

Année 2022

Uedeco

Solutions de végétalisation adaptées aux espaces
contraints

ASTREDHOR Seine-Manche
32 rue Alfred Kastler – Mont-Saint-Aignan
Tél. : 02 35 95 69 99
Courriel : astredhor.sm@astredhor.fr

L'application des méthodes, résultats et conclusions de cette expérimentation aux conditions de chaque exploitation horticole se fait sous l'entière responsabilité des entreprises.

I. Introduction

Depuis le 1^{er} janvier 2017, la loi Labbé restreint les collectivités locales et les établissements publics sur l'usage des produits phytosanitaires pour l'entretien des espaces verts, promenades, forêts et voiries. Au 1^{er} juillet 2022, cette loi a été étendue et concerne maintenant aussi bien les établissements publics que privés, comme :

- Les zones accessibles au public dans les zones destinées au commerce et activités de services
- Les cimetières et columbariums
- Les voies d'accès privées, les espaces verts et les zones de repos sur les lieux de travail
- Les zones à usages collectif des établissements d'enseignement

Cette liste n'est pas exhaustive. Tout le monde est maintenant concerné, aussi bien les collectivités que les professionnels de la production, horticulteurs, pépiniéristes, mais aussi les paysagistes qui vont devoir adapter les travaux d'entretien.

Une extension à cette loi, pour les terrains sportifs (golf, hippodromes, etc...) est prévue au 1^{er} janvier 2025.

Les solutions de végétalisation comme alternatives au désherbage peuvent avoir de nombreux avantages tant dans les entreprises de production que pour les collectivités. Le principal intérêt, quelle que soit la problématique posée, est de pouvoir reconstituer un sol et un biotope plus proche du milieu naturel. Le sol est protégé et reste poreux, il est mieux alimenté en eau, enrichi en éléments nutritifs (Bonnardot, 2005). Ces solutions montrent en outre un intérêt esthétique par rapport à un sol nu et l'entretien doit pouvoir être réduit. Les problématiques posées ici concernent : les ZNC des entreprises de production, la couverture du sol en cultures de pleine terre, les zones contraintes en espaces verts. Les critères de choix des espèces ou des associations d'espèces dépendent de la problématique posée, mais également du type de zone étudiée.

Les techniques de végétalisation sont souhaitables mais le choix des végétaux utilisés et leur bonne gestion sont essentiels à leur réussite. Différents effets négatifs ont pu être observés selon les plantes couvrant les sols utilisés et les cultures :

- Diminution de la vigueur des cultures en pépinière de pleine terre
- Faible implantation de certaines modalités testées
- Présence de ravageurs dans les cultures (Marie, 2015)
- Perte de diversité floristique et/ou semis hors des parcelles (Marie, 2016).

L'enherbement volontaire des espaces contraints offre donc des avantages par rapport aux différentes méthodes de désherbage, mais son application rencontre encore des obstacles non négligeables.

Au sein des entreprises de production, la fermeture biologique des sols en les végétalisant volontairement, en utilisant des paillages et en choisissant judicieusement une culture intermédiaire est un moyen de contribuer très fortement à la réduction des herbicides. Les zones au niveau des inter-rangs, des rangs de culture et pieds d'arbres/arbrustes et des abords de cultures sont aujourd'hui régulièrement désherbées et constituent un espace vide disponible pour la colonisation des plantes pionnières annuelles qui sont également les adventices principales des cultures. L'enherbement spontané se montrant par ailleurs très concurrentiel et ne permettant pas aux cultures de se développer correctement, les solutions de végétalisation apportent de véritables solutions alternatives.

Des enherbements du rang, de l'inter-rang ou en gestion des abords ont déjà été testés au sein des stations de l'institut technique ASTREDHOR.

Concernant les aires de cultures de pépinière, ce sont les abords de ces cultures : allées, talus, bordures de planches, entre tunnels ... (Ferre, 2012). Les végétaux testés dans le cadre des ZNC des entreprises de productions doivent avoir : une capacité à contenir les adventices, capacité à se maintenir dans des situations difficiles (sécheresse, excès d'eau, écrasement et mécanisation, résistance d'une année sur l'autre) et une capacité à réduire l'entretien par rapport à d'autres solutions. Aux abords des cultures, différents mélanges de graines avaient été testés (Marie, 2016). Pour ce type de plantes herbacées, 2 fauches sur l'ensemble des modalités étaient nécessaires dès que les graminées montent à épisaison :

- Mélanges commerciaux techniques graminées adaptés conditions difficiles (Ray-Grass Anglais, fétuque ovine, fétuque rouge traçante, fétuque rouge 1/2 traçante) : bien implantés, pourcentage de couverture du sol supérieur à 90%, efficace contre les adventices
- Gazon fleuri expérimental (Mélange fleuri court et fétuque) : très bonne couverture et efficacité, intérêt ornemental de la floraison
- Mélange de fleurs annuelles messicoles locales : difficulté d'implantation, couverture plus faible

- Fragments sédums : difficulté d'installation, des tapis devraient avoir une installation plus aisée

Plusieurs autres végétaux qui ont pu être testés par les stations Arexhor Pays de Loire et CDHRC ont montré des résultats encourageants seuls ou en association : Crucianelle, piloselle, matricaire, œillet saxifrage, thym à tige longue, *Achillea crithmifolia* avec *Lippia noddiflora* (Ferre, 2014). Ces taxons montrent un bon recouvrement du sol et une bonne résistance. Certains présentent un effet allélopathique qui reste à étudier.

Concernant l'enherbement contrôlé des inter-rangs de culture, les végétaux doivent entrer en concurrence avec les mauvaises herbes, améliorer de la portance des engins, améliorer de l'esthétisme (De Tourdonnet, 2008). Les travaux déjà réalisés sur le sujet ont montré que l'installation s'effectue de préférence à l'automne. L'installation doit être rapide et dense mais ne pas entrer en concurrence avec la culture (Piasentin, 2011 ; Piasentin, 2009).

Des premiers résultats ont été montrés au sein de l'institut ASTREDHOR :

- Ray-grass seul : installation rapide, nécessite beaucoup de tontes, utilisation en mélange
- Ray-grass anglais et fétuque (élevée, traçante, ovine et rouge) ou dactyle : concurrence la culture : possibilité d'enherber 1 rang sur 2, satisfaction vis-à-vis des adventices, moins concurrentiel / culture
- Mélanges commerciaux pour talus (70 à 100% graminées) : installation plus ou moins réussie selon la présence de fétuque mais dépend de la culture testée
- Mélanges commerciaux de gazons techniques : plus résistants et moins de tontes, installation rapide, denses
- Brome des toits : effet allélopathique : nettoie le sol des adventices, bonne couverture semée à l'automne
- Vesce commune : fabacée annuelle, semée à l'automne : bonne protection au printemps, automne suivant : sèche et se resème
- Trèfle nain : bonne couverture semée au printemps en pépinière fruitière, bonne maîtrise des adventices sans influencer la croissance des plants, excellents résultats en fleurs coupées du micro-trèfle nain.

Le travail sur le rang même de la culture de pépinière est encore très peu testé et documenté en dehors des essais préliminaires réalisés par Astredhor Seine-Manche (Marie, 2015). Il reste un foyer principalement en pied d'arbre, zone difficile d'entretien mécanique. Pour rester dans cette optique de lutte alternative et de diminution de l'utilisation du désherbage chimique, la solution d'un enherbement doit être testée. Par rapport à une culture pérenne en vergers ou viticulture, les difficultés rencontrées concernent plus particulièrement la concurrence vis-à-vis de la culture (diminution de croissance de l'arbre/arbruste), les difficultés possibles à l'arrachage, et la présence de ravageurs. En arboriculture fruitière, l'utilisation de trèfle blanc nain implanté sur le rang d'un verger de pêchers a permis de diminuer les apports d'engrais azotés, sans baisse de vigueur et de rendement (Données CTIFL Gotheron). Sur abricotiers conduits en agriculture biologique, des légumineuses implantées sur l'inter-rang du verger, associées à un apport de compost de déchets verts produits à la ferme, ont permis de se passer de tout apport d'engrais organiques pendant les quatre premières années de vie du verger (Garcin et al., 2014). Cette partie du projet sera menée en parallèle du projet PLACOH, programme de gestion des adventices et de la biodiversité en culture viticole, pépinière viticole et pépinière ornementale (Ferre, 2016).

Les premiers tests réalisés in situ par ASTREDHOR Seine-Manche dans une pépinière de plants fruitiers ont déjà permis d'expérimenter plusieurs solutions plus ou moins efficaces :

- Mélanges fleuris (Mélange fleuri ultra court pérenne avec ou sans fétuque) : bonne efficacité contre les adventices, trop forte croissance et concurrence pour la culture
- Sédums en fragments (*Sedum album minor*, *album murale*, *lydium glaucum*) : lenteur d'implantation
- Collettertes (production interne) / tapis de sédums en pieds d'arbres : bonne efficacité et durée, extension couverture du sol. Difficulté de mise en œuvre tapis sedum.
- Micro-trèfle : lenteur couverture en début d'essai, très bonne couverture et peu concurrentiel pour la culture
- Micro-Luzerne : dégâts morsures sur la micro-luzerne / concurrence avec la culture

Le choix d'espèces fixatrices d'azote permet d'assurer une partie de l'alimentation azotée des cultures. Largement expérimentée en grandes cultures, cette technique est encore peu documentée en cultures pérennes. Les principales difficultés rencontrées pour la généralisation de cette technique sont liées au maintien du couvert dans le temps, à la non-concordance entre les besoins de l'arbre et la fourniture d'azote par les légumineuses (Ferre, 2016). Des associations de végétaux couvre sol, et une adaptation des taxons aux conditions pédoclimatiques du bassin seront élaborés dans le cadre de l'essai.

Le projet s'est articulé autour de 3 axes principaux qui sont :

1. La recherche et la sélection d'espèces d'intérêt pour une végétalisation efficace. Ces espèces sont le plus souvent choisies pour leur capacité à recouvrir une surface importante en un laps de temps courts, leur esthétisme mais aussi par leur potentiel effet allélopathique.

