>	6 076
<i>Cèdre du Liban</i>	<i>Cedrus libani</i>	5 723
<i>Micocoulier de Provence</i>	<i>Celtis australis</i>	2 027
<i>Micocoulier occidental</i>	<i>Celtis occidentalis</i>	3 541
<i>Arbre de Judée</i>	<i>Cercis siliquastrum</i>	552
<i>Cornouiller des pagodes</i>	<i>Cornus controversa</i>	159
<i>Cornouiller mâle</i>	<i>Cornus mas</i>	439
<i>Cornouiller sanguin</i>	<i>Cornus sanguinea</i>	61
<i>Noisetier</i>	<i>Corylus avellana</i>	242

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Régulation du climat global (kg de CO ₂ séquestré dans un arbre à l'âge adulte)
Noisetier de Byzance	<i>Corylus colurna</i>	1 541
Cotoneaster à feuilles de saule	<i>Cotoneaster salicifolius</i>	-
Aubépine épineuse & Aubépine	<i>Crataegus laevigata</i> & <i>Crataegus</i>	189
Fusain d'Europe	<i>Euonymus europaeus</i>	84
Frêne à fleurs	<i>Fraxinus ornus</i>	1 119
Ginkgo	<i>Ginkgo biloba</i>	3 209
Février d'Amérique	<i>Gleditsia triacanthos</i>	1 767
Lierre grimpant	<i>Hedera helix</i>	-
Houx	<i>Ilex aquifolium</i>	342
Genévrier commun	<i>Juniperus communis</i>	710
Savonnier	<i>Koeleruteria paniculata</i>	712
Mélèze d'Europe	<i>Larix decidua</i>	5 889
Lavande	<i>Lavandula angustifolia</i>	-
Troène commun	<i>Ligustrum vulgare</i>	-
Copalme d'Amérique	<i>Liquidambar styraciflua</i>	2 133
Tulipier de Virginie	<i>Liriodendron tulipifera</i>	2 809
Magnolia à grandes fleurs	<i>Magnolia grandiflora</i>	923
Charme houblon	<i>Ostrya carpinifolia</i>	777
Vigne vierge	<i>Parthenocissus quinquefolia</i>	-
Paulownia tomenteux ou impérial	<i>Paulownia tomentosa</i>	2 451
Seringa, Jasmin des poètes	<i>Philadelphus coronarius</i>	-
Photinia	<i>Photinia serratifolia</i>	-
Pin sylvestre	<i>Pinus sylvestris</i>	2 817
Poirier de Chine	<i>Pirus calleryana</i>	-
Platane	<i>Platanus x acerifolia</i> , <i>x hybrida</i> , <i>x hispanica</i>	7 546
Peuplier blanc	<i>Populus alba</i>	5 798
Tremble	<i>Populus tremula</i>	4 193
Merisier	<i>Prunus avium</i>	2 861
Cerisier à grappes	<i>Prunus padus</i>	513
Cerisier de Sargent et à fleurs	<i>Prunus sargentii-subhirtella</i>	-
Prunelier	<i>Prunus spinosa</i>	847
Buisson ardent	<i>Pyracantha coccinea</i>	-
Chêne blanc	<i>Quercus alba</i>	-

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Régulation du climat global (kg de CO ₂ séquestré dans un arbre à l'âge adulte)
Chêne chevelu de bourgogne	<i>Quercus cerris</i>	2 558
Chêne de Hongrie	<i>Quercus frainetto</i>	4 112
Chêne vert	<i>Quercus ilex</i>	858
Chêne du Caucase	<i>Quercus macranthera</i>	-
Chêne sessile	<i>Quercus petraea</i>	17 630
Chêne pédonculé	<i>Quercus robur</i>	5 843
Chêne rouge d'Amérique	<i>Quercus rubra</i>	1 720
Chêne de Turner	<i>Quercus x turneri pseudoturneri</i>	-
Saule blanc	<i>Salix alba</i>	4 563
Saule pourpre	<i>Salix purpurea</i>	177
Saule des vanniers	<i>Salix viminalis</i>	-
Sureau noir	<i>Sambucus nigra</i>	970
Sophora du Japon	<i>Sophora japonica</i>	3 100
Alisier blanc	<i>Sorbus aria</i>	805
Sorbier des oiseleurs	<i>Sorbus aucuparia</i> , y compris <i>S. domestica</i>	-
autres sorbiers (Alisier de Suède : <i>Sorbus intermedia</i> , yc cultivar Brouwers , <i>Sorbus x thuringiaca</i>)	<i>Sorbus intermedia</i> , <i>Sorbus intermedia</i> Brouwers, <i>Sorbus x thuringiaca</i>	-
Alisier torminal	<i>Sorbus torminalis</i>	-
Lilas commun	<i>Syringa vulgaris</i>	104
If	<i>Taxus baccata</i>	2 097
Tilleul à petites feuilles	<i>Tilia cordata</i>	2 307
Tilleul à grandes feuilles	<i>Tilia platyphyllos</i>	3 850
orme résistant à la graphiose	<i>Ulmus x resista</i> Lutèce	1 107
Viorne lantane	<i>Viburnum lantana</i>	-
Viorne obier	<i>Viburnum opulus</i>	-

Tableau 30 : Régulation du climat global : contribution des espèces étudiées.

2.4 - Biodiversité

La caractérisation du service rendu en termes de support de biodiversité est détaillée dans le tableau 33. Il est rappelé ici que les espèces notées « 0 » ne sont pas défavorables à la biodiversité, dans tous les cas, la diversification des supports la biomasse, l'abri, le support que génèrent ces végétaux sont favorables à l'expression diversifiée de la vie.

Les résultats peuvent être illustrés ici par le biais de deux exemples :

Le Saule blanc (*Salix alba*)

Caractère autochtone / allochtone	+2	Espèce autochtone
Cortège d'espèces d'insectes associé	+3	Selon sources, 200, 250
Caractère attractif pour les pollinisateurs	+3	Source de pollen importante et précoce
Espèce recommandée LPO Espèce recommandée PNR	+2	
Source alimentaire pour avifaune et moyenne faune	0	
Capacité à générer des habitats	+2	Arbre-habitat pour de nombreuses espèces, particulièrement si traité en têtard
Intérêt pour les lépidoptères	+3	importante source de nourriture pour de nombreuses chenilles
Capacité d'accueil de populations de lichens diversifiées	+1	Arbre sans information particulière
Intérêt en tant qu'arbre-gîte pour les chiroptères	+2	espèce générant des gîtes pour les chiroptères



Tableau 31 : Le rôle du saule blanc en tant que support de biodiversité (photo : Cerema)

Total 18 → 9/10

Le Noisetier de Byzance (*Corylus colurna*)

Caractère autochtone / allochtone	0	Espèce allochtone
Cortège d'espèces d'insectes associé	0	Aucune information trouvée
Caractère attractif pour les pollinisateurs	+3	Espèce attractive pour les pollinisateurs, pollen produit très tôt en saison
Espèce recommandée LPO Espèce recommandée PNR	0	non
Source alimentaire pour avifaune et moyenne faune	+2	Petite faune, oiseaux
Capacité à générer des habitats	0	Aucune information trouvée
Intérêt pour les lépidoptères	0	Aucune information trouvée
Capacité d'accueil de populations de lichens diversifiées	+1	Arbre sans information particulière
Intérêt en tant qu'arbre-gîte pour les chiroptères	0	Aucune information trouvée



Tableau 32: Le rôle du noisetier de Byzance en tant que support de biodiversité (photo : Cerema)

Total 6 → 3/10

Nom vernaculaire	Nom scientifique	A – caractère autochtone / allochtone	B – recom- mandation par guides locaux en fa- veur de la biodiversité	C – nombre d'espèces d'insectes associées	D – éléments comestibles pour avi- faune / moyenne faune	E – intérêt pour les pollinisa- teurs	F – intérêt pour papil- lons	G – capacité à gé- nérer des habitats / gîtes pour la faune – plante hôte	H – intérêt en tant qu'arbre- gîte pour les chiroptères	I – capacité à accueillir des popula- tions de li- chens diver- sifiées	total sur 24	total ra- mené 0-10
		-5 à 2	0 à 2	0 à 3	0 à 3	0 à 3	0 à 3	0 à 2	0 à 3	0 à 3	-5 à 24	
Abelia	Abelia floribunda					1	1			1	3	2
Sapin du Colorado	Abies concolor										0	0
Sapin d'Espagne	Abies pinsapo				1						1	1
Érable champêtre	Acer campestre	2	2	2		2	2			2	12	6
Erable de Montpellier	Acer monspessulanum					1				2	3	2
Érable plane	Acer platanoïdes	2	2	2	1	2	2		1	2	14	7
Érable sycomore	Acer pseudoplatanus	2	2	2	1	2	3			2	14	7
érable hybride	Acer rubrum Fremanii				1	1				2	4	2
Marronnier d'Inde	Aesculus hypocaustanum	1		1	1	3	2		2	1	11	6
Marronnier rouge	Aesculus x carnea				1	2	2		2	1	8	4
Aulne glutineux	Alnus glutinosa	2	2	3	2	3	2			1	15	8
Aulne blanc	Alnus incana	2				1				1	4	2
Amélanchier	Amelanchier ovalis	2			2	2				1	7	4
Épine vinette	Berberis vulgaris	2	1		1	2	1			1	8	4
Bouleau verruqueux	Betula pendula Roth	2	2	3	1	1			1		10	5
Callicarpe, arbre aux bonbons	Callicarpa (genre)				2	2	2			1	7	4
Charme commun	Carpinus betulus	2	2	2	1					1	8	4
Catalpa	Catalpa bignonioides					2	2			1	5	3
Cèdre de l'Atlas	Cedrus atlantica								1		1	1
Cèdre du Liban	Cedrus libani								1		1	1
Micocoulier de Pro- vence	Celtis australis				2					1	3	2
Micocoulier occidental	Celtis occidentalis				2		1			1	4	2
Arbre de Judée	Cersis siliquastrum				2	2				1	5	3
Cornouiller panaché, Cornouiller des pa- godes, Cornouiller dis- cuté	Cornus controversa				2	2				1	5	3
Cornouiller mâle	Cornus mas	2	1	2	2	3	1			1	12	6
Cornouiller sanguin	Cornus sanguinea	2	2	2	2	1	2			1	12	6
Noisetier	Corylus avelana	2	2	2	2	3	2	1		1	15	8
Noisetier de Byzance	Corylus columna				2	3				1	6	3
Cotoneaster à feuilles de saule	Cotoneaster salicifolius				3	3				1	7	4
Aubépine épineuse & monogyne	Crataegus laevigata et monogyna	2	1	2	1	1	2	1		1	11	6
Fusain d'Europe	Euonymus europaeus	2	2	2	1	1	2	1		1	12	6
Frêne à fleurs	Fraxinus ornus					2	2		3	2	9	5
Ginkgo	Ginkgo biloba				1					1	2	1
Févier d'Amérique	Gleditsia triacanthos				3	3	1			1	8	4
Lierre grimpant	Hedera helix	2	2	2	3	3	3	2	2	1	20	10
Houx	Ilex aquifolium	2	2	1	3	2	1	1		1	13	7
Genévrier commun	Juniperus communis	2	1	2	1					1	7	4
Savonnier	Koelreuteria paniculata					1				1	2	1
Mélèze d'Europe	Larix decidua			1						1	2	1
Lavande	Lavandula angustifolia					3	3			1	7	4
Troène commun	Ligustrum vulgare	2	2	1	1	1	2	2		1	12	6
Liquidambar, Copalme d'Amérique	Liquidambar styraciflua					1	1			1	3	2
Tulipier de Virginie	Liriodendron tulipifera					1	2			1	4	2
Magnolia à grandes fleurs	Magnolia grandiflora							1		1	2	1
Charme-Houblon	Ostrya carpinifolia									1	1	1
Vigne vierge	Parthenocissus quin- quefolia	-2			2	1		2		1	4	2
Paulownia tomenteux ou impérial	Paulownia tomentosa					1				1	2	1
Seringa	Philadelphus corona- rius					2				1	3	2
Photinia	Photinia serratifolia					1	1			1	3	2
Pin sylvestre	Pinus silvestris	1	1	3	1	1	1		2		10	5
Platane	Platanus x acerifolia, x hybrida, x hispanica	1		3		1			3		8	4
Peuplier blanc	Populus alba			3			2			3	8	4
Tremble	Populus tremula	2	1	3			1			1	8	4
Merisier	Prunus avium	2	2	3	2	2	2			3	16	8
Cerisier à grappes	Prunus padus	2	1	2	2	1	2			3	13	7
Cerisiers de Sargent et à fleurs (variétés)	Prunus sargentii-subhir- tella				1					3	4	2
Prunelier	Prunus spinosa	2	2	2	1	2	3	2		3	17	9
Buisson ardent	Pyracantha coccinea		1		2	3	2	1		1	10	5
poirier de Chine	Pyrus calleriana				2	1			1	3	7	4

Nom vernaculaire	Nom scientifique	A – caractère autochtone / allochtone	B – recom- mandation par guides locaux en fa- veur de la biodiversité	C – nombre d'espèces d'insectes associées	D – éléments comestibles pour avi- faune / moyenne faune	E – intérêt pour les pollinisa- teurs	F – intérêt pour papil- lons	G – capacité à gé- nérer des habitats / gîtes pour la faune – plante hôte	H – intérêt en tant qu'arbre- gîte pour les chiroptères	I – capacité à accueillir des popula- tions de li- chens diver- sifiées	total sur 24	total ra- mené 0-10
Chêne blanc	Quercus alba				2			2	1	1	6	3
Chêne chevelu	Quercus cerris				1			1	1	1	4	2
Chêne de Hongrie	Quercus frainetto				1			2	1	1	5	3
Chêne vert	Quercus ilex				1	1			1	1	4	2
Chêne du Caucase	Quercus macranthera				1			1	1	1	4	2
Chêne sessile	Quercus petraea	2	2	3	1	1	2	2	3	1	17	9
Chêne pédonculé	Quercus robur	2	2	3	2	1	2	2	3	1	18	9
Chêne rouge d'Amé- rique	Quercus rubra				1				1	1	3	2
Chêne de Turner	Quercus x turneri pseu- doturneri				2	1	1	1	2	1	8	4
Saule blanc	Salix alba	2	2	3		3	3	2	2	1	18	9
Saule pourpre	Salix purpurea	2	1	2		3	3		1	1	13	7
Saule des vanniers	Salix viminalis	2	1	2	1	3	3	2	2	1	17	9
Sureau noir	Sambucus nigra	2	2	2	2	3				1	12	6
Sophora du Japon	Sophora japonica					3				1	4	2
Alisier blanc	Sorbus aria	2	2	1	2	1				2	10	5
Sorbier des oiseleurs	Sorbus aucuparia	2	2	1	2	2				1	10	5
autres sorbiers (Ali- sier de Suède : sorbus intermédia, yc cultivar Brouwers , Sorbus x thuringiaca)	Sorbus intermedia, Sor- bus intermedia Brouwers, Sorbus x thuringiaca	1	1		2	1				1	6	3
Alisier torminal	Sorbus torminalis	2	2	1	2	1				2	10	5
Lilas commun	Syringa vulgaris	1		1			2			1	5	3
If	Taxus baccata	2	1		2	2				1	8	4
Tilleul à petites feuilles	Tilia cordata	2	1	2		2	3		2	1	13	7
Tilleul à grandes feuilles	Tilia platyphyllos	2	1	2		2	3		2	1	13	7
orme résistant à la graphiose	Ulmus x resista Lutèce			2			2	1	1	1	7	4
Viorne lantane, man- cienne	Viburnum lantana	2	1		1	2				1	7	4
Viorne obier	Viburnum opulus	2	2		1	1		1		1	8	4

Tableau 33 : Caractérisation des espèces selon le critère "support de biodiversité"

Les références qui ont permis l'analyse en termes de biodiversité sont les suivantes (voir aussi la bibliographie) :

- (Ligue de protection des oiseaux, 1998)
- (Ligue de protection des Oiseaux, 2010)
- (Didier, 2008)
- (Macquart, 1852)
- (Plants for a future, 2019)
- (Le CRI, 2019)
- (Eurométropole de Strasbourg, 2013)
- (Coutin, Insectes et acariens du Frêne, 1996)
- (Coutin, Insectes et acariens du Lierre, 1997)
- (Floraine, 2013)
- (Pénicaud & SFEPM, Les chauves-souris et les arbres, connaissance et protection, 2010)
- (Sabot, 1992)
- (Bocquet, 1992-2000)
- (Bonnier, 1934)
- (Hégo, 2015)
- (Owen, 1980)
- (Tela botanica, 2019)
- (Les arbres, 2019)
- (Huxley, 1992)
- (Au jardin info, 2019)
- (Muséum national d'histoire naturelle, 2019)
- (Bonassi J. C., 2015)
- (PNR Lorraine, Ballons des Vosges, Vosges du nord, 2008)
- (White & More, 2005)
- (Ekopédia, 2019)
- (Pénicaud, Chauves-souris arboricoles en Bretagne (France) : typologie de 60 arbres-gîtes et éléments de l'écologie des Chauves-souris arboricoles en Bretagne (France) :, 2000)
- (Van Daele, 2019)
- (France AgriMer, 2017)
- (Lagacherie & Cabannes, 2019)
- (Dorion, 2016)
- (PlantFileonLine, 2019)
- (Pépinière Lappen, 2015)
- (Jullien, 2010)
- (Pépinière Bruns, 2019)

2.5 - Paysage et cadre de vie

Les services rendus paysagers sont détaillés dans le tableau ci-dessous. Chaque espèce est évaluée par un ensemble de critères regroupés en famille de services paysagers attendus identifiés et définis dans le 2.8. Ces critères ont été choisis pour leur rôle significatif en termes d'aménagement de l'espace, d'ambiance créée de confort apporté.

Pour rappel, pour un besoin d'harmonisation avec les autres services écosystémiques schématisés sur les fiches 'espèces', un indicateur composite a été mis au point. Celui-ci permet d'identifier les espèces répondant à un maximum de critères paysagers. Ainsi, à partir des 4 rôles identifiés, une espèce se voit attribuer 0.5, 1 ou 0 en fonction de sa capacité à répondre ou pas à un faisceau de critères (ou sous rôle identifiés).

		Services paysagers attendus de l'espèce Critères d'évaluation Données Cerema										
		Structurer l'espace			Animer l'espace / qualifier une ambiance		Apporter du confort		Jouer sur la symbolique du lieu Conforter une identité			synthèse sur 10 points
		Port architecturé , dessin des charpentier es, graphisme des branches	Qualité du feuillage persistant ou densité, graphisme du feuillage	capacité à supporter la taille : former des écran ou des filtres	Saisonnali té / événement ponctuel	Particularit és (sens) repérable, élément signal	Qualité de l'ombre, reflet / lumière du feuillage	brise vent / écran / limite	Identité et popularité locale	symbolique	évo cateur d'ambiance ou milieu	
Abelia	<i>Abelia floribunda</i>	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	4
Sapin du colorado	<i>Abies concolor</i>	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	5
Sapin d'Espagne	<i>Abies pinsapo</i>	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	5
Érable champêtre	<i>Acer campestre</i>	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	6
Erable de Montpellier	<i>monspessulan um</i>	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	7
Érable plane	<i>acer platanoides</i>	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	5
Érable sycomore	<i>pseudoplatan us</i>	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	5
Érable hybride	<i>Acer rubrum fremanii</i>	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	6
Érable à sucre	<i>Acer saccharum</i>	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	7
M arronnier d'Inde	<i>Aesculus hypocastanum</i>	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	7
M arronnier rouge	<i>Aesculus x carnea</i>	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	7
Aulne glutineux	<i>Alnus glutinosa</i>	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	6
Aulne blanc	<i>Alnus incana</i>	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	5
Amélanchier	<i>Amelanchier ovalis</i>	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	7
Épine vinette	<i>Berberis vulgaris</i>	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	5
Bouleau verruqueux	<i>Betula pendula Roth</i>	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	6
arbre aux bonbons	<i>Callicarpa (genre)</i>	0,5	0,5	1	1	1	0	0	0	0	1	5
Charme commun	<i>Carpinus betulus</i>	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	8
Catalpa	<i>Catalpa bignonioides</i>	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	7

Cèdre de l'Atlas	<i>Cedrus atlantica</i>	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	7
Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	5
Micocoulier de Provence	<i>Celtis australis</i>	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	6
Micocoulier occidental	<i>Celtis occidentalis</i>	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	6
Arbre de Judée	<i>Cercis siliquastrum</i>	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	6
Cornouiller des pagodes	<i>Cornus controversa</i>	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	7
Cornouiller mâle	<i>Cornus mas</i>	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	6
Cornouiller sanguin	<i>Cornus sanguinea</i>	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	6
Noisetier	<i>Corylus avellana</i>	0	1	1	1		1	1	1	0	0	6
Noisetier de Byzance	<i>Corylus colurna</i>	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	7
à feuilles de saule	<i>Cotoneaster salicifolius</i>	1		0	1	1	1	0	1	0	0	5
épineuse & Aubépine	<i>laevigata & Crataegus</i>	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	6
Fusain d'Europe	<i>Euonymus europaeus</i>	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	6
Frêne à fleurs	<i>Fraxinus ornus</i>	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	5
Ginkgo	<i>Ginkgo biloba</i>	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	6
Févier d'Amérique	<i>Gleditsia triacanthos</i>	1	0	0	1	1	1	0	0		1	5
Lierre grimpant	<i>Hedera helix</i>	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	9
Houx	<i>Ilex aquifolium</i>	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	7
Genévrier commun	<i>Juniperus communis</i>	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	5
Savonnier	<i>Koeleruteria paniculata</i>	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	7
Mélèze d'Europe	<i>Larix decidua</i>	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	6
Lavande	<i>Lavandula angustifolia</i>	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	8
Troène commun	<i>Ligustrum vulgare</i>	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	7
Copalme d'Amérique	<i>Liquidambar styraciflua</i>	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	6
Tulipier de Virginie	<i>Liriodendron tulipifera</i>	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	6
grandes fleurs	<i>Magnolia grandiflora</i>	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	7
Charme houblon	<i>Ostrya caprinifolia</i>	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	7
Vigne vierge	<i>sus quinquefolia</i>	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	8
tomenteux ou impérial	<i>Paulownia tomentosa</i>	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	5
Jasmin des poètes	<i>Philadelphus coronarius</i>	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	7
Photinia	<i>Photinia serratifolia</i>	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	5
Epicéa commun	<i>Picea abies</i>	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	6
Pin sylvestre	<i>Pinus sylvestris</i>	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	7
Poirier de Chine	<i>Pirus calleryana</i>	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	6
Platane	<i>vulgaris, x hybrida, x</i>	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	9
Peuplier blanc	<i>Populus alba</i>	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	8
Tremble	<i>Populus tremula</i>	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	6
Merisier	<i>Prunus avium</i>	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	8
Cerisier à grappes	<i>Prunus padus</i>	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	6
Sargent et à fleurs	<i>sargentii-subhirtella</i>	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	7

Buisson ardent	<i>Pyracantha coccinea</i>	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	7
Chêne blanc	<i>Quercus alba</i>	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	7
chevelu de bourgogne	<i>Quercus cerris</i>	1	1	0	1	1	1	1	1	1		8
Chêne de Hongrie	<i>Quercus frainetto</i>	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	8
Chêne vert	<i>Quercus ilex</i>	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	7
Chêne du Caucase	<i>Quercus macranthera</i>	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	7
Chêne sessile	<i>Quercus petraea</i>	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	7
Chêne pédonculé	<i>Quercus robur</i>	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	9
Chêne rouge d'Amérique	<i>Quercus rubra</i>	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	8
Chêne de Turner	<i>turneri pseudoturke</i>	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	7
Saule blanc	<i>Salix alba</i>	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	9
Saule pourpre	<i>Salix purpurea</i>	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	7
Saule des vanniers	<i>Salix viminalis</i>	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	7
Sureau noir	<i>Sambucus nigra</i>	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	5
Séquoia géant	<i>dron giganteum</i>	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	6
Séquoia toujours vert	<i>sempervirens</i>	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	6
Sophora du Japon	<i>Sophora japonica</i>	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	7
Alisier blanc	<i>Sorbus aria</i>	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	6
Sorbier des oiseaux	<i>aucuparia, y compris S.</i>	0	0	0	1	1	1	0	1		1	5
sorbiers (Alisier de	<i>intermedia, Sorbus</i>	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	7
Alisier torminal	<i>Sorbus torminalis</i>	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	5
Lilas commun	<i>Syringa vulgaris</i>	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	5
If	<i>Taxus baccata</i>	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	7
petites feuilles	<i>Tilia cordata</i>	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	8
grandes feuilles	<i>Tilia platyphyllos</i>	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	8
résistant à la graphiose	<i>resista Lutece</i>	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	7
Viorne lantane	<i>Viburnum lantana</i>	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	8
Viorne obier	<i>Viburnum opulus</i>	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	7

Tableau 34 : Evaluation des espèces par services paysagers rendus

Les résultats confortés par des données de terrain peuvent être illustrés ici par le biais des deux exemples ci-dessous :

	Services paysagers attendus Critères d'évaluation Données Cerema										
	Structurer l'espace			Animer l'espace / qualifier une ambiance		Apporter du confort		Jouer sur la symbolique du lieu Conforter une identité			Synthèse
	Port architect uré	Qualité du feuillage persistan t ou densité	capacité à supporte r la taille : former des écran ou des filtres	Saisonnali té / événement ponctuel	Particularit é repère	Ombrage lumière	brise vent / écran / limite	Identité et populari té locale	symboliqu e	évocateur d'ambianc e ou milieu	
<i>Carpinus betulus</i>	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	8
<i>Koelreuteria paniculata</i>	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	7



Figure 14 : Port architecturé, densité du feuillage, marcescence, popularité, ambiance et capacité à supporter la taille : les nombreux services paysagers rendus par le *Carpinus betulus*

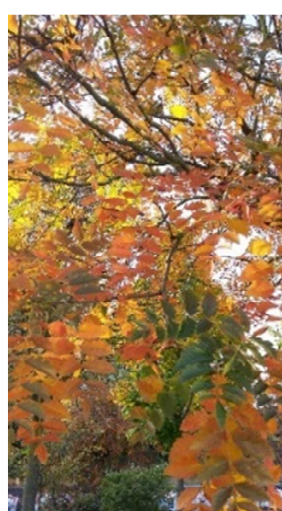
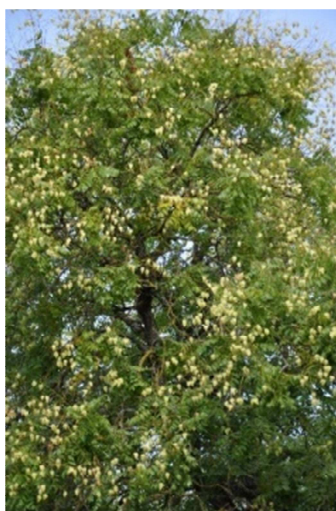
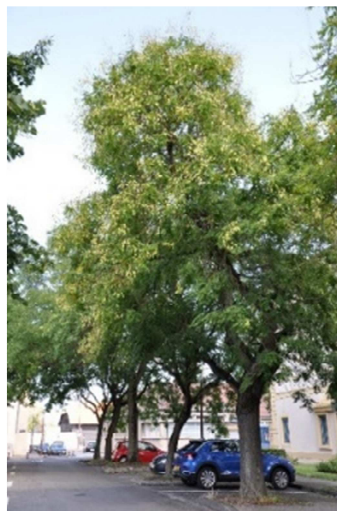


Figure 13 : ombrage, animation et ambiance, des services paysagers rendus par le *Koelreuteria* à Metz Place de France Parc Jean Marie Pelt

2.6 - Contraintes

Les résultats en termes de contraintes sont présentés ci-dessous, en distinguant la contrainte liée au risque allergique et les contraintes physiques.

2.6.1 Contrainte liée au risque allergique

Le tableau 37 détaille les résultats de l'analyse pour ce qui concerne le risque allergique. Ces résultats sont illustrés ci-dessous par deux exemples : le Bouleau verruqueux (*Betula pendula*) et le Sapin d'Espagne (*Abies pinsapo*).

Sapin d'Espagne	Caractère allergisant
<i>Abies pinsapo</i>	Nul à très faible
	Risque allergique 0

Tableau 35 : Risque allergique : exemple du Sapin d'Espagne (photo Cerema)



Platane	Caractère allergisant
<i>Platanus vulgaris</i> , <i>x hybrida</i> , <i>x hispanica</i>	Pollen fortement allergène. Pic d'intensité variable selon les années. Toutefois les poils des feuilles et fruits sont également irritants.
	Risque allergique -8

Tableau 36 : Risque allergique : exemple du Platane (photo Cerema)



Nom vernaculaire	Nom scientifique	Caractère allergisant	Risque aller- gique (de - 10 à 0)
Abelia	Abelia floribunda	nul ou très faible	0
Sapin du colorado	Abies concolor	nul ou très faible	0
Sapin d'Espagne	Abies pinsapo	nul ou très faible	0
Érable champêtre	Acer campestre	Risque d'exposition allergie faible et rare, nécessite un contact direct	-2
Erable de Montpellier	Acer monspessulanum	Risque d'exposition allergie faible et rare, nécessite un contact direct	-2
Érable plane	Acer platanoides	Risque d'exposition allergie faible et rare, nécessite un contact direct	-2
Érable sycomore	Acer pseudoplatanus	Risque d'exposition allergie faible et rare, nécessite un contact direct	-2
Érable hybride	Acer rubrum fremanii	Risque d'exposition allergie faible et rare, nécessite un contact direct	-2
Marronnier d'Inde	Aesculus hypocastanum	nul ou très faible	-2
Marronnier rouge	Aesculus x carnea	nul ou très faible	-2
Aulne glutineux	Alnus glutinosa	moyen mais variable selon les années. Pic d'inten- sité : mars	-6
Aulne blanc	Alnus incana	moyen mais variable selon les années. Pic d'inten- sité : mars	-6
Amélanchier	Amelanchier ovalis	nul ou très faible	0
Épine vinette	Berberis vulgaris	nul ou très faible	0
Bouleau verruqueux	Betula pendula	très fort. Pic d'intensité en avril et un peu en mai	-10
Callicarpe, arbre aux bonbons	Callicarpa (genre)	nul ou très faible	0
Charme commun	Carpinus betulus	moyen. risque variable selon les années (de nul à très élevé). Pic d'intensité en avril.	-6
Catalpa	Catalpa bignonioides	nul ou très faible	0
Cèdre de l'Atlas	Cedrus atlantica	très faible.	-2
Cèdre du Liban	Cedrus libani	très faible.	-2
Micocoulier de Provence	Celtis australis	très faible.	-2
Micocoulier occidental	Celtis occidentalis	nul ou très faible	0
Arbre de Judée	Cercis siliquastrum	nul ou très faible	0
Cornouiller des pagodes	Cornus controversa	nul ou très faible	0
Cornouiller mâle	Cornus mas	nul ou très faible	0
Cornouiller sanguin	Cornus sanguinea	nul ou très faible	0
Noisetier	Corylus avellana	Risque allergie : très faible à moyen, variable selon les années Pic d'intensité en mars	-4
Noisetier de Byzance	Corylus colurna	Risque allergie : très faible à moyen, variable selon les années Pic d'intensité en mars	-4
Cotoneaster à feuilles de saule	Cotoneaster salicifolius	nul ou très faible	0
Aubépine épineuse & Aubépine monogyne	Crataegus laevigata & Cra- taegus monogyna	nul ou très faible	0
Fusain d'Europe	Euonymus europaeus	nul ou très faible	0
Frêne à fleurs	Fraxinus ornus	Risque allergie : moyen à élevé Pic d'intensité : avril	-6
Ginkgo	Gingko biloba	nul ou très faible	0
Févier d'Amérique	Gleditsia triacanthos	nul ou très faible	0
Lierre grimpant	Hedera helix	nul ou très faible	0
Houx	Ilex aquifolium	nul ou très faible	0
Genévrier commun	Juniperus communis	faible à moyen.	-4
Savonnier	Koelreuteria paniculata	nul ou très faible	0
Mélèze d'Europe	Larix decidua	nul ou très faible	0
Lavande	Lavandula angustifolia	nul ou très faible	0
Troène commun	Ligustrum vulgare	moyen.	-6
Copalme d'Amérique	Liquidambar styraciflua	nul ou très faible	0
Tulipier de Virginie	Liriodendron tulipifera	nul ou très faible	0
Magnolia à grandes fleurs	Magnolia grandiflora	très faible.	-2
Charme houblon	Ostrya carpinifolia	faible à moyen. risque variable selon les années (de nul à très élevé). Pic d'intensité en avril	-4
Vigne vierge	Parthenocissus quinquefolia	nul ou très faible	0
Paulownia tomenteux ou impé- rial	Paulownia tomentosa	nul ou très faible	0
Seringa, Jasmin des poètes	Philadelphus coronarius	nul ou très faible	0
Photinia	Photinia serratifolia	nul ou très faible	0
Pin sylvestre	Pinus sylvestris	nul ou très faible	0
Poirier de Chine	Pirus calleryana	faible à moyen.	-4
Platane	Platanus x acerifolia, x hy- brida, x hispanica	Pollen fortement allergène. Pic d'intensité variable se- lon les années. Toutefois les poils des feuilles et fruits sont également irritants.	-8
Peuplier blanc	Populus alba	Risque allergique faible. Pic d'intensité : fin mars dé- but avril	-4
Tremble	Populus tremula	très faible.	-2
Merisier	Prunus avium	nul ou très faible	0
Cerisier à grappes	Prunus padus	nul ou très faible	0
Cerisier de Sargent et à fleurs	Prunus sargentii-subhirtella	nul ou très faible	0
Prunelier	Prunus spinosa	nul ou très faible	0
Buisson ardent	Pyracantha coccinea	nul ou très faible	0
Chêne blanc	Quercus alba	Risque allergique d'exposition en Moselle : moyen à élevé. Pic d'intensité en mai	-8
Chêne chevelu de Bourgogne	Quercus cerris	Risque allergique d'exposition en Moselle : moyen à élevé. Pic d'intensité en mai	-8

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Caractère allergisant	Risque allergique (de -10 à 0)
Chêne de Hongrie	Quercus frainetto	Risque allergique d'exposition en Moselle : moyen à élevé. Pic d'intensité en mai	-8
Chêne vert	Quercus ilex	Risque allergique d'exposition en Moselle : moyen à élevé. Pic d'intensité en mai	-8
Chêne du Caucase	Quercus macranthera	Risque allergique d'exposition en Moselle : moyen à élevé. Pic d'intensité en mai	-8
Chêne sessile	Quercus petraea	Risque allergique d'exposition en Moselle : moyen à élevé. Pic d'intensité en mai. Par ailleurs, allergies liées aux Chenilles processionnaires.	-8
Chêne pédonculé	Quercus robur	Risque allergique d'exposition en Moselle : moyen à élevé. Pic d'intensité en mai. Par ailleurs, allergies liées aux Chenilles processionnaires.	-8
Chêne rouge d'Amérique	Quercus rubra	Risque allergique d'exposition en Moselle : moyen à élevé. Pic d'intensité en mai	-8
Chêne de Turner	Quercus x turneri pseudoturneri	Risque allergique d'exposition en Moselle : moyen à élevé. Pic d'intensité en mai	-8
Saule blanc	Salix alba	faible à moyen.	-4
Saule pourpre	Salix purpurea	faible à moyen.	-4
Saule des vanniers	Salix viminalis	faible à moyen.	-4
Sureau noir	Sambucus nigra	nul ou très faible	0
Sophora du Japon	Sophora japonica	nul ou très faible	0
Alisier blanc	Sorbus aria	nul ou très faible	0
Sorbier des oiseleurs	Sorbus aucuparia, y compris S. aucuparia fastigiata	nul ou très faible	0
autres sorbiers (Alisier de Suède : sorbus intermédia, yc cultivar Brouwers , Sorbus x thuringiaca)	Sorbus intermedia, Sorbus intermedia Brouwers, Sorbus x thuringiaca	nul ou très faible	0
Alisier torminal	Sorbus torminalis	nul ou très faible	0
Lilas commun	Syringa vulgaris	très faible.	-2
If	Taxus baccata	nul ou très faible	0
Tilleul à petites feuilles	Tilia cordata	très faible.	-2
Tilleul à grandes feuilles	Tilia platyphyllos	très faible.	-2
orme résistant à la graphiose	Ulmus x resista Lutèce	faible à moyen.	-4
Viorne lantane	Viburnum lantana	nul ou très faible	0
Viorne obier	Viburnum opulus	nul ou très faible	0

Tableau 37 : Caractérisation des espèces selon le critère "risque allergique"

Les références qui ont permis l'analyse sont les suivantes (voir aussi la bibliographie) :

- (Réseau National de Surveillance Aérobiologique, 2019)
- (Réseau National de Surveillance Aérobiologique, 2018)
- (RNSA, 2019)
- (pollen.com, 2019)
- (Cuny & Thibaudon, 2019)
- (lemonde.fr, 2019)
- Communication personnelle RNSA, 25 mars 2019

Enfin, on peut préciser que la recherche de la diminution du caractère allergisant de la végétation en ville ne se limite pas aux arbres et arbustes objets de notre travail. Les poacées (graminées) constituent une source très importante de pollens allergisants. Il peut être envisagé d'en réduire la présence, en privilégiant des plantes couvre-sol non allergisantes, comme la bugle rampante, les campanules ou les géraniums vivaces (Eurométropole de Strasbourg, 2013).