2. Tester la capacité de ces espèces à s'implanter en milieu contraint au sein d'une plateforme expérimentale. Leur vigueur, leur qualité esthétique et leur croissance ont été suivies pour définir les espèces les plus aptes à répondre à la végétalisation des espaces contraints.
3. Tester in situ ces solutions, à la fois en collectivité et en entreprise, pour avoir un retour concret de cette alternative.

Des tests pour détecter un potentiel allélopathique ont été effectués en parallèle afin de mettre en avant les espèces qui pourraient présenter un intérêt dans la lutte contre les adventices.

Références Bibliographiques

- ASTREDHOR, 2011.** Programme national PBI des cultures en extérieur.
- ASTREDHOR, 2018.** Méthodes alternatives en protection des plantes. Ed. ASTREDHOR.
- Becart P. 2016.** Diversification d'usage et adaptation aux marchés. Compte rendu d'essai ASTREDHOR Seine-Manche.
- Bonnardot A. 2005.** Les plantes couvre-sol au pied des arbres. Plantation et entretien des jeunes arbres CAUE 77. 4 p.
- CDHR C., 2017.** Gestion des abords. Utilisation de plantes couvre-sol. Fiche technique.
- Coutant J., 2011.** Utilisation d'un enherbement permanent comme alternative au désherbage chimique en culture de pivoine. Atout fleurs, n°81, avril 2011, p.16-19.
- De Tourdonnet S. 2008.** Utilisation des mulchs vivants pour la maîtrise des flores adventices. Innovations agronomiques 3. p.43-48.
- Dubois J. 2003.** Désherbage des cultures : amélioration des pratiques et recherches d'alternatives. Sileban, Barfleur, rapport final d'exécution, programme d'expertise et d'animation. 45 p.
- Ferre A. 2012.** Enherbement comme alternative au désherbage chimique : enherbement volontaire des abords. Compte rendu final Arexhor Pays de la Loire.
- Ferre A., 2014.** Contrôle alternatif des adventices en pleine terre. Arexhor Pays de Loire.
- Ferre A., 2014.** Enherbement volontaire des abords de culture pour réduire l'infestation des cultures par les adventices. Arexhor Pays de Loire.
- Marie A., 2015.** Alternatives au désherbage chimique : gestion de l'enherbement sur le rang. Compte rendu d'essai ASTREDHOR Seine-Manche.
- Marie A., 2016.** Alternatives au désherbage chimique : gestion des abords et des talus. Compte rendu d'essai ASTREDHOR Seine-Manche.
- MARIE A., 2018.** Les techniques de végétalisation comme alternatives au désherbage. Astredhor Seine-Manche. Fiche technique.
- MARIE A., 2015.** Méthodes alternatives au désherbage. Astredhor Seine-Manche.
- Piasentin J., 2009.** Pratiques alternatives et durables en horticulture ornementale. Ed. Terres d'Innovation.
- Piasentin J., 2011.** Les méthodes alternatives de désherbage des cultures ornementales. Synthèse technique ASTREDHOR.
- VIDRIL V., 2017.** Désherbage en pépinière : à la recherche de méthodes alternatives Lien horticole, n° 999, 18 janvier 2017, p. 10-11.
- Piasentin J., 2011.** Les méthodes alternatives de désherbage des cultures ornementales. Synthèse technique ASTREDHOR, n°06. 16 p.
- Piasentin J., 2009.** Pratiques alternatives et durables en horticulture ornementale. 10 années de travaux ASTREDHOR. p. 47-53.

II. Expérimentation en milieu semi-contrôlé

Objectifs

Cet essai a pour objectif d'évaluer les réponses physiologiques de plusieurs vivaces à des conditions physiques et chimiques assimilables au milieu urbain. Il a pour ambition d'effectuer un premier screening sur des plantes vivaces et déterminer leur capacité à s'adapter à un milieu contraint.

Il a été conçu avec **24 espèces de vivace** et **3 modalités de sol** dont 1 témoin terre végétale et 2 reconstitués à partir de matériaux issus de l'économie circulaire (compost, béton concassé, grave industrielle, terre excavée), ces modalités ont été répétées 2 fois.

Les paramètres qui ont été suivis sont la vigueur des individus, leur croissance, leur esthétique, leur période de floraison et leur compétition avec les adventices.

Ce dispositif va permettre d'établir une première liste d'espèces qu'il est possible d'implanter en ville mais aussi en entreprise, en abord de parcelle, en inter-rang ou encore en couverture de pied d'arbre.

Dispositif expérimental

Structure d'accueil :

Station d'expérimentation
ASTREDHOR Seine-Manche
Route des Princesses
78100 Saint-Germain-en-Laye

Matériel végétal

Espèces					
1	<i>Acaena buchananii</i>	9	<i>Erigeron karvinskianus</i>	17	<i>Prunella grandiflora</i>
2	<i>Achillea millefolium</i>	10	<i>Herniaria glabra</i>	18	<i>Sagina subulata</i>
3	<i>Armeria maritima</i>	11	<i>Hieracium pilosella</i>	19	<i>Satureja montana</i>
4	<i>Asperula odoratum</i>	12	<i>Matricaria tchihatchewii</i>	20	<i>Stachys byzantina</i>
5	<i>Azorella trifurcata</i>	13	<i>Mazus reptans</i>	21	<i>Tunica saxifraga</i>
6	<i>Chamaemelum nobile</i>	14	<i>Nepeta mussinii</i>	22	<i>Thymus serpyllum</i>
7	<i>Cotula paludosa</i>	15	<i>Origanum vulgare</i>	23	<i>Veronica prostrata</i>
8	<i>Crucianella stylosa</i>	16	<i>Pratia pedunculata</i>	24	<i>Vinca minor</i>

Modalité de sol

Témoin	Technosol 1	Technosol 2
Terre végétale (100 %)	Béton concassé (70 %)	Terre excavée (40 %)
	Compost de déchets verts (30 %)	Grave industrielle (30 %)
		Compost de déchets verts (30 %)

Mise en place

Les travaux de mise en place ont été réalisés au printemps 2020.

Les parcelles ont été arrosées la première année uniquement.

Les carrés expérimentaux ont été paillés avec du chanvre.

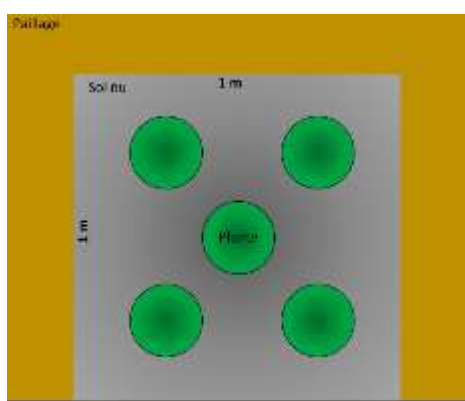
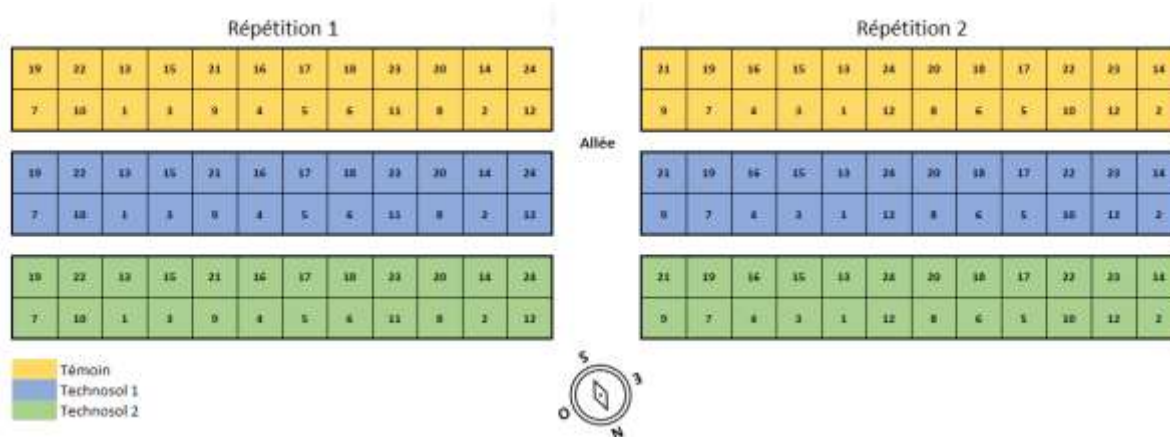


Schéma de l'implantation dans un carré d'expérimentation d'1 m².



Photo de la plateforme expérimentale de Saint-Germain-en-Laye.

Résultats

Dans un souci de clarté, seuls les résultats de la dernière notation, du 30 juin 2022, seront explicités. Les notations comprennent la vigueur, l'esthétique et le taux de recouvrement pour chaque espèce et pour chaque sol. Les deux technosols sont comparés au témoin « Terre végétale ».