Photo Nadia Aubry, Cerema

2.6.2 Contraintes physiques

Les résultats en matière de contraintes physiques résultent du croisement des données bibliographiques trouvées, et d'échanges avec les gestionnaires des espaces verts de la ville de Metz, comme exposé dans la méthodologie.

Ces résultats méritent certainement d'être complétés par une analyse bibliographique plus approfondie, d'une part, et par des échanges avec d'autres collectivités, qui ont été confrontées à d'autres expériences de terrain. Néanmoins, ils permettent d'identifier de manière assez fiable les grandes contraintes imposées par chaque espèce.

Les deux exemples ci-dessous, présentent une espèce avec des contraintes assez fortes, et une espèce en présentant peu.

Le Sophora du Japon est un arbre très utilisé, à juste titre, en milieu urbain. Cependant son utilisation ne doit pas méconnaître les contraintes qu'il pose de par ses dimensions, la nature de ses fructifications, et surtout son système racinaire qui peut être très dommageable.

Arbre adulte de grande hauteur	Faible (21-25 m)
Arbre adulte de grande envergure	moyenne
Dépôt de miellat	
Fruits malodorants	
Fruits toxiques	faible
Racines dommageables	FORTE
Branches cassantes	faible (fragilité sujets âgés)
Espèce sensible au chablis	
Fructification entraînant des dommages	FORTE (gousses)



Contrainte faible : -1
 Contrainte moyenne : -2
 Contrainte forte : -3

Contrainte de l'espèce :
 -10

Tableau 38 : Contraintes physiques, exemple du Sophora du Japon (photo Cerema)

A contrario, le Sorbier des oiseleurs pose peu de contraintes pratiques. Arbre de petite dimension, dont les fruits, branches et racines sont peu susceptibles de poser des problèmes, sa faiblesse est ailleurs : il est relativement fragile vis-à-vis du climat difficile des villes, dans le contexte du changement climatique.

Arbre adulte de grande hauteur	
Arbre adulte de grande envergure	
Dépôt de miellat	
Fruits malodorants	
Fruits toxiques	Faible (si pas mûrs)
Racines dommageables	
Branches cassantes	
Espèce sensible au chablis	
Fructification entraînant des dommages	



Contrainte faible : -1
 Contrainte moyenne : -2
 Contrainte forte : -3

Contrainte de l'espèce :
 -1

Tableau 39 : Contraintes physiques, exemple du Sorbier des oiseleurs (photo Cerema)



A l'âge adulte, certaines espèces sont plus sensibles au risque de chute de branches.
 Photo Luc Chrétien, Cerema

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Racines superficielles et/ou puissantes dommageables	Branches cassantes	Espèce sensible au chablis	Fructification pouvant entraîner des dommages	Dépôt de miellat	Fruits malodorants	Fruits toxiques	Arbre adulte de grande hauteur	Arbre adulte de grande envergure
Abelia	Abelia floribunda									
Sapin du colorado	Abies concolor									
Sapin d'Espagne	Abies pinsapo									
Érable champêtre	Acer campestre									
Erable de Montpellier	Acer monspessulanum									
Érable plane	Acer platanoides									
Érable sycomore	Acer pseudoplatanus									
Érable hybride	Acer rubrum fremanii									
Marronnier d'Inde	Aesculus hypocastanum							faiblement		sauf cultivars
Marronnier rouge	Aesculus x carnea									
Aulne glutineux	Alnus glutinosa									
Aulne blanc	Alnus incana									
Amélanchier	Amelanchier ovalis									
Épine vinette	Berberis vulgaris							si pas mûrs		
Bouleau verruqueux	Betula pendula									
Callicarpe, arbre aux bonbons	Callicarpa (genre)									
Charme commun	Carpinus betulus									
Catalpa	Catalpa bignonioides									20 m de large
Cèdre de l'Atlas	Cedrus atlantica									
Cèdre du Liban	Cedrus libani									
Micocoulier de Provence	Celtis australis									
Micocoulier occidental	Celtis occidentalis									
Arbre de Judée	Cercis siliquastrum									
Cornouiller des pagodes	Cornus controversa									port étalé
Cornouiller mâle	Cornus mas									
Cornouiller sanguin	Cornus sanguinea									
Noisetier	Corylus avellana									
Noisetier de Byzance	Corylus colurna									
Cotoneaster à feuilles de saule	Cotoneaster salicifolius									
Aubépine épineuse & Aubépine monogyne	Crataegus laevigata & Crataegus monogyna									
Fusain d'Europe	Euonymus europaeus									
Frêne à fleurs	Fraxinus ornus									
Ginkgo	Gingko biloba						femelle			
Févier d'Amérique	Gleditsia triacanthos							feuilles toxiques		
Lierre grimpant	Hedera helix									
Houx	Ilex aquifolium							enfants		
Genévrier commun	Juniperus communis									
Savonnier	Koelreuteria paniculata									
Mélèze d'Europe	Larix decidua									
Lavande	Lavandula angustifolia									
Troène commun	Ligustrum vulgare									
Copalme d'Amérique	Liquidambar styraciflua									
Tulipier de Virginie	Liriodendron tulipifera									
Magnolia à grandes fleurs	Magnolia grandiflora									
Charme houblon	Ostrya carpinifolia									
Vigne vierge	Parthenocissus quinquefolia							rarissime		
Paulownia tomenteux ou impérial	Paulownia tomentosa									port étalé
Seringa, Jasmin des poètes	Philadelphus coronarius									
Photinia	Photinia serratifolia									
Pin sylvestre	Pinus sylvestris									
Poirier de Chine	Pirus calleryana									
Platane	Platanus x acerifolia, x hybrida, x hispanica									
Peuplier blanc	Populus alba									
Tremble	Populus tremula									
Merisier	Prunus avium									
Cerisier à grappes	Prunus padus									

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Racines superficielles et/ou puissantes dommageables	Branches cassantes	Espèce sensible au chablis	Fructification pouvant entraîner des dommages	Dépôt de miellat	Fruits malodorants	Fruits toxiques	Arbre adulte de grande hauteur	Arbre adulte de grande envergure
Cerisier de Sargent et à fleurs	<i>Prunus sargentii-subhirtella</i>									
Prunelier	<i>Prunus spinosa</i>									
Buisson ardent	<i>Pyracantha coccinea</i>									
Chêne blanc	<i>Quercus alba</i>									
Chêne chevelu de bourgogne	<i>Quercus cerris</i>									
Chêne de Hongrie	<i>Quercus frainetto</i>									
Chêne vert	<i>Quercus ilex</i>									
Chêne du Caucase	<i>Quercus macranthera</i>									
Chêne sessile	<i>Quercus petraea</i>									
Chêne pédonculé	<i>Quercus robur</i>									
Chêne rouge d'Amérique	<i>Quercus rubra</i>									
Chêne de Turner	<i>Quercus x turneri pseudotur-neri</i>									
Saule blanc	<i>Salix alba</i>									
Saule pourpre	<i>Salix purpurea</i>									
Saule des vanniers	<i>Salix viminalis</i>									
Sureau noir	<i>Sambucus nigra</i>									
Sophora du Japon	<i>Sophora japonica</i>		si âgé							port étalé
Alisier blanc	<i>Sorbus aria</i>									
Sorbier des oiseleurs	<i>Sorbus aucuparia</i> , y compris <i>S. aucuparia fastigiata</i>							si pas mûrs		
autres sorbiers (Alisier de Suède : sorbus intermédia, yc cultivar Brouwers , Sorbus x thuringiaca)	<i>Sorbus intermedia</i> , <i>Sorbus intermedia Brouwers</i> , <i>Sorbus x thuringiaca</i>									
Alisier torminal	<i>Sorbus torminalis</i>									
Lilas commun	<i>Syringa vulgaris</i>									
If	<i>Taxus baccata</i>							oui, graine		
Tilleul à petites feuilles	<i>Tilia cordata</i>									
Tilleul à grandes feuilles	<i>Tilia platyphyllos</i>									
orme résistant à la graphiose	<i>Ulmus x resista Lutèce</i>									
Viorne lantane	<i>Viburnum lantana</i>									
Viorne obier	<i>Viburnum opulus</i>							cru		

	Contrainte forte
	Contrainte moyenne
	Contrainte faible, non négligeable
	Contrainte nulle ou négligeable

Tableau 40 : Caractérisation des espèces selon le critère "contraintes physiques"

Les références qui ont permis l'analyse sont les suivantes (voir aussi la bibliographie) :

(Eurométropole de Strasbourg, 2013)
(Huxley, 1992)
(Jullien, 2010)
(Leroy, 2009)
(Plants for a future, 2019)
(Pépinère Bruns, 2019)
(Pépinère Lappen, 2015)
(Pépinères Daniel Soupe, 2012)
(Pépinères Daniel Soupe, 2012)
(White & More, 2005)
(CSTB, Guinaudeau Claude, 2010)

2.6.3 Emission de composés organiques volatiles

Les sources de données étant largement incomplètes ou très limitées en Europe, les notes utilisées pour classer les espèces en fonction de leur capacité d'émission de COV proviennent de la base de données américaine issue des travaux de Nowak (Nowak & Dwyer, 2007).

Dans cette base, les espèces sont caractérisées par une note issue de modélisation biophysique validée par des mesures pour un nombre limité d'espèces. Dans certains cas, la note attribuée l'est au niveau du genre. Parmi les espèces retenues pour notre projet, 52 sont renseignées dans la base de données de Nowak (appelée ci-après base de données I-tree).

D'après le classement effectué pour les données par genre dans la base I-tree concernant les émissions de COV, les données concernant certains genres ne seront pas utilisées dans le cadre de notre projet car l'écart-type de la série de données est trop éloigné de la moyenne des émissions de COV pour le même genre.

Deux raisons à cela :

- peu d'espèces dans le même genre et les émissions des différentes espèces sont très éloignées les unes des autres ;
- un grand nombre d'espèces dans le même genre avec de grandes variations d'émissions d'une espèce à l'autre.

Ceci concerne pour la première raison les genres suivants : *Abies*, *Picea*, *Platanus*.

Et pour la deuxième raison les genres suivants : *Pinus*, *Populus*, *Quercus*.

Pour les espèces renseignées, trois classes ont été créées (capacités d'émission « faible », « moyenne » ou « forte ») et construites d'après la méthode des seuils de Jenks appliquée à l'ensemble des espèces présentes dans I-il-tree. Elles sont réparties comme suit (les valeurs sont en µg de carbone émis par arbre et par heure en moyenne sur une année) :

- entre 0 et 81,1 : classe peu émissive notée dans le tableau "valeur=1" ou classe « faible » ,
- entre 81,2 et 254,3 : classe moyennement émissive notée dans le tableau "valeur=2" ou classe « moyenne » ,
- entre 253,4 et 972,8 : classe fortement émissive notée dans le tableau "valeur=3" ou classe « forte » .

Ces données sont corrélées avec un autre indicateur présent dans I-tree, "Air quality improvement" calculant le delta entre les émissions et la captation de COV pour une espèce (ou un genre selon le cas).

Par ailleurs, ne sont pas renseignées les espèces dont le genre ne comprend qu'une seule espèce dans la base I-tree : *Aesculus*, *Alnus*, *Carpinus*, *Cedrus*, *Cercis*, *Ginkgo*, *Larix*, *Liquidambar*, *Liriodendron*, *Magnolia*, *Ostrya*, *Paulownia*, *Sequoiadendron*, *Sequoias*, *Sophora*, *Taxus*.

Les résultats sont représentés dans le tableau 41.

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Classe d'émission de COV (1 pour faible, 2 pour moyenne, 3 pour forte)
Abelia	<i>Abelia floribunda</i>	-
Sapin du Colorado	<i>Abies concolor</i>	-
Sapin d'Espagne	<i>Abies pinsapo</i>	-
Érable champêtre	<i>Acer campestre</i>	1
Érable de Montpellier	<i>Acer monspessulanum</i>	1
Érable plane	<i>Acer platanoides</i>	1
Érable sycomore	<i>Acer pseudoplatanus</i>	1
Érable hybride	<i>Acer rubrum fremanii</i>	1
Marronnier d'Inde	<i>Aesculus hypocastanum</i>	-
Marronnier rouge	<i>Aesculus x carnea</i>	-
Aulne glutineux	<i>Alnus glutinosa</i>	-
Aulne blanc	<i>Alnus incana</i>	-
Amélanchier	<i>Amelanchier ovalis</i>	-
Épine vinette	<i>Berberis vulgaris</i>	-
Bouleau verruqueux	<i>Betula pendula</i>	1
Callicarpe, arbre aux bonbons	<i>Callicarpa</i> (genre)	-
Charme commun	<i>Carpinus betulus</i>	-
Catalpa	<i>Catalpa bignonioides</i>	1
Cèdre de l'Atlas	<i>Cedrus atlantica</i>	-
Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	-
Micocoulier de Provence	<i>Celtis australis</i>	1
Micocoulier occidental	<i>Celtis occidentalis</i>	1
Arbre de Judée	<i>Cercis siliquastrum</i>	-
Cornouiller des pagodes	<i>Cornus controversa</i>	1
Cornouiller mâle	<i>Cornus mas</i>	1
Cornouiller sanguin	<i>Cornus sanguinea</i>	1
Noisetier	<i>Corylus avellana</i>	1
Noisetier de Byzance	<i>Corylus colurna</i>	1
Cotoneaster à feuilles de saule	<i>Cotoneaster salicifolius</i>	-
Aubépine épineuse & Aubépine monogyne	<i>Crataegus laevigata</i> & <i>Crataegus monogyna</i>	1
Fusain d'Europe	<i>Euonymus europaeus</i>	1
Frêne à fleurs	<i>Fraxinus ornus</i>	1
Ginkgo	<i>Ginkgo biloba</i>	-
Févier d'Amérique	<i>Gleditsia triacanthos</i>	-
Lierre grimpant	<i>Hedera helix</i>	-
Houx	<i>Ilex aquifolium</i>	1
Genévrier commun	<i>Juniperus communis</i>	1
Savonnier	<i>Koeleruteria paniculata</i>	-
Mélèze d'Europe	<i>Larix decidua</i>	-
Lavande	<i>Lavandula angustifolia</i>	-
Troène commun	<i>Ligustrum vulgare</i>	1
Copalme d'Amérique	<i>Liquidambar styraciflua</i>	-
Tulipier de Virginie	<i>Liriodendron tulipifera</i>	-
Magnolia à grandes fleurs	<i>Magnolia grandiflora</i>	-
Charme houblon	<i>Ostrya carpinifolia</i>	-
Vigne vierge	<i>Parthenocissus quinquefolia</i>	-
Paulownia tomenteux ou impérial	<i>Paulownia tomentosa</i>	-
Seringa, Jasmin des poètes	<i>Philadelphus coronarius</i>	-
Photinia	<i>Photinia serratifolia</i>	-

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Classe d'émission de COV (1 pour faible, 2 pour moyenne, 3 pour forte)
<i>Pin sylvestre</i>	<i>Pinus sylvestris</i>	-
<i>Poirier de Chine</i>	<i>Pirus calleryana</i>	-
<i>Platane</i>	<i>Platanus x acerifolia, x hybrida, x hispanica</i>	-
<i>Peuplier blanc</i>	<i>Populus alba</i>	-
<i>Tremble</i>	<i>Populus tremula</i>	-
<i>Merisier</i>	<i>Prunus avium</i>	1
<i>Cerisier à grappes</i>	<i>Prunus padus</i>	1
<i>Cerisier de Sargent et à fleurs</i>	<i>Prunus sargentii-subhirtella</i>	1
<i>Prunelier</i>	<i>Prunus spinosa</i>	1
<i>Buisson ardent</i>	<i>Pyracantha coccinea</i>	-
<i>Chêne blanc</i>	<i>Quercus alba</i>	-
<i>Chêne chevelu de bourgogne</i>	<i>Quercus cerris</i>	-
<i>Chêne de Hongrie</i>	<i>Quercus frainetto</i>	-
<i>Chêne vert</i>	<i>Quercus ilex</i>	-
<i>Chêne du Caucase</i>	<i>Quercus macranthera</i>	-
<i>Chêne sessile</i>	<i>Quercus petraea</i>	-
<i>Chêne pédonculé</i>	<i>Quercus robur</i>	-
<i>Chêne rouge d'Amérique</i>	<i>Quercus rubra</i>	-
<i>Chêne de Turner</i>	<i>Quercus x turneri pseudoturneri</i>	-
<i>Saule blanc</i>	<i>Salix alba</i>	2
<i>Saule pourpre</i>	<i>Salix purpurea</i>	2
<i>Saule des vanniers</i>	<i>Salix viminalis</i>	2
<i>Sureau noir</i>	<i>Sambucus nigra</i>	1
<i>Séquoia géant</i>	<i>Sequoiadendron giganteum</i>	-
<i>Séquoia toujours vert</i>	<i>Sequoia sempervirens</i>	-
<i>Sophora du Japon</i>	<i>Sophora japonica</i>	-
<i>Alisier blanc</i>	<i>Sorbus aria</i>	1
<i>Sorbier des oiseleurs</i>	<i>Sorbus aucuparia, y compris S. aucuparia fastigiata</i>	1
<i>autres sorbiers (Alisier de Suède : sorbus intermédia, yc cultivar Brouwers , Sorbus x thuringiaca)</i>	<i>Sorbus intermedia, Sorbus intermedia Brouwers, Sorbus x thuringiaca</i>	1
<i>Alisier torminal</i>	<i>Sorbus torminalis</i>	1
<i>Lilas commun</i>	<i>Syringa vulgaris</i>	-
<i>If</i>	<i>Taxus baccata</i>	-
<i>Tilleul à petites feuilles</i>	<i>Tilia cordata</i>	1
<i>Tilleul à grandes feuilles</i>	<i>Tilia platyphyllos</i>	1
<i>orme résistant à la graphiose</i>	<i>Ulmus x resista Lutèce</i>	1
<i>Viorne lantane</i>	<i>Viburnum lantana</i>	1
<i>Viorne obier</i>	<i>Viburnum opulus</i>	1

Tableau 41 : Données COV pour les espèces considérées dans l'étude.

2.7 - Autres paramètres

2.6.1 Adaptation au climat messin, dans le contexte du changement climatique

Ce critère synthétise trois sous-critères :

- l'adaptation au climat messin,
- l'adaptation aux spécificités urbaines,
- l'adaptation supposée au changement climatique.

Le premier sous-critère fait référence à la « zone de rusticité ». Celle-ci se définit comme la zone géographique dans laquelle, en règle générale, une espèce particulière résiste encore au gel. Il s'agit d'une information générale qui bien sûr n'intègre pas les conditions locales particulières (Pépinière Bruns, 2019). Le plateau lorrain se situant dans la zone 7, en théorie les espèces correspondant à une zone de rusticité égale ou inférieure, supporteront les plus faibles températures hivernales de la zone 7.

Les données relatives à l'adaptation au climat messin, dans le contexte du changement climatique, figurent dans le tableau des pages suivantes.

Les exemples ci-dessous, présentent une espèce particulièrement adaptée, et une espèce dont le développement sera plus difficile.

Le Micocoulier de Provence (*Celtis australis*)

Aire de répartition naturelle	Adaptation aux spécificités du climat urbain	Adaptation aux évolutions climatiques attendues	synthèse
Espèce méditerranéenne, mais qui peut tolérer des climats plus froids → 1	Le micocoulier supporte très bien les fortes chaleurs estivales, les sols secs et pauvres. Adapté aux sols secs et compacts, il présente de bons atouts en milieu urbain → 4	espèce à affinité méridionale, le Micocoulier trouvera de plus en plus sa place dans le contexte du nord-est de la France → 3	Le Micocoulier de Provence est adapté aux sols secs, compacts, et pauvres ; il supporte bien les fortes chaleurs, ainsi que le froid. Il est donc bien adapté à l'évolution du climat local → 8/10

Tableau 42 : Exemple du Micocoulier de Provence (photo Cerema)



Le Séquoia géant (*Sequoiadendron giganteum*)

Aire de répartition naturelle	Adaptation aux spécificités du climat urbain	Adaptation aux évolutions climatiques attendues	synthèse
L'écologie du Séquoia demande une humidité atmosphérique élevée, ce qui n'est pas toujours le cas dans la région. → 1	Les séquoias sont exigeants, notamment en eau. Ils sont fragiles vis-à-vis des spécificités urbaines. Le Séquoia géant a toutefois une certaine tolérance pour les sols compacts. → 1	L'expérience récente, notamment à Metz, montre une grande fragilité en particulier vis-à-vis des épisodes caniculaires et de sécheresse. → 0	Espèce exigeante, le Séquoia géant risque de mal prospérer dans un contexte d'évolution climatique défavorable. → 2/10

Tableau 43 : Exemple du Séquoia géant (photo Cerema)



Nom vernaculaire	Nom scientifique	Adaptation au climat lorrain texte / note		Adaptation aux spécificités urbaines texte / note		Adaptation supposée au changement climatique texte / note		Synthèse texte / note	
<i>Abelia</i>	<i>Abelia floribunda</i>	Zone de rusticité : 8a. Se remet bien des gels hivernaux.	0	Pas d'information trouvée.	1	Pas d'information trouvée.	1	Espèce peu rustique, susceptible toutefois de bien se remettre des froids hivernaux.	2
<i>Sapin du Colorado</i>	<i>Abies concolor</i>	Résineux américain originaire des Montagnes Rocheuses, jusqu'à 3 000 m d'altitude, particulièrement résistant au gel.	2	Le Sapin du Colorado résiste bien à la pollution urbaine et à l'atmosphère des villes.	3	Espèce insensible à la sécheresse. Supporte la forte chaleur, la sécheresse estivale et les atmosphères peu humides comme quasiment aucun autre sapin.	3	Résineux américain originaire des Montagnes Rocheuses, résistant bien à la pollution, particulièrement peu sensible à la sécheresse, il est par ailleurs très résistant au gel.	8
<i>Sapin d'Espagne</i>	<i>Abies pinsapo</i>	Espèce originaire du sud de l'Espagne, mais néanmoins rustique jusqu'en Scandinavie.	1	Adapté aux sols secs et compacts, il présente donc des atouts en milieu urbain.	3	sa résistance à la sécheresse lui permet d'excellents résultats en ville.	3	Originaire du sud de l'Espagne, mais néanmoins rustique jusqu'en Scandinavie, le Sapin d'Espagne est adapté aux sols secs et compacts, il résiste bien à la sécheresse, il présente donc des atouts en milieu urbain.	7
<i>Érable champêtre</i>	<i>Acer campestre</i>	Espèce naturellement présente sur le plateau lorrain, zone de rusticité 5a.	3	Adapté aux sols secs et compacts, il présente donc des atouts en milieu urbain. Plusieurs cultivars sont bien résistants à la pollution industrielle. Tolère bien l'atmosphère des villes.	3	L'érable champêtre aime la chaleur, il supporte les pentes calcaires orientées au sud. C'est une espèce particulièrement résistante à la cavitation.	3	Naturellement présent sur le plateau lorrain, rustique, l'Érable champêtre est adapté aux sols secs et compacts. Il supporte très bien la chaleur et la pollution. Il présente donc des atouts en milieu urbain.	9
<i>Érable de Montpellier</i>	<i>Acer monspessulanum</i>	Petit érable originaire du sud de l'Europe, mais dont l'aire naturelle remonte assez loin vers le nord, et qui s'avère résistant dans le nord-est de la France. Zone de rusticité 6a, résiste bien aux fortes gelées. Un des plus rustiques des érables.	2	Adapté aux sols secs et compacts, il présente donc des atouts en milieu urbain. Il résiste bien à l'air sec des villes.	3	Son origine méridionale constitue un atout pour l'adaptation au changement climatique. Il perd sans dommage son feuillage les années de sécheresse.	3	Cet érable méridional, mais dont l'aire naturelle remonte assez loin au nord, est adapté aux sols secs et compacts. Il supporte bien la chaleur, l'air sec des villes, et perd sans dommage son feuillage en cas de sécheresse.	8
<i>Érable plane</i>	<i>Acer platanoides</i>	Espèce naturellement présente sur le plateau lorrain. Zone de rusticité 4.	3	Adapté aux sols compacts, il présente certains atouts en milieu urbain. Il résiste bien à la pollution des villes, y compris industrielle, supporte la chaleur et la sécheresse. Sur trottoir, il est sensible aux échaudures.	3	L'érable plane est nettement plus résistant à la sécheresse que l'érable sycomore, extraordinairement résistant selon certaines sources. Il est capable d'augmenter sa concentration en hormones de manière à faire face à la sécheresse. C'est une espèce plutôt résistante à la cavitation.	2	Naturellement présent dans la région, l'érable plane est adapté aux sols urbains compacts, résistant à la pollution, et très résistant à la sécheresse.	8
<i>Érable sycomore</i>	<i>Acer pseudo-platanus</i>	Espèce naturellement présente sur le plateau lorrain. Extrêmement rustique. Zone de rusticité 4.	3	L'érable sycomore est très résistant à la pollution atmosphérique selon certaines sources. Mais cependant, la pollution de l'air et le climat urbain tendraient à exacerber ses problèmes sanitaires, notamment la maladie de la cime. D'autres sources le décrivent comme très sensible à la pollution atmosphérique. Il tolère les sols compacts.	1	L'érable sycomore est sensible au manque d'eau et aux fortes chaleurs, et donc au risque climatique. Cela est à mettre en relation avec sa forte évapotranspiration.	1	Naturellement présent dans la région, l'érable plane est adapté aux sols urbains compacts, et semble sensible à la pollution atmosphérique. Il est par ailleurs sensible au manque d'eau et aux fortes chaleurs.	5
<i>Érable hybride</i>	<i>Acer rubrum fremanii</i>	Rustique, zone de rusticité 4, bonne résistance au gel.	2	Plusieurs cultivars sont réputés bien résistants au climat urbain. Craint toutefois les sols compactés.	3	Espèce sensible à la chaleur.	1	Hybride entre l'érable rouge et l'érable argenté. Résistant au gel, et au climat urbain pour plusieurs cultivars utilisés, mais sensible aux fortes chaleurs.	6
<i>Marronnier d'Inde</i>	<i>Aesculus hypocastanum</i>	Le Marronnier d'Inde est parfaitement adapté au climat du nord-est de la France, où il est acclimaté depuis le XVIème siècle. Zone de rusticité 4.	2	Adapté aux sols compacts, il présente certains atouts en milieu urbain. Il est quand même sensible à une trop grande compression de la surface. Un des arbres les plus plantés en ville, il a fait ses preuves de son adaptation au climat urbain, il est toutefois plus sensible à la pollution et à la déshydratation que le Platane.	3	Pas d'information trouvée.	1	L'un des arbres les plus plantés en ville, le Marronnier d'Inde a fait ses preuves de son adaptation au climat urbain. Dans une certaine mesure, il supporte les sols compactés.	6
<i>Marronnier rouge</i>	<i>Aesculus x carnea</i>	Zone de rusticité 5b.	2	Les arbres bien implantés tolèrent un environnement urbain. Adapté aux sols compacts, il présente certains atouts en milieu urbain. Résiste bien aux pollutions industrielles et au climat des villes, mais sensible à une trop grande compaction du sol.	3	Ssupporte une sécheresse temporaire.	2	Arbre aux exigences voisines de celles du Marronnier d'Inde, adapté au contexte urbain, supportant bien une sécheresse temporaire. Sensible aux sols trop compactés.	7
<i>Aulne glutineux</i>	<i>Alnus glutinosa</i>	Espèce naturellement présente sur le plateau lorrain.	3	Le système racinaire de l'aulne, favorisant l'aération des sols compacts, son caractère pionnier, et son activité symbiotique enrichissant les sols en azote, lui confèrent des atouts dans un environnement urbain difficile. Adapté aux sols secs et compacts, il présente donc des atouts en milieu urbain. Très résistant aux pollutions industrielles. Sa longévité est toutefois limitée. Son comportement est mauvais sur voirie.	2	Les fortes sécheresses peuvent finir par lui être préjudiciables. L'espèce résiste mal à la cavitation.	1	Le système racinaire de l'aulne, favorisant l'aération des sols, compacts, son caractère pionnier, et son activité symbiotique enrichissant les sols en azote, lui confèrent des atouts dans un environnement urbain difficile. Adapté aux sols secs et compacts, il présente donc des atouts en milieu urbain, même si les fortes sécheresses peuvent lui être préjudiciables. Sa longévité est toutefois limitée.	6

<i>Aulne blanc</i>	<i>Alnus incana</i>	Espèce naturellement présente en Europe continentale, et du Caucase à la toundra arctique.	2	Espèce pionnière, résistante et rustique, et à croissance rapide. Adapté aux sols secs et compacts, l'Aulne blanc présente donc des atouts en milieu urbain. Longévité limitée.	3	Bonne croissance dans les sols secs et calcaires.	2	Espèce pionnière, résistante et rustique, et à croissance rapide. Adapté aux sols secs et compacts, l'Aulne blanc présente donc des atouts en milieu urbain. Sa longévité est toutefois limitée.	7
<i>Amélanchier</i>	<i>Amelanchier ovalis</i>	Espèce naturellement présente sur le plateau lorrain, résistante au gel. zone de rusticité 5a.	3	Naturellement présent sur les coteaux secs et pierreux, l'Amélanchier est adapté au contexte urbain difficile. Résistant au climat urbain et à la pollution, y compris industrielle.	3	Espèce naturellement présente au sud de la Lorraine, mais à affinités méridionales et présent aux étages collinéen et montagnard, l'Amélanchier semble adapté aux évolutions attendues du climat lorrain. Il supporte bien la chaleur.	3	Espèce naturellement présente au sud de la Lorraine, mais à affinités méridionales et présent aux étages collinéen et montagnard, et par ailleurs appréciant les contextes secs et pierreux. L'Amélanchier semble adapté aux évolutions attendues du climat lorrain. Il supporte bien le climat urbain et la pollution.	9
<i>Épine vinette</i>	<i>Berberis vulgaris</i>	Espèce naturellement présente sur le plateau lorrain. Résistant au gel.	3	Peut prospérer sur sols relativement pauvres et secs. Résistant au climat urbain. Résistant à la pollution.	3	Les berbéris supportent sans dommage les périodes estivales de chaleur et de sécheresse.	2	L'épine vinette peut prospérer sur sols relativement pauvres et secs, et supporte bien la chaleur, la sécheresse et la pollution.	8
<i>Bouleau ver-ruqueux</i>	<i>Betula pendula</i>	Espèce naturellement présente sur le plateau lorrain.	3	Espèce pionnière, rustique et très tolérante à la qualité des sols, donc résistante en milieu urbain, mais faible longévité. Résiste assez bien aux pollutions industrielles et à l'atmosphère urbaine.	2	Bonne résistance aux fortes chaleurs et à la sécheresse.	3	Espèce autochtone, pionnière, rustique et très tolérante à la qualité des sols, à la chaleur et à la sécheresse, donc résistante en milieu urbain, mais à faible longévité.	8
<i>Callicarpe, arbre aux bonbons</i>	<i>Callicarpa (genre)</i>	Les jeunes sujets craignent les fortes gelées, les vieux individus sont plus résistants.	0	Pas d'information trouvée.	1	Le Callicarpe supporte très bien la sécheresse.	2	Espèce peu exigeante mais qui craindrait les sols trop secs en été.	3
<i>Charme commun</i>	<i>Carpinus betulus</i>	Espèce naturellement présente sur le plateau lorrain.	3	Espèce forestière et d'ombre, le Charme commun peut éprouver des difficultés à atteindre l'âge adulte, mais une fois bien installé il peut s'avérer résistant. Il tolère des sols compactés et la pollution. Il tolère l'atmosphère urbaine. Constitue des haies vigoureuses et rustiques.	2	Dans un contexte climatique plus difficile, le Charme peut présenter des difficultés à s'installer. Il a en effet des besoins en humidité atmosphérique relativement élevés. Supporte relativement bien les sécheresses estivales. Le Charme a une assez bonne résistance à la cavitation.	2	En tant qu'arbre, le Charme tolère les sols compactés mais le manque d'humidité peut le pénaliser en particulier dans le jeune âge. Il peut constituer des haies rustiques une fois bien installées. Il tolère l'atmosphère urbaine.	7
<i>Catalpa</i>	<i>Catalpa bignonioides</i>	Espèce originaire du sud des Etats-Unis. Zone de rusticité 6b, peu sensible au gel.	1	Espèce bien développée dans les centres-villes depuis le XIXème siècle, résistante à la poussière et à la saleté. Le Catalpa résiste bien à la sécheresse. Il résiste aux pollutions industrielles. Supporte très bien le climat des villes.	4	Supporte étonnamment bien la sécheresse.	3	Espèce bien développée dans les centres-villes depuis le XIXème siècle, résiste très bien au climat urbain en général, à la poussière et à la saleté. Le Catalpa résiste par ailleurs bien à la sécheresse.	8
<i>Cèdre de l'Atlas</i>	<i>Cedrus atlantica</i>	Espèce originaire des montagnes d'Afrique du nord (Atlas), mais qui supporte également les fortes gelées.	2	Les Cèdres supportent bien les sols compacts et secs des villes, ils sont résistants au climat urbain et à la pollution atmosphérique.	3	Le Cèdre de l'Atlas supporte un air assez sec et de fortes chaleurs, il serait donc bien adapté aux changements climatiques à venir.	3	Espèce tolérante aux sols secs et compacts des villes, supportant la pollution atmosphérique, les fortes chaleurs mais aussi les grands froids.	8
<i>Cèdre du Liban</i>	<i>Cedrus libani</i>	Espèce originaire des montagnes du Moyen-Orient. Résistant au gel. Zone de rusticité 7a.	2	Les Cèdres supportent bien les sols compacts et secs des villes, et l'atmosphère urbaine.	3	Le Cèdre du Liban supporte un air assez sec, de fortes chaleurs et les sécheresses estivales, il serait donc bien adapté aux changements climatiques à venir.	3	Espèce tolérante aux sols secs et compacts des villes, supportant les fortes chaleurs.	8
<i>Micocoulier de Provence</i>	<i>Celtis australis</i>	Espèce méditerranéenne, mais qui peut tolérer des climats plus froids. Zone de rusticité : 6b. Sensible au gel au stade juvénile.	1	Les micocouliers supportent très bien les fortes chaleurs estivales, les sols secs et pauvres. Adapté aux sols secs et compacts, il présente de très bons atouts en milieu urbain. Adapté à l'atmosphère urbaine et résiste à la pollution industrielle.	4	Espèce à affinité méridionale, le Micocoulier trouvera de plus en plus sa place dans le contexte du nord-est de la France. Très résistant à la sécheresse.	3	Le Micocoulier de Provence est adapté aux sols secs, compacts, et pauvres ; il supporte bien les fortes chaleurs, il est rustique même s'il est un peu plus sensible aux gelées que le Micocoulier occidental. Il est donc bien adapté à l'évolution du climat local.	8
<i>Micocoulier occidental</i>	<i>Celtis occidentalis</i>	Bonne résistance au gel. Zone de rusticité : 4.	2	Les micocouliers supportent très bien les fortes chaleurs estivales, les sols secs et pauvres. Adapté aux sols secs et compacts, il présente de bons atouts en milieu urbain. Très bonne résistance en ville. Difficile à former, il présente un panel d'utilisation en ville plus réduit que le Micocoulier de Provence.	3	Espèce à affinité méridionale, le Micocoulier trouvera de plus en plus sa place dans le contexte du nord-est de la France. Résiste bien à la chaleur et à la sécheresse.	3	Le Micocoulier occidental est adapté aux sols secs, compacts, et pauvres ; il supporte bien les fortes chaleurs, et assez bien le froid. Il est donc bien adapté à l'évolution du climat local, et supporte bien le climat urbain, bien que difficile à former.	8
<i>Arbre de Judée</i>	<i>Cercis siliquastrum</i>	Zone de rusticité 7a, sensible au gel aux stades juvéniles mais de plus en plus rustique en prenant de l'âge.	1	L'arbre de Judée est considéré comme idéal pour les habitats chauds, secs et ensoleillés. Il est adapté aux sols secs et compacts qui caractérisent le milieu urbain. Producteur d'azote. Résistant au climat des villes.	3	Très bien adapté à la sécheresse une fois installé. Supporte très bien les longues périodes de sécheresse et de chaleur.	3	Arbre très bien adapté aux climats chauds, secs et ensoleillés, résistant au climat des villes. Supporte bien le gel après quelques années d'installation.	7
<i>Cornouiller des pagodes</i>	<i>Cornus controversa</i>	Espèce très rustique au froid.	2	Pas d'information trouvée.	1	Le sol trop sec n'est pas favorable au Cornouiller des pagodes. Besoins en eau importants, espèce qui doit être arrosée en période de sécheresse.	0	Arbuste cultivé pour son port original, le Cornouiller des pagodes n'est pas particulièrement adapté au contexte urbain dans le contexte du changement climatique.	3
<i>Cornouiller mâle</i>	<i>Cornus mas</i>	Espèce naturellement présente sur le plateau lorrain. Zone de rusticité 5a.	3	Résistant à l'atmosphère urbaine, à la pollution.	3	Espèce tolérante de sols relativement pauvres et secs. Supporte bien les périodes assez longues de chaleur et de sécheresse.	2	Espèce tolérante aux sols relativement pauvres et secs, résistante à la pollution et aux périodes assez longues de chaleur et de sécheresse.	8
<i>Cornouiller sanguin</i>	<i>Cornus sanguinea</i>	Espèce naturellement présente sur le plateau lorrain. Zone de rusticité 5a.	3	Arbuste résistant au climat urbain et à la pollution.	3	Le Cornouiller sanguin supporte moins bien la sécheresse que le Cornouiller mâle.	1	Espèce typique des haies en milieu rural, résistante à la pollution et au climat urbain, résiste à la chaleur mais pas toujours aux fortes sécheresses.	7

Noisetier	<i>Corylus avel-lana</i>	Espèce naturellement pré-sente sur le plateau lorrain. Zone de rusticité 5a.	3	Résistant aux pollutions industrielles.	2	Le noisetier a une mauvaise résistance à la cavitation.	0	Espèce rustique et adaptée au cli-mat lorrain, présentant une certaine résistance à la pollution.	5
Noisetier de Byzance	<i>Corylus co-lurna</i>	Arbre répandu du sud-est de l'Europe à l'Himalaya. Résiste bien au froid hiver-nal.	2	Adapté aux sols compacts, il présente de bons atouts en milieu urbain. Il sup-porte très bien les difficiles conditions de croissance en ville. Résiste aux pol-lutions industrielles.	4	Originaire du sud de l'Europe, de Turquie et d'Iran, le Noisetier de Byzance est po-tentiellement résistant à certains aspects du changement climatique dans le nord de la France. Il tolère les fortes chaleurs et résiste à la sécheresse.	3	Le Noisetier de Byzance est un arbre adapté aux sols compacts, ré-puté supportant très bien les diffi-ciles conditions de croissance en ville, et à affinités méridionales, sup-portant chaleur et sécheresse. Un arbre d'avenir en milieu urbain.	9
Cotoneaster à feuilles de saule	<i>Cotoneaster salicifolius</i>	Arbuste exotique. Zone de rusticité 7a. 16. Résiste à - 25°C.	1	Arbuste résistant aux pollutions indus-trielles ainsi qu'à l'atmosphère urbaine.	3	Supporte bien les périodes de sèche-resse.	2	Arbuste relativement rustique, résis-tant aux pollutions industrielles et à la sécheresse.	6
Aubépine épineuse & Aubépine monogyne	<i>Crataegus laevigata & Crataegus monogyna</i>	Espèces naturellement pré-sentes sur le plateau lor-rain. Zone de rusticité 5a. extrêmement résistant au gel.	3	L'aubépine est un arbuste qui résiste bien à la pollution et à l'atmosphère des villes. Insensible aux blessures méca-niques, forte capacité de régénération.	3	Les aubépines supportent très bien la chaleur et la sécheresse.	3	Espèce autochtone, rustique, consti-tuant l'une des espèces embléma-tiques des haies rurales. Résistante à la pollution et à la chaleur, insen-sible aux blessures mécaniques et à forte capacité de régénération.	9
Fusain d'Eu-rope	<i>Euonymus eu-ropaeus</i>	Espèce naturellement pré-sente sur le plateau lorrain. Très rustique.	3	Résistant à la pollution, y compris in-dustrielle.	2	Supporte la sécheresse estivale.	2	Espèce autochtone, rustique, sup-portant la sécheresse estivale, constituant l'une des espèces em-blématiques des haies rurales.	7
Frêne à fleurs	<i>Fraxinus or-nus</i>	Frêne originaire du sud de l'Europe et de l'Ouest de l'Asie. Zone de rusticité 7a. très rustique.	2	Adapté aux sols compacts, il présente certains atouts en milieu urbain. Tolère l'atmosphère urbaine.	3	Originaire du sud de l'Europe et du sud-ouest de l'Asie, le Frêne à fleurs supporte remarquablement la sécheresse, la cha-leur et les sols secs voire très secs.	3	Frêne à affinités méridionales, re-marquablement résistant à la sèche-resse et aux sols compactés du mi-lieu urbain.	8
Ginkgo	<i>Ginkgo biloba</i>	Le Ginkgo biloba est origi-naire de parties de la Chine à climat équatorial, mais dans des zones monta-gneuses, ce qui permet à l'espèce une bonne résis-tance au froid. Zone de rusticité 5a.	2	Le Ginkgo est un arbre particulièrement résistant à la pollution, même aux plus fortes, aux agressions diverses et aux maladies. Il supporte bien les sols secs et compacts des villes. Résistant en zone urbaine difficile.	4	Sa tolérance aux fortes chaleurs consti-tue un atout dans le contexte du change-ment climatique.	3	Le Ginkgo est un arbre particulière-ment résistant à la pollution, aux agressions diverses et aux mala-dies. Il supporte bien les sols secs et compacts des villes	9
Févier d'Amérique	<i>Gleditsia tria-canthos</i>	Arbre originaire de l'Onta-rio, la Floride et le Texas. Zone de rusticité 6a. 16	1	Certaines variétés de Févier d'Amé-rique supportent très bien la pollution, y compris industrielle, et la chaleur ur-baine, comme Sunburst. Adapté aux sols secs et compacts, il présente des atouts en milieu urbain. L'un des li-gneux les plus résistants au salage.	4	Sa tolérance des sols secs constitue un atout dans le contexte du changement cli-matique. Étonnamment résistant à la sé-cheresse.	3	Certaines variétés de Févier d'Amé-rique supportent très bien la pollu-tion et la chaleur urbaines, comme Sunburst. Adapté aux sols secs et compacts, résistant à la pollution, il présente des atouts en milieu urbain dans le contexte du changement cli-matique.	8
Lierre grim-pant	<i>Hedera helix</i>	Espèce naturellement pré-sente sur le plateau lorrain. Zone de rusticité 6a.	3	Le lierre est peu exigeant quant à la qualité du sol, et résiste assez bien à la sécheresse. Il résiste aux gaz urbains et industriels et de manière générale à l'atmosphère urbaine. Il tolère très bien la concurrence racinaire.	3	Supporte bien les chaleurs estivales, même en plein soleil, mais apprécie une atmosphère humide.	2	Le lierre est peu exigeant quant à la qualité du sol, et résiste assez bien à la sécheresse, à la pollution et à la concurrence racinaire.	8
Houx	<i>Ilex aquifo-lium</i>	Espèce naturellement pré-sente sur le plateau lorrain, mais préfère un climat plus atlantique. Zone de rusti-cité 7a.	2	Espèce peu exigeante mais à privilégier en situation ombragée. Résiste à la pol-lution : s'est montré insensible aux ef-fets chroniques de fumées acides et des gaz en zone industrielle.	2	Le houx craint les sols trop secs.	0	Espèce peu exigeante mais à privi-légier en situation ombragée. Peu adapté aux sécheresses prolon-gées.	4
Genévrier commun	<i>Juniperus communis</i>	L'espèce est rare dans le nord-est de la France. Très résistant au gel, zone de rusticité 3.	2	Espèce qui supporte très bien les sols très secs. Supporte l'atmosphère ur-baine mais sensible aux effets des fu-mées.	1	Supporte bien la sécheresse estivale.	2	Espèce qui supporte très bien les sols très secs. Tolère l'atmosphère urbaine.	5
Savonnier	<i>Koelreuteria paniculata</i>	Espèce originaire de l'est de l'Asie. Zone de rusticité 7a. Un peu sensible au gel au stade juvénile.	1	Nécessitant une terre fertile et de préfé-rence une position abritée, le Savonnier peut rencontrer des difficultés en ville, il peut toutefois y prospérer en cas de conditions favorables. Tolère l'atmos-phère urbaine. En particulier il supporte bien les sols secs. Peut être sensible au compactage des sols.	2	Supporte bien la sécheresse et la forte chaleur.	3	Nécessitant une terre fertile et de préférence une position abritée, le Savonnier peut rencontrer des diffi-cultés en ville, il peut toutefois y prospérer en cas de conditions favo-rables. En particulier il supporte bien les sols secs et l'atmosphère de la ville.	6
Mélèze d'Eu-rope	<i>Larix decidua</i>	Espèce originaire des Alpes et des Carpates. Zone de rusticité 4. Résis-tant au gel	2	Le Mélèze d'Europe supporte bien les fortes chaleurs. Il résiste à la pollution. Mais difficile à former, il s'insère sou-vent mal en milieu urbain.	1	Le Mélèze d'Europe possède des atouts pour que sa proportion croisse dans les forêts françaises (accepte tous types de sols sauf très humides, caractère pion-nier, supporte les fortes chaleurs). Ces caractères constituent aussi des atouts en milieu urbain.	3	Le Mélèze d'Europe possède des atouts : accepte tous types de sols sauf très humides, caractère pion-nier, supporte les fortes chaleurs. Il est résistant à la pollution. Mais diffi-cile à former, il s'insère souvent mal en milieu urbain.	6
Lavande	<i>Lavandula angustifolia</i>	Espèce originaire des ré-gions montagneuses et en-soleillées de la zone médi-terrannéeenne. Zone de rusti-cité 5a.	1	L'espèce apprécie surtout les emplace-ments ensoleillés, pauvres et secs ou un peu frais. Elles s'accommodent de divers types de sols, sauf de ceux qui seraient très humides. Toutes les par-ties de la plante témoignent d'une ex-cellente adaptation à un milieu sec et aride et au climat urbain. Les racines notamment, sont nombreuses et s'en-foncent profondément dans le sol.	3	Son caractère méditerranéen, supportant les sols arides, lui confère des atouts pour résister aux changements clima-tiques.	3	Espèce d'origine méditerranéenne, supportant très bien la chaleur et les fortes sécheresses, notamment du fait de son enracinement profond même en sol aride. Supporte le cli-mat urbain.	7
Troène com-mun	<i>Ligustrum vulgare</i>	Espèce naturellement pré-sente sur le plateau lorrain. Espèce très rustique, qui ne gèle pas.	3	Résistant à la pollution industrielle. To-lère l'atmosphère urbaine.	3	Espèce résistante à la sécheresse et à la forte chaleur.	2	Espèce naturellement présente sur le plateau lorrain, résistante à la sé-cheresse et aux fortes chaleurs.	8

<i>Copalme d'Amérique</i>	<i>Liquidambar styraciflua</i>	Originaire du sud-est des Etats-Unis. Zones de rusticité 5b. Sensible au gel au stade juvénile.	1	Adapté aux sols compacts, il présente certains atouts en milieu urbain, mais il n'apprécie pas les sols trop secs.	2	Résistant au climat des villes, mais craint la sécheresse. À privilégier en situation fraîche.	1	Adapté aux sols compacts, il présente certains atouts en milieu urbain, mais il n'apprécie pas les sols trop secs.	4
<i>Tulipier de Virginie</i>	<i>Liriodendron tulipifera</i>	Espèce américaine, sensible au gel au stade juvénile. Zone de rusticité 6a.	1	Le Tulipier est généralement un arbre citadin adapté à la pollution aérienne, bien qu'il nécessite un sol fertile humide. Il supporte bien les sols compacts. Tolérance limitée aux atmosphères urbaines.	2	Moyennement résistant au climat urbain. Amateur de chaleur.	2	Le Tulipier est généralement un arbre citadin adapté à la pollution aérienne, bien qu'il nécessite un sol fertile humide. Il supporte bien les sols compacts.	5
<i>Magnolia à grandes fleurs</i>	<i>Magnolia grandiflora</i>	Originaire des Etats-Unis. Zone de rusticité 7b.	1	Le Magnolia est assez exigeant relativement aux sols. Ses racines sont extrêmement sensibles.	1	Son besoin d'une humidité constante du sol peut constituer une fragilité.	1	La relative exigence du Magnolia à grandes fleurs vis-à-vis du sol, et de son humidité en particulier, et la grande sensibilité de ses racines, peuvent constituer des fragilités.	3
<i>Charme houblon</i>	<i>Ostrya carpinifolia</i>	Arbre originaire d'Europe méridionale et d'Asie mineure. Très résistant au gel. Zone de rusticité 6b.	2	Supporte l'atmosphère urbaine, adapté aux sols secs et compacts, le Charme houblon présente donc des atouts en milieu urbain.	3	Supporte très bien les fortes chaleurs.	3	Adapté aux sols secs et compacts, et supportant très bien les fortes chaleurs, le Charme houblon présente des atouts en milieu urbain, dans lequel il est considéré comme une espèce d'avenir.	8
<i>Vigne vierge</i>	<i>Parthenocissus quinquefolia</i>	La Vigne vierge vraie résiste à des températures de – 25°C.	2	Espèce couramment utilisée en milieu urbain, tolérant l'atmosphère urbaine.	3	Plante aimant la chaleur.	1	Espèce rustique couramment utilisée en milieu urbain.	6
<i>Paulownia tomenteux ou impérial</i>	<i>Paulownia tomentosa</i>	Espèce originaire du sud-est de l'Asie. Zone de rusticité 7b. Besoin de protection à l'état juvénile.	1	Le Paulownia supporte bien la pollution y compris industrielle et tolère l'atmosphère urbaine.	3	Supporte étonnamment bien les sécheresses estivales.	3	Le Paulownia supporte bien la pollution et l'atmosphère urbaine, mais mal le gel à l'état juvénile.	7
<i>Seringa, Jasmin des poètes</i>	<i>Philadelphus coronarius</i>	Le Seringa supporte des températures très basses, de l'ordre de – 40 °C. Zone de rusticité 5a.	2	Tient en atmosphère urbaine et en pollution industrielle.	3	Le Seringa est adapté aux sols secs.	2	Le Seringa supporte des températures très basses, de l'ordre de – 40 °C. Il tolère l'atmosphère urbaine.	7
<i>Photinia</i>	<i>Photinia seratifolia</i>	Arbuste originaire de Taiwan.	0	Le Photinia tolère l'atmosphère urbaine.	3	Pas d'information trouvée.	1	Arbuste originaire de Taiwan, tolérant bien l'atmosphère urbaine.	4
<i>Pin sylvestre</i>	<i>Pinus sylvestris</i>	Espèce très rustique, parfaitement résistante au gel : zone de rusticité 1.	3	Le Pin sylvestre supporte bien les sols compactés et secs des villes. Il tolère l'atmosphère urbaine, et la pollution industrielle.	3	S'adaptant facilement à de nombreux types climatiques, le Pin Sylvestre fait partie des espèces qui peuvent relativement bien supporter le changement climatique. Il supporte bien les fortes chaleurs et la sécheresse.	2	S'adaptant facilement à de nombreux types climatiques, le Pin Sylvestre fait partie des espèces qui peuvent relativement bien supporter le changement climatique. Il supporte bien les sols compactés et secs des villes.	8
<i>Platane</i>	<i>Platanus x acerifolia, x hybrida, x hispanica</i>	Sans être originaire du plateau lorrain, le Platane est parfaitement adapté à son climat. Zone de rusticité : 6a.	2	Le Platane est particulièrement adapté à l'environnement urbain : il résiste très bien à la pollution, y compris industrielle, il cicatrise très rapidement en particulier. Adapté aux sols compacts, il présente de bons atouts en milieu urbain. Extraordinairement résistant à l'air sec, aux dégradations mécaniques.	4	La résistance du Platane en fait une espèce qui reste utilisable dans le contexte du changement climatique. Extraordinairement résistant au climat des villes, aimant la chaleur.	3	Le Platane est particulièrement adapté à l'environnement urbain : il résiste très bien à la pollution, à la chaleur et à l'air sec, il cicatrise très rapidement en particulier. Adapté aux sols compacts, il présente de bons atouts en milieu urbain. La résistance du Platane en fait une espèce qui reste utilisable dans le contexte du changement climatique.	9
<i>Peuplier blanc</i>	<i>Populus alba</i>	Arbre d'Europe centrale et méridionale. Zone de rusticité 4.	2	Adapté aux sols secs et compacts, il présente de bons atouts en milieu urbain, résistant à l'atmosphère urbaine et industrielle.	3	Préfère les sols frais, mais s'adapte toutefois dans les terrains secs.	2	Supportant les sols secs et compacts, et l'atmosphère des villes, le Peuplier blanc présente de bons atouts en milieu urbain.	7
<i>Tremble</i>	<i>Populus tremula</i>	Espèce naturellement présente sur le plateau lorrain, très résistant au gel : zone de rusticité 2.	3	Espèce pionnière et de pleine lumière, supportant bien les sols compacts, tolérant à l'atmosphère urbaine et à la pollution industrielle, le Tremble présente certains atouts vis-à-vis du climat urbain.	3	Pas d'information trouvée.	1	Espèce pionnière et de pleine lumière, supportant bien les sols compacts, le Tremble présente certains atouts vis-à-vis du climat urbain.	7
<i>Merisier</i>	<i>Prunus avium</i>	Espèce naturellement présente sur le plateau lorrain. Zone de rusticité 5a.	3	Le Merisier est résistant à la sécheresse. Adapté aux sols compacts, il présente certains atouts en milieu urbain. Il résiste à la pollution industrielle.	3	Le Merisier est résistant à la sécheresse et à la chaleur. C'est une espèce résistante à la cavitation.	2	Le Merisier est rustique et résistant à la sécheresse. Adapté aux sols compacts, il présente certains atouts en milieu urbain.	8
<i>Cerisier à grappes</i>	<i>Prunus padus</i>	Espèce naturellement présente sur le plateau lorrain.	3	Le cerisier à grappes tolère les sols très pauvres et compactés, mais mal les sols secs. Il est résistant aux pollutions industrielles.	2	Craint les sols très secs, à privilégier plutôt en zone naturelle. Il peut toutefois supporter les sécheresses temporaires si la nappe phréatique est accessible.	0	Le cerisier à grappes tolère les sols très pauvres et compactés, il résiste aux pollutions industrielles. Il supporte des sécheresses temporaires, mais mal des sécheresses importantes.	5
<i>Cerisier de Sargent et à fleurs</i>	<i>Prunus sargentii-subhirtella</i>	Originaire d'extrême orient, arbres très résistant au gel.	2	Supporte l'atmosphère urbaine.	2	Pas d'information trouvée.	1	Le Cerisier de Sargent serait sensible à la pollution et à la sécheresse.	5
<i>Prunelier</i>	<i>Prunus spinosa</i>	Espèce naturellement présente sur le plateau lorrain.	3	Le Prunelier tolère bien les sels de déneigement, il s'adapte à des habitats très variés. Il supporte les pollutions industrielles. Plus adapté aux zones naturelles qu'à l'environnement très urbain.	2	Constituant généralement des haies rustiques, le Prunelier n'est pas l'espèce la plus exposée.	2	Espèce rustique, tolérant notamment les sels de déneigement et supportant la pollution. Sa forme très rustique le rend peu adapté en milieu très urbain.	7
<i>Buisson ardent</i>	<i>Pyracantha coccinea</i>	Espèce originaire du sud-est de l'Europe, zone de rusticité 6b.	2	Espèce adaptée aux sols secs et pauvres et à la chaleur, à affinités méditerranéennes, résistante à la pollution.	3	Sa tolérance aux sols secs et à la chaleur lui confère des atouts dans le contexte du changement climatique.	3	Espèce adaptée aux sols secs et pauvres et à la chaleur, résistante à la pollution.	8
<i>Poirier de Chine</i>	<i>Pyrus calleryana</i>	Poirier exotique, zone de rusticité 5b à 6a selon les variétés.	2	Espèce très rustique, qui tolère bien l'environnement pollué des villes, réputée insensible à la pollution y compris industrielle.	3	Espèce supportant très bien les fortes chaleurs grâce à son enracinement profond et à son type de feuillage.	3	espèce très rustique, qui tolère bien l'environnement des villes, réputée insensible à la pollution.	8

Chêne blanc	<i>Quercus alba</i>	Climat continental humide aux Etats-Unis.	1	Le Chêne blanc aurait une tolérance élevée au climat urbain. En effet il est adapté aux sols secs. Selon les sources, il tolère ou non les sols compacts. Tolère le sel.	4	Son adaptation aux sols secs et à la sécheresse (enracinement profond) est un atout dans le contexte du changement climatique.	2	Le Chêne blanc aurait une tolérance élevée au climat urbain. En effet il est adapté aux sols secs, ce qui constitue un atout dans le contexte du changement climatique. Il est peu sensible au sel.	7
Chêne chevelu de bourgogne	<i>Quercus cer-ris</i>	Le Chêne chevelu est naturellement présent dans le sud-est de l'Europe, mais il est présent à l'état dispersé plus au nord. Bonne résistance au gel, zone de rusticité 6b.	2	Le Chêne chevelu aurait une tolérance élevée au climat urbain. Adapté aux sols secs et compacts, il présente donc des atouts en milieu urbain. C'est une espèce thermophile. Adapté aux situations chaudes et sèches des villes.	4	Résiste à la sécheresse, aime la chaleur. il est probable que l'aire de répartition du Chêne chevelu se déplace vers le nord et donc qu'il soit de plus en plus adapté dans le nord-est.	3	Le Chêne chevelu aurait une tolérance élevée au climat urbain. Adapté aux sols secs et compacts, il présente donc des atouts en milieu urbain. C'est une espèce thermophile qui ne craint pas la sécheresse.	9
Chêne de Hongrie	<i>Quercus frai-netto</i>	Espèce originaire du sud-est de l'Europe. Zone de rusticité 6a. Bonne résistance au gel.	2	Le Chêne de Hongrie aurait une tolérance élevée au climat urbain.	3	Espèce à affinités méridionales, supportant les fortes chaleurs et des périodes de sécheresse plutôt longues.	3	Le Chêne de Hongrie, espèce à affinités méridionales, aurait par ailleurs une tolérance élevée au climat urbain.	8
Chêne vert	<i>Quercus ilex</i>	Le chêne méditerranéen par excellence. Il ne supporte pas les très grands froids (zone de rusticité 8a). Toutefois les plantations récentes dans le nord-est montrent en général une bonne adaptation.	1	Le chêne vert supporte particulièrement bien l'atmosphère des villes. Il supporte mieux les sols très secs que les chênes endémiques. Il est thermophile mais résistant au froid, et xérophile. Adapté aux sols secs et compacts, il présente donc des atouts en milieu urbain.	4	Le Chêne vert est une espèce qui apparaît particulièrement adapté au nord-est de la France dans le contexte du changement climatique. Adapté aux situations chaudes et sèches.	3	Le chêne vert supporte particulièrement bien l'atmosphère des villes. Il supporte mieux les sols très secs que les chênes endémiques. Il est thermophile, relativement résistant au froid pour une espèce méditerranéenne, et xérophile. Adapté aux sols secs et compacts, il présente donc des atouts en milieu urbain, et apparaît particulièrement adapté au nord-est de la France dans le contexte du changement climatique.	8
Chêne du Caucase	<i>Quercus ma-cranthera</i>	Originaire du Caucase et de l'Iran. Rustique (zone de rusticité 6a) mais craint les gels tardifs.	1	Le chêne du Caucase serait résistant à la sécheresse et au sel. Tient bien en atmosphère urbaine.	3	Espèce méridionale, résistante à la sécheresse et à la chaleur.	2	Chêne méridional, rustique mais craignant le gel tardif, qui serait résistant à la chaleur, à la sécheresse, mais aussi au sel.	6
Chêne sessile	<i>Quercus pe-traea</i>	Espèce naturellement présente sur le plateau lorrain. Zone de rusticité 5.	3	Le Chêne sessile supporte bien la sécheresse. Sa tolérance des sols secs et compactés lui confère des atouts en milieu urbain. Résiste à l'atmosphère urbaine et à la pollution industrielle.	3	En cas de forte sécheresse, le Chêne sessile régule bien son évapotranspiration. Traverse sans problème les sécheresses estivales. La résistance relative des deux grands chênes endémiques à la chaleur et la sécheresse, varie selon les auteurs.	3	Le Chêne sessile supporte bien la sécheresse. Sa tolérance des sols secs et compactés lui confère des atouts en milieu urbain. En cas de forte sécheresse, le Chêne sessile régule bien son évapotranspiration.	9
Chêne pédonculé	<i>Quercus ro-bur</i>	Espèce naturellement présente sur le plateau lorrain. Zone de rusticité 5a.	3	Le Chêne pédonculé peut supporter les sols urbains compactés. Il peut supporter les périodes de sécheresse estivale même dans des lieux aux conditions extrêmes. Il supporte l'atmosphère des villes et les fumées.	3	Le Chêne pédonculé est sensible à la sécheresse les premières années mais il la supporte très bien par la suite. Même pour des températures et des sécheresses extrêmes.	3	Sensible à la sécheresse les premières années, il la supporte très bien par la suite même en conditions extrêmes. Il peut supporter les sols urbains compactés.	9
Chêne rouge d'Amérique	<i>Quercus ru-bra</i>	Chêne originaire de l'est de l'Amérique du nord, très résistant au gel.	2	Le Chêne rouge supporte assez bien la pollution atmosphérique et la sécheresse. Il est extraordinairement résistant à la pollution des villes, particulièrement insensible aux effets chroniques des fumées acides. Toutefois il cicatrise difficilement.	3	Le Chêne rouge supporte assez bien la sécheresse et les périodes de forte chaleur estivale.	3	Le Chêne rouge supporte très bien la pollution atmosphérique et assez bien la sécheresse, toutefois il cicatrise difficilement, ce qui peut être un handicap en milieu urbain.	8
Chêne de Turner	<i>Quercus x turneri pseu-doturneri</i>	Le Chêne de Turner est un hybride entre le chêne pédonculé et le chêne vert. Zone de rusticité 7b. Sensible au gel tardif.	1	Ce chêne est considéré comme ayant un énorme potentiel en conditions urbaines. Il résiste très bien aux pollutions.	4	Hybride du chêne vert, le chêne de Turner présente des atouts en ce qui concerne sa résistance aux effets du changement climatique. Amateur de chaleur.	3	Hybride du chêne vert et du Chêne pédonculé, le chêne de Turner présente des atouts en ce qui concerne sa résistance à la pollution aux effets du changement climatique. Sensible au gel tardif.	8
Saule blanc	<i>Salix alba</i>	Espèce naturellement présente sur le plateau lorrain. Zone de rusticité 4.	3	Bien que particulièrement adapté aux berges de cours d'eau, le Saule blanc est présent en ville dans d'autres contextes et peut atteindre de belles dimensions. Une fois installé, il supporte bien les sols secs. Il résiste remarquablement en sol difficile. Supporte les atmosphères urbaines mais très sensible aux sols compactés.	2	Peu de données disponibles, mais le Saule blanc n'est probablement pas à compter parmi les espèces particulièrement armées face au changement climatique.	1	Le Saule blanc peut supporter des sols secs, mais dans le contexte du changement climatique il est à privilégier en contexte humide, bord de cours d'eau.	6
Saule pourpre	<i>Salix purpu-rea</i>	Espèce naturellement présente sur le plateau lorrain. Zone de rusticité 5a.	3	Selon certains auteurs, le saule pourpre supporte bien l'atmosphère urbaine.	2	Selon certaines sources, craint les sols secs, selon d'autres réputé pour sa résistance à la sécheresse.	1	Le saule pourpre supporte l'atmosphère des villes, et un certain niveau de sécheresse.	6
Saule des vanniers	<i>Salix vimina-lis</i>	Espèce naturellement présente sur le plateau lorrain. Zone de rusticité 4.	3	Apart en bord de cours d'eau, le saule des vanniers ne paraît pas particulièrement adapté au climat des villes.	0	Espèce sensible à la sécheresse, à privilégier en secteur humide.	0	Le saule des vanniers est peu adapté au climat des villes, en dehors des bordures de cours d'eau.	3
Sureau noir	<i>Sambucus ni-gra</i>	Espèce naturellement présente sur le plateau lorrain. Zone de rusticité 5a.	3	Le Sureau noir est particulièrement résistant à la pollution. peu sensible aux effets chroniques des polluants, contrairement aux autres espèces de sureau.	3	Supporte des périodes de sécheresse.	2	Espèce rustique et particulièrement résistante à la pollution.	8
Sophora du Japon	<i>Sophora japo-nica</i>	Espèce exotique originaire des plaines arides de Chine. Bonne résistance au gel des sujets âgés.	2	Supportant bien la pollution atmosphérique, il est très utilisé dans les pays tempérés comme arbre d'alignement ou d'ornement. Il supporte bien les sols secs et compactés des villes. Il fait partie des arbres d'alignement les plus communs dans les rues de Paris par exemple.	4	Le Sophora du Japon supporte bien les sols secs et les fortes chaleurs. Il a donc des atouts vis-à-vis du changement climatique. Supporte de très fortes chaleurs et une grande sécheresse.	3	Originaire des plaines arides de Chine, le Sophora supporte bien la pollution atmosphérique, les sols secs et compacts des villes. Supportant bien les fortes chaleurs, c'est une espèce d'avenir en milieu urbain dans le contexte du changement climatique.	9

<i>Alisier blanc</i>	<i>Sorbus aria</i>	Espèce autochtone mais appréciant peu le calcaire, Résistante au gel. Zone de rusticité 5a.	2	L'Alisier blanc tolère bien les milieux secs. Il supporte particulièrement bien la chaleur et la sécheresse estivale, mais il est peu longévif. Par ailleurs, il tolère bien l'atmosphère polluée des villes et la pollution industrielle, grâce à ses feuilles tomenteuses.	2	L'Alisier blanc tolère bien les milieux secs, et particulièrement bien la chaleur et la sécheresse estivale.	3	Espèce tolérant les milieux secs, mais aussi l'atmosphère polluée des villes, l'Alisier blanc est une espèce intéressante en milieu urbain dans le contexte du changement climatique, quoique peu longévive.	7
<i>Sorbier des oiseleurs</i>	<i>Sorbus aucuparia</i> , y compris <i>S. aucuparia fastigiata</i>	Espèce naturellement présente sur le plateau lorrain, très rustique. Zone de rusticité 3.	3	S'il n'est pas bien abrité, le Sorbier des oiseleurs peut garder un port rabougri et se développer peu. Supportant la pollution, Il tend cependant à être de plus en plus utilisé en ville. Il supporte plutôt bien les sols compactés. Ne convient guère en ville ou dans les régions à atmosphère sèche.	1	Le sorbier des oiseleurs réagit mal aux longues périodes de sécheresse estivale.	0	Le Sorbier des oiseleurs supporte bien la pollution, et les sols compacts, mais il peut garder un port rabougri s'il est mal abrité.	4
<i>autres sorbiers (Alisier de Suède : sorbus intermedia, Sorbus intermedia, Brouwers, Sorbus x thuringiaca)</i>	<i>Sorbus intermedia</i> , <i>Sorbus intermedia</i> , <i>Brouwers</i> , <i>Sorbus x thuringiaca</i>	Intermedia : résistant au gel Brouwers : résistant au gel.	2	Ces Sorbiers supportent généralement bien les sols secs et compactés. Intermedia : résistant au climat urbain. Brouwers : résistant à la pollution urbaine et au climat urbain.	3	Intermedia : résistant à la sécheresse. Brouwers : résistant aux sécheresses estivales.	2	Les sorbiers supportent généralement bien les sols secs et compactés, cette gamme de sorbiers est plus résistante et adaptable que les sorbiers indigènes.	7
<i>Alisier torminal</i>	<i>Sorbus torminalis</i>	Espèce naturellement présente sur le plateau lorrain, mais à affinité forestière.	2	L'Alisier torminal est adapté aux sols secs et compacts, et donc aux sols urbains difficiles. Il demande toutefois un sol riche, et supporte très mal les revêtements.	1	Se développant naturellement en exposition sud, et bénéficiant d'un enracinement profond, l'Alisier torminal peut être résistant aux climats extrêmes sur un sol suffisamment riche. Il résiste à la sécheresse et aux fortes chaleurs.	3	Adapté aux sols secs et compacts, et bénéficiant d'un enracinement profond, l'Alisier torminal peut être résistant aux climats extrêmes, mais il lui faut un sol assez riche.	6
<i>Lilas commun</i>	<i>Syringa vulgaris</i>	Espèce rustique, ne craignant pas le froid.	2	<i>Syringa vulgaris</i> est résistant à la pollution, et généralement au climat urbain.	3	Pas d'information trouvée.	1	Espèce rustique, peu exigeante, ne craignant pas le froid.	6
<i>If</i>	<i>Taxus baccata</i>	Espèce autochtone. Zone de rusticité 6a. Bonne résistance au gel.	3	L'If supporte bien les sols compactés des villes, ainsi que la pollution. Résiste aux climats industriels et urbains.	3	L'If réagit rapidement à la sécheresse en fermant ses stomates. Ainsi, il dispose d'une stratégie de protection efficace en cas de sécheresse. Il est particulièrement résistant à la cavitation.	3	Espèce à la fois rustique, supportant les sols compactés et la pollution, l'If s'adapte très bien aux fortes sécheresses.	9
<i>Tilleul à petites feuilles</i>	<i>Tilia cordata</i>	Espèce naturellement présente sur le plateau lorrain. Zone de rusticité 4. Très résistant au gel.	3	Les tilleuls sont réputés résistants à la pollution. Le Tilleul à petites feuilles résiste bien à l'atmosphère des villes et à la pollution industrielle.	3	Les tilleuls font partie des espèces locales qui vont plutôt tirer avantage du changement climatique. Le Tilleul à petites feuilles supporte les très fortes chaleurs et tolère les sécheresses transitoires.	3	Espèce locale résistante à la pollution, traditionnellement utilisée en ville, le Tilleul à petites feuilles aime la chaleur et tolère la canicule et les sécheresses transitoires, il offre une bonne résistance aux évolutions climatiques attendues.	9
<i>Tilleul à grandes feuilles</i>	<i>Tilia platyphyllos</i>	Espèce naturellement présente sur le plateau lorrain.	3	Le tilleul à grandes feuilles serait relativement sensible à la pollution atmosphérique.	2	Les tilleuls font partie des espèces locales qui vont plutôt tirer avantage du changement climatique. Le tilleul à grande feuille serait un peu moins résistant à la sécheresse que le tilleul à petites feuilles, il est notamment sensible aux attaques d'acariens rouges en cas de stress hydrique.	2	Espèce locale traditionnellement utilisée en ville, le Tilleul à grandes feuilles offre une bonne résistance aux évolutions climatiques attendues, même s'il est un peu moins résistant à la sécheresse que le Tilleul à petites feuilles.	7
<i>orme résistant à la graphiose</i>	<i>Ulmus x resta Lutèce</i>	Les ormes résistants sont des hybrides des ormes européens et des ormes asiatiques. Ils sont généralement bien résistants au gel.	2	Les ormes hybrides résisteraient bien à la pollution industrielle et au climat urbain en général.	3	Pas d'information trouvée.	1	Les ormes hybrides résistants à la graphiose résisteraient bien à la pollution industrielle, et au climat urbain en général.	6
<i>Viorne lantane</i>	<i>Viburnum lantana</i>	Espèce naturellement présente sur le plateau lorrain.	3	Espèce rustique et réputée très résistante à la pollution atmosphérique et généralement au climat urbain.	3	Tolère très bien la sécheresse et les fortes chaleurs une fois installée.	2	Espèce locale, réputée résistante à la pollution, rustique et tolérante à la sécheresse.	8
<i>Viorne obier</i>	<i>Viburnum opulus</i>	Espèce naturellement présente sur le plateau lorrain. Zone de rusticité 4.	3	Espèce peu adaptée au milieu difficile des villes, fortement attaquée par les pucerons dans les lieux trop secs.	1	La Viorne obier est peu tolérante aux sols très secs. Elle supporte mal les fortes chaleurs et les sécheresses estivales.	0	La viorne obier, espèce locale, est à privilégier en situation assez fraîche.	4

Tableau 44 : adaptation au climat messin, dans le contexte du changement climatique

Les principales références qui ont permis l'analyse sont les suivantes (voir aussi la bibliographie) :

(Humanité et biodiversité, 2019)
 (Office des forêts du canton de Berne, 2013)
 (White & More, 2005)
 (Garsault, 1991)
 (Arbez & Lacaze, 1998)
 (Rameau, Mansion, & Dumé, 1995)
 (Pokorny, 1987)
 (Hortipedia.com, 2019)
 (United states department of agriculture, 2019)
 (CSTB, Guinaudeau Claude, 2010)
 (Tela botanica, 2019)
 (Lieutaghi, 2004)
 (Pépinière Lappen, 2015)
 (Pépinières Daniel Soupe, 2012)
 (Jullien, 2010)
 (Pépinière Bruns, 2019)
 (Ségur, 2019)
 comm. Pers., service espaces verts de la ville de Metz

2.6.2 Organisation des végétaux dans l'espace

Ce sujet n'a pas été abordé espèce par espèce. Voir ci-dessous les recommandations générales.