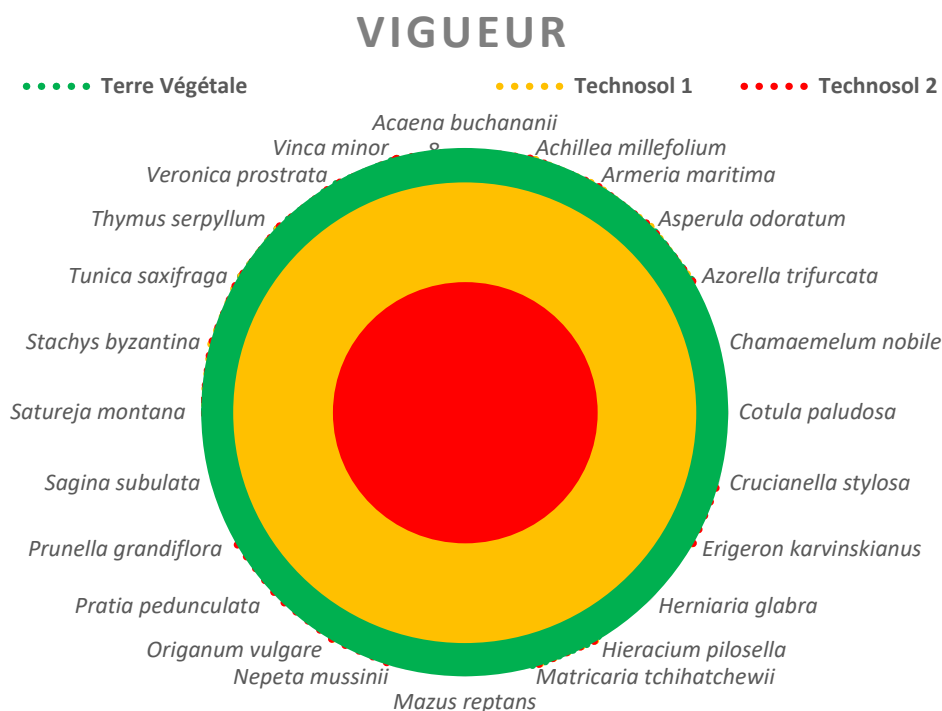


Figure 1 : Graphique représentant la vigueur de la plante pour chaque espèce en fonction du sol utilisé pour son implantation. Zone rouge : mauvais. Zone verte : très bon. Zone orange : intermédiaire. Notation du 30/06/2022. La note = somme des 2 répétitions.

La vigueur des plantes a été évaluée selon un système de notation (Figure 1) allant de 1 à 4, le 1 étant une vigueur très faible voir une perte des plantes, et le 4 une très bonne vigueur générale. Seul l'état physiologique de la plante est pris en compte (croissance homogène ou non, carence visible sur les feuilles, port de la plante). La note finale est la somme des 2 répétitions.

Après 2 années d'implantation, on peut observer un clivage net entre des espèces très vigoureuses qui ont pu supporter deux hivers relativement rigoureux et deux étés particulièrement chaud, et d'autres pour lesquelles le passage des saisons a été éprouvant voir critique. Dans certains cas, la composition du sol semble avoir joué un rôle dans la sauvegarde de la plante, dans d'autre elle semble être en partie responsable de sa dégradation.

Les plantes dont la note se situe entre 3 et 4 sont celles qui présentent les meilleures aptitudes à l'implantation. Les espèces qui semblent posséder les **meilleures prédispositions** à l'issu de cet essai sont : *Achillea millefolium*, *Armeria maritima*, *Asperula odoratum*, *Azorella trifurcata*, *Crucianella stylosa*, *Erigeron karvinskianus*, *Hieracium pilosella*, *Matricaria tchihatchewii*, *Nepeta mussinii*, *Origanum vulgare*, *Prunella grandiflora*, *Satureja montana*, *Stachys byzantina*, *Tunica saxifraga*, *Thymus serpyllum*, *Veronica prostrata* et *Vinca minor*. Soit 17 espèces sur les 24.

Il est à noter que *P. pedunculata* a une note supérieure lorsqu'elle est implantée sur un technosol que sur la terre végétale et que *A. buchananii* est capable de s'implanter parfaitement sur le technosol 2.

Dans cette expérimentation, 2 espèces ont totalement périclité, même en terre végétale : *C. paludosa* et *M. reptans*. 3 autres ont montré des résultats plus que mitigés : *C. nobile*, *H. glabra* et *S. subulata*.

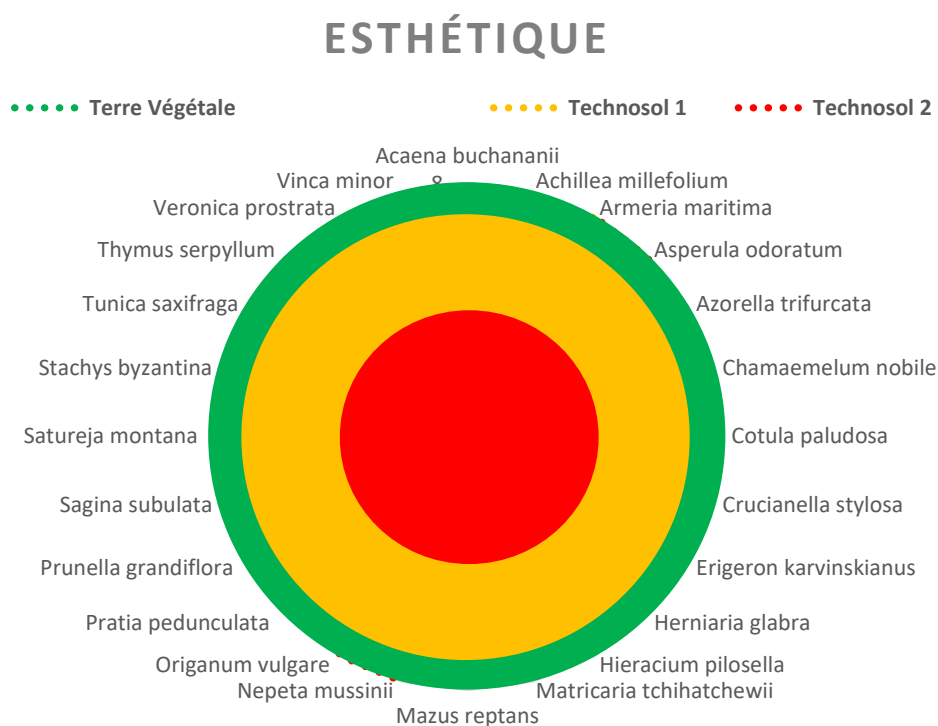


Figure 2 : Graphique représentant la qualité esthétique de chaque espèce en fonction du sol utilisé pour son implantation. Zone rouge : mauvais. Zone verte : très bon. Zone orange : intermédiaire. Notation du 30/06/2022. La note = somme des 2 répétitions.

La qualité esthétique des plantes est une note basée d'une part sur des critères objectifs (floraison, couleur et port de la plante) et d'autre part sur la sensibilité de l'observateur. L'esthétique est une note moyenne des individus et non pas de l'aspect global du carré (Figure 2). Elle n'est pas influencée par la présence des adventices. Une note de 1 correspondant à une plante peu esthétique (ou inexistante si les plantes ont périclité) et une note de 4 à un aspect visuel très satisfaisant, aussi bien dans la forme de la plante que dans ses couleurs. La note esthétique est variable selon la période de notation, les résultats de cette notation sont ceux du début d'été 2022.

Les plantes dont la note se situe entre 3 et 4 sont celles qui ont les **meilleures qualités esthétiques**. Parmi celles-ci, on trouve : *Achillea millefolium*, *Armeria maritima*, *Asperula odoratum*, *Azorella trifurcata*, *Crucianella stylosa*, *Erigeron karvinskianus*, *Nepeta mussinii*, *Origanum vulgare*, *Prunella grandiflora*, *Satureja montana*, *Tunica saxifraga*, *Thymus serpyllum* et *Veronica prostrata*.

En croisant les notations de vigueur et d'esthétisme, on peut établir une liste des espèces avec un bon potentiel pour une installation en milieu contraint :

- *Achillea millefolium*
- *Armeria maritima*
- *Asperulla odoratum*
- *Azorella trifurcata*
- *Crucianella stylosa*
- *Erigeron karvinskianus*
- *Nepeta mussinii*
- *Origanum vulgare*
- *Prunella grandiflora*
- *Satureja montana*
- *Tunica saxifraga*
- *Thymus serpyllum*
- *Veronica prostrata*

TAUX DE RECOUVREMENT

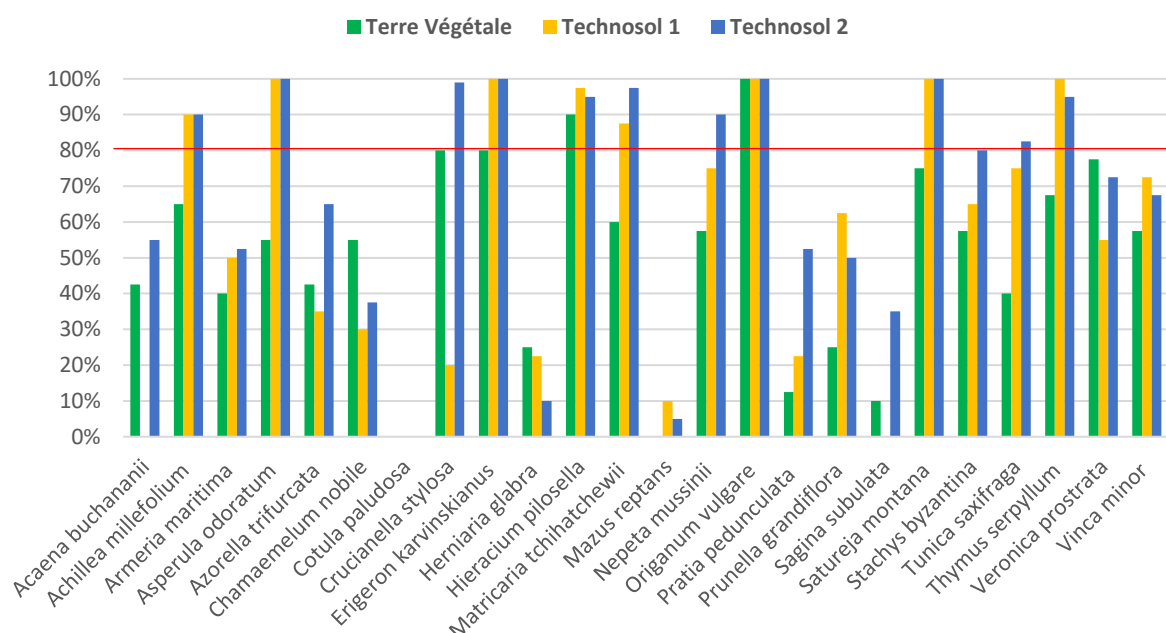


Figure 3 : Histogramme représentant le taux de recouvrement, en pourcentage, de chaque espèce en fonction du sol utilisé pour son implantation. Notation du 30/06/2022.