3 - Recommandations générales visant à favoriser l'expression des services écosystémiques

« Donner un air plus naturel en permettant le développement d'espèces végétales en harmonie avec leur milieu, c'est donner à la nature un droit de « cité ». (Parc naturel Régional de Lorraine, 2012)

Le travail présenté ici est principalement centré sur le choix des espèces destiné à favoriser l'expression de services écosystémiques ciblés.

Toutefois, le choix des espèces n'est qu'un critère le permettant. Nous présentons ici, des recommandations générales, d'une part en ce qui concerne la répartition des végétaux dans l'espace, et d'autre part en ce qui concerne la qualité de l'installation et de l'entretien des plantations en milieu urbain.

Ce chapitre repose en grande partie sur le travail des étudiants en Foresterie Urbaine, sous la responsabilité de Marie-Reine Fleisch, AgroParisTech Nancy, mené dans le cadre du projet (AgroParisTech, 2018). Les éléments de ce rapport constituent la base de ce qui suit, enrichi de références bibliographiques supplémentaires.

3.1 - Mettre en place une gouvernance favorable à la préservation et au développement du patrimoine arboré

En amont de recommandations plus techniques, qui seront détaillées dans ce qui suit, il est important que les pouvoirs politiques donnent aux élus, aux décideurs, et aux citoyens, des signaux forts indiquant qu'une décision a été prise de mieux intégrer la prise en compte du patrimoine végétal dans l'aménagement au sens large.

Au-delà des outils juridiques, entre autre liés à l'urbanisme, qui n'ont pas vocation à être développés ici, cette impulsion peut être donnée par des documents de cadrage, à portée pratique mais aussi à forte valeur symbolique, affirmant cette politique. Au cours des décennies passées, ces documents ont pris la forme de **chartes de l'arbre**.

Il existe une charte européenne de l'arbre d'agrément, qui n'a pas de valeur contraignante mais a vocation à inspirer des démarches plus locales.

Le Grand Lyon, généralement considéré comme pionnier parmi les collectivités ayant porté un nouveau regard sur l'arbre, a édité sa charte de l'arbre en 2011. Le document, très pédagogique, comporte de nombreuses recommandations pratiques et didactiques, ainsi qu'un formulaire d'adhésion.

La ville de Metz a signé sa charte de l'arbre en 2014. Ce document a une vocation pédagogique, mais il trouve une dimension juridique en particulier dans la méthodologie proposée de chiffrage de la valeur individuelle des arbres. Aujourd'hui, Metz Métropole s'en inspire en envisage d'étendre la démarche à tout son territoire.



Figure 16 : charte européenne de l'arbre d'alignement



Figure 15 : Charte de l'arbre de Metz



Figure 17 : Charte de l'arbre du Grand Lyon

Une politique volontariste en faveur de l'arbre en ville participe à une échelle plus globale, à une meilleure expression de services recherchés.

Certaines agglomérations ont développé une politique du type « *one million trees* » qui assure une massification des plantations avec une évaluation des services écosystémiques rendus largement facilitée par l'effet de masse, qui va de pair avec la mise en place d'une trame verte et bleue urbaine et une charte de l'arbre.

3.2 - Organisation des végétaux dans l'espace

Dans tout ce qui précède, nous avons tenté d'approcher les services rendus par les arbres et arbustes, au niveau individuel, en tenant compte de leur morphologie, de leurs dimensions, de la nature et la temporalité de leur fructification, etc.

Un autre groupe de paramètres très importants à prendre en compte est l'organisation des végétaux dans l'espace. Selon cette organisation, ils vont être plus ou moins en mesure de fournir les services écosystémiques recherchés.

Les recommandations qui peuvent être formulées peuvent être regroupées en 3 grands groupes :

3.2.1 - Favoriser une végétation étagée

Schématiquement, la végétation urbaine est composée de 3 strates : herbacée, arbustive et arborescente. De manière générale, la présence de plusieurs strates en un même point est favorable à une meilleure expression des services écosystémiques.



Figure 18 : Végétation étagée : arborescente, arbustive et herbacée, ville de Metz (photo Luc Chrétien, Cerema)

- En termes de biodiversité, les strates vont jouer des rôles complémentaires pour les espèces qui les exploitent, en multipliant les niches écologiques. Par exemple, la strate arborescente va pouvoir constituer pour un oiseau, un site de nidification, alors que les strates basses vont constituer des territoires de chasse, ou de glanage pour la constitution du nid. Les mêmes utilisations sont possibles pour certaines espèces de chiroptères (ligue de Protection des Oiseaux, non daté)
- En termes de paysage, le travail de conception et de composition en différentes strates végétales va contribuer à créer des ambiances complexes. Alors qu'un alignement de houppiers va animer structurer, protéger l'espace dans une vision et dans un confort d'ensemble, une strate arbustive va conforter le rôle d'écran, de structuration de l'espace, de balisage en apportant de la densité à une échelle intermédiaire. A l'échelle de l'usager,

cette complémentarité aura un impact sur le confort sensoriel : réduction de nuisance visuelle et sonore (écran), sentiment de sécurité (échelle humaine, limite et isolement), apport de fraîcheur, harmonie d'échelles, continuités végétales et références aux formes végétales spontanées 'de la nature' en milieu urbain.



Figure 20 : Libre ou taillé au cordeau, en limite de squares et dans les stationnements, les strates végétales sont complémentaires à leur échelle pour signaler, délimiter, protéger, évoquer la nature en milieu urbain mais aussi atténuer l'impact visuel des équipements, dépôts et rangées de voitures... quartier du Technopole à Metz et parking de la patinoire à Longeville-lès-Metz



Figure 21 : Place Mazelle et le long du canal à Metz, strates arbustives et herbacées apportent de la fraîcheur et contribuent à atténuer l'impact du traitement minéral des berges et de la place (Photos Nadia Aubry, Cerema)

3.2.2 - Favoriser une végétation diversifiée

L'expression maximale des services écosystémiques passe par l'utilisation aussi large que possible de la palette des espèces adaptées.

On l'a vu dans tout ce qui précède, les espèces d'arbres et d'arbustes présentent toutes des forces et des faiblesses en termes de résistance aux aléas, et en termes de services écosystémiques rendus.

De manière générale, l'intérêt du gestionnaire est donc de diversifier au maximum les espèces utilisées :

- Diversifier autant que possible la palette végétale utilisée : il est généralement recommandé, pour un espace urbain donné, de ne pas dépasser 10% des individus qui appartiennent à la même espèce, 20% du même genre, et 30% des espèces de la même famille. Cette règle simple (règle dite de 10-20-30, ou règle de Santamour (Santamour, 1990), bien que simplificatrice, a l'avantage d'identifier rapidement des problèmes importants. Ainsi, on évitera par exemple d'avoir plus de 10% de Sapin d'Espagne, mais aussi d'avoir plus de 20% du genre *Abies*, qui inclut des arbres très différents comme le Sapin pectiné ou le Sapin du

Colorado, et également d'avoir plus de 30% d'espèces appartenant à la famille des *Pinaceae*, comprenant entre autres tous les pins, épicéas, mélèzes et cèdres ;

- Laisser une place importante au cortège des espèces indigènes, cette place pouvant varier selon les services recherchés (notamment le support de biodiversité) ;
- Diversifier les variétés et cultivars : tous ne sont pas égaux en termes de services rendus et de résistance, le gestionnaire a donc intérêt à procéder à des essais, à les documenter soigneusement, pour identifier ceux qui sont les plus adaptés à un contexte donné ;
- Privilégier la diversité génétique : beaucoup de végétaux horticoles ont une diversité génétique très faible, il est préférable d'implanter des végétaux non clonés quand cela est possible, par ailleurs si le contexte le permet, la végétation spontanée permettra d'atteindre un objectif de diversité génétique maximale ;
- Eviter la monoculture : une végétalisation massive sans diversité d'espèces risque d'exacerber les contraintes liées aux espèces choisies. A cet égard, on peut citer le cas du Platane, très représenté dans les grandes villes de France. A Paris, le Platane représente 40% des arbres de rue (CERTU, 2011).

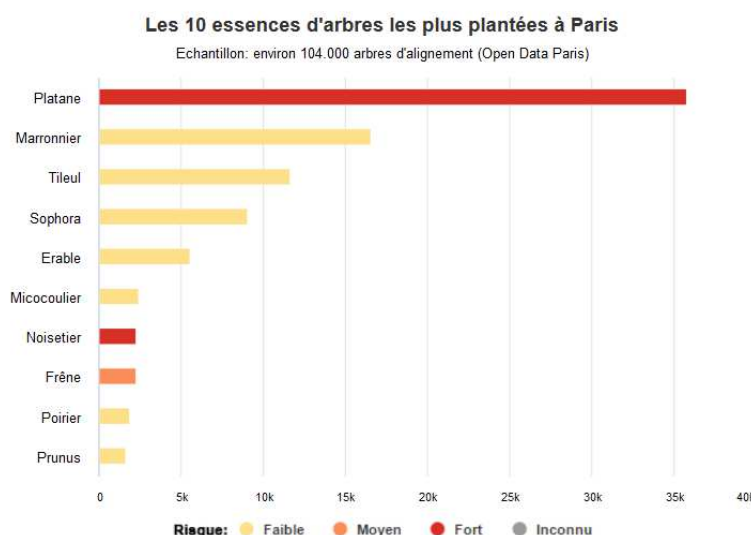


Figure 21 : Espèces les plus présentes à Paris, mettant en évidence les espèces à risque allergique élevé

[Dans sa nouvelle charte de gestion des arbres](#), la ville de Lyon indique clairement tenir compte du potentiel allergisant dans ses choix de plantation. De 1992 à 2011, le pourcentage de platanes dans le Grand Lyon est passé de 52 à 26 %. Il est aujourd'hui de 21,7%.



Figure 22 : Platane en développement libre, Parc municipal de Longeville (photo Luc Chrétien, Cerema)

- Favoriser des traitements différenciés de l'espace : selon l'intensité de la gestion pratiquée, les espaces végétalisés exprimeront des potentialités différentes. Ces différences de traitement constituent une mosaïque de milieux différents, allant de la pelouse bien entretenue à une forêt spontanée. Ces éléments doivent être mis en relation, pour contribuer à la trame verte et bleue urbaine.



Figure 23 : Le Parc Simon-Louis Frères à Metz : parc urbain et petite zone "naturelle" attenante (photo Luc Chrétien, Cerema).

- La diversité crée une richesse de texture de graphisme, des variations de lumière et de teintes qui varient en fonction des saisons, en fonction des espèces mais aussi en fonction de leur entretien. En privilégiant la diversité, l'espace s'anime et se structurera différemment selon le rythme des saisons suscitant, la surprise, la contemplation, la convivialité. Ainsi, certains végétaux discrets dans un bosquet mixte vont se révéler en hiver, par leur persistance, leurs fruits, leurs rameaux colorés...

d'autres par leur graphisme ou leur teinte vont créer des contrastes et apporter de la profondeur à l'espace.



Figure 24 : Une haie libre quartier du technopole à Metz et parc municipal de Longeville-lès-Metz : la diversité des strates et des espèces rythme et anime l'espace au fil des saisons, apportant à chacune des espèces un intérêt dans la composition de l'espace à un moment de l'année (photos Nadia Aubry, Cerema)



Figure 26 : Ici à Lyon comme à Metz, les terres plein centraux laissent la place à la mixité et n'en demeurent pas moins structurants pour l'espace public (photos Nadia Aubry, Cerema)



Figure 25 : Les remparts et la Place de France à Metz : une mixité végétale contribuant à l'animation et à la valorisation du patrimoine bâti valorisant à la fois le patrimoine bâti (photos Nadia Aubry, Cerema)



3.2.3 - Favoriser la continuité végétale

Assurer la continuité dans l'espace des éléments végétaux en milieu urbain ne va pas de soi. Toutefois, cette continuité tend à favoriser fortement certains services écosystémiques.

- En termes de biodiversité

La continuité, ou au moins la proximité des espaces végétalisés contribue à permettre la circulation des espèces. Le milieu urbain est en effet très défavorable, sauf cas particuliers, à la survie, l'alimentation et la reproduction des espèces.

Les espaces végétalisés peuvent constituer, si les individus peuvent passer de l'un à l'autre, des corridors écologiques au sens de la Trame Verte et Bleue.

Le programme « trames vertes urbaines » financé par l'agence nationale de la recherche, a montré que les corridors en ville fonctionnent, et, s'ils sont correctement aménagés et suffisamment larges, permettent le déplacement de beaucoup de petites espèces (Plante & Cité, 2016).

Ils peuvent donc contribuer à relier entre eux des espaces d'expression de la biodiversité au sein du tissu urbain, mais aussi à relier de tels espaces aux espaces « naturels » situés en marge de l'espace urbain.

A titre d'illustration, figurent ci-dessous un extrait de la carte de la Trame Verte et Bleue de Metz Métropole, et un extrait de cette carte concernant une partie plus urbaine.

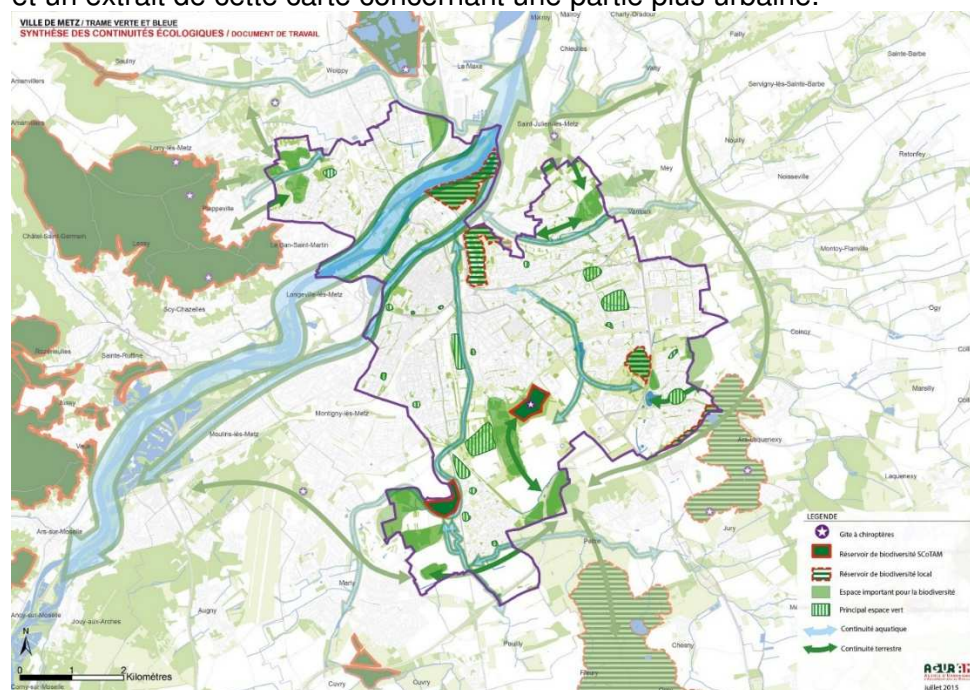
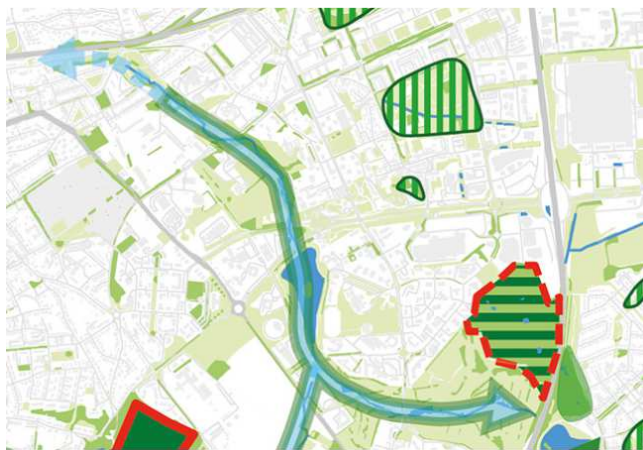


Figure 27 : Synthèse des continuités écologiques sur la ville de Metz, AGURAM



Comment les espaces végétalisés contribuent-ils à cette continuité ?

- ➔ Les espaces enherbés y contribuent, d'autant plus si les tontes sont espacées ou s'ils sont en gestion différenciée, et d'autant plus qu'ils mettent en relation d'autres espaces végétalisés.
- ➔ Les bosquets arbustifs vont constituer des abris, voire des sites de repos ou de nidification. Ils seront d'autant plus utilisés que d'autres espaces végétalisés seront accessibles, notamment pour le nourrissage. Ils constituent « des havres de repos et de fraîcheur pour les animaux, et un maillage essentiel dans les corridors écologiques » (Parc naturel Régional de Lorraine, 2012).



Figure 28 : Bosquet de noisetier : nidification, alimentation, abri, relais pour la faune (photo Cerema)

- ➔ Les alignements d'arbres constituent de fait une continuité pour de nombreuses espèces d'insectes, oiseaux, mammifères, ...
- ➔ Les arbres isolés contribuent eux aussi à cette continuité en pouvant jouer le rôle d'espaces relais, de sites de repos, d'abris temporaires pour des animaux en déplacement. Ils peuvent constituer de véritables « tours de Babel écologiques » (Parc naturel Régional de Lorraine, 2012),
- ➔ Les alignements d'arbres ou d'arbustes jouent un rôle important de continuité écologique pour les chiroptères, leur déplacement par écholocation utilisant les lignes du paysage pour faciliter le mouvement des animaux (CPEPESC Lorraine, 2009),

- ➔ Les bordures de cours d'eau constituent des espaces privilégiés de continuité écologique. Le cordon boisé qui les borde naturellement (la ripisylve) doit impérativement être préservé, voire reconstitué. Moins sa gestion est interventionniste, plus il jouera un rôle de continuité pour un cortège important d'espèces.
- ➔ Les murs végétalisés, qu'il s'agisse de murs végétalisés selon des techniques sophistiqués ou de simples murs couverts de lierre et de vigne-vierge, contribuent notablement à la continuité écologique en milieu urbain, notamment pour les insectes.
- ➔ Les toitures végétalisées contribuent également à la continuité, notamment en habitat très dense où la place réservée au végétal au sol est parfois réduite.
- ➔ Les jardins partagés, jardins privés, contribuent également à assurer cette continuité écologique, qui doit donc être appréhendée de manière globale¹².
- ➔ Lors des aménagements en milieu urbain, le maintien autant que possible, des arbres existants, notamment les sujets âgés, est très important en ce qui concerne la préservation de la biodiversité et la continuité écologique. Combien de projets ont fait table rase des végétaux préexistants, et ont proposé un programme de plantations nouvelles qui mettront des décennies à atteindre leur potentiel ?

Dans un espace urbain où l'importance des végétaux a été intégrée, la préservation des arbres adultes existants doit être autant que possible, un objectif.

Par ailleurs, le maintien des arbres existants, parfois spontanés quand il s'agit d'aménager une friche, permet de garder des végétaux adaptés aux conditions locales, rustiques et résistants, qui vont du reste souvent présenter des formes originales et esthétiques liées à leur lutte pour la survie.

- ➔ Bien qu'elle se pratique encore peu à grande échelle, la désimperméabilisation de certains espaces, peut contribuer fortement à la restauration des continuités. La ville de Strasbourg mène une politique active de désimperméabilisation de certains espaces qui sont revégétalisés.



Figure 29 : un espace désimperméabilisé et revégétalisé à Strasbourg (photo Luc Chrétien, Cerema)

¹² La prise en compte de ces espaces privés pour asseoir une politique de trames vertes urbaines est considérée comme essentielle. Une politique de sensibilisation en la matière est donc nécessaire (programme « trames vertes urbaines » in (Plante & Cité, 2016))

Une végétation étagée et diversifiée, comme évoqué plus haut, augmente l'efficacité de la continuité écologique, notamment en favorisant son utilisation par un plus grand nombre d'espèces.

- ➔ Quoi qu'il en soit, la construction d'une trame verte et bleue en milieu urbain doit s'appuyer sur un diagnostic et sur une gouvernance partagée entre les acteurs, favorisant la participation du public et l'appropriation du projet (Plante & Cité, 2016). En termes de paysage, favoriser les continuités végétales par des plantations sur l'espace public assure une inscription du paysage urbain dans le grand paysage en lien ou en relais avec ses structures (massifs forestiers, ripisylves, alignement le long des canaux, vergers, prairies, haies champêtres qui forment l'écrin des villes. C'est aussi réaffirmer la présence très forte de l'eau dans la ville et de fait, apporter du confort et une diversité d'ambiances dans les cheminements et les espaces propices à la détente et aux loisirs (berges, îles...). Cette continuité peut s'exprimer à travers diverses silhouettes empruntées aux formes végétales spontanées mais aussi de façon plus ponctuelle, un arbre isolé, un arbuste grimpant sur une façade peuvent avoir une réelle présence, apporter une identité à un espace, mettre en réseau les places de la ville et assurer un relais dans la trame végétale.



Figure 30 : Esplanade à Metz l'espace urbain s'ouvre sur le Mont Saint Quentin, végétation libre et diversifiée se confond avec la végétation dense du Mont-Saint-Quentin en arrière-plan assurant une continuité visuelle (photos Nadia Aubry, Cerema)



Figure 31 : Île du Saulcy et jardin de l'Amour, la végétation dense et spontanée des berges renforce le caractère insulaire et souligne la présence de l'eau dans la ville avant de trouver 'des relais' dans la ville centre (photos Nadia Aubry, Cerema)



Figure 32 : Au détour d'une rue, l'arbre signale la présence d'une place, d'un lieu de séjour confortable pour le passant, des sujets qui même plantés de façon ponctuelle, contribuent à la mise en réseau des places, et qui en lien avec les jardins privés, si modestes soient-ils contribuent à une 'couture végétale' de la trame verte (photos Nadia Aubry, Cerema).

3.2.4 - Prôner une conception bioclimatique, prenant en compte les conditions locales (vent, orientations)

- Pour favoriser une bonne régulation de la qualité de l'air, la disposition des arbres et arbustes relativement aux sources de polluants et aux habitations et infrastructures (notamment piétonnes) est essentielle. Ainsi, les constats suivants peuvent être avancés pour améliorer la régulation de la qualité de l'air (Hiemstra, Schoenmaker - Van der Bijl, & Tonneijck, 2008):
 - Les arbres dont le feuillage est traversé par l'air pollué sont plus efficaces que les arbres brise-vent qui sont totalement denses, font obstacle au vent et le détournent vers le haut (en piégeant ainsi les polluants s'ils sont disposés le long d'une source de pollution, mais en diminuant aussi l'effet d'éventuels arbres disposés derrière cette rangée pour la fixation des particules notamment).
 - Les plantations étendues (ou alignements) sont plus favorables que les bois denses pour capter la pollution (ils présentent une surface d'échanges accessible plus importante).
 - Des couloirs étroits entre deux alignements favoriseront la turbulence et donc le contact entre les polluants et les feuilles des arbres, maximisant la captation.

- Une canopée dense surplombant un espace fréquenté par les piétons ou des modes de déplacement doux (en particulier dans une rue étroite) peut constituer un piège qui maintient la pollution au niveau du sol et directement en contact avec les piétons.

Dans ces conditions, un équilibre doit généralement être trouvé entre dispersion et captation de la pollution, notamment en fonction de la vulnérabilité locale. D'un point de vue pratique, près d'une source de pollution les préconisations suivantes peuvent être faites :

1. Veiller à ce que le houppier de l'arbre puisse laisser passer l'air pollué (> 50 % de porosité optique), soit par un choix de variété appropriée soit par une gestion guidée ;
 2. Eviter que des arbres ne freinent trop la vitesse du vent à proximité de la source de pollution (le fameux « effet de tunnel vert ») ce qui peut provoquer localement des concentrations plus élevées, malgré leur fonction d'épuration de l'air ;
 3. Combiner les arbres à couronne surélevée avec des herbacées et des arbustes au pied des arbres afin de profiter d'un feuillage à tous les niveaux ;
 4. Choisir des arbres qui ont une structure de branches enchevêtrées car ils contribuent à l'absorption des particules de poussière, même si les feuilles sont tombées ;
 5. Planter des arbres en lignes perpendiculairement à la direction du vent pollué, là où c'est possible et faire revenir ces lignes dans le quartier ;
 6. Veiller à ne pas gêner l'afflux du vent latéral sur les arbres à proximité d'une source de pollution ;
 7. Utiliser des arbres non seulement à proximité de la source d'émission pour capter le plus de pollution, mais aussi autour des lieux sensibles comme les écoles, les hôpitaux et les maisons de repos, EHPAD, mais aussi les lieux de production de fruits et légumes.
 8. Ombrer prioritairement les parkings et zones de stationnement de voitures en raison des vapeurs d'essence dégagées par les voitures stationnées lors des épisodes de forte chaleur, ainsi que par la réduction de l'ozone au sol, pour la formation duquel interviennent les rayons solaires.
 9. Et surtout, intervenir pour supprimer ou au moins réduire la source de pollution !
- La conception bioclimatique des espaces publics est un principe qui s'appuie sur l'effet des éléments naturels sur le climat dans un contexte donné. Dans ce cadre, le positionnement des arbres au regard des éléments urbains et en fonction de l'orientation Nord-Sud notamment est capitale pour maximiser le potentiel de régulation (TDAG, 2016):
 - La surface de la canopée étant un paramètre essentiel pour l'effet d'ombrage, mais aussi pour maximiser la surface de contact avec l'atmosphère et donc l'évapotranspiration, il convient de viser plutôt les dispositions maximisant le couvert arboré plutôt que le nombre d'arbres.
 - L'amélioration du confort thermique dans les rues passe par une étude de la disposition du couvert arboré pour favoriser l'ombrage sur les zones fréquentées par les piétons et aux

heures les plus chaudes. Dans ce cadre il convient toutefois de préconiser des espèces à feuilles caduques pour maximiser l'effet positif du soleil en hiver.

3.3 - Bien installer et entretenir le végétal pour favoriser sa survie en bonne santé

Mener une réflexion sur le végétal avant l'aménagement

La végétation doit être pensée dès la conception du projet d'aménagement. Cela permet de prévoir en amont la place pour les arbres, autant aérienne que souterraine. La présence d'un spécialiste des arbres dans l'équipe de conception est donc souhaitable.

Un élément essentiel à prendre en compte, et encore insuffisamment présent dans les projets, est la valorisation des végétaux préexistants. Leur caractère spontané, issu d'une « friche », d'un « abandon » temporaire du site, dans le cas de l'aménagement de friches, amène souvent à la décision précipitée de les éliminer au profit de plantations nouvelles.

Or si leur présence est intégrée en amont de l'aménagement, ils peuvent offrir de très grands services à l'aménageur :

- des végétaux déjà adultes fourniront d'ores et déjà des services écosystémiques importants, comme la régulation climatique ou l'animation paysagère,
- ils peuvent représenter une source d'économie importante,
- développés spontanément, ils sont susceptibles d'avoir une résistance supérieure à celle de jeunes plantations, face à des aléas climatiques,
- dans certains cas, leur développement spontané est à l'origine de formes originales qui contribueront dès le départ à conférer un caractère fort au lieu aménagé.



Ce tremble étonnamment tordu contribue à donner un caractère à son lieu d'implantation.

Photo Luc Chrétien, Cerema



Figure 33 : Le parc du Heyritz à Strasbourg : un bel exemple de valorisation de végétaux spontanés préexistants (photo Cerema)

Il est également fondamental de considérer les plantations non comme des arbres isolés mais comme une population, à intégrer au contexte écologique et dans la trame verte et bleue si possible.

La prise en compte des caractéristiques du site est primordiale pour le choix des arbres et arbustes à planter (TDAG, 2016).

Par exemple, les essences gourmandes en eau et dotées de racines puissantes et peu profondes risquent d'engendrer des déformations des revêtements de surface, comme c'est le cas, entre autres, des peupliers. Ces essences ne sont donc pas recommandées près des routes ni sur les parkings. Il faudra plutôt planter des essences avec des racines profondes.

Cependant, l'architecture du système racinaire peut aussi être influencée par la structure et la texture du sol. Il faut donc s'assurer que l'arbre ait un espace d'enracinement oxygéné et non compacté sur un volume suffisant.

D'autres critères sont à prendre en compte pour choisir des essences adaptées aux caractéristiques du site. Certains sont explicités dans la figure suivante.

Il est possible d'étudier séparément chacun de ces critères, mais il faut aussi considérer des critères plus globaux, c'est-à-dire qui découlent d'un ensemble de paramètres ou de contraintes liées les unes aux autres.

Par exemple, le choix de l'essence dépend des flux hydriques associés aux lieux. Ou bien les flux hydriques résultant du projet doivent être pensés en amont pour être adaptés à la présence des essences choisies au préalable. Or le flux hydrique dépend de multiples facteurs, dont :

- la pluviométrie et l'accès potentiel des arbres à une nappe phréatique,
- le coefficient de ruissellement lié notamment à la proportion de surfaces perméables et imperméables,
- le cheminement de l'eau qui ruisselle, lié à la topographie et aux facteurs précédents,
- la position de la strate arborée par rapport à ce cheminement,,
- la présence d'autres végétaux qui capteraient l'eau, créant ainsi de la concurrence ..

Cette analyse globale peut être menée pour chacun des critères afin d'assurer l'intégrité et la cohérence du projet.

Préparer avec soin la fosse et le substrat

❖ Dimensionnement de la fosse

Aujourd'hui, les conditions de plantation sont considérées comme un élément essentiel de la réussite d'un projet végétal. Du point de vue de la recherche de services écosystémiques, il s'agit d'une étape cruciale car elle détermine souvent la longévité du sujet, sa survie, et la qualité de son système racinaire et aérien.

La fosse de plantation doit être dimensionnée de façon à obtenir un volume optimal de terre pour le développement de l'arbre. Ce volume est déterminé en fonction des besoins du végétal en eau, en nutriments et en air. Ainsi il est nécessaire d'étudier préalablement le bilan hydrique du végétal en considérant notamment l'évapotranspiration, mais aussi les caractéristiques du terrain qui jouent sur la compaction du sol et sa porosité.

Par exemple, sur un terrain meuble et favorable à la plantation, le volume nécessaire de fosse est autour de 5 à 9 m³ quand il est de 20 m³ en terrain rocheux (Florysage, 2017). Même si ce volume est constant, les dimensions de la fosse peuvent varier (Métropole du Grand Nancy, 2016).