La couverture végétale de chaque espèce a été estimée en % par rapport à la surface d'1m² du carré d'expérimentation (Figure 3). Sur le graphique, ci-dessus, on observe que plusieurs espèces ont recouvert entre **80 et 100%** de l'espace disponible dans au moins une modalité de sol contraint (technosol), c'est le cas de : *A. millefolium*, *A. odoratum*, *C. stylosa*, *E. karvinskianus*, *H. pilosella*, *M. tchihatchewii*, *O. vulgare*, *S. montana*, *S. byzantina*, *T. saxifraga* ou en encore *T. serpyllum*. Parmi celles-ci, certaines ont un résultat moindre voir médiocre sur le témoin « Terre végétale ». C'est le cas de : *A. millefolium*, *A. odoratum* ou encore *S. byzantina*.

Cette couverture est dans certain cas variable d'une saison à l'autre car certaines espèces perdent en volume en raison des pics climatiques (gel / canicule). C'est le cas de la majorité des espèces tapissantes tel *H. glabra*, *M. reptans*, *P. pedunculata* ou encore *S. subulata*.

D'autres espèces sont moins sensibles à ces variations et permettent d'avoir un couvert relativement homogène dans le temps. Parmi elles, on trouve les espèces suivantes (Figure 4) : *A. millefolium*, *A. odoratum*, *S. montana* et *T. serpyllum*.

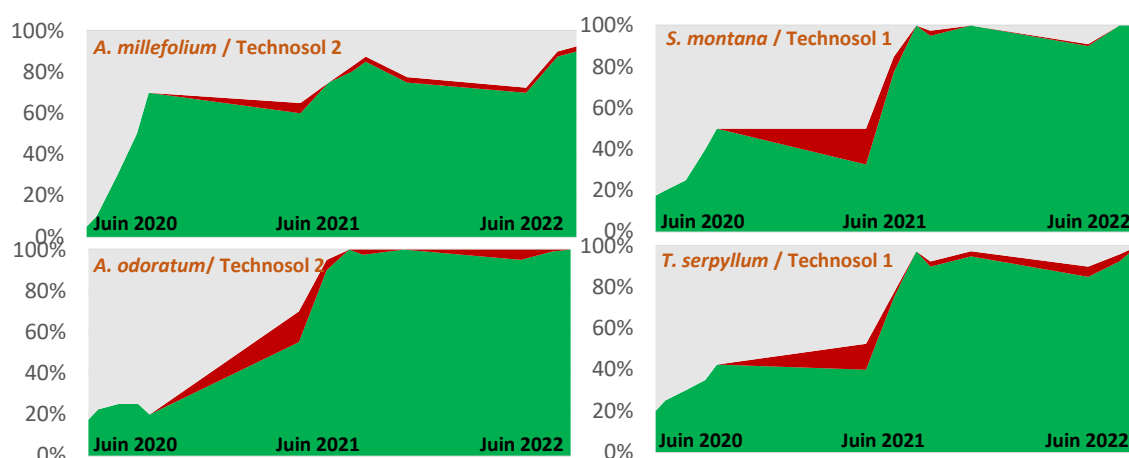


Figure 4 : Graphique représentant la variation dans le temps du couvert végétal. En vert, la plante d'intérêt ; en rouge, les adventices. Estimation faite pour une surface d'1 m².

A la fin de cette expérimentation, une différence importante concernant le recouvrement a été observée (Figure 5). Il semblerait que la quantité d'espèce qui se développe correctement est plus faible dans le témoin en comparaison des deux technosols. La provenance et la qualité de cette terre végétale ont probablement joué un rôle dans ces variations. Cela permet cependant de valider le fait que certaines espèces peuvent servir de couvre-sol même dans des conditions qui sont loin d'être optimales.

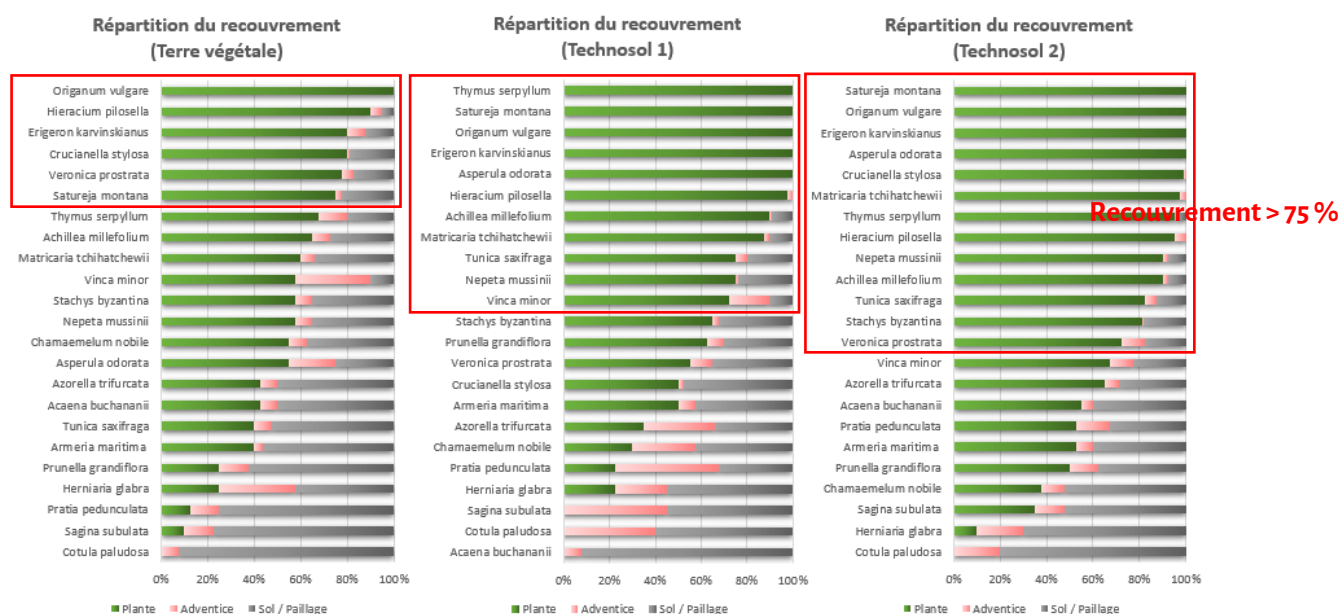


Figure 5 : Histogramme représentant la répartition du couvert végétal, des adventices et du sol pour chaque espèce, dans chaque modalité de sol. Encadré en rouge : espèces qui recouvrent 75 % ou plus de la surface totale. Surface = 1 m².

Synthèse : Adaptabilité aux milieux contraints

Les tableaux suivants synthétisent les données récoltées sur les deux années d'expérimentation. Il vise à présenter la capacité d'adaptation des plantes à un milieu contraint. Les notes de vigueur et d'esthétique correspondent à la moyenne des notes pour les deux technosols.

Pour le tableau 1, la couleur de la case indique si cette note est **inférieure** (rouge), **égale** (gris) ou **supérieure** (vert) en **comparaison du témoin** « Terre végétale ».

Espèce	Vigueur	Esthétique	Recouvrement
<i>Acaena buchananii</i>	2,13	1,79	27,5 %
<i>Achillea millefolium</i>	3,83	2,87	90,0 %
<i>Armeria maritima</i>	3,73	3,40	51,3 %
<i>Asperula odoratum</i>	3,62	3,06	100 %
<i>Azorella trifurcata</i>	3,38	2,88	50,0 %
<i>Chamaemelum nobile</i>	3,37	2,42	33,8 %
<i>Cotula paludosa</i>	1,83	1,65	0 %
<i>Crucianella stylosa</i>	2,88	2,46	74,5 %
<i>Erigeron karvinskianus</i>	3,54	3,25	100 %
<i>Herniaria glabra</i>	2,67	2,12	16,3 %
<i>Hieracium pilosella</i>	3,75	2,62	96,3 %
<i>Matricaria tchihatchewii</i>	3,77	3,15	92,5 %
<i>Mazus reptans</i>	2,12	1,58	15,0 %
<i>Nepeta mussinii</i>	3,60	3,31	82,5 %
<i>Origanum vulgare</i>	3,79	3,15	100 %
<i>Pratia pedunculata</i>	2,88	2,12	37,5 %
<i>Prunella grandiflora</i>	3,40	2,88	56,3 %
<i>Sagina subulata</i>	1,88	1,69	17,5 %
<i>Satureja montana</i>	3,81	3,40	100 %
<i>Stachys byzantina</i>	3,31	2,60	73 %
<i>Thymus serpyllum</i>	3,00	2,75	97,5 %
<i>Tunica saxifraga</i>	3,62	3,12	78,8 %
<i>Veronica prostrata</i>	3,17	2,65	63,8 %
<i>Vinca minor</i>	3,60	3,00	70,0 %

Tableau 1 : Tableau de synthèse des données pour une comparaison des modalités de sol.

Les résultats montrent que la majorité des cas, la qualité des technosols n'est pas délétère pour les vivaces qui ont été testées, les résultats sont identiques au témoin. Dans certains cas, les technosols sont mêmes plus propice au développement de ces dernières comme c'est le cas de : *Achillea millefolium*, *Matricaria tchihatchewii*, *Mazus reptans*, *Nepeta mussinii*, *Pratia pedunculata* ou encore *Tunica saxifraga*.

Il n'y a que 4 espèces pour lesquelles les contraintes de sol influent négativement en comparaison du témoin. Cependant, tous ces résultats sont à nuancer. Bien que certaines soient dans le rouge ou dans le vert dans le tableau 1 ci-dessus, il faut prendre en compte la note pour chacune (cf. tableau 2).

Pour le tableau 2, la couleur indique la capacité de la plante à survivre, son esthétique et sa propagation en milieu contraint.

Espèce	Vigueur	Esthétique	Recouvrement
<i>Acaena buchananii</i>	2,13	1,79	27,5 %
<i>Achillea millefolium</i> *	3,83	2,87	90,0 %
<i>Armeria maritima</i>	3,73	3,40	51,3 %
<i>Asperula odoratum</i> *	3,62	3,06	100 %
<i>Azorella trifurcata</i>	3,38	2,88	50,0 %
<i>Chamaemelum nobile</i>	3,37	2,42	33,8 %
<i>Cotula paludosa</i>	1,83	1,65	0 %
<i>Crucianella stylosa</i> *	2,88	2,46	74,5 %
<i>Erigeron karvinskianus</i>	3,54	3,25	100 %
<i>Herniaria glabra</i>	2,67	2,12	16,3 %
<i>Hieracium pilosella</i> *	3,75	2,62	96,3 %
<i>Matricaria tchihatchewii</i> *	3,77	3,15	92,5 %
<i>Mazus reptans</i>	2,12	1,58	15,0 %
<i>Nepeta mussinii</i>	3,60	3,31	82,5 %
<i>Origanum vulgare</i> *	3,79	3,15	100 %
<i>Pratia pedunculata</i>	2,88	2,12	37,5 %
<i>Prunella grandiflora</i>	3,40	2,88	56,3 %
<i>Sagina subulata</i>	1,88	1,69	17,5 %
<i>Satureja montana</i> *	3,81	3,40	100 %
<i>Stachys byzantina</i>	3,31	2,60	73 %
<i>Thymus serpyllum</i>	3,00	2,75	97,5 %
<i>Tunica saxifraga</i>	3,62	3,12	78,8 %
<i>Veronica prostrata</i>	3,17	2,65	63,8 %
<i>Vinca minor</i>	3,60	3,00	70,0 %

Note				Recouvrement			
Légende	Mauvaise	Moyenne	Bonne	[0-25] %	]25-50] %	]50-75] %	]75-100] %

Tableau 2 : Tableau de synthèse des données pour une évaluation globale du comportement des espèces sur des sols contraints. (*) Plante pouvant devenir envahissante si non contrôlée. La note est la somme

Quasiment **75 % des espèces testées** sont capables de s'installer sur des milieux contraints. Sur celles-ci, la moitié ont des caractéristiques esthétiques jugées « bonnes », c'est-à-dire visuellement très acceptable dans un contexte d'aménagement paysager urbain. Ces travaux permettent d'établir une première liste d'espèce utilisables pour une végétalisation des espaces contraints. Chacune aura ses spécificités selon l'aménagement souhaité (couverture rapide, embellissement, autres).



Planche photo des espèces implantées dans le Technosol 1 (Première partie).



Planche photo des espèces implantées dans le Technosol 1 (Seconde partie).



Planche photo des espèces implantées dans le Technosol 2 (Première partie).

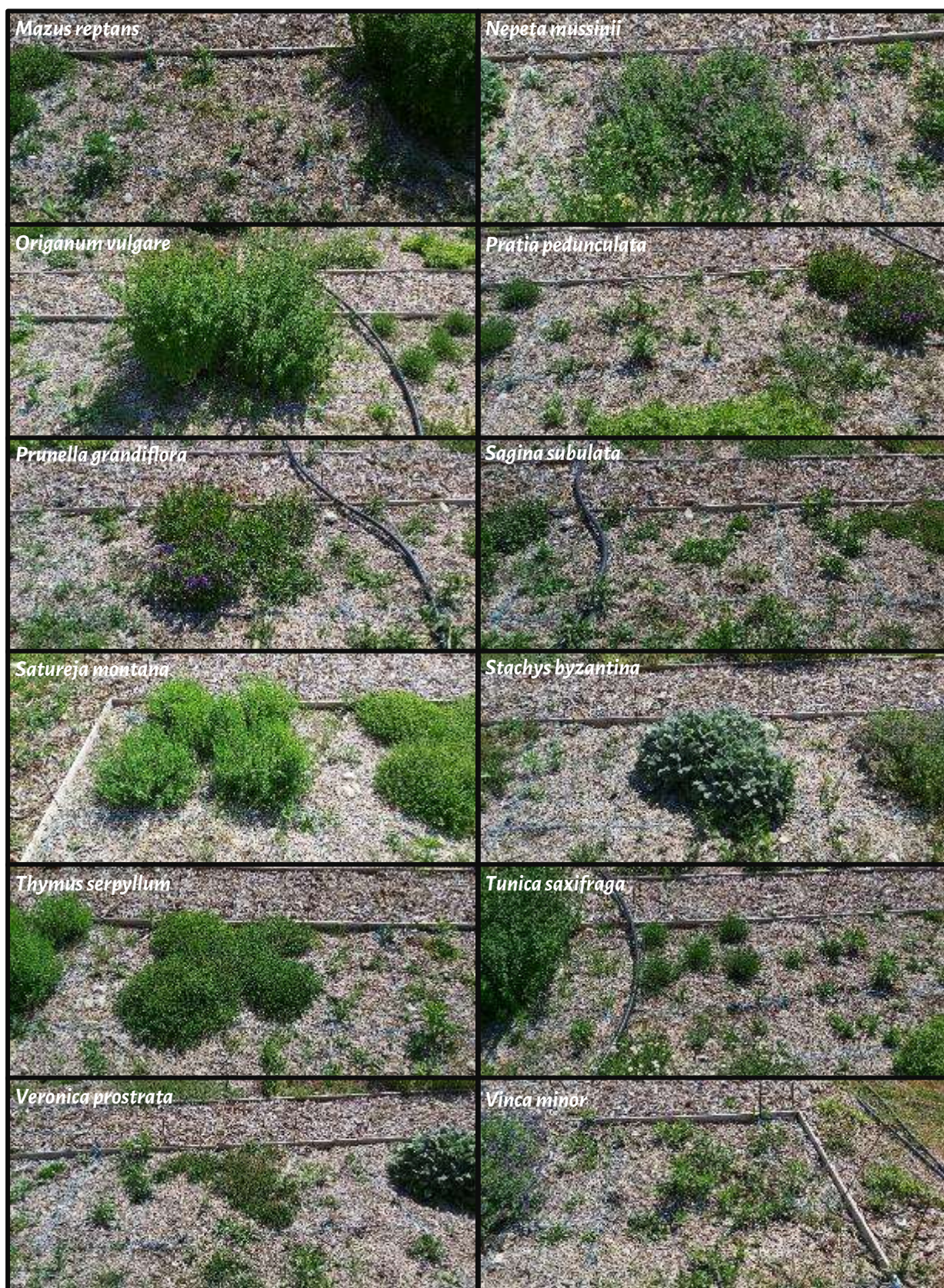


Planche photo des espèces implantées dans le Technosol 2 (Seconde partie).

III. Expérimentation *in situ*

Essai en collectivité

Lieu d'accueil :

Place Gaston Sanson

76640 Terre-de-Caux

L'essai a été implanté fin avril 2021 et scindé en **2 parties** :

- Une première en végétalisation des alignements d'arbres sur un parking
- Une seconde en végétalisation de pieds d'arbre isolés

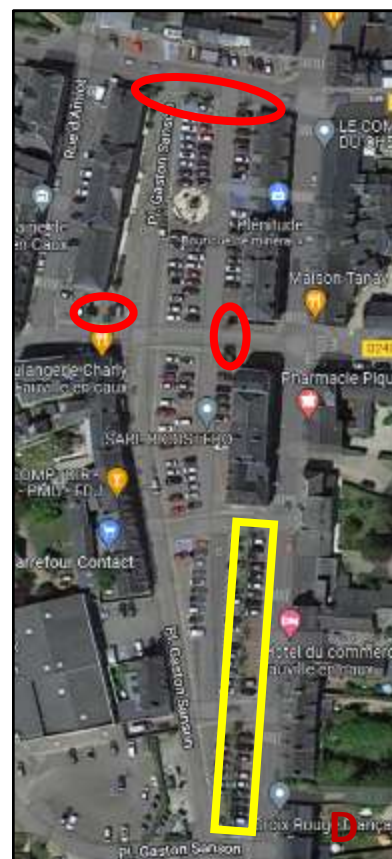


Photo de la place Gaston Sanson à Terre-de-Caux. Pieds d'arbre isolés (A et B) et alignement d'arbre (C). Photo satellite de l'emplacement des essais (D) : en jaune « Alignement d'arbre » ; en rouge « Pied d'arbre ».

Dispositif expérimental essai 1

Espèces – Essai 1 : Alignement d'arbre					
1	<i>Acaena buchananii</i>	9	<i>Geranium x 'Rozanne'</i>	17	<i>Prunella grandiflora</i>
2	<i>Achillea millefolium</i>	10	<i>Herniaria glabra</i>	18	<i>Sagina subulata</i>
3	<i>Alchemilla mollis</i>	11	<i>Hieracium pilosella</i>	19	<i>Satureja montana</i>
4	<i>Armeria maritima</i>	12	<i>Matricaria tchihatchewii</i>	20	<i>Stachys byzantina</i>
5	<i>Asperula odoratum</i>	13	<i>Mazus reptans</i>	21	<i>Tunica saxifraga</i>
6	<i>Azorella trifurcata</i>	14	<i>Nepeta mussinii</i>	22	<i>Thymus serpyllum</i>
7	<i>Chamaemelum nobile</i>	15	<i>Origanum vulgare</i>	23	<i>Veronica prostrata</i>
8	<i>Erigeron karvinskianus</i>	16	<i>Pratia pedunculata</i>	24	<i>Vinca minor</i>

Les espèces implantées sont les mêmes que pour l'essai sur la plateforme d'expérimentation sauf pour les espèces suivantes : *Cotula paludosa* et *Crucianella stylosa*. Elles ont été remplacées par *Alchemilla mollis* et *Geranium 'Rozanne'*.

Analyse de sol

L'analyse physique révèle une structure limono-sablo-argileuse avec une CEC un peu faible. La MO est élevée et le pH très élevé (7,7). Les taux de zinc, de cuivre et de fer dans le sol sont eux aussi très élevés respectivement : 17 mg/kg, 4,3 mg/kg et 103,6 mg/kg pour des normes qui sont de 3,5 mg/kg, 2 mg/kg et 15,1 mg/kg. Cette analyse est valable pour l'essai « Alignement d'arbre » uniquement.