Les préconisations varient selon les auteurs mais gardent les mêmes ordres de grandeur : Francis Hallé préconise 6 m³ si la terre est fertile, et 12 m³ si elle est mauvaise (Hallé, 2011).

Cependant il ne suffit pas d'élargir la fosse en profondeur pour obtenir le volume recherché. En effet en dessous de 1,50 m de profondeur, les conditions d'anoxie du sol empêchent le développement racinaire.

Enfin, il ne faut pas oublier qu'à terme, l'arbre a besoin d'un volume de sol exploitable par ses racines, au-delà de la fosse de plantation. Rust in (Roloff, 2016) évoque quelques ratios qui peuvent servir de guides : il estime le besoin en sol exploitable à 0,75 m³ pour chaque mètre carré de couronne projeté au sol. Dans le même ordre d'idées, le besoin pour une couronne de 10 mètres de diamètre, est de 9 x 9 m x 1 mètre de profondeur.

Dans le cas d'une prestation réalisée par une entreprise pour une collectivité, le dimensionnement de la fosse est pris en compte dans le fascicule 35 du cahier des clauses techniques générales (CCTG) par les articles N. 2.3.4.1 à N. 2.3.4.5. Ces articles spécifient notamment le volume et les profondeurs adaptées aux différents végétaux selon leur implantation (conditions favorables ou non) et le type de végétal, présentés dans le tableau suivant :

	Volume	Profondeur
Pour les végétaux implantés dans un milieu qui leur est favorable :		
• arbres, tiges et conifères en bac	6 m ³	1 m à 1,50 m
• arbres et conifères à racines nues ou en mottes	2 m ³	selon conditions
• baliveaux	0,70 m ³	0,70 m
• arbustes isolés	0,125 m ³	0,70 m
• arbustes et massifs (dont rosiers)		0,50 m
		0,50 m
• plantes vivaces		0,30 m
Pour les végétaux implantés dans un milieu qui leur est hostile		
• arbres, tiges et conifères à grand et moyen développement	12 m ³	1 m à 1,50 m (selon conditions)
• arbres et conifères de petit développement (3 ^e grandeur)	9 m ³	
• arbustes isolés	0,35 m ³	1 m
• arbustes en massifs (dont rosiers)		0,70 m
• plantes vivaces		0,70 m
		0,30 m

Tableau 45 : Volume et profondeur minimaux des fosses de plantation (fascicule 35 de CCGT, 2004)

Pour augmenter le volume disponible à l'accroissement racinaire, il est recommandé de favoriser **les fosses continues**. De plus, si le matériau extérieur à la fosse est favorable au développement de l'arbre, il est possible d'utiliser des parois latérales "ouvertes" ou poreuses qui permettent une prospection des racines hors de la fosse.

En cas de plantations proches des voiries, il est nécessaire d'allonger la fosse sous le revêtement, même si cela peut être techniquement difficile. Il est aussi possible d'utiliser des techniques plus ou moins innovantes, telles que Silva Cell : *"la Cellule Silva Cell® crée pour les arbres un cadre souterrain pouvant porter la charge de la voirie et de son trafic, tout en offrant un espace libre pour l'enracinement, de sorte que les arbres des villes puissent se développer correctement"* (Greenmax).

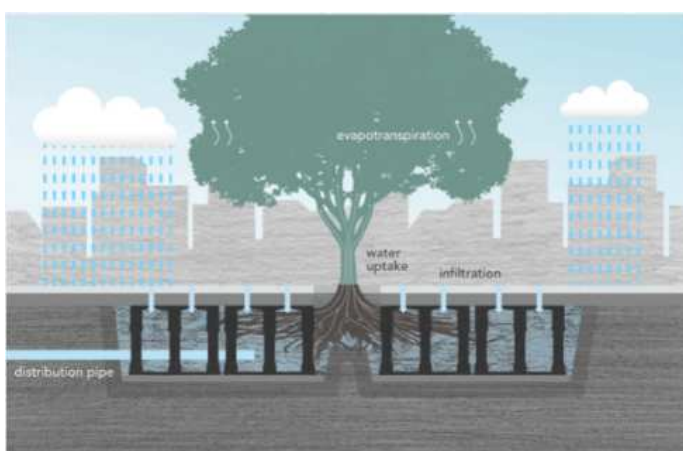


Figure 34 : Cellule Silva cell - Grenmax (droite) - Deeproot, 2017 (gauche)

Ce système favorise le service de gestion des eaux de pluies par les arbres, il fournit donc un argument supplémentaire pour agrandir ou réaliser des fosses à des dimensions raisonnables, pour un bon état de santé de l'arbre (Deeproot, 2017).

L'utilisation du mélange terre-pierre est aussi un outil pour protéger l'arbre des contraintes physiques de la voirie (Gillig, Bourgerie, & Amann, 2008).

La plantation peut être l'occasion, à ce stade, de mettre en place des barrières physiques qui empêcheront les racines de l'arbre d'endommager les revêtements ou les réseaux souterrains : il peut s'agir par exemple d'un textile perméable à l'eau installé sous l'asphalte, de déflecteurs qui empêcheront le développement latéral des racines (Roloff, 2016).

Pour mettre en place ces protections de manière pertinente, il faut pouvoir estimer l'extension finale du système racinaire. Day in (Roloff, 2016), propose un ratio de 1:38 entre le *diamètre* du tronc et le *rayon* du système racinaire.

❖ Choix du substrat

Dans un mélange terre-pierre, plus la proportion de terre est réduite, plus la capacité de rétention en eau du sol est faible (Trees and Design Action Group, 2016). Le mélange terre - pierre apparaît comme étant un substrat intéressant, permettant une bonne croissance, une absence de carences minérales ou de stress hydrique (Plante & Cité, 2008).

Cependant, ce mélange se doit d'être bien réalisé : les pierres doivent être adaptées au contexte

de plantation (pH du sol, espèce plantée), et dans la mesure du possible être concassées pour favoriser le maillage du mélange. De même, la terre doit faire l'objet d'une analyse pour vérifier l'absence de pollution, et s'assurer qu'elle peut répondre aux besoins nutritifs de la plante.

Dans un contexte urbain imperméable, une aération du sol est nécessaire.

De plus, il doit également avoir des propriétés de rétention suffisantes, mais aussi de drainage pour éviter de noyer les racines (TDAG, 2016).

Pour éviter une percolation non homogène dans le sol, il faut éviter de remplir la fosse de plantation avec une terre différente du milieu environnant (même si elle de meilleure qualité), car cela risque d'entraîner une importante infiltration de l'eau qui restera stagnante en fond de fosse, provoquant des conditions anaérobiques. De même, l'introduction de géotextiles en fond de fosse peut engendrer des effets identiques et est donc à proscrire (Gillig, Bourgerie, & Amann, 2008).

❖ Revêtement de surface

Les systèmes racinaires peuvent déformer les revêtements de surface qui se trouvent à proximité de la fosse. Pour limiter ce risque, certaines études ont montré qu'une couche d'assise en graviers lavés, tamisés et compactés serait plus efficace qu'un pavage ou d'autres revêtements posés sur une couche de sable compacté (Trees and Design Action Group, 2016). L'ajout d'un géotextile tissé ou d'une géogrille sous la couche d'assise peut également permettre de répartir les forces de soulèvement et donc limiter les dégâts engendrés par les racines. Il faudra tout de même veiller à ce que le géotextile ne rentre pas dans la fosse pour éviter d'y créer des conditions d'anaérobie impropres au développement de l'arbre.

❖ L'achat et l'installation des arbres

Choix des plants en pépinière

Pour assurer la bonne santé et le maintien des arbres jusqu'à leur stade adulte, il est impératif que le gestionnaire choisisse les bons plants à la pépinière. Ce choix s'effectue selon différents critères de qualité (Gillig, Bourgerie, & Amann, 2008) :

- une bonne vigueur de l'arbre,
- un houppier équilibré,
- l'absence de défauts tels que les blessures, les plaies de taille, les écorces incluses,
- un système racinaire adapté au mode d'élevage (plants à racines nues, plants en mottes, plants en conteneurs),
- un porte-greffe adapté avec un bourrelet de greffe discret.

Pour de grands végétaux, lors de la visite de la pépinière, le gestionnaire peut étiqueter les arbres sélectionnés avec des étiquettes inviolables, ainsi il est sûr de se faire livrer les plants qu'il a choisis.

Pour une bonne implantation, il est aussi possible de marquer la face du tronc orientée vers le nord. Cela permet de planter l'arbre en respectant l'orientation qu'il possédait en pépinière et donc limiter les échaudures.

Taille des plants

La plantation de « gros sujets » peut être tentante pour une collectivité ou un propriétaire. Le « gros sujet », ayant séjourné longtemps dans un conteneur trop petit, a des racines courtes et déformées et risque de devenir très fragile au vent (Hallé, 2011).

« S'agissant d'arbres, refusons la tyrannie du temps bref ou accéléré, et acceptons de vivre à leur rythme paisible. (...) Une ville qui plante ses quartiers neufs de jeunes arbres, à qui elle laisse le temps de grandir, se donne une image positive et témoigne de la confiance de la collectivité en son avenir. » (Hallé, 2011)

Transport et stockage des plants

Pour minimiser le stockage des plants, il faut coordonner la date de livraison avec celle de plantation. Les vérifications sont ensuite à refaire à la livraison des plants, pour être sûrs qu'ils n'ont pas été abîmés pendant le transport. Enfin, en particulier s'il s'agit de plants en racines nues, s'il y a besoin de stocker les plants, il faut bien protéger les racines du vent, du soleil et du froid et garder les arbres en position verticale ou penchés vers le Nord. Ils devront aussi être soutenus et irrigués (Florysage, 2017).

Période de plantation

La période de fin d'automne au début du printemps est le moment propice pour la majorité des plantations, avec quelques variations suivant le type de plant (motte ou racines nues, ligneux ou conifère). Dans tous les cas, il est recommandé de réaliser les plantations hors des périodes de gel, de forte pluie ou de sécheresse (Union Nationale des Entreprises du Paysage, 2012).

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Ligneux												
Conifères												
Motte												
Racine nue												
Conteneur												

Tableau 46 : Périodes de plantation à favoriser (Le Gourriec, 2012)

Installation de mobilier protecteur : tuteur et haubanage

Afin d'éviter à l'arbre d'éventuels dégâts, il est préférable de le protéger à l'aide de mobilier urbain (Trees and Design Action Group, 2016). Ainsi, le traitement et l'entourage de l'arbre aide à protéger le sol des risques de tassement liés au piétinement. Les caractéristiques du site, son usage et sa fréquentation doivent être pris en compte dans le choix de la protection à apposer, tout comme le coût et la durée de vie des matériaux.

Dans les espaces particulièrement fréquentés ou à risque (sur des parkings par exemple), le tronc gagnerait à être protégé lui aussi. Il est possible d'utiliser des installations temporaires peu coûteuses et faciles à enlever, telles qu'une toile de jute, une natte de jonc ou de bambou, un manchon plastifié ou grillagé. Des protections plus durables peuvent aussi être envisagées, comme des corsets métalliques (qui seront à enlever au bout de quelques années pour ne pas gêner l'arbre), des bordures surélevées, des barrières, rambardes et plots, ou encore du mobilier urbain comme des bancs ou des range-vélos.

De plus, le soutien doit être mis de façon à ce que l'arbre puisse osciller et ne soit pas contraint dans son développement, ni blessé.

Un tuteurage est envisageable avec un ou plusieurs piquets de bois attachés à l'arbre, le lien doit être souple pour ne pas abîmer l'écorce ou l'étrangler dans sa croissance. Par ailleurs, le tuteurage présente l'inconvénient de compromettre « l'éducation » de l'arbre à la résistance au vent, en adaptant son système racinaire et même sa croissance en diamètre à la contrainte du vent (Moulia, 2019).

Il est aussi possible de faire un haubanage souterrain permettant d'ancrer la motte dans le sol. Ce système a pour avantage d'être invisible une fois installé. Il est toutefois nécessaire de supprimer ces structures « dès que le tronc peut supporter la couronne et que le système racinaire a pu se développer » (Le Gourriec, 2012).

❖ La conduite après la plantation

Après implantation des arbres, certaines pratiques sont indispensables pour maximiser les chances de bonne reprise et de croissance.

Protection des plants

La protection des plants permet de limiter les collisions avec les véhicules, mais aussi le compactage du sol. Indirectement, la mise en place de mulch ou de fleurs en pied d'arbre, réduira le compactage dû au piétinement (Roloff, 2016).

Gestion du besoin en eau des nouvelles plantations

Pour assurer une bonne reprise racinaire, il est nécessaire de l'arroser pendant les deux premières années. Si l'arrosage est correctement mené et la fosse dimensionnée selon les besoins en eau de l'arbre, ce dernier atteint une autonomie hydrique la troisième année après la plantation.

Pour s'assurer d'un bon arrosage dans cette période il existe des techniques de suivi et d'optimisation, notamment la **tensiométrie**. Cette méthode consiste à mesurer le potentiel hydrique du sol grâce à des capteurs situés dans la fosse de l'arbre (Haddad, 2013). Plus le potentiel hydrique du sol est faible, plus celui-ci est sec. Grâce au tensiomètre on peut donc savoir quand l'arrosage est nécessaire. L'arbre ne sera donc jamais contraint par un stress hydrique inopportun lors de sa reprise. De plus cette technique permet des économies en eau en évitant tout arrosage inutile.

Travaux de taille

Taille de formation

Pour garantir la bonne santé de l'arbre il est recommandé de limiter la taille, notamment en sélectionnant une essence dont le volume à l'âge adulte est adapté à l'espace disponible. Cependant il est souvent nécessaire de réaliser une taille de formation sur les jeunes arbres. Cette taille permet, d'une part, d'anticiper les problèmes pouvant apparaître plus tard (écorce incluse, branches gênantes ou dangereuses). D'autre part elle permet d'équilibrer la proportion entre houppier et racines, on parle alors de taille de rééquilibrage. La taille de remontée de couronne, qui adapte la hauteur des branches aux normes des voies de circulation (2 mètres pour une voie piétonne et 6 mètres pour une voie routière) fait partie de ces travaux. Ils doivent être limités au strict minimum, et toujours motivés.

La taille de formation demande de travailler sur des arbres jeunes ; 2 ou 3 ans après la plantation. Ainsi le risque d'entrée de pathogènes reste minime puisque les plaies engendrées par la coupe de petites branches sont recouvertes rapidement (Boutaud, 2003).

Élagage

Il faut bien distinguer ces travaux de taille de formation, des élagages menés sur les arbres adultes. Ceux-ci sont souvent réalisés en raison du manque d'espace, qui peut être consécutif à un choix d'espèce mal approprié. Il est en effet courant, par exemple, de voir des Cèdres implantés très près des façades, parfois trois mètres ou moins. Inévitablement, ces arbres sont taillés, ce qui a pour effet de les déséquilibrer, de détruire leur harmonie et de créer une voie d'accès aux pathogènes.

Dans d'autres cas, les arbres sont taillés, d'un bout à l'autre d'un alignement, par manque d'espace ou pour préserver la chaussée d'un risque de chute de branches qui n'a pas toujours de réalité. Par contre, une fois cette taille effectuée, une zone de fragilité est créée sur chaque branche, et servira par la suite à justifier d'autres tailles.

A Lyon, on considère que 80% des maladies des arbres en ville sont dues à des tailles brutales subies dans le passé (Frédéric Ségur, cité par (Hallé, 2011)). Francis Hallé considère que « *élaguer les arbres en ville*

dans le but d'améliorer la sécurité, voilà un vrai malentendu : ce sont précisément les élagages brutaux qui les rendent dangereux ! » (Hallé, 2011).

L'élimination des branches mortes (portées même par un arbre en bonne santé) peut être une justification légitime d'une opération de coupe. Mais cette intervention ne se fait pas au profit de l'arbre que la branche morte ne gêne nullement, elle se fait pour des raisons de sécurité.

Lors de travaux à proximité de l'arbre

Les arbres sont sujets à différents risques lors de travaux à proximité, qui peuvent les endommager directement ou en modifiant leur environnement. Tout d'abord, l'arbre est très sensible aux modifications du sol. Le passage de véhicules lourds risque de compacter le sol, de plus le remblaiement peut provoquer un enterrement du collet ou une modification des propriétés du sol, qui impactera le bon développement de l'arbre. Certaines essences, telles que le noyer, le chêne et le hêtre, sont particulièrement sensibles à ces pressions.

De manière plus directe, le décaissement, qui correspond au décapage de la couche superficielle risque de supprimer une partie des racelles. Ces dernières participent à l'absorption de l'eau et des minéraux et sont donc primordiales pour l'arbre. De plus, leur coupe crée de nombreuses blessures, multipliant ainsi les voies d'entrées possibles pour des pathogènes. Des travaux plus contraignants engendrent l'amputation totale de racines, qui sont des points d'accroche en moins pour l'arbre. Dans ces cas les plaies sont d'autant plus sensibles aux pathogènes qu'elles sont grandes et se recouvrent donc lentement. Les effets ne sont visibles que quelques années plus tard, mais ils rendent l'arbre potentiellement dangereux.

Enfin, le drainage ou la dérivation d'un fossé peut modifier l'alimentation en eau. Il en découle des risques d'assèchement ou au contraire de saturation en eau, qui peuvent affaiblir, voire tuer l'arbre.

Pour diminuer ces risques d'altération il est important de définir des périmètres de protection et d'intervention. Le CAUE 77 propose ainsi de délimiter trois zones, dans lesquelles les interventions possibles diffèrent :

- Une zone très sensible, jusqu'à 1,5 m du tronc (ou correspondant à la surface de la fosse de plantation si celle-ci est plus grande). Aucune intervention n'est possible dans cette zone et il est obligatoire d'installer une barrière de protection à sa périphérie.
- Une zone sensible, jusqu'à 4 fois la circonférence de l'arbre (soit pour un diamètre de 50 cm : 6 mètres de part et d'autre du tronc), ou la projection au sol du houppier si la surface est plus importante. Des interventions dans le sol (forage...) sont possibles, sous certaines conditions.
- Une zone extérieure.

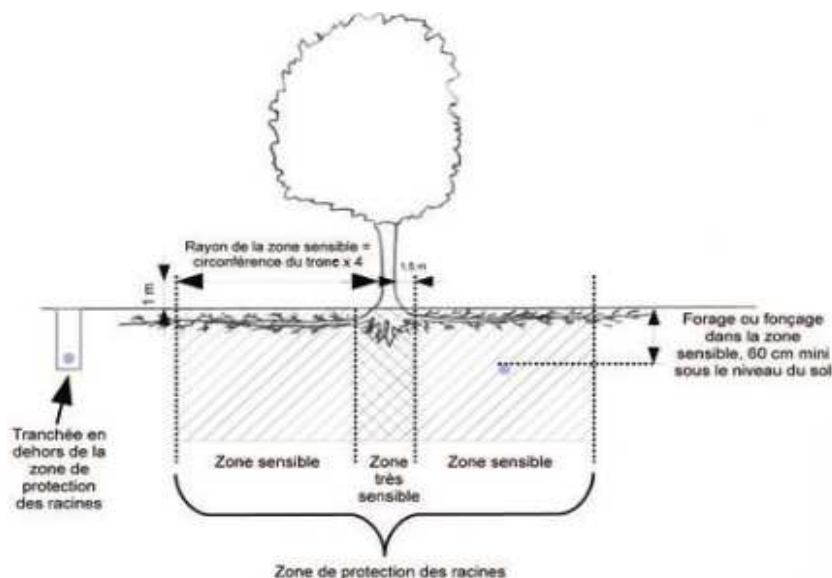


Figure 35 : Périmètre de protection et d'intervention proposé (CAUE 77)

Le tableau suivant détaille les actions qu'il est possible de réaliser dans chacune de ces zones afin de préserver les arbres.

















	Zone de protection des racines		Zone extérieure
	Zone très sensible	Zone sensible	
Installation d'une barrière de protection sur la périphérie de la zone.	Obligatoire	Recommandé s'il n'y a pas d'intervention dans cette zone	-
Passage de véhicules ou d'engins lourds sur le sol naturel	 Interdit	Interdit sauf si le passage se fait sur des dalles de répartition	 Autorisé
Remblaiement	 Interdit	 Interdit	 Autorisé
Décaissement	 Interdit	 Interdit	 Autorisé
Implantation de réseau enterré et fouille.	 Interdite	Peu recommandé	 Autorisé
Moyens utilisés pour implanter le réseau ou réaliser la fouille.	 Aucun	Forage dirigé, fonçage, terrassement manuel avec pelle, pioche et excavatrice préconisés. Trancheuse et pelle mécanique interdites.	Forage dirigé, fonçage, terrassement manuel avec pelle, pioche, excavatrice, trancheuse, pelle mécanique autorisés.
Coupe de racine de diamètre supérieur à 25 mm	 Interdit	 Interdit	Non recommandé
Coupe des racines altérées.	-	Obligatoire	Recommandé
Remblaiement des fouilles dès que possible ou protection des racines exposées au gel, au vent et au soleil.	-	Obligatoire	Recommandé
Stockage de déblais, matériaux et produits de chantier.	 Interdit	 Interdit	 Autorisé

Tableau 47 : Récapitulatif des actions possibles dans chaque zone (CAUE 77)

Dans le même ordre d'idées, les spécialistes allemands recommandent de définir une « aire de protection des racines » dont le rayon est de 12 fois le diamètre de l'arbre à 1m-1m50 (soit pour un arbre de 50 cm : 6 m autour du tronc). Dans cet espace, la qualité du sol et le système racinaire de l'arbre sont la priorité (FGSV 1999 in (Roloff, 2016)).

On le voit, les conditions techniques pour réussir à amener un jeune plant à l'âge adulte sont nombreuses et complexes ; ces difficultés sont d'ailleurs fortement augmentées par le changement climatique.

Il s'agit pourtant de conditions impératives pour que le végétal puisse remplir les services écosystémiques qui sont attendus.

Il y a une réelle différence entre les services écosystémiques potentiels, au moment de la mise en place de l'arbre, et l'expression concrète des services écosystémiques, qui peut être reportée de plusieurs années pour un arbuste, et de plusieurs décennies pour un arbre.

4 - Fiches synthétiques par espèce

Les 85 fiches synthétiques par espèce, sont présentées pour des raisons pratiques dans un cahier à part qui constitue l'annexe 3.
Est reproduite sur les deux pages suivantes, la fiche commentée.



Photo Nadia Aubry, Cerema

Services rendus en matière de qualité de l'air (distinguant absorption des polluants gazeux et fixation des particules fines)

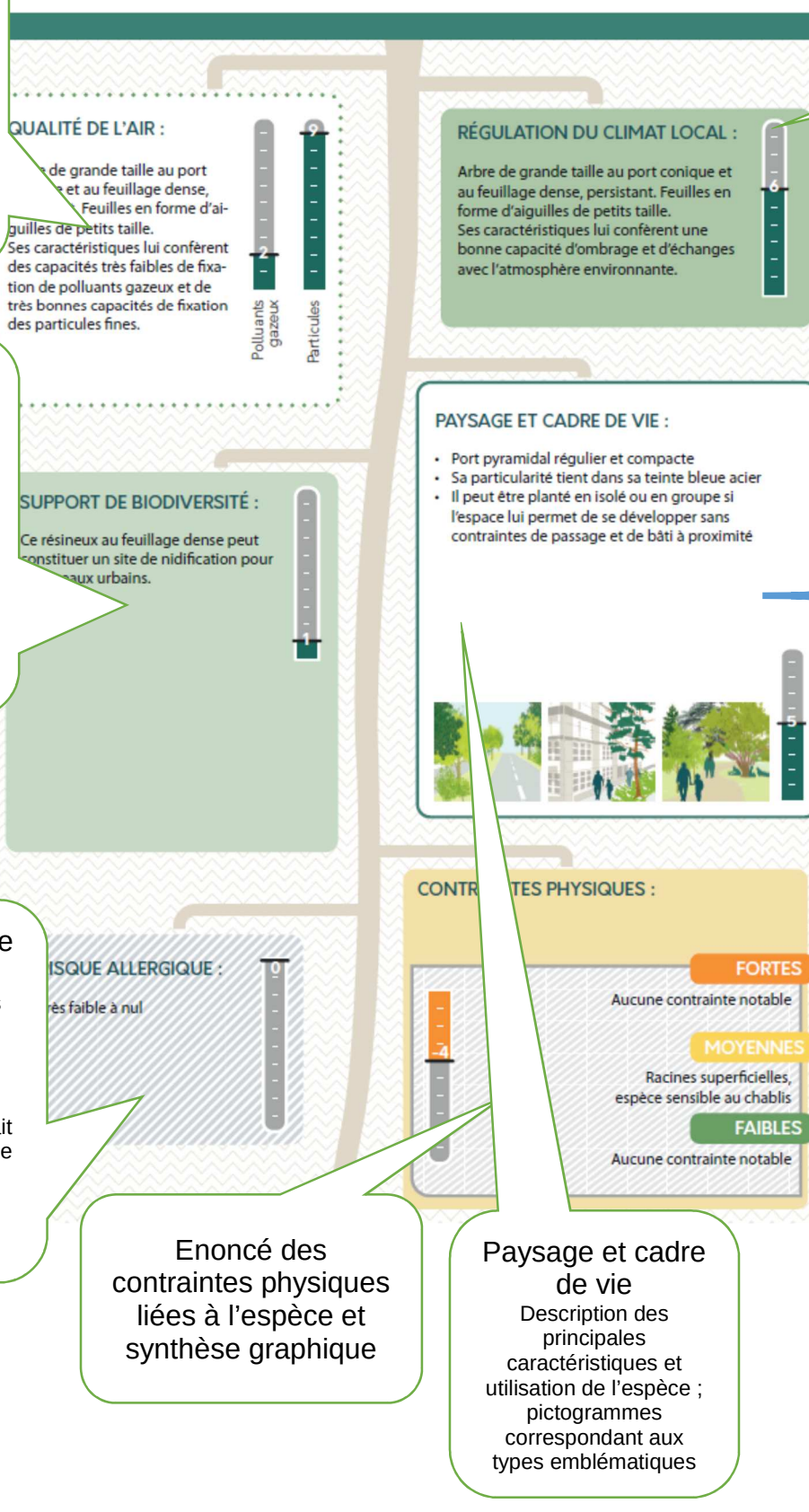
Service rendu en matière de support de biodiversité. Il est rappelé qu'une note faible ne signifie pas un service négatif, mais l'absence de données positives relatives à un rôle de support de biodiversité particulier.

Risque allergique lié à l'espèce. Prise en compte très majoritairement de l'effet des pollens, et secondairement de l'effet indirect lié au fait que le végétal héberge des organismes urticants ou allergisants.

Enoncé des contraintes physiques liées à l'espèce et synthèse graphique

Paysage et cadre de vie
Description des principales caractéristiques et utilisation de l'espèce ; pictogrammes correspondant aux types emblématiques

Service rendu en matière de régulation du climat local



1	Voirie urbaine Avenue / rue résidentielle / rue commerciale Centrale de ville / boulevard	
2	Voirie périurbaine à inter urbaine Entrée de ville : Avenue / Quartier résidentiel / ZAE / TPC / Rond-Point	
3	Stationnement Secteur urbain et péri urbain / ZAE / équipements / parking relais en peigne ou mail	
4	Espaces intermédiaires / porte de ville / interstitiels : vide urbain ou espaces résidentiels / grands ensembles	
5	Place / esplanade / terrasse / quai / allée	
6	Placette : place de quartier / place de village ou pavill.	
7	Parc / jardin / cimetière	
8	Cour, square, aire de jeux	
9	Usages communaux	
10	Pistes cyclables / cheminement piéton / cavalière	
11	Berges de cours d'eau : canal / chemin de halage	
12	Noisette et bassin d'orage urbain / place de jeux	

SAPIN D'ESPAGNE, ABIES PINSAPO

FAMILLE : Pinaceae
 HAUTEUR : 20 m
 DESCRIPTION GÉNÉRALE :

à aiguilles courtes, rigides, réparties au
 du rameau.
 persistantes de 1.5 cm, aspect sombre.

FLORAISON :

M A M J J A S O N D

ÉCOLOGIE :

Supporte une lumière : +++ Supporte un air sec : +
 Supporte la chaleur : ++ Supporte un sol pauvre : ++
 Supporte un sol sec : +



Photographie du végétal dans son ensemble, ou d'un élément caractéristique

Principaux facteurs limitants en milieu urbain

FACTEURS LIMITANTS
Liés au contexte urbain :

Supporte un sol compact : ☒
 Supporte un sol sec : ☐

ADAPTATION AU CLIMAT MESSIN, DANS LE CONTEXTE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE :

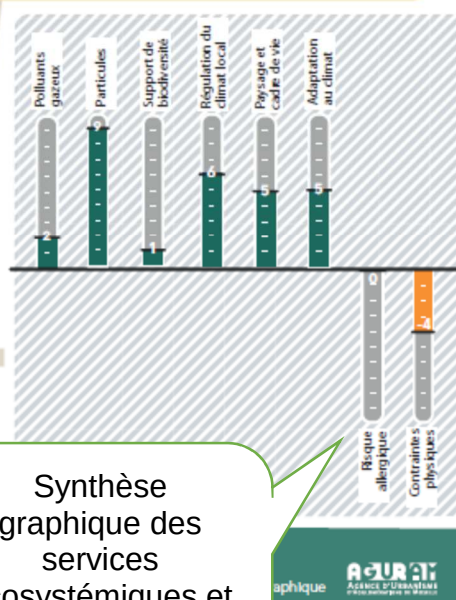
Originaire du sud de l'Espagne, mais néanmoins rustique jusqu'en Scandinavie, le Sapin d'Espagne est adapté aux sols secs et compacts, il présente donc des atouts en milieu urbain.

ATOUTS

Très bonne capacité de fixation de sparticules.
 Espèces rustique et résistante, capable de bien supporter les conditions urbaines. Assez bonne capacité de régulation du climat local.

LIMITES

Ses racines superficielles et sa nature de résineux, sensible aux tempêtes hivernales, à prendre en compte pour son implantation.



Synthèse graphique des services écosystémiques et des contraintes étudiées

Synthèse des sous-paramètres liés à l'adaptation au climat local, au climat urbain et aux effets du changement climatique

Synthèse générale : principaux atouts et limites de l'espèce

5 - Outil d'aide à la conception

L'outil d'aide à la conception est présenté dans les pages qui suivent sous forme de captures d'écran commentées.

L'outil a été mis au point sur le logiciel Microsoft Excel. Il aurait vocation à devenir un outil web, beaucoup plus ergonomique. La version présentée est donc plutôt à considérer comme une version provisoire

Le tableur comprend 7 onglets dont le seul directement utilisable par l'utilisateur est l'onglet Choix_critères. Seules les cellules qui doivent être saisies sont modifiables. L'onglet Base_Arbres et l'onglet Bas_typologie (données paysage) sont accessibles en lecture, ils donnent les principaux résultats de tout ce qui précède, et peuvent servir à l'utilisateur pour comprendre les résultats fournis par l'outil, mais ils ne sont pas modifiables.

Les autres onglets sont d'ordre technique (étapes de calcul) et sont masqués.

5.1 - Principales fonctionnalités

L'utilisateur se voit poser une série de questions successives qui vont l'aider à caractériser son projet par rapport aux services écosystémiques recherchés, et aux contraintes qu'il souhaite voir prises en compte. A chaque étape, la partie droite de l'écran constitue une notice d'utilisation qui à la fois, explique quelle saisie doit être faite, et donne des conseils pour répondre à la question posée.

De manière générale, l'utilisateur est incité à utiliser les pondérations des critères de manière mesurée : par exemple, un projet visant à réguler le climat local ne doit pas se traduire par une note de 10 sous « régulation du climat local » et une note de 0 sur chacun des autres critères. Il est ainsi rappelé que le critère « support de biodiversité » doit être considéré dans tous les projets.

L'utilisateur se voit en premier lieu poser deux questions qui ne sont pas liées aux services écosystémiques, mais constituent des préalables.

The screenshot shows a spreadsheet interface with two main columns. The left column contains a question: "Quelles sont les espèces recommandées au vu de mes priorités ?". Below this, a red text prompt asks: "1. Quel type d'espace public est aménagé ?". A dropdown menu is open, showing a list of options: "Stationnement", "Espaces intermédiaires", "Parc", "Placette", "Cours, square, aire de jeux", "Usolirs communaux", and "Pistes cyclables / cheminement piéton". The right column is titled "Notice d'utilisation" and contains the instruction: "Choisissez le type d'espace public objet du projet de végétalisation".

Figure 36 : Choix du type d'espace public aménagé

3			
4	Stationnement		Choisissez le type d'espace public objet du projet de végétalisation
5			
6			
7	2. caractérisez votre projet : quelles sont les attentes en termes de végétalisation ?		La caractérisation du projet passe par l'expression de l'exigence en matière de résistance aux aléas climatiques, puis par l'expression de l'importance relative des services écosystémiques attendus, puis enfin par l'expression des contraintes éliminatoires.
8			renseignez les cellules orange par des valeurs comprises entre 0 et 10.
9			
10			
11	2.1. Il est important d'implanter des végétaux qui soient autant que possible, adaptés au climat local, adaptés aux spécificités du climat urbain, adaptés aux conséquences attendues du changement climatique. Quelle importance accordez-vous à ce critère ?		Caractériser l'importance pour votre projet, de l'adaptation au climat urbain dans le contexte du changement climatique, au besoin en vous inspirant des exemples ci-dessous :
12			10 : Projet en contexte très difficile, très exposé aux difficultés du climat urbain ou aux effets d'épisodes climatiques remettant en cause la survie des végétaux.
13			8 : Projet en contexte difficile pour la survie des végétaux
14	21. Adaptation au climat urbain	4	2 : Projet en contexte peu sensible : espace naturel, zone humide, ...
15			

Figure 37 : Présentation générale des champs à renseigner et notamment de l'adaptation au climat urbain

Le choix a été fait d'isoler la question de l'adaptation au climat urbain (dans le contexte du changement climatique), car ce critère constitue en réalité une condition de départ de la fourniture de services écosystémiques (c'est-à-dire un critère qui va aller dans le sens du développement d'un arbre adulte en bonne santé).

18	2.2. Parmi les suivants, quels critères sont à prendre en compte de manière prioritaire dans l'aménagement ?		
19		Importance du critère	Réinitialiser
20	221. Support de biodiversité	4	
21	222. Régulation du climat local	8	
22	223. Absorption des polluants	2	
23	224. Fixation des particules fines	2	
24	225. Risque allergique	6	
25	226. Rôle paysager	8	
26			10 : cet enjeu est majeur pour le projet, c'est la motivation du projet.
27			8 : c'est l'enjeu le plus important du projet.
28			6 : c'est un des enjeux importants du projet.
29			4 : cet enjeu est pris en compte, mais il n'est pas jugé prioritaire.
30			2 : c'est un enjeu très secondaire dans le cadre du projet.
31			remarque : tous les services rendus par les végétaux sont importants et interdépendants. Il est recommandé de ne pas utiliser les valeurs 0 ou 1, et marginalement 2 ou 3.
32			
33	Total	34	Pour une utilisation équilibrée de l'outil, il est souhaitable que la somme des pondérations choisies soit située entre 25 et 40.

Figure 38 : Pondération des services écosystémiques et du risque allergique

Pour le choix des pondérations des services, des guides sont donnés et l'utilisateur est incité à éviter les valeurs les plus basses, selon le principe qu'aucun des services étudiés ne doit être complètement ignoré. Pour les raisons exprimées dans le chapitre suivant, le paramètre « support de biodiversité » présente une valeur minimale de 4 sur 10.

30	3. Quels sont les critères éliminatoires ?		Réinitialiser
31			
32	Elimination des espèces présentant...		
33	31. racines superficielles	2. Des contraintes moyennes ou fortes	Indiquez ici selon quels critères vous souhaitez éliminer des espèces.
34	32. branches cassantes	4. Critère non discriminant	Critère très défavorable au projet : éliminez toutes les espèces présentant cette contrainte à un niveau faible, moyen ou fort : choisissez 1.
35	33. espèces sensibles au chablis	4. Critère non discriminant	Critère défavorable au projet : éliminez les espèces présentant cette contrainte de à un niveau moyen ou fort : choisissez 2.
36	34. fructifications pouvant entraîner des dommages	4. Critère non discriminant	Critère un peu défavorable au projet : éliminez les espèces présentant cette contrainte à un niveau fort forte : choisissez 3.
37	35. dépôt de miellat	4. Critère non discriminant	
38	36. fruits toxiques	4. Critère non discriminant	
39	37. arbre de grande hauteur	3. Des contraintes fortes	
40	38. arbre de grande envergure	4. Critère non discriminant	
41			

Figure 39 : Choix des critères éliminatoires

Les critères éliminatoires ne sont pas utilisés en pondération, mais en exclusion. Il a été vérifié que lorsque les critères d'exclusion sont tous poussés au maximum (c'est-à-dire que toutes les espèces présentant une contrainte au moins faible dans l'un des critères sont éliminées), la base reste juste suffisante (13 espèces restent valides). On est alors en limite d'utilisation de l'outil, mais en pratique ce cas a très peu de chances d'être rencontré.

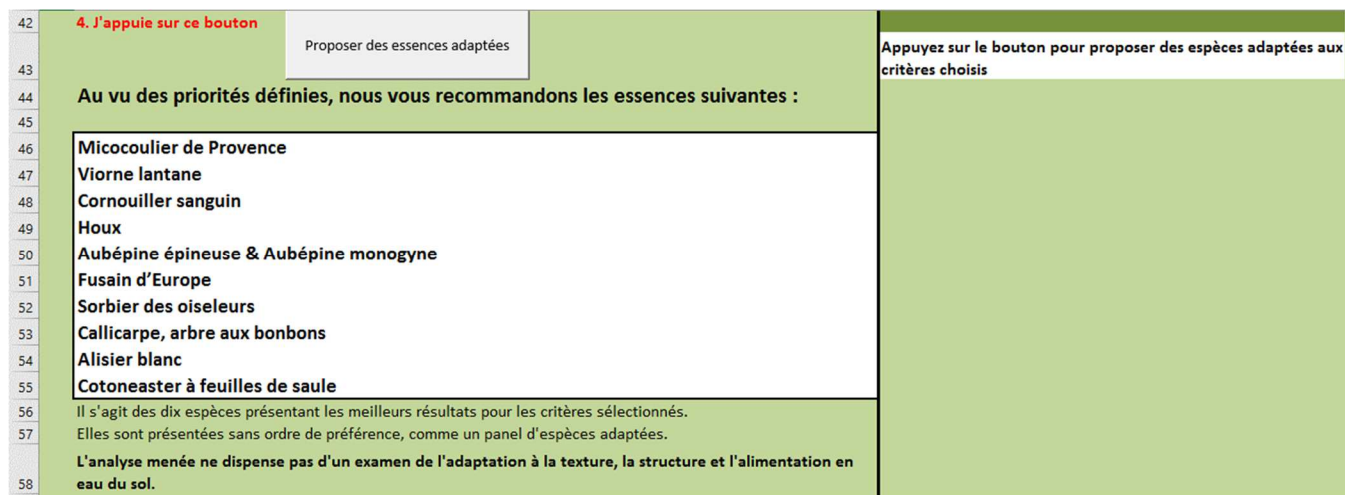


Figure 40 : Obtention de la liste d'espèces recommandées

Une fois tous les paramètres saisis, la liste apparaît après avoir cliqué sur le bouton dédié. L'application fournit une liste de 10 espèces recommandées. Dans certains cas, il s'agit de groupes d'espèces (par exemple les aubépines autochtones). Il est important de préciser que cette liste n'est pas classée. L'enjeu de cette absence de classement est de ne pas mettre en avant une espèce « miracle », mais plutôt un cortège d'espèces adaptées.

Un inconvénient demeure, du fait que même mélangée, la liste demeure une liste et les espèces figurant en tête de liste peuvent être interprétées comme particulièrement recommandées. Ceci pourra être amélioré dans le cadre d'un outil web (présentation sous forme d'un « nuage d'espèces »).

Quelques recommandations sont formulées afin de ne pas se contenter de cette seule approche. L'analyse des contraintes et services écosystémiques doit être accompagnée d'une approche technique liée aux conditions de croissance du végétal (texture, structure et alimentation en eau du sol).

A ce titre, l'outil Floriscope développé par Plante & Cité et Val'hor¹³, d'accès gratuit, constitue un élément pertinent de choix des espèces, et peut être très complémentaire de l'approche développée ici.

5.2 - Variantes testées

Les échanges menés avec les partenaires du projet et avec différents contacts pris nous ont amenés à réfléchir sur deux critères en particulier : le service de support de biodiversité, et d'adaptation au climat urbain dans le contexte du changement climatique.

Concernant le service de support de biodiversité, nous avons considéré les évolutions réglementaires actuelles qui renforcent considérablement la prise en compte de la biodiversité dans les projets et dans l'aménagement du territoire. La loi 2016-1087 du 8 août 2016, dite loi « biodiversité », a introduit la notion de service écosystémique dans le code de l'environnement :

Article L110.1 du code de l'environnement : « *Les espaces, ressources et milieux naturels terrestres et marins, les sites, les paysages diurnes et nocturnes, la qualité de l'air, les êtres vivants et la biodiversité font partie du patrimoine commun de la nation. Ce patrimoine génère des services écosystémiques et des valeurs d'usage.* (Article 110.1)
(...) *L'objectif de développement durable (...) est recherché, de façon concomitante et cohérente, grâce aux engagements suivants :*

¹³ <https://www.floriscopes.io/>

1° La lutte contre le changement climatique ;

2° La préservation de la biodiversité, des milieux, des ressources ainsi que la sauvegarde des services qu'ils fournissent et des usages qui s'y rattachent (...) »

Dès lors, il n'apparaît pas cohérent que notre outil d'aide à la conception puisse méconnaître totalement l'objectif de préservation de la biodiversité. Il a donc été admis, en relation avec le comité de pilotage, que la valeur minimale attribuée au paramètre « support de biodiversité » serait de 4, faisant donc du paramètre biodiversité, un objectif au moins secondaire de tous les projets.

Cette approche est cohérente avec le cadre conceptuel d'EFESE, qui considère la biodiversité comme suffisamment importante et indépendante des services qu'elle rend, pour ne pas la considérer seulement comme un support de services écosystémiques pour l'homme.

L'adaptation au climat urbain dans le contexte du changement climatique, apparaît comme un paramètre « support », qui va conditionner les autres paramètres à renseigner. En effet, le fait d'implanter des espèces bien adaptées au climat actuel et à venir est un préalable à la fourniture des services écosystémiques recherchés, puisque cela conditionne leur survie et leur bonne santé. Nous nous sommes donc intéressés à la possibilité de « surcoter » ce paramètre climatique. Le risque étant alors d'écraser les autres paramètres sous l'effet de cette sur-pondération : il s'agit de vérifier si les espèces bien notées en matière d'adaptation au climat urbain dans le contexte du changement climatique ne ressortent pas systématiquement, quels que soient les paramètres choisis pour les services écosystémiques.

Les tests sur le terrain ont donc été réalisés avec :

- Une version Arbres_v4-2-1,
- Une version Arbres_v4-2-2 (climat), sur-pondérant de 150% ce critère.

5.3 - Test réalisé sur le terrain

Un premier test de l'outil a été réalisé le 5 juillet 2019, en interne Cerema, et un autre test a été réalisé avec les collectivités le 26 août 2019. Ces tests concernent :

- un projet d'aménagement dans le prolongement du Technopole de Metz (quartier de Grigy). Le projet comprend un quartier d'habitations, un pôle scientifique, un pôle d'activités et un « vallon » à vocation naturelle et d'agriculture périurbaine, ceinturant un petit cours d'eau. Le territoire est marqué par des enjeux de continuité écologique : cours d'eau, proximité du Fort de Queuleu qui est devenu un milieu naturel et boisé, etc.
- Le vaste projet d'aménagement de l'ancienne base militaire de Frescaty. Cet espace est destiné à constituer des parcs périurbains, des aires de jeux, des espaces naturels, des secteurs d'activités. Il comporte aussi des espaces de berges de cours d'eau.

Les tests n'ont pas été effectués par l'équipe projet, mais les agents chargés d'urbanisme de Metz Métropole. Le test permet donc de vérifier, au-delà de la pertinence technique des données produites, mais la manière dont l'outil est pris en main et les éventuelles erreurs d'utilisation.



Figure 41 : L'équipe-projet sur site (photo Luc Chrétien, Cerema)

L'intégralité des résultats des tests réalisés n'est pas communiquée ici. Nous reproduisons ici les principales conclusions de ces tests, traduites en termes de recommandations pour l'utilisation de l'outil :

- 🌍 Globalement, pour les aménageurs, paysagiste et écologue présents lors des tests, les résultats apparaissent pertinents. Aucune contradiction globale n'est apparue.
- 🌍 L'utilisateur doit bien garder à l'esprit que l'outil propose une gamme d'espèces adaptées à la fourniture des services écosystémiques sélectionnés, et répondant aux critères éliminatoires sélectionnés. Mais ce n'est pas une formule magique. D'une part, toute la place nécessaire doit être laissée à l'expertise. L'outil apporte de suggestion, mais le paysagiste, l'écologue, l'aménageur lui-même peuvent avoir d'autres idées qui ne seront pas forcément mauvaises. Ainsi, sur le terrain, il

nous est demandé de comparer nos résultats avec ceux proposés par le paysagiste. Sans être similaires, les deux listes apparaissaient plutôt cohérentes. Ce qui ne veut pas dire qu'une espèce proposée par le paysagiste, mais ne ressortant pas de notre outil, n'est pas pertinente.

- ✚ Les discussions menées sur le terrain ont amené à décider d'exclure complètement de l'outil certaines espèces comme l'épicéa commun. En effet, même si les valeurs attribuées à cette espèce sont basses et amènent à ce qu'elle soit très peu sélectionnée (aucun test ne l'a fait ressortir, il en est de même pour les séquoias), le simple fait qu'elle soit dans la base peut induire un malentendu. Il a donc été décidé de supprimer ces espèces de la base.
- ✚ Pour un espace vaste comme ceux sur lesquels ont porté les tests, on note une tendance de l'utilisateur à globaliser l'utilisation de l'outil avec deux grands types paysagers : « Parcs » et « voiries urbaines ». De nombreux types paysager qui vont se décliner localement sont alors ignorés : « espaces de stationnement », « berges de cours d'eau », « placette », etc. Il en résulte une utilisation appauvrie et simplificatrice de l'outil
 - **Recommandation : décomposer le projet en lots unitaires qui font sens du point de vue des services rendus par le végétal.**
- ✚ L'utilisation des contraintes physiques s'avère très déterminante. En effet, les critères physiques fonctionnent par exclusion : par exemple l'exclusion la plus stricte des espèces présentant des racines superficielles, exclut plusieurs dizaines d'espèces. Or ces critères d'exclusion ont été utilisés très largement : par exemple, « racines superficielles » ou « branches cassantes » dans un contexte de parc pour lequel ils ne sont pas forcément pertinents.
 - **Recommandation : la notice d'utilisation de l'application doit amener l'utilisateur à une utilisation raisonnée et limitée de ces critères d'exclusion.**
- ✚ De manière très intéressante, l'utilisation de l'outil fait ressortir des contradictions internes chez l'aménageur. Ainsi, dans un projet pour lequel l'objectif principal est la régulation du climat, pour un lotissement, la contrainte « arbres de grande envergure » et « arbres de grande hauteur » est utilisée à son niveau de restriction maximal. Dans l'idée de l'utilisateur, on limite l'ampleur de végétaux dans un contexte de rue. Toutefois, ceci amène l'outil à sélectionner des petits arbres, peu étendus, et des arbustes. Le service rendu en terme de régulation climatique est alors relativement faible. La contradiction mise en évidence est la suivante : si l'on veut réguler le climat urbain, il y a un minimum d'espace à accorder aux végétaux. L'outil en lui-même, peut donc appuyer une réflexion sur l'aménagement du projet en général.
 - **Recommandation : la notice d'utilisation de l'application doit attirer l'attention de l'utilisateur sur ce point.**
- ✚ L'outil limite très peu les paramétrages possibles. Ainsi, l'utilisateur peut, dans un contexte périurbain de trame verte importante, sélectionner la biodiversité à un niveau bas (le minimum est 4). Autre exemple, l'utilisateur peut pour un espace de stationnement, négliger l'enjeu de régulation climatique alors que cet enjeu doit y être poursuivi.
 - **Recommandation : Il n'est pas envisagé de rajouter des verrous sur les valeurs possibles, mais la notice d'utilisation de l'application doit attirer l'attention de l'utilisateur sur ce point.**
- ✚ La variante « climat » modifie marginalement le cortège d'espèces proposées, sans que les espèces les plus résistantes aux difficultés climatiques ne s'imposent de manière écrasante. Etant donné les enjeux climatiques, c'est donc cette variante qui sera privilégiée.

✚ Dans un cas, l'enjeu lié au risque allergique était considéré comme prépondérant, au même niveau que l'enjeu de biodiversité

✚ la liste indifférenciée d'arbres et d'arbustes est peut-être un problème car ces espèces ne sont pas complètement comparables.

Recommandation : dans une version ultérieure de l'outil, une feuille de calcul « arbres » et une feuille de calcul « arbustes » serait à envisager.



Photo Nadia Aubry, Cerema

Conclusion

Le début du XXIème siècle semble marquer le début d'une véritable prise de conscience environnementale : plus que jamais, l'être humain comprend que son propre développement ne pourra continuer à se faire au détriment des autres communautés vivantes.

De cette prise de conscience ont émergé les concepts de services écosystémiques et de solutions fondées sur la nature. Les autres êtres vivants nous offrent des modèles, des solutions techniques, et aussi plus directement nous fournissent des services.

Les végétaux dont l'être humain s'entoure dans les milieux urbains représentent un enjeu particulièrement fort. Ils jouent un rôle fondamental dans la régulation du climat local, dont on sait qu'il va s'avérer de plus en plus difficile. Ils ont un rôle à jouer dans la régulation des polluants. Ils représentent l'armature principale sur laquelle peut se fonder un certain retour de la biodiversité en ville. Ils contribuent au paysage et au cadre de vie, dont on mesure de plus en plus l'impact sur la santé physique et mentale des citoyens.

Chaque espèce d'arbre et d'arbuste présente des spécificités, qui peuvent être traduites en termes de performance pour ce qui concerne tel ou tel service écosystémique. Par ailleurs, chacune d'entre elles présente des contraintes qu'il faut connaître et maîtriser : pollen allergisant, fruits lourds, racines dommageables...

Elle présente aussi une plus ou moins grande sensibilité au climat local, aux difficultés du climat urbain, dans le contexte du changement climatique qui va exacerber ces difficultés.

Pour mettre en pratique les concepts évoqués dans cette étude, la ville de Metz lance, fin 2019, une étude de terrain « espace test Sesame » qui va permettre de mesurer, in situ, les services rendus par les végétaux, notamment en matière de qualité de l'air.

Planter le bon végétal au bon endroit, lui offrir tout au long de sa vie des conditions les plus favorables possibles à sa croissance, c'est ce qui permettra d'optimiser les services dont l'on veut bénéficier à un endroit donné, et de limiter les contraintes que l'on souhaite éviter dans ce contexte particulier.

Au-delà de ces considérations utilitaristes légitimes, planter plus d'arbres et d'arbustes en ville, les aider à croître et les respecter, peut contribuer à réconcilier l'homme et la femme urbains avec un environnement naturel dont ils sont de plus en plus éloignés.

« On peut dire de presque toutes les activités humaines qu'elles engendrent un doute quant à leur utilité réelle. Il n'y a qu'une seule exception : planter des arbres. » - Francis Hallé.

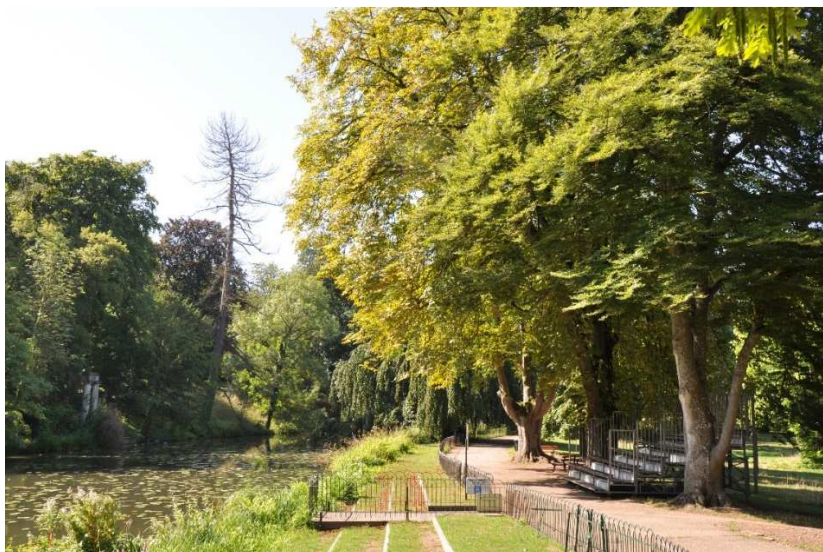


Photo Nadia Aubry, Cerema

BIBLIOGRAPHIE

- Pépinière Lappen. (2015). Lappen, la pépinière, le catalogue. Nettetal-Keldenkirchen, Allemagne: Baumschulen Lappen.
- United states department of agriculture. (2019, 05 17). *fact sheets & plant guides*. Récupéré sur plants database: <https://plants.usda.gov/java/factSheet>
- (2019, 05 03). Récupéré sur Tela botanica: <https://www.tela-botanica.org/>
- (2019, 05 03). Récupéré sur Les arbres: <https://www.lesarbres.fr/>
- (2019, 05 03). Récupéré sur Au jardin info: <https://www.aujardin.info/>
- AgroParisTech. (2018). *guide de plantation : valoriser les services écosystémiques de l'arbre en ville lors d'un projet de plantation ou de renouvellement*. Nancy: AgroParisTech.
- Arbez, M., & Lacaze, J.-F. (1998). *Les ressources génétiques forestières en France: Tome 2. Les feuillus*. Quae.
- Becket, K. P., Freer-Smith, P. H., & Taylor, G. (2000). Particulate pollution capture by urban trees : effect of species and windspeed. *Global Change Biology*.
- Birdsey, R. A. (1992). *Carbon storage and accumulation in United States Forest ecosystems, general technical report WO-59*. United states department of agriculture forest service, northeastern experiment station, Radnor.
- Bocquet, M. (1992-2000). Flore mellifère. *OPIDA*.
- Bolund, P., & Hunhammar, S. (1999). *ecosystem services in urban areas*.
- Bonassi, J. C. (2015). Inventaire de la flore vasculaire de Lorraine : indigénats, raretés, menaces, protections. *Les Nouvelles Archives de la Flore jurassienne et du nord-est de la France*, pp. 3-43.
- Bonassi, J., Cartier, D., & Courte, C. (2015). Inventaire de la flore vasculaire de Lorraine : indigénats, raretés, menaces, protections. *Les nouvelles archives de la flore jurassienne et du nord-est de la France*, pp. 3-43.
- Bonnier, G. (1934). *Flore complète illustrée en couleur de la France, la Suisse et la Belgique*. Paris: librairie générale de l'enseignement.
- Boutaud, J. (2003). *La taille de formation des arbres d'ornement*. SFA.
- CAUE 77. (s.d.). *la protection du système racinaire des arbres lors des travaux de terrassement*.
- CBNBP, J. W. (2018). *liste hiérarchisée des plantes exotiques envahissantes d'Île-de-France, version 2.0*. Paris.
- CERTU. (2011). *Aménager avec le végétal pour des espaces verts durables*. Paris: Certu.
- Clark, A., Saucier, J. R., & McNab, W. (1986). *Total-Tree Weight, Stem Weight, and Volume Tables for Hardwood Species in the Southeast*. Research Division, Georgia Forestry Commission.
- Clément, G. (2004). *Manifeste du tiers paysage*. Paris: Sujet-objet éditions, collection "l'autre fable".
- Comité français de l'UICN. (2012). *Panorama des services écologiques fournis par les milieux naturels en France, volume 1 : contexte et enjeux*. Paris: UICN.
- Comité français de l'UICN. (2013). *Panorama des services écologiques fournis par les milieux naturels en France, volume 2.3 : les écosystèmes urbains*. UICN.
- Comité pour l'économie verte. (2019). *Les enjeux de l'artificialisation des sols : diagnostic*. Paris.
- Commissariat général au développement durable. (2018). *Objectif « zéro artificialisation nette » - éléments de diagnostic*. Paris: CGDD.
- Coutin, R. (1996). Insectes et acariens du Frêne. *Insectes n°100*, pp. 15-18.

- Coutin, R. (1997). Insectes et acariens du Lierre. *Insectes*, n°104, pp. 15-18.
- CPEPESC Lorraine. (2009). *Connaître et protéger les chauves-souris de Lorraine*. CICONIA.
- CSTB, Guinaudeau Claude. (2010). *L'arbre en milieu urbain, plantation et entretien*. CSTB.
- Cuny, M.-A., & Thibaudon, M. (2019, 05 03). *Végétation, qualité de l'air et*. Récupéré sur association pour la prévention de la pollution atmosphérique:
http://www.appa.asso.fr/_docs/7/fckeditor/file/Manifestation/121016/Cuny_Thibaudon.pdf
- De Groot, R., Wilson, M., & Boumans, R. (2002). *A typology for the classification, description and valuation of exosystem functions, goods and services*.
- Deeprooot. (2017). *Silva Celle tree and Stormwater Management System from Deeprooot*.
- DeWald, S., Scott, J., & Erdkamp, B. (2005). *Heting with wood : producing, harvesting and processing firewood*. (i. o. University of Nebraska - Lincoln extension, Éd.)
- Didier, B. (2008). Insectes du sureau. *Insectes* n°151, pp. 19-22.
- Dorion, N. (2016, 05-06). Orme, du passé au futur. *Jardins de France* n°641, pp. 16-19.
 Récupéré sur Jardins de France: https://www.jardinsdefrance.org/wp-content/uploads/2018/01/JdF641_3_Histoire-de-plantes.pdf
- Ekopédia. (2019, 05 03). *liste détaillée des plantes mellifères*. Récupéré sur ekopedia:
http://www.ekopedia.fr/wiki/Liste_d%C3%A9taill%C3%A9e_de_plantes_mellif%C3%A8res
- Escobedo, F. J., & Nowak, D. J. (2009). Spatial heterogeneity and air pollution removal by an urban forest. *Landscape and Urban Planning*, 90(3-4), pp. 102-110.
- Eurométropole de Strasbourg. (2013). *Plantons local pour plus de biodiversité*. Strasbourg: Eurométropole de Strasbourg.
- FAO commission on genetic resources for food and agriculture, J. B. (2019). *The state of the world's biodiversity for food and agriculture*. Rome.
- Fischer, B., Turner, R. K., & Morling, P. (2009). defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecol. Econ.*, 68, pp. 643-653.
- Floraine. (2013). *Atlas de la flore lorraine*. Vent d'Est.
- Florysage. (2017, mai). l'arbre en ville : du bon choix à la plantation. *le lien horticole*.
- France AgriMer. (2017). *LISTE DE PLANTES ATTRACTIVES POUR LES ABEILLES - Plantes nectarifères et pollinifères à semer et à planter*. MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE L'ALIMENTATION.
- Frandin, J., & Parisot, C. (2016). *Guide de gestion écologique des espaces publics et privés*. Paris: Naturparif.
- Garsault, J. (1991). *La maladie de la suie. La santé des forêts (France) en 1990*. Paris: Ministère de l'Agriculture et de la Forêt (DERF).
- Gillig, C.-M., Bourger, C., & Amann, N. (2008). *L'arbre en milieu urbain, conception et réalisation des plantations*. InFolio.
- Gómez-Baggethun, E., & Barton, D. N. (2013). Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*, 86.
- Grimm, N. B., Faeth, S. H., Golubiewski, N. E., Redman, C. L., Wu, J., Bai, X., & Briggs, J. M. (2008). Global Change and the Ecology of Cities. *Science*, 319, pp. 756-760. Récupéré sur <https://doi.org/10.1126/science.1150195>
- GT-IBMA. (2019, 05 03). *parthenocissus quinquefolia*. Récupéré sur <https://www.gt-ibma.eu/espece/parthenocissus-quinquefolia/>
- Haddad, Y. (2013, 06). Comment garantir la reprise des arbres en ville ? *Paysages actualités*.
- Hallé, F. (2011). *Du bon usage des arbres. Un plaidoyer à l'attention des élus et des énarques*. Actes Sud.
- Hégo, M. (2015). *Le choix des plantes et espèces locales dans les projets de paysage : effet de mode ou renouveau à encourager ?* Sciences agricoles.
- Hiemstra, J., Tonneijck, A., Schoenmaker - van der Bijl, E., & Val'Hor (traduction). (2008). *Les arbres, une bouffée d'air pur pour la ville*.

- Hiemstra, J.-A., Schoenmaker - Van der Bijl, E., & Tonneijck, A. (2008). *Les arbres, Une bouffée d'air pur pour la ville*.
- Hortipedia.com. (2019, 05 17). *Hortipedia.com*. Récupéré sur Hortipedia.com: <http://www.hortipedia.com>
- Humanité et biodiversité. (2019, 05 17). *Le Ginkgo - Gingko biloba*. Récupéré sur Humanité-biodiversite.fr: <http://www.humanite-biodiversite.fr/temoignage-oasis/le-ginkgo-ginkgo-biloba>
- Huxley, A. (1992). *The new RHS dictionnary of gardening*.
- IMS Health Incorporated. (2019, 04 07). *pollenlibray.com*. Récupéré sur <https://www.pollen.com/>
- IRSTEA - C. Werey, B. Rulleau, M. Mattar. (2017). *Coûts de la gestion des eaux pluviales : méthode d'évaluation des externalités associées aux techniques alternatives*.
- J.F., G. (1991). *La maladie de la suie. La santé des forêts (France) en 1990*. Paris: Ministère de l'Agriculture et de la Forêt (DERF).
- Jullien, E. &. (2010). *Guide écologique des arbustes*. Eyrolles.
- Lagacherie, M., & Cabannes, B. (2019, 05 03). *Les plantations mellifères*. Récupéré sur apiservices: <https://www.apiservices.biz/fr/articles/classes-par-popularite/335-les-plantations-melliferes>
- Laïle, P., Provendier, D., & Colson, F. (2013). Les bienfaits du végétal en ville, Synthèse des travaux scientifiques et méthodes d'analyse. (P. & Cité, Éd.)
- Le CRI. (2019, 05 03). *Les insectes gallicoles*. Récupéré sur Le Cri: <http://cri.noyalsurvilaine.free.fr/gallicoles.html>
- Le Gourrierc, S. (2012). *L'arbre en ville : le paysagiste concepteur face aux contraintes du milieu urbain*.
- lemonde.fr. (2019). *Repenser les plantations pour éviter les allergies aux pollens*. Récupéré sur lemonde.fr: <https://jardinage.lemonde.fr/dossier-1167-allergies-pollens.html>
- Leroy, P. C. (2009). L'impact du miellat de puceron au niveau des relations tritrophiques entre les plantes-hôtes, les insectes ravageurs et leurs ennemis naturels. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, pp. 325-334.
- Lieutaghi, P. (2004). *Le Livre des arbres, arbustes et arbrisseaux*. Actes sud.
- Ligue de protection des oiseaux. (1998). *Arbres et arbustes pour les oiseaux*.
- Ligue de protection des Oiseaux. (2010). *Arbres et arbustes pour les oiseaux*.
- ligue de Protection des Oiseaux. (non daté). refuges LPO - Des Refuges pour la nature - Arbres et arbustes pour les oiseaux.
- Lyytimäki, J., & Sipilä, M. (2009). Hopping on one leg – The challenge of ecosystem disservices for urban green management. *Urban Forestry & Urban Greening*, 8(4), pp. 309-315.
- Macquart, J. (1852). *Les arbres et arbrisseaux d'Europe et leurs insectes*. Lille: Danel.
- McPhearson, T., Kremer, P., & Hamstead, Z. A. (2013). Mapping ecosystem services in New York City: Applying a social-ecological approach in urban vacant land. *Ecosyst. Serv*, 5, pp. 11-26.
- Météo France. (2019, 07 05). *Climat futur, les tendances des évolutions du climat au XXIème siècle*. Récupéré sur Météo France: <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/climathd>
- Métropole du Grand Nancy. (2016). *Fosses de plantation, charte de l'aménagement public, cahier des prescriptions techniques communautaires*. Nancy.
- Millennium ecosystem assessment. (2005). *Ecosystem wealth and human well-being*. Washington D.C.: Island press.
- Ministère de l'Environnement et de la mer ; Fondation pour la recherche sur la biodiversité;. (2017). *EFESE, cadre conceptuel*.
- Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer, en charge des négociations sur le climat. (2017). *Stratégie nationale relative aux espèces exotiques envahissantes*.

- Ministère en charge de l'écologie. (2009). *étude exploratoire pour une évaluation des services rendus par les écosystèmes en France*. Paris.
- Moulia, B. (2019, 03 05). La sensibilité des arbres. (M. Gaillard, Intervieweur)
- Muséum national d'histoire naturelle. (2019, 05 03). Récupéré sur inventaire national du patrimoine naturel: <https://inpn.mnhn.fr/accueil/index>
- New York city. (2019, 07 02). *New York city street tree map, explore and care for NYC's urban forest*. Récupéré sur <https://tree-map.nycgovparks.org/>
- Nowak, D. J. (2006). Institutionalizing Urban Forestry as a "Biotechnology" to Improve Environmental Quality. *Urban Forestry & Urban Greening*, 5(2), pp. 93-100. Récupéré sur <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2006.04.002>
- Nowak, D. J., & Dwyer, J. F. (2007, s). Understanding the benefits and costs of urban forest ecosystems - Urban and community forestry in the Northeast. (K. J, Éd.) *Science*.
- Office des forêts du canton de Berne. (2013). *forêt et changement climatique : recommandations sylvicoles concernant les essences forestières*. Berne: OFOR.
- Owen, D. (1980, 02). *Buddleia davidii* in Britain: History and development of an associated fauna. *Biological conservation*, pp. 149-155.
- Parc naturel Régional de Lorraine. (2012). *des arbres et des arbustes pour la Lorraine, un investissement gagnant*.
- Parcs Naturels Régionaux de Lorraine. (2012). *Guide pratique fleurs, arbres et arbustes du nord-est de la France - tome 1, choisir les plantes*. PNRL, PRVBV, SycoParc.
- Pénicaud, P. (2000). Chauves-souris arboricoles en Bretagne (France) : typologie de 60 arbres-gîtes et éléments de l'écologie des Chauves-souris arboricoles en Bretagne (France) : *Le Rhinolophe*, pp. 37-68.
- Pénicaud, P., & SFEPM. (2010). Les chauves-souris et les arbres, connaissance et protection.
- Pépinière Bruns. (2019). catalogue végétal 2018-2019. Bad Zwichenahn, Allemagne.
- Pépinières Daniel Soupe. (2012). Catalogue technique des essences botaniques. Châtillon-sur-Chalaronne, Ain, France: Pépinières Soupe.
- Plante & Cité / ONEMA - A. Sauve, F. Glatard, P. Faucon, O. Damas. (2014). *Aménagement et choix des végétaux de ouvrages de gestion des eaux pluviales de proximité – Rapport d'études*. Plante et Cité / Onema.
- Plante & Cité. (2008). Le mélange terre - pierres, une solution technique pour les plantations d'arbres d'alignement - Compte rendu de la journée technique sur le mélange terre-pierres organisée par Plante & Cité le 21 novembre 2008 à Angers. Angers.
- Plante & Cité. (2016). *Des solutions végétales pour la ville : bien les choisir et les concevoir*. Angers: Plante & Cité.
- PlantFileonLine. (2019, 05 03). Récupéré sur PlantFileonLine, the ultimate guide to plants: <http://www.plantfileonline.net/>
- Plants for a future. (2019, 05 03). Récupéré sur Plants for a future: <https://pfaf.org>
- PNR Lorraine, Ballons des Vosges, Vosges du nord. (2008). *Guide pratique fleurs, arbres et arbustes du nord-est de la France, tome 1, choisir les plantes*.
- Pokorny, J. (1987). *Arbres*. Gründ.
- pollen.com. (2019, 05 03). *Allergens and Plants Research by Location*. Récupéré sur [pollenlibrary.com](http://www.pollenlibrary.com/): <http://www.pollenlibrary.com/>
- Pugh, T. (2012). The effectiveness of green infrastructure for improvement of air quality in urban street nacyons. *Environmental science & technology*, 46, p. 14.
- Rameau, J.-C., Mansion, D., & Dumé, G. (1995). *Flore forestière française, guide écologique illustré, Tome 1, plaines et collines*. Institut pour le développement forestier.
- Rasmont, P. (2010). *note de synthèse sur la mortalité des butineurs de Tilia tomentosa*. Mons.
- Réseau National de Surveillance Aérobiologique. (2018). *Guide d'information : végétation en ville*.