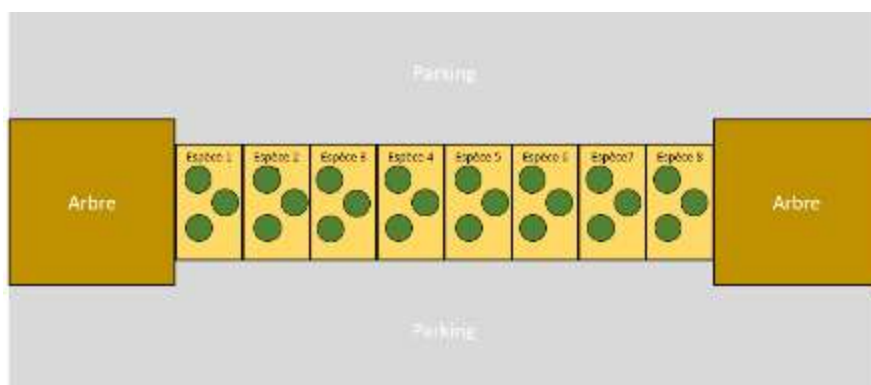


Schéma du dispositif expérimental pour l'implantation des individus le long de l'alignement d'arbres.

Dispositif expérimental essai 2

Espèces – Essai 2 : Arbres isolés		
Module 1	<i>Achillea millefolium</i>	<i>Cotula hispida</i>
Module 2	<i>Centranthus ruber</i>	<i>Thymus serpyllum</i>
Module 3	<i>Nepeta mussinii</i>	<i>Erigeron karvinskianus</i>
Module 4	<i>Sedum spectabilis</i>	<i>Stachys byzantina</i>

Pour cette seconde partie, 1 pied d'arbre = 2 espèces.



Schéma du dispositif expérimental pour l'implantation des individus autour des pieds d'arbre.

Illustration de l'essai de végétalisation d'un alignement d'arbre en espace contraint



Ci-contre, les photos avant/après de l'implantation de l'essai. Le sol a été décapé sur quelques centimètres puis un léger apport en substrat a été réalisé. Chaque espèce a été implanté par groupe de 3 individus sur une surface équivalente à 0,5 m².

Les individus sont issus de godets de 9 cm² et représente un taux de recouvrement initiale d'environ 5 % de l'espace à couvrir.

L'implantation a été réalisée sur une longueur approximative de 80 m.



Ci-dessus, le résultat de l'implantation à la mi-juin 2022 soit au bout d'1 an et 2 mois. Dans l'ordre : (1) *Stachys byzantina*, (2) *Prunella grandiflora*, (3) *Alchemilla mollis*, (4) *Origanum vulgare*, (5) *Herniaria glabra*, (6) *Achillea millefolium*, (7) *Satureja montana*, (8) *Asperula odoratum* et (9) *Hieracium pilosella*.

Illustration de l'essai de végétalisation des pieds d'arbre



Résultats « Alignement d'arbre »

Essai 1

Les résultats présentés ci-dessous sont issus de la dernière notation réalisée le 16 juin 2022.

Les notes de vigueur et d'esthétique ont été réalisées de la même manière que l'essai sur la plateforme d'expérimentation de Saint-Germain-en-Laye. La note représentée ici est la somme des 3 répétitions.

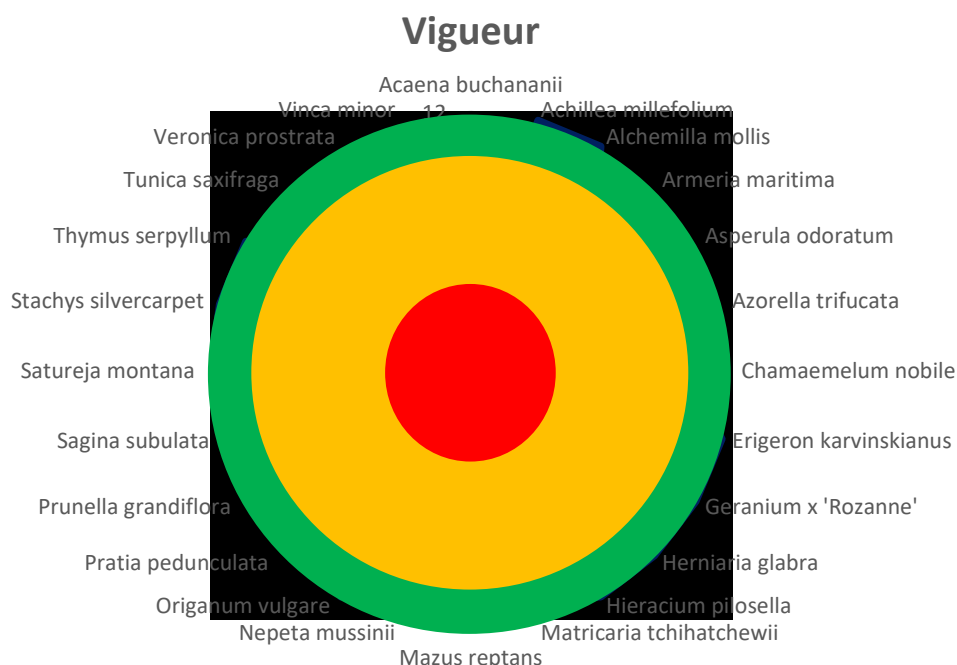


Figure 6 : Graphique représentant la vigueur de la plante pour chaque espèce après implantation sur le parking. Zone rouge : mauvais. Zone verte : très bon. Zone orange : intermédiaire. Notation du 16/06/2022. Note = somme des 3 répétitions.

Les résultats de vigueur pour chacune des vivaces implantées révèlent une fois de plus un clivage net entre des espèces résistantes aux conditions contraintes qu'impose une surface bétonnée et d'autres qui périssent dès la première année (Figure 6). Dans la première catégorie (note supérieure à 10), on retrouve : ***Achillea millefolium***, *Alchemilla mollis*, ***Erigeron karvinskianus***, *Geranium x 'Rozanne'*, *Herniaria glabra*, ***Hieracium pilosella***, ***Matricaria tchihatchewii***, ***Origanum vulgare***, *Sagina subulata*, ***Satureja montana***, ***Stachys byzantina*** et ***Thymus serpyllum*** ; avec, en gras, les espèces dont les résultats confirment ceux obtenus sur la plateforme d'expérimentation.

Les résultats pour *H. glabra* et *S. subulata* sont étonnants car ces espèces n'ont pas démontré de capacités d'adaptation particulière en conditions semi-contrôlée. Cela peut s'expliquer par des facteurs externes, ici, la présence d'arbres pour limiter l'ensoleillement excessif et réduire l'effet du vent. On peut donc émettre l'hypothèse que ces espèces soient adaptées en milieu contraint mais sensibles aux conditions climatiques extrêmes que sont les fortes chaleurs et l'exposition direct aux vents.

On observe 5 espèces pour lesquelles l'implantation n'a pas été concluante (note inférieure à 2), on retrouve : *Acaena buchananii*, *Azorella trifurcata*, *Mazus reptans*, *Pratia pedunculata* et *Veronica prostrata*.

Pour *A. trifurcata* et *V. prostrata*, les résultats divergent de ceux obtenus sur la plateforme. Pour la première, cela peut s'expliquer par le fait de son développement relativement lent qui n'a pas permis de concurrencer correctement les adventices qui ont pris le pas sur elle (Figure 7). Pour *V. prostrata*, le développement à lui aussi été très lent et a entraîné sa perte : 11% de recouvrement 6 mois après implantation et 0 % après 1 an.

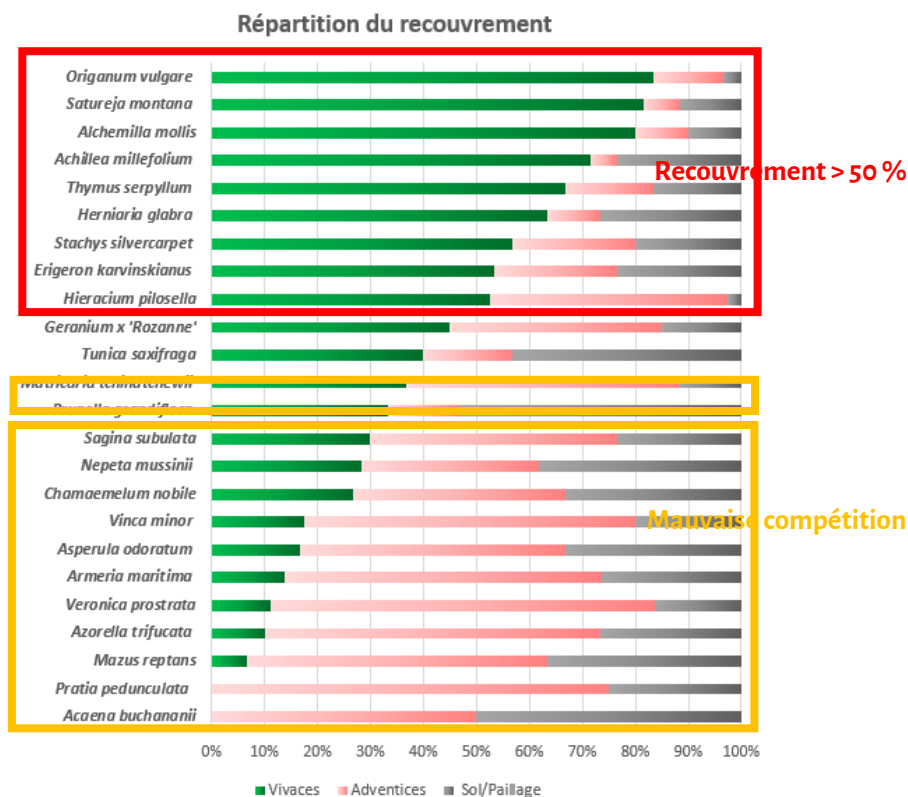


Figure 7: Histogramme représentant la répartition du couvert végétale, des adventices et du sol pour chaque espèce, dans chaque modalité de sol. Encadré en rouge : espèces qui recouvrent 50 % ou plus de la surface totale mesurée.