- Réseau National de Surveillance Aérobiologique. (2019, 05 03). *Les pollens - le réseau national de surveillance aérobiologique*. Récupéré sur RNSA: <https://www.pollens.fr/le-reseau/les-pollens>
- Réseau National de Surveillance Aérobiologique. (2019, 04 05). Les pollens <https://www.pollens.fr/le-reseau/les-pollens>.
- RNSA. (2019). *Guide d'information - végétation en ville*.
- Roloff, A. (2016). *Urban tree management, for the sustainable development of green cities*. Wiley Blackwell.
- Sabot, J. (1992). *150 plantes mellifères*. La maison rustique.
- Santamour, F. (1990). *Trees for urban planting: Diversity, uniformity, and common sense*.
- Séguir, F. (2019, janvier). Comment mieux adapter les arbres urbains aux sécheresses estivales ? *Espace public et paysage*, pp. 56-58.
- Selmi, W., Weber, C., Rivière, E., Blond, N., Lofti, M., & Nowak, D. (2016). Air pollution removal by trees in public green spaces in Strasbourg city, France. *Urban forestry & urban greening*, 17, pp. 192-201.
- Shackleton, C. (2016, 07 13). Do Indigenous Street Trees Promote More Biodiversity than Alien Ones? Evidence Using Mistletoes and Birds in South Africa. *Forests*, p. 134.
- Stewart, H. (2002). *Trees and Sustainable Urban Air Quality*. Lancaster: University of Lancaster and the Centre for Ecology and Hydrology.
- TDAG. (2016). *L'arbre en milieu urbain*.
- Tiwari, A. (2009, 10). An integrated tool to assess the role of new planting in PM10 capture and the human health benefits : a case study in London. *Environ Pollut.*, Récupéré sur <https://doi.org/10.1016>
- Trees and Design Action Group. (2016). *Arbre en milieu urbain, guide de mise en oeuvre*.
- Union Internationale pour la Conservation de la Nature. (2016). Des solutions fondées sur la nature pour lutter contre les changements climatiques. p. 16.
- Union Nationale des Entreprises du Paysage. (2012). *Eègles professionnelles - Travaux de plantation des arbres et arbustes*. UNEP.
- Van Daele, C. (2019, 05 03). *plantes-melliferes-abeilles*. Récupéré sur cthgx: <http://www.cthgx.be/plantes-melliferes-abeilles.pdf>
- White, D., & More, J. (2005). *Encyclopédie des arbres*. Paris: Flammarion.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Conditions de vie des arbres urbains, d'après (Roloff, 2016), traduction Cerema.....	12
Tableau 2 : Composition du comité de pilotage.....	17
Tableau 3 : Sélection des services écosystémiques retenus pour la suite de l'étude	21
Tableau 4 : Critères d'exclusion dans le choix des espèces retenues pour l'étude.....	22
Tableau 5 : Correspondances entre critères qualitatifs et numériques	26
Tableau 6 : Sous-critère A : indigène – exogène ; source : (Bonassi, Cartier, & Courte, 2015)	35
Tableau 7 : Sous-critère B : recommandation par guides locaux en faveur de la biodiversité	35
Tableau 8 : Sous-critère C : nombre d'espèces d'insectes associées	36

Tableau 9 : Sous-critère D : éléments comestibles pour l'avifaune et la moyenne faune	37
Tableau 10 : Sous-critère E : intérêt pour les pollinisateurs	37
Tableau 11 : Sous-critère F : Intérêt pour les Lépidoptères (biomasse).....	38
Tableau 12 : Sous-critère G : capacité à générer des habitats et gîtes pour la faune (hors chiroptères) – rôle de « plante hôte ».....	39
Tableau 13 : Sous-critère H : intérêt en tant qu'arbre-gîte pour les chiroptères.....	39
Tableau 14 : Sous-critère I : capacité à accueillir des populations de lichens diversifiées.....	40
Tableau 15 : Définition des principaux rôles paysagers	41
Tableau 16 : Tableau de croisement des espèces et des typologies d'espaces	42
Tableau 17 : Caractérisation du risque allergique	47
Tableau 18 : Caractérisation des contraintes physiques	50
Tableau 19 : Gradation des contraintes physique liée aux arbres de grande hauteur	51
Tableau 20 : Modalités de construction de l'indice global lié aux contraintes physiques	52
Tableau 21 : constitution du sous-critère "adaptation au climat lorrain".....	54
Tableau 22 : Constitution du sous-critère "adaptation aux spécificités urbaines"	54
Tableau 23 : Constitution du sous-critère "adaptation supposée au changement climatique"	55
Tableau 24 : Quelques adaptations à la sécheresse adaptées adapté de (Roloff, 2016)	56
Tableau 25 : Liste des espèces retenues dans le cadre de l'étude	65
Tableau 26 : Indicateurs d'état utilisés pour la construction des notes des services de régulation : exemple pour deux espèces, l'érable sycomore et le pin sylvestre	66
Tableau 27 : Résultats Qualité de l'air pour l'ensemble des espèces examinées	68
Tableau 28 : Notes attribuées (sur 10) pour la capacité de l'érable sycomore et du pin sylvestre à réguler le climat local (par l'effet d'ombrage et l'évapotranspiration).....	69
Tableau 29 : Notes attribuées (sur 10) pour la capacité de l'ensemble des espèces étudiées, à réguler le climat local	71
Tableau 30 : Régulation du climat global : contribution des espèces étudiées.	74
Tableau 31 : Le rôle du saule blanc en tant que support de biodiversité (photo : Cerema)	75
Tableau 32: Le rôle du noisetier de Byzance en tant que support de biodiversité (photo : Cerema).....	75
Tableau 33 : Caractérisation des espèces selon le critère "support de biodiversité"	77
Tableau 34 : Evaluation des espèces par services paysagers rendus	80
Tableau 35 : Risque allergique : exemple du Sapin d'Espagne (photo Cerema)	82
Tableau 36 : Risque allergique : exemple du Platane (photo Cerema).....	82

Tableau 37 : Caractérisation des espèces selon le critère "risque allergique"	84
Tableau 38 : Contraintes physiques, exemple du Sophora du Japon (photo Cerema)	85
Tableau 39 : Contraintes physiques, exemple du Sorbier des oiseleurs (photo Cerema).....	86
Tableau 40 : Caractérisation des espèces selon le critère "contraintes physiques"	88
Tableau 41 : Données COV pour les espèces considérées dans l'étude.	91
Tableau 42 : Exemple du Micocoulier de Provence (photo Cerema).....	92
Tableau 43 : Exemple du Séquoia géant (photo Cerema).....	92
Tableau 44 : adaptation au climat messin, dans le contexte du changement climatique	98
Tableau 45 : Volume et profondeur minimaux des fosses de plantation (fascicule 35 de CCGT, 2004)...	116
Tableau 46 : Périodes de plantation à favoriser (Le Gourrierec, 2012)	118
Tableau 47 : Récapitulatif des actions possibles dans chaque zone (CAUE 77)	121

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Illustration des services écosystémiques (Photo Luc Chrétien, Cerema)	5
Figure 2 : Visuel récapitulatif des services écosystémiques fournis par les arbres, conçu dans le cadre du projet (Cerema, dessin Marylou Dufournet)	10
Figure 3 : Contribution à la régulation de la qualité de l'air par les arbres (source : Cerema, dessin Marylou Dufournet)	23
Figure 4 : Schéma de la répartition des poids (entre parenthèses sur le schéma) et des "sens" (flèches) pour les critères sélectionnés	28
Figure 5 : Dans une rue de Metz, la végétation spontanée (photo Luc Chrétien, Cerema)	32
Figure 6 : Ce lierre qui gaine complètement le tronc de son support, offre un abri à une faune diversifiée. Le Lierre se sert de l'arbre comme support et ne lui porte pas atteinte (photo Cerema).	38
Figure 7 : Croisement de la typologie d'espaces publics avec les exigences des espèces (extrait)	46
Figure 8 : Services paysagers attendus.....	46
Figure 9 : L'écho républicain, 29 octobre 2015	49
Figure 10 : dégâts causés par les racines, photo Famartin, Wikimedia commons	49
Figure 11 : Un jeune séquoia à Metz, n'ayant pas supporté la canicule de juin 2019 (photo Luc Chrétien, Cerema)	53
Figure 12 : Cycle annuel de l'humidité du sol : 1961-1990 (orange), 2021-2050 (vert) 2071-2100 (violet) source : (Météo France, 2019)	55

Figure 13 : ombrage, animation et ambiance, des services paysagers rendus par le Koelreuteria à Metz Place de France Parc Jean Marie Pelt	81
Figure 14 : Port architecturé, densité du feuillage, marcescence, popularité, ambiance et capacité à supporter la taille : les nombreux services paysagers rendus par le Carpinus betulus.....	81
Figure 15 : Charte de l'arbre de Metz	100
Figure 16 : charte européenne de l'arbre d'alignement.....	100
Figure 17 : Charte de l'arbre du Grand Lyon.....	100
Figure 18 : Végétation étagée : arborescente, arbustive et herbacée, ville de Metz (photo Luc Chrétien, Cerema)	101
Figure 19 Place de la République et le long du canal à Metz, une strate arbustive offre une double lecture de l'espace public. Arbustes et cépées apporte une échelle intermédiaire, humaine propice à la pause (photos Nadia Aubry, Cerema)	102
Figure 20 : Libre ou taillé au cordeau, en limite de squares et dans les stationnements, les strates végétales sont complémentaires à leur échelle pour signaler , délimiter, protéger, évoquer la nature en milieu urbain mais aussi atténuer l'impact visuel des équipements, dépôts et rangées de voitures... quartier du Technopole à Metz et parking de la patinoire à Longeville-lès-Metz	102
Figure 22 : Espèces les plus présentes à Paris, mettant en évidence les espèces à risque allergique élevé	103
Figure 23 : Platane en développement libre, Parc municipal de Longeville (photo Luc Chrétien, Cerema)	104
Figure 24 : Le Parc Simon-Louis Frères à Metz : parc urbain et petite zone "naturelle" attenante (photo Luc Chrétien, Cerema).....	104
Figure 25 : Une haie libre quartier du technopole à Metz et parc municipal de Longeville-lès-Metz : la diversité des strates et des espèces rythme et anime l'espace au fil des saisons, apportant à chacune des espèces un intérêt dans la composition de l'espace à un moment de l'année (photos Nadia Aubry, Cerema)	105
Figure 26 : Les remparts et la Place de France à Metz : une mixité végétale contribuant à l'animation et à la valorisation du patrimoine bâti valorisant à la fois le patrimoine bâti (photos Nadia Aubry, Cerema)i	106
Figure 27 : Ici à Lyon comme à Metz, les terres pleines laissent la place à la mixité et n'en demeurent pas moins structurants pour l'espace public (photos Nadia Aubry, Cerema)	106
Figure 28 : Synthèse des continuités écologiques sur la ville de Metz, AGURAM.....	107
Figure 29 : Bosquet de noisetier : nidification, alimentation, abri, relais pour la faune (photo Cerema)...	108
Figure 30 : un espace désimperméabilisé et revégétalisé à Strasbourg (photo Luc Chrétien, Cerema)..	109
Figure 31 : Esplanade à Metz l'espace urbain s'ouvre sur le Mont Saint Quentin, végétation libre et diversifiée se confond avec la végétation dense du Mont-Saint-Quentin en arrière-plan assurant une continuité visuelle (photos Nadia Aubry, Cerema).....	110

Figure 32 : Ile du Saulcy et jardin de l'Amour, la végétation dense et spontanée des berges renforce le caractère insulaire et souligne la présence de l'eau dans la ville avant de trouver 'des relais' dans la ville centre (photos Nadia Aubry, Cerema).....	110
Figure 33 : Au détour d'une rue, l'arbre signale la présence d'une place, d'un lieu de séjour confortable pour le passant, des sujets qui même plantés de façon ponctuelle, contribuent à la mise en réseau des places, et qui en lien avec les jardins privés, si modestes soient-ils contribue à une 'couture végétale' de la trame verte (photos Nadia Aubry, Cerema).	111
Figure 34 : Le parc du Heyritz à Strasbourg : un bel exemple de valorisation de végétaux spontanés préexistants (photo Cerema)	114
Figure 35 : Cellule Silva cell - Grenmax (droite) - Deeproot, 2017 (gauche)	116
Figure 36 : Périmètre de protection et d'intervention proposé (CAUE 77).....	120
Figure 37 : Choix du type d'espace public aménagé.....	125
Figure 38 : Présentation générale des champs à renseigner et notamment de l'adaptation au climat urbain	126
Figure 39 : Pondération des services écosystémiques et du risque allergique	126
Figure 40 : Choix des critères éliminatoires	126
Figure 41 : Obtention de la liste d'espèces recommandées.....	127
Figure 42 : L'équipe-projet sur site (photo Luc Chrétien, Cerema)	129

ANNEXES

Liste des Annexes :

Annexe 1 – convention du 3 octobre 2017



L'arbre dans la ville

Convention de partenariat

Services EcoSystémiques rendus par les Arbres Modulés selon l'Essence (SESAME)

Entre :

La ville de Metz, représentée par son Maire en exercice, Monsieur Dominique GROS, habilité par la délibération du 30 mars 2017,

d'une part,

La Communauté d'agglomération de Metz Métropole, représentée par Monsieur Jean-Luc BOHL, suite à la délibération du 19 juin 2017,

d'autre part,

et

Le Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema), établissement public à caractère administratif de l'État dont le siège est situé 25 avenue François Mitterand à Bron 69674, représenté par Jacques Le Berre, Directeur territorial Est 1 boulevard Solidarité 57070 Metz Cedex 3,

d'autre part,

vu le titre IX de la loi 2013-431 du 28 mai 2013 portant création du Cerema,
vu le décret 2013-1273 du 27 décembre 2013 relatif au Cerema,
vu l'article 18 de l'ordonnance n°2015-899 du 23 juillet 2015 relatif à la coopération entre pouvoirs adjudicateurs,

il est convenu ce qui suit :

Préambule

Contexte général

Le Cerema est un établissement public de l'état à caractère administratif, dont les missions, fixées par l'article 44 de la loi du 28 mai 2013, sont entre autres :

- de promouvoir et de faciliter des modes de gestion des territoires qui intègrent l'ensemble des facteurs environnementaux, économiques et sociaux,
- d'accompagner les acteurs publics et privés dans la transition vers une économie sobre en ressources et décarbonnée, respectueuse de l'environnement et équitable,
- d'apporter à l'état et aux acteurs territoriaux un appui en termes d'ingénierie et d'expertise technique sur les projets d'aménagement nécessitant notamment une approche pluridisciplinaire ou impliquant un effort de solidarité,
- de promouvoir aux échelons territorial, national, européen et international les règles de l'art et le savoir-faire développés dans le cadre de ses missions, et en assurer la capitalisation.

Cette étude a été conçue et proposée sur initiative de la Ville de Metz à partir de recherches menées fin 2015.

Dans le cadre de l'adaptation de la Ville aux changements climatiques, la Ville de Metz et la Communauté d'Agglomération de Metz Métropole souhaitent engager une réflexion globale et transdisciplinaire permettant le croisement de nombreux indicateurs sur les services écosystémiques rendus par les Arbres dans la Ville et se sont ainsi rapprochées du Cerema.

Dans le cadre de son programme de recherche, le Cerema, a décidé de mobiliser 6 % de sa subvention pour charges de service public en 2017 pour des actions innovantes pouvant servir de référence et susceptible d'être transposées au niveau national.

Au travers de sa direction Est, le Cerema a décidé de nouer un partenariat avec la Ville de Metz et la Communauté d'Agglomération de Metz Métropole pour définir via la présente convention les conditions de réalisation d'une étude relative aux services écosystémiques rendus

par les arbres, appliqués à l'agglomération messine.

L'arbre en ville est souvent vu comme un élément de décor : il embellit la ville. L'arbre est ensuite perçu par les habitants comme exerçant des fonctions bénéfiques pour l'homme : il fournit un ombrage lors des fortes chaleurs.

Mais il ne s'agit là que d'un aperçu des services rendus par l'arbre en ville. Sans que nous en ayons pleinement conscience, il participe à notre cadre de vie selon de nombreuses modalités différentes.

- il contribue à préserver la qualité de l'air, en absorbant des polluants, en fixant des particules fines,
- il participe à l'atténuation des changements climatiques, en stockant et en séquestrant le CO2 dans son bois en particulier,
- il est un support important à l'accueil de la biodiversité, notamment en servant d'habitat (écorce, feuilles, cavités, ...), de support, et de source de nourriture à de nombreuses espèces d'insectes, d'autres invertébrés, de petits mammifères, d'oiseaux. Il contribue fortement à permettre l'existence de chaînes alimentaires en milieu urbain,
- il peut, dans certain cas, jouer un rôle dans la protection acoustique de certains secteurs sensibles en ville,

- il participe à la lutte contre l'effet d'îlot de chaleur urbain, de par l'ombre portée qu'il génère, son effet sur la circulation de l'air et l'évapotranspiration des eaux pluviales,
- il participe grandement à l'aménagement paysager d'un jardin, d'un square, d'une rue ou d'une avenue,
- de par sa longévité, il peut constituer en lui-même une trace de l'histoire de la ville, par ailleurs le choix des espèces, leur disposition, leurs modalités de taille participent de « l'esprit des lieux ».

Mais quand on parle de l'arbre ou de l'arbuste, on ramène à un dénominateur commun de très nombreuses espèces qui ne jouent pas le même rôle dans l'espace urbain.

Certaines espèces sont considérées comme beaucoup plus « dépolluantes » que d'autres, de par leur métabolisme ou leur morphologie.

Certaines espèces vont stocker de grandes quantités de carbone pour longtemps, d'autres vont jouer ce rôle de manière marginale.

Certaines espèces vont servir de support à un cortège d'espèces animales et végétales impressionnant (jusqu'à plusieurs centaines d'espèces d'insectes), d'autres non. Cette distinction dépend du caractère « local » de l'espèce bien sûr, mais repose aussi sur des critères intrinsèques plus complexes.

Certaines espèces seront de précieux auxiliaires pour la lutte contre l'effet d'îlot de chaleur urbain, alors que d'autres sont peu efficaces dans ce domaine.

Certaines espèces sont intimement liées à l'histoire, aux traditions ou aux usages d'un espace donné, alors que d'autres y apparaîtront plus « exotiques ».

Par ailleurs, au-delà de ces différences dans la capacité des arbres à répondre aux besoins de l'humain, les espèces d'arbres et d'arbustes ne sont pas égales face aux agressions qu'elles subissent en ville. Leur capacité à survivre et croître dans des conditions pédo-climatiques données, leur résistance à la sécheresse, à la pollution, aux agressions liées à la circulation automobile ou au vandalisme, ne sont pas uniformes. Les espèces d'arbres ne sont pas non plus égales face aux effets du changement climatique.

Elles peuvent elles-mêmes devenir un agresseur notamment en raison du caractère allergène du pollen de certaines d'entre elles.

Enfin, certaines espèces sont soumises à la contrainte d'une ou de plusieurs maladies susceptibles de compromettre leur bonne santé, voire leur survie : citons le Frêne commun, l'Aulne glutineux et les ormes, pour donner des exemples connus.

Les très nombreux critères cités ci-dessus, imposent pour l'aménageur de choisir les végétaux qu'il va mettre en place, ou favoriser, en fonction de ses propres objectifs (ombrage, biodiversité, longévité, résistance, paysage, etc.).

Le présent travail vise à accompagner ce choix.

L'arbre et l'Homme dans l'agglomération messine

« La décennie écoulée a vu émerger de nouvelles préoccupations environnementales au sein des grandes villes, notamment par rapport à leur adaptation au changement climatique et à la préservation de la biodiversité. Dans ce contexte, la protection des arbres et la poursuite active de nouvelles plantations trouvent toute leur justification ». Charte de l'arbre, ville de Metz, 2013.

Longtemps contraint par la vocation de place-forte militaire, l'espace dédié au végétal à Metz se révèle lorsque les Allemands construisent la deuxième couronne de forts autour de la ville, libérant un « ring romantique » à l'emplacement des anciennes fortifications. À partir des années 1970, une réflexion sur l'écologie urbaine, sous l'influence de Jean-Marie Pelt, plus précoce que dans d'autres villes, contribue à favoriser les espaces verts et l'entretien raisonné des alignements d'arbres.

Plus récemment, les études menées par la ville de Metz et la communauté d'agglomération de Metz Métropole sur la biodiversité et la trame verte et bleue, confirment le rôle du végétal dans le maintien, le renforcement ou la restauration des continuités écologiques.

Le projet présenté ci-dessous, est né de la rencontre entre une volonté forte des collectivités de travailler sur les services écosystémiques en milieu urbain, et du projet du Cerema de décliner territorialement cette thématique inscrite dans son projet stratégique national.

article 1 – Objet de la convention

Partant du constat de la diversité des fonctions des arbres et arbustes dans un espace urbain, et la variabilité de la capacité des espèces à remplir ces fonctions, le Cerema souhaite proposer aux collectivités un outil d'aide à la décision en matière de choix des espèces à planter.

La ville de Metz et la communauté d'Agglomération de Metz Métropole, souhaitent conjointement, optimiser l'implantation des arbres et arbustes en ville afin de favoriser leurs fonctions écologiques, en lien avec les contraintes liées à l'aménagement des espaces verts, ou espaces de nature, au sein de l'espace public (climatiques, techniques et économiques).

Le Cerema souhaite ainsi mettre au point une **méthodologie** qui, à partir des meilleures références scientifiques, permettra d'objectiver le choix d'une espèce végétale ou d'une autre à partir d'une gamme de critères de choix prenant en compte les enjeux pour l'aménageur.

La présente convention a donc pour objet de déterminer le contenu, les modalités et la répartition des interventions respectives du Cerema, de la ville de Metz et de la communauté d'Agglomération de Metz Métropole dans ce travail d'intérêt partagé.

L'entrée retenue est les services écosystémiques rendus par les végétaux. L'approche n'intègre pas d'autres critères qui pourraient être le prix, la disponibilité en pépinière, etc.

L'idée forte est que l'aménageur définisse et pondère les services écosystémiques qu'il souhaite favoriser en un lieu donné, en fonction du contexte de ce lieu, et qu'il trouve avec le travail fourni par le Cerema des critères permettant d'objectiver le choix des végétaux à planter.

Les services écosystémiques représentent un sujet relativement nouveau pour la science. Il l'est encore plus pour les gestionnaires et les décideurs. Toutefois de nombreuses études et bases de données existent et fournissent des éléments ou des indicateurs utilisables moyennant certaines précautions.

Le Cerema s'intéresse à la question des services écosystémiques, sujet qui répond pleinement à ses objectifs stratégiques et priorités¹. Il pilote le volet Urbain du projet d'Évaluation Française des

¹ Projet stratégique 2015-2020 du Cerema : objectif B12 « développer des méthodes et des outils pour intégrer dans

Écosystèmes et des Services Écosystémiques (EFESE).

article 2 – Missions du Cerema

L'action menée par le Cerema a une visée méthodologique.

Le Cerema souhaite tout à la fois :

1) Rassembler des références, explorer des outils méthodologiques et des bases de données libres de droits, pour disposer du panel le plus complet possible d'indicateur ou de paramètres relatifs aux services écosystémiques suivants :

QUALITE DE L'AIR ET SANTE :

- rôle en matière de fixation et absorption des polluants et particules fines,
- sensibilité des espèces aux polluants,
- caractère allergène de certaines espèces.

BIODIVERSITE :

- fonction en tant que support de biodiversité,
- sensibilité à des ravageurs particuliers.

RÉGULATION DU CLIMAT LOCAL ET GLOBAL :

- capacité à réduire l'effet d'îlot de chaleur en fonction de la morphologie et de l'écologie des espèces,
- capacité à stocker et séquestrer du CO₂.

PAYSAGE ET CADRE DE VIE :

- rôle de l'arbre dans le paysage, valeur esthétique,
- lien avec l'histoire de la ville, « l'esprit des lieux ».

ORGANISATION DES ESPACES VEGETALISES :

à l'occasion de l'étude de chacun des domaines précédents, le Cerema sera amené à se pencher sur

les projets des territoires la gestion sobre des ressources naturelles et les enjeux environnementaux et accompagner les acteurs » : Le Cerema contribuera, à l'aide de référentiels et d'indicateurs, à l'évaluation nationale des services écosystémiques, en vue d'en faire la promotion auprès des gestionnaires et des collectivités, en fournissant des outils et des méthodes de planification et d'aménagement, et de valorisation auprès des citoyens.

l'effet produit par l'organisation dans l'espace des végétaux (par exemple contribution à la trame verte et bleue, effet « tunnel vert » induits par l'organisation des strates et les espacements). Sans intégrer ces données de nature géographique dans l'outil d'aide à la décision produit, ces éléments seront réunis dans un chapitre ou une fiche à vocation didactique.

Une attention particulière sera par ailleurs portée à la capacité présumée des arbres à supporter l'évolution prévisible du climat au cours du XXI^{ème} siècle.

Ce travail constituant une première approche, il sera volontairement limité à un nombre d'espèces défini avec le groupe de travail mis en place dans le cadre de l'étude. Seront ainsi concernées les espèces d'arbres, et une sélection d'espèces d'arbustes. L'étude se limitera par ailleurs à des souches sauvages pour les espèces sélectionnées, le caractère horticole de nombreuses espèces d'arbustes les rendant plus difficiles à aborder en termes de services écosystémiques rendus.

L'étude s'intéressera aussi bien aux services rendus, qu'aux **disservices** (c'est-à-dire aux perturbations défavorables à l'Homme, engendrées par l'une ou l'autre espèce – par exemple le caractère allergène, ou l'émission de COV).

2) Décliner ce travail sur un territoire particulier, et donc fournir un outil d'aide à la décision propre à un territoire, personnalisé.

Dans cette optique, le Cerema travaillera à partir d'une liste d'espèces utilisées ou souhaitées par la collectivité. Il complétera éventuellement cette liste à la marge en y ajoutant des espèces locales bien adaptées aux conditions locales.

Pour chaque thématique citée ci-dessus, et pour la liste d'espèces faisant l'objet du travail, le Cerema établira :

- si possible, une liste hiérarchisée des espèces pour chaque critère, permettant d'identifier les espèces les plus adaptées à rendre ce service ou à intégrer cette contrainte,
- si les données ne sont pas suffisantes, une liste réduite d'espèces à favoriser pour la prise en compte du service écosystémique ou de la contrainte considérée.

La méthodologie utilisée s'orientera vers la conception d'indicateurs composites qui permettront de pondérer les services écosystémiques rendus. En effet une collectivité peut très bien, en fonction de ses objectifs et du contexte local, décider de hiérarchiser les critères listés à la page précédente, soit de manière générale, soit en fonction d'un quartier, d'une rue, d'un lieu.

Une présentation simple et synthétique de ces résultats sera réalisée sous forme de fiche.

La méthode et la forme seront conçues pour rendre ce travail transposable dans d'autres territoires, une réflexion sera menée sur les modes de communication et de diffusion des résultats du projet.

Après la réalisation de l'étude, une mise en application sur un territoire défini de l'agglomération sera effectuée.

Article 3 – Missions de la ville de Metz

La Ville de Metz contribuera à l'étude de la manière suivante :

- elle participera au comité technique mis en place par le Cerema dans le cadre de l'étude, cette participation a notamment pour but de définir la liste des espèces végétales concernées par l'étude,
- elle participera au comité de pilotage de l'étude qui comprendra à minima les partenaires de l'étude
- elle fournira au Cerema toute étude ou document disponible nécessaire à la réalisation de l'étude : données historiques sur les espèces végétales utilisées dans la ville, données sur les espèces plantées, inventaires, etc. Le cas échéant, à la demande de la ville de Metz, le transfert des données pourra faire l'objet d'une clause de confidentialité (données utilisées par le Cerema en tant que de besoin pour la bonne réalisation de l'étude, mais sans retranscription directe de ces données dans les productions du Cerema).
- Elle participera au financement de l'étude.

Article 4 – Missions de la Communauté d'Agglomération de Metz Métropole

- elle participera au comité technique mis en place par le Cerema dans le cadre de l'étude, cette participation a notamment pour but de définir la liste des espèces végétales concernées par l'étude,
- elle participera au comité de pilotage de l'étude qui comprendra à minima les partenaires de l'étude
- elle fournira au Cerema toute étude ou document disponible nécessaire à la réalisation de l'étude : données historiques sur les espèces végétales utilisées dans la ville, données sur les espèces plantées, inventaires, etc. Le cas échéant, à la demande de la Communauté d'agglomération de Metz Métropole, le transfert des données pourra faire l'objet d'une clause de confidentialité (données utilisées par le Cerema en tant que de besoin pour la bonne réalisation de l'étude, mais sans retranscription directe de ces données dans les productions du Cerema).
- Elle participera au financement de l'étude.

Article 5 – compétences mobilisées par le Cerema, la ville de Metz et la Communauté d'agglomération de Metz Métropole

Le Cerema mobilisera pour le travail décrit à l'article 2, les compétences suivantes :

- Luc Chrétien, chef de la division Environnement au Cerema Est, chef de projet, qui interviendra sur l'ensemble du projet en tant que de besoin, et plus spécifiquement sur la question de la biodiversité et des disservices,
- Rémi Suaire, référent d'Atelier Nature en Ville et Adaptation au changement climatique au Cerema Est, qui interviendra sur l'ensemble du projet en tant que de besoin, et plus spécifiquement sur la méthodologie de développement des indicateurs et paramètres de l'outil d'aide à la décision,
- Rémi Claverie, Chargé de recherche en micro-climatologie urbaine au Cerema Est, abordera les services rendus en termes de régulation du climat et de qualité de l'air
- Julien Bouyer Chargé de recherche en micro-climatologie urbaine au Cerema Est, abordera les services rendus en termes de régulation du climat et de qualité de l'air
- Nadia Aubry, chargée d'études aménagement au Cerema Est, paysagiste DPLG et urbaniste de formation, abordera les services rendus en termes d'identité, d'ambiance, et de composition urbaine.
- Cécile Vo Van, chef de projet nature en ville et biodiversité au Cerema territoires et Ville, qui interviendra en tant que de besoin comme personne ressource sur les services écosystémiques liés à l'arbre en ville.

–le cas échéant, d'autres personnels du Cerema, notamment SIGiste et dessinatrice.

La ville de Metz mobilisera pour le travail décrit à l'article 3, les compétences suivantes :

- Son représentant, Madame Marylin Molinet, Conseillère déléguée à la Biodiversité,
- La mission développement et solidaire, le Pôle Parcs, Jardins & Espaces Naturels qui participeront au comité technique ainsi que d'éventuels spécialistes et Professeurs d'université référents dans ce domaine.

La communauté d'agglomération de Metz Métropole mobilisera pour le travail décrit à l'article 4, les compétences suivantes :

- Son représentant, Monsieur Guy Bergé, Vice-Président en charge de l'Environnement et du Développement Durable
 - Les services des pôles "Environnement et Développement Durable" et "Espaces Publics", mais aussi les référents techniques des communes et partenaires (Atmo Grand Est par exemple) intéressés par les thématiques abordées par l'étude le cas échéant.

Article 6 – Moyens mis en œuvre au titre de la coopération

L'estimation globale du coût complet de la présente convention est de 40 000 €.

La mise en œuvre du suivi de la démarche par le Cerema requerra l'investissement du Cerema, pour le compte du Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, à un niveau dont la valeur est estimée à 20 000 €.

Le montant de la soulte qui sera facturée aux collectivités partenaires est de 20 000 €. Cette soulte sera répartie à parts égales entre la ville de Metz et la Communauté d'agglomération de Metz Métropole.

Le montant qui sera facturé à la ville de Metz comme à la Communauté d'Agglomération de Metz Métropole sera donc de 10 000 € pour chacune des collectivités.

Article 7 – Gouvernance et pilotage

Les parties conviennent de se réunir régulièrement comme défini aux articles 3 et 4 à l'occasion des comités de pilotage et comités techniques et ce, a minima :

- au lancement du projet,
- à l'issue de l'élaboration de la méthodologie,
- quand le Cerema réalisera des points d'étapes sur l'étude,
- au moment du rendu final.

Le groupe de travail a une vocation technique et réunira le Cerema, la communauté d'agglomération de Metz Métropole et la ville de Metz, ainsi que leurs services techniques, il comprendra également des agents des communes de la communauté d'agglomération qui montreraient leur intérêt pour contribuer à ce travail (établissement de la liste des espèces, évaluation des services écosystémiques et des disservices, ...). Il sera réuni autant que de besoin.

Article 8 – livrables

Le Cerema produira :

- tout au long de l'étude, les compte-rendus du comité de pilotage, et du comité technique,
- un rapport qui exposera la problématique, les bases de données utilisées, la méthodologie proposée d'approche des services écosystémiques rendus par les arbres, les limites de la méthodologie proposée,
- un outil d'aide à la décision à destination des collectivités de l'agglomération de Metz. Cet outil d'aide à la décision, aura vocation à être proposé par le Cerema à d'autres collectivités sur le territoire national, pour le territoire desquelles il pourra être adapté.

Article 9 – Modalités de versement de la soulte

Le paiement sera réalisé en trois temps :

Pour la ville de Metz :

- 50 % après la signature de la convention, soit 5 000 €,
- 50 % à l'achèvement du rapport final et de la production de l'outil d'aide à la décision en 2018, soit 5 000 €.

Pour la Communauté d'Agglomération de Metz-Métropole :

- 50% à la signature de la convention, soit 5 000 €,
- 50 % à l'achèvement du rapport final et de la production de l'outil d'aide à la décision en 2018, soit 5 000€.

Il sera effectué sur le compte bancaire du Cerema Est, dont les références sont les suivantes :

CEREMA ACS EST ILE DE FRANCE
BUREAU COMPTABLE
1 BOULEVARD SOLIDARITE BP85230
57076 METZ CEDEX 3 FRANCE

RIB 10071 57000 00001005297 49
IBAN FR76 1007 1570 0000 0010 0529 749

Article 10 – Durée de la convention

La présente convention est conclue pour une durée de deux ans à compter de sa notification.

Article 11 – Exploitation des données – propriété intellectuelle

Les résultats issus de ce travail et les éléments méthodologiques élaborés pourront être exploités par la ville de Metz, la Communauté d'Agglomération de Metz-Métropole et par le Cerema dans le cadre de leurs compétences respectives :

11.1 Exploitation des données

Les parties pourront envisager de valoriser cette étude dans le cadre de manifestations à définir (journée du réseau scientifique et technique du Cerema, colloque européen dans le cadre du projet INTERREG NOE à destination des partenaires luxembourgeois, allemands, belges, etc.).

L'ADEME Grand Est est également intéressée par la valorisation de cette étude dans le cadre de l'adaptation au changement climatique des Villes.

Les modalités d'intervention du Cerema dans ces éventuelles manifestations seront à définir

indépendamment de la présente convention.

11.2 Propriété des connaissances antérieures

Chacune des parties conserve la pleine et entière propriété de ses connaissances antérieures, c'est-à-dire toutes les informations et connaissances techniques ou scientifiques de quelque nature que ce soit, et notamment le savoir-faire, les secrets de fabrique, les secrets commerciaux, les données, les bases de données, logiciels, les dossiers, plans, schémas, dessins, formules ou tout autre type d'informations et connaissances, sur quelque support que ce soit, brevetables ou non, ou brevetées ou non, et plus généralement protégées ou non ou « protégeables » ou non au titre d'un droit de propriété intellectuelle, et appartenant à une partie ou détenue par elle, avant la date d'effet du marché ou développées ou acquises par elle postérieurement à la date d'effet du marché mais indépendamment de l'exécution du marché.

11.3 Propriété des résultats

Les notes méthodologiques, avis sur dossier, notes de recommandations, élaborés par le Cerema dans le cadre de ce travail, sont la copropriété des parties et pourront être exploitées par la ville de Metz et la Communauté d'Agglomération de Metz Métropole et par le Cerema dans le cadre de leurs compétences respectives et avec l'accord préalable de l'autre partie, qui devra intervenir dans un délai d'un mois. Passé ce délai, l'accord de l'autre partie sera considéré comme acquis.

Il en est de même pour le rapport final qui sera rédigé par le Cerema.

Toute utilisation partielle ou totale des informations devra mentionner le nom des partenaires.

Ces dispositions ne s'appliquent pas aux protocoles techniques sur lesquels le Cerema sera amené à intervenir (analyse, démarche itérative, propositions d'amélioration).

La présente clause restera en vigueur après la date d'expiration de la présente convention.

Article 12 – Modification

La présente convention ne pourra être modifiée que par avenant signé par la ville de Metz, la Communauté d'agglomération de Metz-Métropole et le Cerema pour la durée résiduelle d'application de la convention.

Celui-ci précisera les éléments modifiés de la convention initiale sans que ceux-ci ne puissent remettre en cause les objectifs définis à l'article 1^{er}.

La demande de modification de la convention est réalisée sous forme d'une lettre recommandée avec accusé de réception précisant l'objet de la modification, sa cause et les conséquences qu'elle emporte. Les autres parties disposent d'un délai de deux mois pour y faire droit.

Article 13 – Résiliation

En cas de non-respect par une des parties de l'une de ses obligations, la présente convention pourra être résiliée de plein droit par l'autre partie à l'expiration d'un délai de deux mois suivant l'envoi d'une lettre recommandée avec accusé de réception valant mise en demeure de se conformer aux obligations contractuelles et restée infructueuse.

Article 14 – Litiges

En cas de difficulté sur l'interprétation de la présente convention, les parties s'efforceront de résoudre leur différend à l'amiable.

En cas de désaccord persistant, celui-ci sera porté devant le tribunal compétent.

Article 15 – Dispositions particulières

Les logotypes des partenaires de l'étude devront figurer sur toute publication et tout document d'information liée à cette étude.

Toute communication relative à cette étude et à ses conclusions, qu'elle soit orale, écrite ou dématérialisée, devra stipuler que celle-ci a été engagée conjointement par le Cerema la Ville de Metz et la Communauté d'Agglomération de Metz Métropole.

Fait à Metz, en trois exemplaires, le : 3/10/2017

Pour la ville de Metz,



Pour la Communauté d'Agglomération de Metz-Métropole,



Pour le Cerema,



Annexe 2 – détail des 218 espèces présélectionnées et des 85 espèces retenues

Espèce		autochtone	adaptée au climat messin	Intérêt ornemental / paysager		Couramment utilisée dans l'agglomération	choix initial	cause d'exclusion	choix final (vert = retenu, rouge = non retenu)
Nom vernaculaire	nom scientifique			appréciation	Commentaire éventuel				
Abelia	Abelia floribunda	allochtone	oui	très fort intérêt	semi-pers + floraison	très couramment utilisé	oui		
Acacia de Sibérie	Caragana arborescens	allochtone	oui	fort intérêt	très résistant + sol	rarement utilisé	sélectionné Metz mais exclu Cerema	2	2
Ailanthé	Alhambra glandulosa	exotique à surveiller	invasive	-			invasif	1.1	1.1
Ajone	Ulex europaeus	allochtone	bois siliceux	-			bois	1.3	1.3
Alatern, Nerprun alatern	Rhamnus alaternus	allochtone	climatiquement fragile	-			climat	1.4	1.4
Albizia, arbre à soie, Acacia de Constantinople	Albizia julibrissin	allochtone	climatiquement fragile	-			climat	1.4	1.4
Alisier blanc	Sorbus aria	autochtone	oui	-			oui		
Alisier torminal	Sorbus torminalis	autochtone	zone naturelle	-			oui		
Amandier	Amygdalus communis	allochtone	climatiquement fragile	-			climat	1.4	1.4
Amélanchier	Amelanchier ovalis	autochtone	oui	intérêt	arbruste-petit arbre-floraison	rarement utilisé	oui		
Amélanchier du Canada	Amelanchier canadensis	allochtone	oui	très fort intérêt	résistant-plastique	très couramment utilisé	oui	4	doublon inutile de l'amélanchier
Arbousier	Arbutus unedo	autochtone	climatiquement fragile	-			climat	1.4	1.4
Arbre aux papillons	Buddleia davidii	invasive potentielle	oui	fort intérêt	floraison estivale-très solide	couramment utilisé	sélectionné Metz mais exclu Cerema	1.1	1.1
Arbre de Judée	Cercis siliquastrum	exotique	oui	intérêt	feuilles rondes	couramment utilisé	oui		
Arbre de neige	Chionanthus virginicus	allochtone	bois siliceux	-			climat	1.4	1.4
Arbres à mouchoirs	Davidia involucreata	allochtone	parcs	-			Non	2	2
Argousier	Hippophae rhamnoides	allochtone	oui	faible intérêt	fruits + haies défensives	rarement utilisé	sélectionné Metz mais exclu Cerema	3	3
Aubépine épineuse	Crataegus laevigata	autochtone	oui	intérêt	indigène	rarement utilisé	oui		
Aubépine monogyne	Crataegus monogyna	autochtone	oui	intérêt	indigène	rarement utilisé	oui	4	avec l'aubépine épineuse (caractéristiques équivalentes)
Aulne blanc	Alnus incana	autochtone	oui	intérêt	pour parc	rarement utilisé	sélectionné Metz mais exclu Cerema	2	2
Aulne blanc	Alnus x spaethii	hybride	Proposition d'ajout ville de Metz	très fort intérêt	alignement	très couramment utilisé	oui		
Aulne glutineux	Alnus glutinosa	autochtone	oui	faible intérêt	résistant mais préfère berges	rarement utilisé	oui		
autres sorbiers / Alisier de Suède : sorbus intermedia, le cultivar Brouwers, Sorbus x thuringiaca	Sorbus intermedia Brouwers, Sorbus x thuringiaca	allochtone	Proposition d'ajout ville de Metz	intérêt	espèces : intermedia Brouwers-thuringiaca fastigiata	couramment utilisé	oui		
Bagenaudier	Cotoneaster arborescens	autochtone	oui	intérêt	floraison printps + fruits grosses gousses	rarement utilisé	sélectionné Metz mais exclu Cerema	2	2
Bouleau pubescent	Betula pubescens	allochtone	septentrional	-			Non	2	2
Bouleau verrugueux	Betula pendula Roth	Autochtone	oui	intérêt	feuillage léger-bois blanc	couramment utilisé	oui		
Bourdaine	Frangula alnus	autochtone	oui	intérêt	pour haies vives	rarement utilisé	sélectionné Metz mais exclu Cerema	2	2

Bruyère cendrée	<i>Erica cinerea</i>	allochtone	sols siliceux	-			climat	1.4	1.4
Bruyère commune	<i>Calluna vulgaris</i>	autochtone	sols siliceux	-			climat	1.4	1.4
Bruyère vagabonde ou voyageuse	<i>Erica vagans</i>	allochtone	sols siliceux	-			climat	1.4	1.4
Buis	<i>Buxus sempervirens</i>	autochtone	Pathogènes	-			pyrale	1.2	1.2
Camérisier à balais	<i>Lonicera xylosteum</i>	autochtone	zone naturelle	-			Non	3	3
Caryer blanc, Caryer ovale	<i>Carya ovata</i>	allochtone	parcs	-			Non	2	2
Cassis	<i>Ribes nigrum</i>	autochtone	fruitier	-			Non	2	2
Callicarpe, arbre aux bonbons	<i>Callicarpa</i> (genre)	allochtone					oui		
Catalpa	<i>Catalpa bignonioides</i>	allochtone	oui	intérêt	grandes feuilles	couramment utilisé	oui		
Catalpa élégant	<i>catalpa speciosa</i>	allochtone	parcs	-			Non	2	2
Cèdre blanc de Californie, Calocèdre	<i>Calocedrus decurrens</i>	allochtone	oui	intérêt	une variété bicolore	rarement utilisé	sélectionné Metz mais exclu Cerema	2	2
Cèdre de l'Atlas	<i>Cedrus atlantica</i>	allochtone	oui	fort intérêt	vert-bleu-pleureur	couramment utilisé	oui		
Cèdre du Liban	<i>Cedrus libani</i>	allochtone	oui	fort intérêt	grand arbre	rarement utilisé	oui		
Cerisier à grappes	<i>Prunus padus</i>	autochtone	oui	intérêt	petit arbre-floraison	couramment utilisé	oui		
cerisier de Mandchourie	<i>Prunus maackii</i>	allochtone	oui	faible intérêt	petit arbre-floraison	rarement utilisé	sélectionné Metz mais exclu Cerema	3	3
Cerisier de Sainte-Lucie	<i>Prunus mahaleb</i>	autochtone	zone naturelle	-			oui	3	normalement utilisée comme porte greffe
Cerisier du Tibet	<i>Prunus serrula – serrulata</i>	allochtone	parcs	-			Non	2	2
Cerisiers de Sargent et à fleurs (variétés)	<i>Prunus sargentii-subhirtella</i>	allochtone	Proposition d'ajout ville de Metz	intérêt	nombreuses espèces intéressantes: petits arbres floraison + feuillage automne	très couramment utilisé	sélectionné Metz mais exclu Cerema	2	à retenir : intérêt paysager, adaptation au climat
Chalef	<i>Elaeagnus x ebbingei</i>	allochtone	oui	intérêt	persistant-floraison odorante automne-cultivars panachés	couramment utilisé	sélectionné Metz mais exclu Cerema	2	2
Charme commun	<i>Carpinus betulus</i>	autochtone	oui	intérêt	cultivars fastigiés	couramment utilisé	oui		
Charme-Houblon	<i>Ostrya caprinifolia</i>	allochtone	oui	fort intérêt	bel arbre	rarement utilisé	sélectionné Metz mais exclu Cerema		paysager, adaptation au climat
Châtaignier	<i>Castanea sativa</i>	autochtone	parcs	-			Non	2	attractif pour la faune
Chêne blanc	<i>Quercus alba</i>	allochtone	oui				oui		
Chêne chevelu de bourgogne	<i>Quercus cerris</i>	allochtone	Proposition d'ajout ville de Metz	très fort intérêt	grand arbre majestueux	très couramment utilisé	oui		
Chêne de Hongrie	<i>Quercus frainetto</i>	allochtone	oui				oui		à retenir
Chêne de Turner	<i>Quercus x turneri pseudoturneri</i>	allochtone	oui				oui		à retenir, énorme potentiel en situation urbaine.
Chêne des marais	<i>Quercus palustris</i>	allochtone	oui	fort intérêt	grand arbre majestueux-feuillage automne	couramment utilisé	sélectionné Metz mais exclu Cerema	2	2
Chêne du Caucase	<i>Quercus macranthera</i>	allochtone					oui		à retenir
Chêne pédonculé	<i>Quercus robur</i>	autochtone	oui	fort intérêt	grand arbre majestueux-indigène	très couramment utilisé	oui		à retenir
Chêne rouge d'Amérique	<i>Quercus rubra</i>	allochtone	oui	intérêt	grand arbre majestueux-feuillage automne	couramment utilisé	oui		

Chêne sessile	<i>Quercus petraea</i>	autochtone	parcs	-			oui		
Chêne vert	<i>Quercus ilex</i>	allochtone	oui				oui		thermophile mais résistant au froid.
Chèvrefeuille de Tartarie	<i>Lonicera tatarica</i>	allochtone	oui	intérêt	floraison + fruits	rarement utilisé	sélectionné Metz mais exclu Cerema	2	2
Chèvrefeuille des bois	<i>Lonicera periclymenum</i>	autochtone	zone naturelle	-			oui	3	3
Chèvrefeuille du Japon	<i>Lonicera japonica</i>	exotique à surveiller	grimpante	-			Non	1.1	1.1
Clématite vigne blanche	<i>Clematis vitalba</i>	allochtone	zone naturelle	-			Non	2	2
Clérodendron, arbre du clergé	<i>Clerodendron trichotomum</i>	allochtone	climatiquement fragile	-			climat	1.4	1.4
Cognassier	<i>Cydonia oblonga</i>	allochtone	fruitier	-			Non	2	2
Cormier	<i>Sorbus domestica</i>	autochtone	fruitier	-			oui	1.3	espèce forestière peu adaptée à l'air sec des villes
Cormouiller stolonifère	<i>Cornus stolonifera</i>	allochtone	oui	intérêt	bois coloré	couramment utilisé	sélectionné Metz mais exclu Cerema	2	2
Cornouiller mâle	<i>Cornus mas</i>	autochtone	oui	intérêt	indigène	couramment utilisé	oui		
Cornouiller panaché, Cornouiller des pagodes, Cornouiller discuté	<i>Cornus controversa</i>	allochtone	parcs	-			finalement retenu après COPIL	2	2
Cornouiller sanguin	<i>Cornus sanguinea</i>	autochtone	oui	fort intérêt	bois coloré-cultivars feuillage coloré	très couramment utilisé	oui		
Cotoneaster à feuilles de saule	<i>Cotoneaster salicifolius</i>	allochtone	oui	intérêt	persistants +fruits	rarement utilisé	oui		
Cotoneaster horizontal	<i>Cotoneaster horizontalis</i>	allochtone	oui	intérêt	persistants +fruits	rarement utilisé	Non	1.1	1.1
Cyprès blanc de l'Arizona	<i>Cupressus glabra Arizona</i>	allochtone	oui	fort intérêt	couleur bleuté	couramment utilisé	sélectionné Metz mais exclu Cerema	2	2
Cyprès chauve	<i>Taxodium distichum</i>	allochtone	parcs	-			Non	2	2
cyprès commun	<i>Cupressus sempervirens</i>	allochtone	allergène	-			Non	2	2
Cyprès de Lawson	<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	allochtone	oui	intérêt	taille possible	rarement utilisé	sélectionné Metz mais exclu Cerema	2	2
Cyprès de Leyland	<i>Cupressocypariss leylandii</i>	allochtone	oui	intérêt	vigoureux-taille possible	rarement utilisé	sélectionné Metz mais exclu Cerema	2	2
Cyprès de Monterey	<i>Cupressus macrocarpa</i>	allochtone	climatiquement fragile	-			climat	1.4	1.4
Cyprès de russie	<i>Microbiota decussata</i>	allochtone	oui	faible intérêt	pas connu	jamais utilisé	sélectionné Metz mais exclu Cerema	2	2
Cytise Aubour	<i>Laburnum anagyroides</i>	autochtone	parcs	-			Non	2	2
Douglas	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	allochtone	parcs	-			Non	2	2
églantier	<i>Rosa canina</i>	autochtone	zone naturelle	-			Non	2	2
Epicéa commun	<i>Picea abies</i>	naturalisé	parcs	-			oui	1.4	1.4
Epicéa de Serbie	<i>Picea omorica</i>	allochtone	oui	intérêt	vert	rarement utilisé	sélectionné Metz mais exclu Cerema	2	2
Epicéa du colorado	<i>Picea pungens</i>	allochtone	oui	intérêt	bleu	rarement utilisé	sélectionné Metz mais exclu Cerema	2	2
Épine vinette	<i>Berberis vulgaris</i>	Autochtone	oui	fort intérêt	ttes espèces/résistant	couramment utilisé	oui		
Érable à sucre	<i>Acer saccharum</i>	allochtone					espèce proposée par erreur dans la base (Acer saccharinum serait à retenir)	1.3	1.3

Érable champêtre	<i>Acer campestre</i>	autochtone	oui	très fort intérêt	résistant-plastique	très couramment utilisé	oui		
Érable de Montpellier	<i>Acer monspessulanum</i>	allochtone	oui				oui		présent jusqu'à la vallée de la Moselle
Érable hybride	<i>Acer rubrum fremanii</i>	allochtone	Proposition d'ajout ville de Metz	fort intérêt	résistant	couramment utilisé	sélectionné Metz mais exclu Cerema		à retenir
Érable negundo	<i>Acer negundo</i>	allochtone	oui	fort intérêt	résistant-plastique	rarement utilisé	sélectionné Metz mais exclu Cerema	1.1	1.1
Érable plane	<i>Acer platanoides</i>	autochtone	oui	fort intérêt	résistant-plastique	couramment utilisé	oui		
Érable sycomore	<i>Acer pseudoplatanus</i>	allochtone	oui	fort intérêt	résistant	couramment utilisé	oui		
Euodia (Evodia)	<i>Euodia/Tetradium Danielli</i>	allochtone	oui	intérêt	petit arbre de parcs-fruits	rarement utilisé	sélectionné Metz mais exclu Cerema	2	2
Faux pistachier	<i>Staphylea pinnata</i>	naturalisé	sols siliceux	-			sols	1.3	1.3
Févier d'Amérique	<i>Gleditsia triacanthos</i>	allochtone	oui	très fort intérêt	feuillage léger	très couramment utilisé	oui		
Figuier	<i>Ficus carica</i>	allochtone	fruitier	-			Non	2	2
Framboisier	<i>Rubus idaeus</i>	autochtone	zone naturelle	-			Non	2	2
Frêne à feuilles étroites	<i>Fraxinus angustifolia</i>	allochtone	oui	très fort intérêt	bel arbre-feuillage automne	très couramment utilisé	chalarose	1.2	Fraxinus angustifolia Raywood : mais la biblio ne l'indique pas comme résistante
Frêne à fleurs	<i>Fraxinus ornus</i>	allochtone	oui	très fort intérêt	taille moyenne-floraison	très couramment utilisé	oui		
Frêne commun	<i>Fraxinus excelsior</i>	autochtone	Pathogènes	-			chalarose	1.2	1.2
Fusain d'Europe	<i>Euonymus europaeus</i>	autochtone	oui	fort intérêt	feuillage automne +fruits	couramment utilisé	oui		
Fusain vert, du Japon	<i>Euonymus japonicus</i>	allochtone	oui	fort intérêt	persistants-cultivars panachés	couramment utilisé	sélectionné Metz mais exclu Cerema	2	2
Fuschia du Cap	<i>Phygelius capensis</i>	allochtone	climatiquement fragile	-			climat	1.4	1.4
Gattilier, arbre au poivre	<i>Vitex agnus-castus</i>	allochtone	oui	intérêt	floraison	rarement utilisé	sélectionné Metz mais exclu Cerema	2	2
Genêt à balais	<i>Cytisus scoparius</i>	autochtone	sols siliceux	-			climat	1.4	1.4
Genêt des teinturiers	<i>Genista tinctoria</i>	autochtone	sols siliceux	-			climat	1.4	1.4
Genévrier commun	<i>Juniperus communis</i>	autochtone	oui	intérêt	petite taille	rarement utilisé	oui		
Genévrier oxycèdre, Cade	<i>Juniperus oxycedrus</i>	allochtone	climatiquement fragile	-			Non	1.4	1.4
Ginkgo	<i>Ginkgo biloba</i>	allochtone	oui	fort intérêt	grand arbre de parc	couramment utilisé	oui		
Groseiller à maquereau	<i>Ribes uva-crispa</i>	autochtone	fruitier	-			Non	2	2
Groseiller rouge	<i>Ribes rubrum</i>	autochtone	fruitier	-			Non	2	2
Hêtre commun	<i>Fagus sylvatica</i>	autochtone	septentrional	-			Non	1.4	1.4
Houx	<i>Ilex aquifolium</i>	autochtone	oui	faible intérêt	persistant	rarement utilisé	oui		
Hysope	<i>Hyssopus officinalis</i>	allochtone	plante vivace	-			vivace	2	2
If	<i>Taxus baccata</i>	autochtone	oui	fort intérêt	vert	couramment utilisé	oui		
Jasmin blanc, officinal	<i>Jasminum officinale</i>	allochtone	climatiquement fragile	-			climat	1.4	1.4

Laurier cerise	<i>Prunus laurocerasus</i>	exotique à surveiller	oui	fort intérêt	persistants + fleurs + fruits	très couramment utilisé	sélectionné Metz mais exclu Cerema	1.1	1.1
Lavande	<i>Lavandula angustifolia</i>	allochtone	oui	fort intérêt	persistants + fleurs+ parfum	très couramment utilisé	oui		
Lierre grimpant	<i>Hedera helix</i>	autochtone	oui	fort intérêt	persistants-cultivars panachés	couramment utilisé	oui		
Lilas commun	<i>Syringa vulgaris</i>	naturalisé	oui	intérêt	grand arbuste-floraison	couramment utilisé	oui		
Liquidambar, Copalme	<i>Liquidambar styraciflua</i>	allochtone	oui	très fort intérêt	bel arbre-feuillage automne	très couramment utilisé	finalement retenu après COPIL		
Magnolia à grandes fleurs	<i>Magnolia grandiflora</i>	allochtone	parcs	-			oui		
Mahonia	<i>Mahonia aquifolium</i>	allochtone	oui	intérêt	persistant+fleurs+fruit s. Préférer les espèces hautes+intéressantes : béalei-x média	couramment utilisé	Non	1.1	1.1
Marronnier d'Inde	<i>Aesculus hypocastanum</i>	naturalisé	oui	fort intérêt	résistant-plastique	couramment utilisé	oui		
Marronnier rouge	<i>Aesculus x carnea</i>	allochtone					finalement retenu après COPIL		
Mélèze d'Europe	<i>Larix decidua</i>	allochtone	parcs	-			oui		
Merisier	<i>Prunus avium</i>	autochtone	oui	fort intérêt	espèce pionnière-floraison/feuillage autone	couramment utilisé	oui		
Micocoulier de Chine	<i>Celtis sinensis</i>	allochtone	pas d'éléments	-			Non	2	2
Micocoulier de Provence	<i>Celtis australis</i>	allochtone	oui	très fort intérêt	beau port	très couramment utilisé	oui		
Micocoulier occidental	<i>Celtis occidentalis</i>	naturalisé	oui	fort intérêt	divergent	couramment utilisé	oui		
Mûrier à feuilles de Platane	<i>Morus kagayamae</i>	allochtone	Pathogènes	-			Non	2	2
Mûrier d'Espagne, Mûrier de Chine, Mûrier à papier	<i>Broussonnetia papyrifera</i>	allochtone	climatiquement fragile	-			climat	1.4	1.4
Mûrier noir	<i>Morus nigra</i>	naturalisée	oui	intérêt	bel arbre . On peut utiliser Morus alba un peu plus rustique	rarement utilisé	sélectionné Metz mais exclu Cerema	2	2
Myrtille	<i>Vaccinium myrtillus</i>	naturalisé	sols siliceux	-			sols	1.3	1.3
Néflier	<i>Mespilus germanica</i>	autochtone	fruitier	-			Non	2	2
Nerprun purgatif	<i>Rhamnus cathartica</i>	autochtone	oui	intérêt	indigène, arbuste pour haies vives, baies	rarement utilisé	sélectionné Metz mais exclu Cerema	2	2
Noisetier	<i>Corylus avellana</i>	autochtone	oui	très fort intérêt	cultivars feuillage coloré + fruitier	très couramment utilisé	oui		supporte bien les conditions urbaines, a été planté en masse en alignement ces dernières années.
Noisetier de Byzance	<i>Corylus colurna</i>	allochtone	oui				oui		
Noyer commun	<i>Juglans regia</i>	naturalisé	fruitier	-			Non	2	2
Noyer du Caucase	<i>Pterocarya fraxinifolia</i>	allochtone	oui	faible intérêt	grand arbre vigoureux	rarement utilisé	sélectionné Metz mais exclu Cerema	2	2
Noyer noir	<i>Juglans nigra</i>	allochtone	parcs	-			Non	2	2
Nyssa sylvestre	<i>Nyssa sylvatica</i>	allochtone	sols siliceux	-			sols	1.3	1.3
Oranger des Osages	<i>Maclura pomifera</i>	allochtone	parcs	intérêt	un peu limite climatiquement, bel arbre taille moyenne	rarement utilisé	Non	2	2
Orme champêtre	<i>Ulmus campestris</i>	autochtone	Pathogènes	-			graphiose	1.2	1.2
Orme champêtre	<i>Ulmus minor</i>	autochtone	Pathogènes	-			graphiose	1.2	1.2
Orme du Caucase	<i>Zelkova carpinifolia</i>	allochtone	oui	intérêt	grand arbre	rarement utilisé	sélectionné Metz mais exclu Cerema	2	2

Orme glabre, de montagne	<i>Ulmus glabra</i>	autochtone	oui	intérêt	grand arbre	rarement utilisé	graphiose	1.2	1.2
Orme lisse	<i>Ulmus laevis</i>	autochtone	Pathogènes	-			graphiose	1.2	Ormes de Montagne, orme Champêtre et orme de l'Himalaya.
orme résistant à la graphiose	<i>Ulmus x resista</i>	allochtone	oui				oui		
Osmanthe delavay	<i>Osmanthus armantus</i>	allochtone	oui	très fort intérêt	burkwoodii, decorus, delavayi, heterophyllus	très couramment utilisé	oui	1.4	1.4
Parrotie de Perse	<i>Parrotia persica</i>	allochtone	oui	intérêt	petit arbre solide	rarement utilisé	sélectionné Metz mais exclu Cerema	2	2
Paulownia tomenteux ou impérial	<i>Paulownia tomentosa</i>	allochtone	oui	fort intérêt	floraison magnifique-pousse vite	couramment utilisé	oui		
Peuplier blanc	<i>Populus alba</i>	autochtone	oui	intérêt	colonnaire feuilles grises bois blanc	rarement utilisé	oui		
Peuplier d'Italie	<i>Populus nigra italica</i>	allochtone	oui	faible intérêt	pousse vite	jamais utilisé	sélectionné Metz mais exclu Cerema	3	3
Peuplier noir	<i>Populus nigra</i>	autochtone	parcs				Non	3	3
Photinia	<i>Photinia serratifolia</i>	allochtone					oui		
Pin cembro	<i>Pinus cembra</i>	allochtone	parcs				oui	1.3	non adaptée au climat
Pin de l'Himalaya	<i>Pinus wallichiana</i>	allochtone	climatiquement fragile	-			climat	1.4	1.4
Pin laricio	<i>Pinus nigra laricio</i>	allochtone	oui	fort intérêt	vert	couramment utilisé	sélectionné Metz mais exclu Cerema	2	2
Pin sylvestre	<i>Pinus sylvestris</i>	naturalisé	oui	fort intérêt	bleuté bois orange	couramment utilisé	oui		
Pin weymouth	<i>Pinus strobus</i>	allochtone	climatiquement fragile	-			climat	1.4	1.4
Platane	<i>vulgaris, x hybrida, x hispanica</i>	autochtone	oui	très fort intérêt	bel et grand arbre	très couramment utilisé	oui		
poirier à feuilles de saule	<i>Pyrus salicifolia</i>	allochtone	parcs	-			Non	2	2
poirier de Chine	<i>Pyrus calleryana</i>	allochtone	oui	intérêt	petit arbre-floraison	couramment utilisé	sélectionné Metz mais exclu Cerema	2	2
Poirier sauvage	<i>Pyrus communis, pyrastrer</i>	autochtone	zone naturelle	-			oui	3	normalement utilisée comme porte greffe
Poirier Calleryana	<i>Pirus calleryana</i>	allochtone	oui				oui		extrêmement tolérant à la pollution des villes
Pommier toringo, Pommier de Siebord	<i>Malus sieboldii, Malus toringo</i>	allochtone	parcs	-			Non	2	2
Pommier d'ornement	<i>Malus toringoides</i>	allochtone	parcs	-			Non	2	2
Pommier du japon	<i>Malus tschonoskii</i>	allochtone	oui	intérêt	petit arbre colonnaire-feuillage automne	rarement utilisé	sélectionné Metz mais exclu Cerema	2	2
Pommier hybride	Downie-Prof. Sprenger-Van Eseltine	allochtone	Proposition d'ajout ville de Metz	intérêt	petit arbre floraison-feuillage automne	rarement utilisé	sélectionné Metz mais exclu Cerema	2	avis réservé
Pommier sauvage	<i>Malus sylvestris</i>	autochtone	zone naturelle	-			oui	3	normalement utilisée comme porte greffe
Prunelier	<i>Prunus spinosa</i>	autochtone	zone naturelle	-			oui		
Prunier commun	<i>Prunus domestica</i>	autochtone	zone naturelle	-			Non	2	2
Prunier Myrobalan	<i>Prunus cerasifera</i>	allochtone	oui	intérêt	petit arbre-floraison-cultivars à feuilles rouges	couramment utilisé	sélectionné Metz mais exclu Cerema	2	2
Ptérocarier de chine	<i>Pterocarya stenoptera</i>	allochtone	parcs	-			Non	2	2
Pyracantha coccinea	<i>Pyracantha coccinea</i>	allochtone	oui	fort intérêt	persistants + fleurs + fruits	très couramment utilisé	oui		
Renouée aubertii	<i>Polygonum aubertii</i>	allochtone	grimpante	-			Non	2	2

Rhododendron du Canada, Rhodora	Rhododendron canadense	allochtone	sols siliceux	-			sols	1.3	1.3
Rhododendron sp.	Rhododendron sp.	allochtone	sols siliceux	-			sols	1.3	1.3
Robinier faux-acacia	Robinia pseudacacia	invasive avérée	oui	fort intérêt	arbre moyen feuillage léger-floraison	couramment utilisé	sélectionné Metz mais exclu Cerema	1.1	1.1
Ronce bleuâtre	Rubus caesius	autochtone	zone naturelle	-			Non	2	2
Ronce des bois	Rubus fruticosus	autochtone	zone naturelle	-			Non	2	2
Rosier rampant, des champs	Rosa arvensis	autochtone	zone naturelle	-			Non	2	2
Rosier rouillé	Rosa rubiginosa	autochtone	zone naturelle	-			Non	2	2
Rosier rugueux	Rosa rugosa	allochtone	zone naturelle	-			Non	2	2
Sapin d'Espagne	Abies pinsapo	allochtone	Proposition d'ajout ville de Metz	fort intérêt	couleur bleuté	couramment utilisé	oui		
Sapin du colorado	Abies concolor	allochtone	Proposition d'ajout ville de Metz	intérêt	couleur bleuté	rarement utilisé	oui		
Sapin pectiné	Abies alba	autochtone	parcs	-			oui	1.3	espèce forestière peu adaptée à l'air sec des villes
Saula cassant, fragile	Salix fragilis	autochtone	zone naturelle	-			Non	2	2
Saule à oreillettes	Salix aurita	autochtone	zone naturelle	-			Non	2	2
Saule blanc	Salix alba	autochtone	oui	intérêt	feuillage gris	rarement utilisé	oui		
Saule cendré	Salix cinerea	autochtone	zone naturelle	-			Non	2	2
Saule des vanniers	Salix viminalis	autochtone	zone naturelle	-			oui		
Saule drapé	Salix elaeagnos	autochtone	zone naturelle	-			Non	2	2
Saule laurier	Salix pentandra	autochtone	zone naturelle	-			Non	2	2
Saule marsault	Salix caprea	autochtone	zone naturelle	-			Non	2	2
Saule pourpre	Salix purpurea	autochtone	zone naturelle	-			oui		
Savonnier	Koeleria paniculata	allochtone	oui				oui		atmosphérique, apprécié des abeilles
Séneçon en arbre	Baccharis halimifolia	exotique à surveiller	invasive	-			invasive	1.1	1.1
Séquoia géant	Sequoiadendron giganteum	allochtone	climatiquement fragile	-			oui	1.4	mal adapté au climat sec des villes
Séquoia toujours vert	Sequoia sempervirens	allochtone	climatiquement fragile	-			oui	1.4	mal adapté au climat sec des villes
Seringa	Philadelphus coronarius	allochtone	oui				oui		
Sophora du Japon	Sophora japonica	allochtone	oui	fort intérêt	floraison estivale-léger-racines invasives	couramment utilisé	oui		
Sorbier des oiseleurs	compris S. aucuparia fastigiata						oui		
Sumac de Virginie	Rhus typhina	exotique à surveiller	allergène	-			Non	1.1	1.1
Sureau à grappes	Sambucus racemosa	autochtone	zone naturelle	-			oui	1.4	1.4 et doublon avec le sureau noir
Sureau noir	Sambucus nigra	autochtone	zone naturelle	-			oui		

Tamaris de France	<i>Tamarix gallica</i>	autochtone	zone naturelle	-			Non	2	2
Thuja	<i>Thuja plicata</i>	allochtone	septentrional	-			Non	2	omniprésence, situation sanitaire
Tilleul à grandes feuilles	<i>Tilia platyphyllos</i>	autochtone	oui	très fort intérêt	bel arbre plastique	très couramment utilisé	oui		
Tilleul à petites feuilles	<i>Tilia cordata</i>	autochtone	oui	très fort intérêt	emblématique du patrimoine archi et militaire	très couramment utilisé	oui		
Tremble	<i>Populus tremula</i>	autochtone	oui	intérêt	grand arbres feuilles bougent au vent	rarement utilisé	oui		
Troène commun	<i>Ligustrum vulgare</i>	autochtone	zone naturelle	-			oui		
Tulipier de Virginie	<i>Liriodendron tulipifera</i>	allochtone	oui	intérêt	bel arbre-feuillage automne	rarement utilisé	oui		espèce un peu fragile et exigeante
Vigne vierge	<i>Parthenocissus quinquefolia</i>	allochtone	grimpante	-			finalement retenu après COFIL		
Viorne lantane	<i>Viburnum lantana</i>	autochtone	oui	intérêt	floraison + fruits	rarement utilisé	oui		
Viorne obier	<i>Viburnum opulus</i>	autochtone	oui	intérêt	floraison + fruits	rarement utilisé	oui		
Weigelia sp.	<i>Weigelia sp.</i>	allochtone	oui	intérêt	floraison	couramment utilisé	sélectionné Metz mais exclu Cerema	2	2
Zelkova du Japon	<i>Zelkova serrata</i>	allochtone	Pathogènes	-			graphiose	1.2	1.2
	<i>Juniperus ashei</i>	allochtone	pas d'éléments	-			Non	2	2

Annexe 3 – fiches synthétiques par espèce (cahier séparé)

MICOCOULIER OCCIDENTAL, *CELTIS OCCIDENTALIS***FAMILLE :** Cannabaceae**TAILLE :** 25 m**DESCRIPTION GÉNÉRALE :**

Arbre à l'écorce grise et liégeuse, et à l'aspect tortueux.
Feuilles caduques, ovales dentées, rappelant l'ortie.
Allochtone.

FLORAISON :

J F M A M J J A S O N D

**ÉCOLOGIE :**

Besoin en lumière : +++

Supporte la chaleur : ++

Continental : -

Supporte un air sec : +

Supporte un sol pauvre : ++

FACTEURS LIMITANTS

Liés au contexte urbain :

Supporte un sol compact : ☒Supporte un sol sec : ☒**ADAPTATION AU CLIMAT MESSIN, DANS LE CONTEXTE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE :**

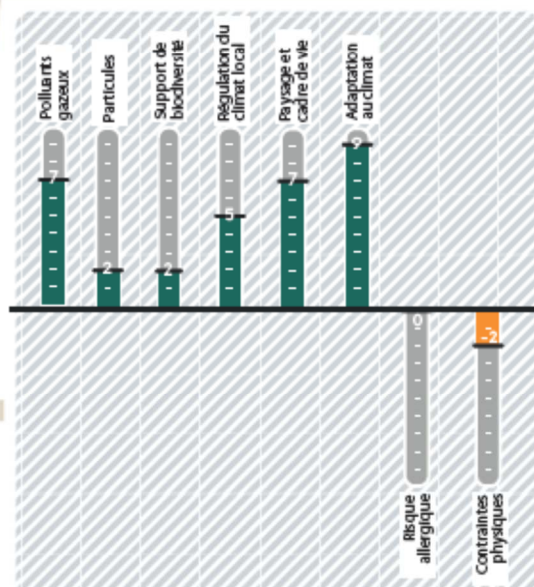
Le micocoulier occidental est adapté aux sols secs, compacts et pauvres ; il supporte bien les fortes chaleurs, et assez bien le froid. Il est donc bien adapté à l'évolution du climat local.

**ATOUTS**

Espèce parfaitement adaptée au climat urbain : résistante à la chaleur et à la sécheresse comme au froid.

**LIMITES**

Son feuillage le rend moins intéressant que le Micocoulier de Provence, pour ce qui concerne la régulation du climat et la fixation des particules.



Conception graphique