Ces résultats sont cependant plutôt satisfaisants pour la majorité des espèces. On observe pour 9 d'entre elles un taux de recouvrement supérieur à 50 % de la surface à couvrir en 1 an. On peut également observer que la compétition avec les adventices est efficace pour ces dernières (excepté pour *H. pilosella*).

Pour 12 espèces sur les 24, le ratio vivaces/adventices est en faveur des vivaces. A l'inverse, 12 espèces montrent une compétition mauvaise à très mauvaise (ratio vivaces/adventices < 1), pour ces espèces, les adventices occupent un espace entre 1,2 et 8,5 fois plus important que les vivaces.

Il est important de souligner que les espaces végétalisés pour cet essai **n'ont pas été entretenus** et que ces résultats sont uniquement dus à la **compétition entre espèces**.

L'aspect esthétique a également été suivi ce qui a permis d'obtenir les résultats suivants :

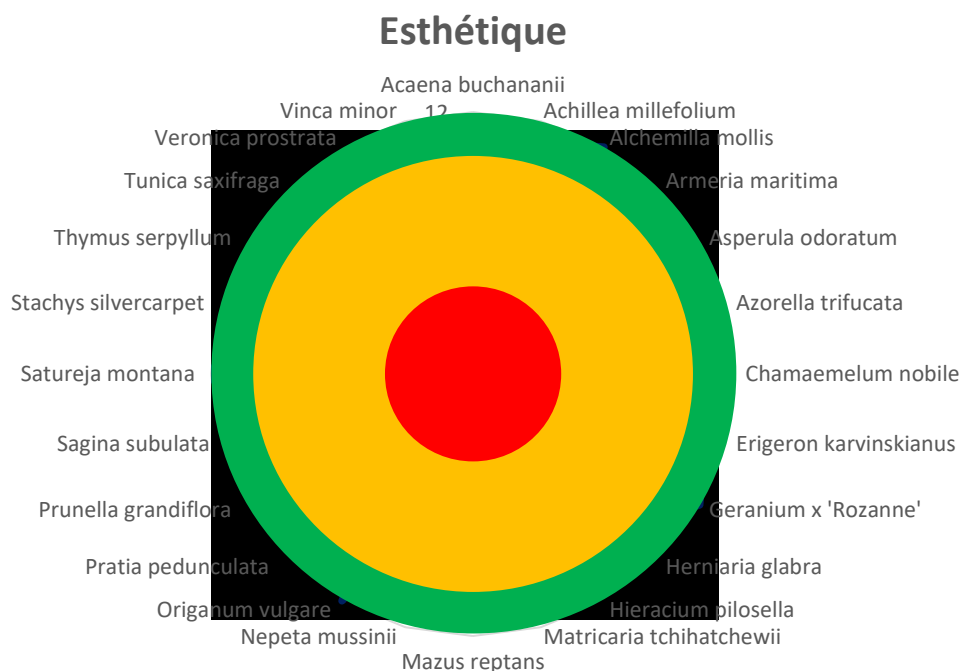


Figure 8 : Graphique représentant l'esthétique de la plante pour chaque espèce après implantation sur le parking. Zone rouge : mauvais. Zone verte : très bon. Zone orange : intermédiaire. Notation du 16/06/2022. Note = somme des 3 répétitions

Les espèces avec une note supérieur à 10 (très bonne qualité esthétique) sont au nombre de 9, parmi lesquelles : **Achillea millefolium**, **Alchemilla mollis**, **Erigeron karvinskianus**, **Geranium x 'Rozanne'**, **Origanum vulgare**, **Sagina subulata**, **Satureja montana**, **Stachys byzantina** et **Thymus serpyllum**. En gras, les espèces qui confirment les résultats obtenus sur la plateforme d'expérimentation.

Ces 9 espèces ont toutes montré une excellente vigueur ce qui en fait de très bons candidats à la végétalisation des espaces contraints, en particulier sur des espaces bétonnés comme les parkings.

Résultats « Pieds d'arbre »

Essai 2

Les résultats présentés ci-dessous sont issus de la dernière notation réalisée le 13 octobre 2021.

Les notes de vigueur et d'esthétique ont été réalisées de la même manière que l'essai sur la plateforme d'expérimentation de Saint-Germain-en-Laye.

Module 1 : *Achillea millefolium* + *Cotula hispida*

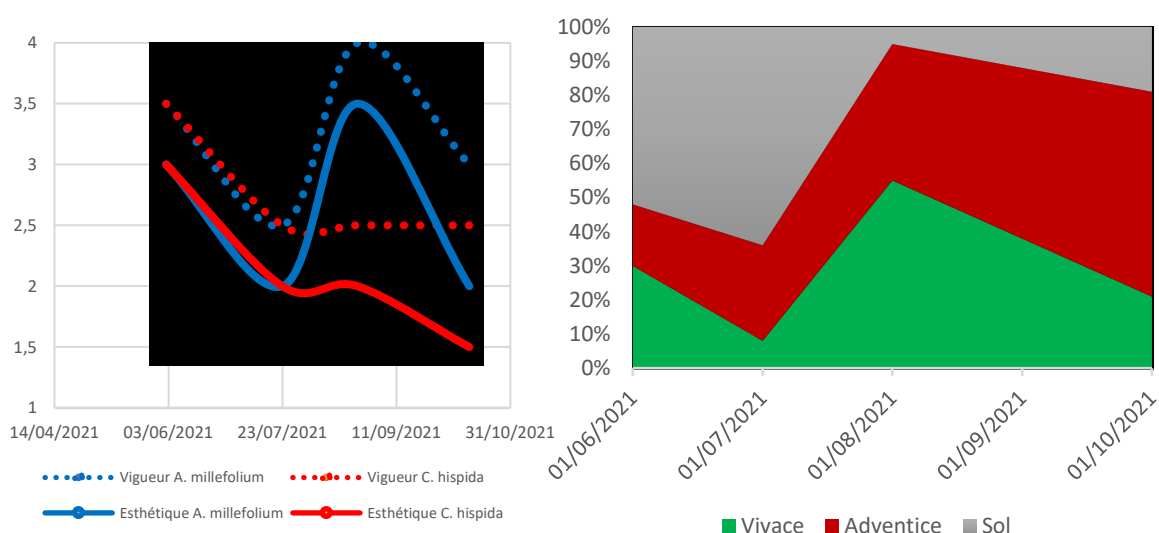


Figure 9 : Evolution de la vigueur et de l'esthétique en fonction du temps (à gauche) et taux de recouvrement en fonction du temps (à droite) pour le module 1 : *A. millefolium* + *C. hispida*.

Module 2 : *Centranthus ruber* + *Thymus serpyllum*

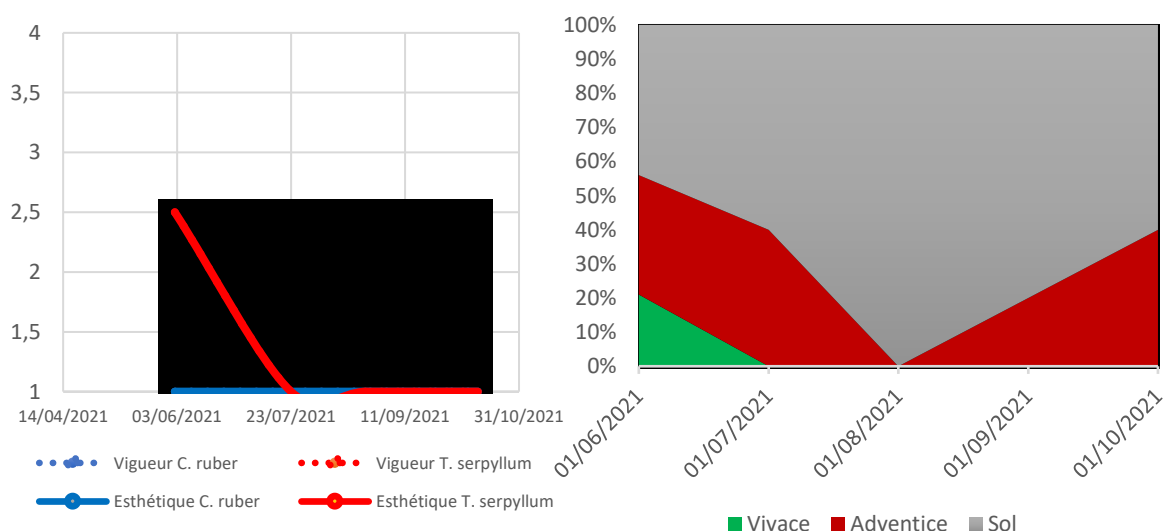


Figure 10 : Evolution de la vigueur et de l'esthétique en fonction du temps (à gauche) et taux de recouvrement en fonction du temps (à droite) pour le module 2 : *C. ruber* + *T. serpyllum*.

Module 3 : *Erigeron karvinskianus* + *Nepeta mussinii*

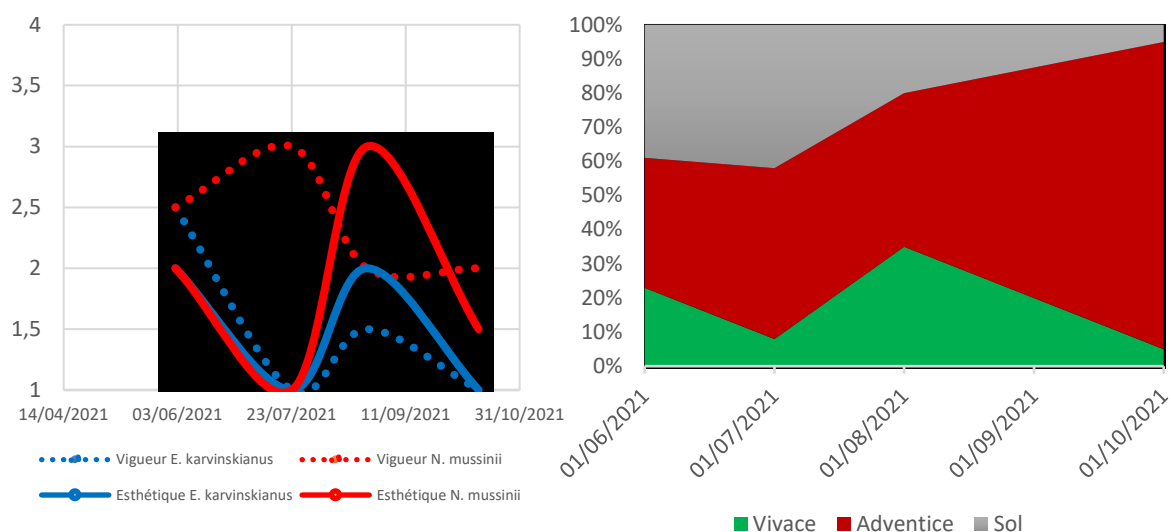


Figure 11 : Evolution de la vigueur et de l'esthétique en fonction du temps (à gauche) et taux de recouvrement en fonction du temps (à droite) pour le module 3 : *E. karvinskianus* + *N. mussinii*.

Module 4 : *Sedum spectabilis* + *Stachys byzantina*

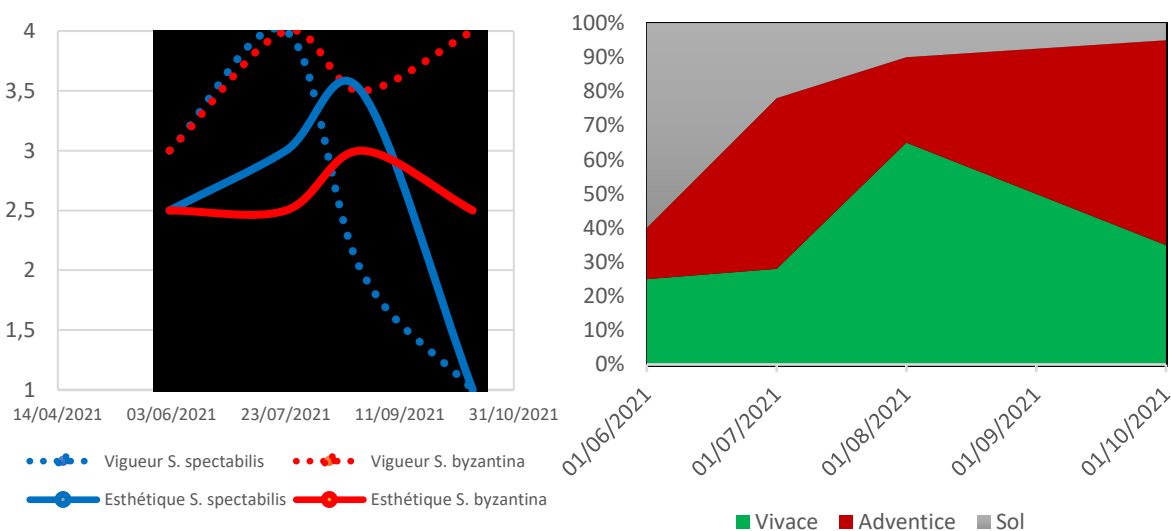


Figure 12 : Evolution de la vigueur et de l'esthétique en fonction du temps (à gauche) et taux de recouvrement en fonction du temps (à droite) pour le module 4 : *S. spectabilis* + *S. byzantina*.

Les résultats observés se trouvent être peu concluants en raison de la pression d'usage exercée sur ces pieds d'arbres. En effet, ces derniers n'ayant pas pu être protégés de la circulation des voitures, des piétons et des canidés, les espèces implantées ont rapidement périclité au profit des adventices. Certaines espèces ont cependant pu, durant les 6 premiers mois d'implantation, se maintenir et croître comme *Achillea millefolium*, *Cotula hispida*, *Nepeta mussinii*, *Stachys byzantina* ou encore *Sedum spectabilis*. Une protection mécanique des pieds d'arbre permettrait d'obtenir une implantation optimale des vivaces et ainsi une couverture plus dense et homogène pour lutter contre les adventices.

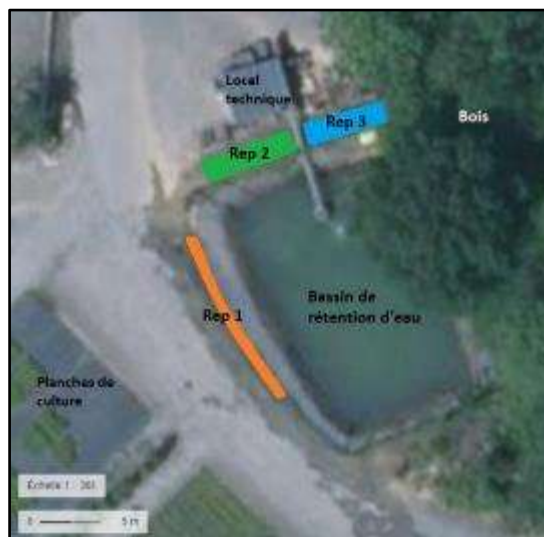
Essai en entreprise n°1

Structure d'accueil :

Jardin Service Végétaux
Route de la Chapelle
50450 Hambye

Les 14 espèces ont été plantées sur talus autour d'un bassin de rétention des eaux, en 3 répétitions :

- Répétition 1 : terre « végétale » Limon ; orientation Est
- Répétition 2 et 3 : « terre-pierre » limon sablo argileux ; orientation Nord



Matériel végétal utilisé

Espèces					
1	<i>Acaena adscendens</i>	6	<i>Herniaria glabra</i>	11	<i>Prunella grandiflora</i>
2	<i>Achillea millefolium</i>	7	<i>Hieracium pilosella</i>	12	<i>Stachys byzantina</i>
3	<i>Chamaemelum nobile</i>	8	<i>Matricaria tchihatchewii</i>	13	<i>Thymus serpyllum</i>
4	<i>Crucianella stylosa</i>	9	<i>Nepeta mussinii</i>	14	<i>Vinca minor</i>
5	<i>Erigeron karvinskianus</i>	10	<i>Origanum vulgare</i>		

Cette expérimentation *in situ* avait pour objectif la **végétalisation des zones non cultivées en entreprise de production**. Pour cela, des vivaces ont été plantées sur talus aux abords d'un bassin de rétention d'eau. Cet emplacement était auparavant géré par désherbage chimique.

Analyses de sol : Les analyses de terre des talus montrent un taux de matière organique très faible et un indice de battance élevé. La proportion élevée de limon élevée et la MO faible sont des facteurs de fragilisation de la structure du sol qui se traduit par une mauvaise circulation de l'air et de l'eau. La RFU quant à elle est correcte. La CEC, le pH et l'azote totale est faible, mais le C/N s'avère satisfaisant.

La plantation des vivaces en godets a été réalisée directement sur talus, sans travail du sol. Les 14 modalités de végétaux ont été choisies d'après les premiers résultats obtenus dans les essais en milieu contrôlé (cf. II.).

Conduite culturale	
VEGETAUX	14 vivaces, godets
FOURNISSEURS	Vivaces de l'Odon et Lepage
DATE DE PLANTATION	15 avril 2021
TYPE DE PLANTATION	Sans travail du sol (trous de plantation)
SUBSTRAT/FERTILISATION	Aucun substrat ou fertilisation ajouté à la plantation
DENSITE	5 plants/m ²
ANTECEDENT PARCELLE	Désherbage chimique
PAILLAGE PARCELLE	Chanvre à la plantation
IRRIGATION	Aucune
ENTRETIEN	Désherbage manuel à la plantation puis en cours de suivi

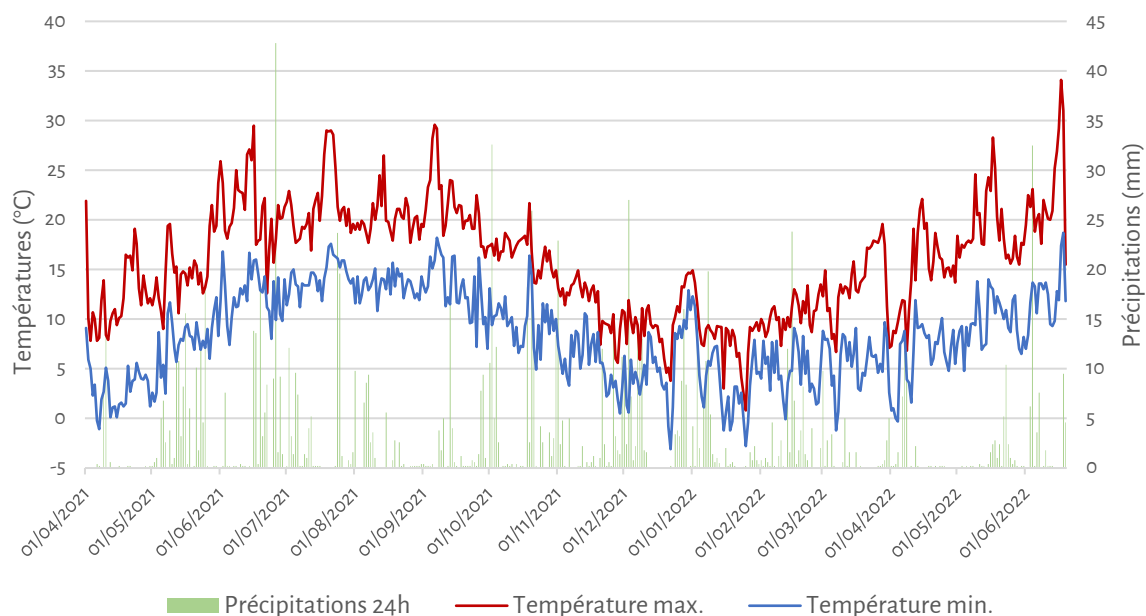


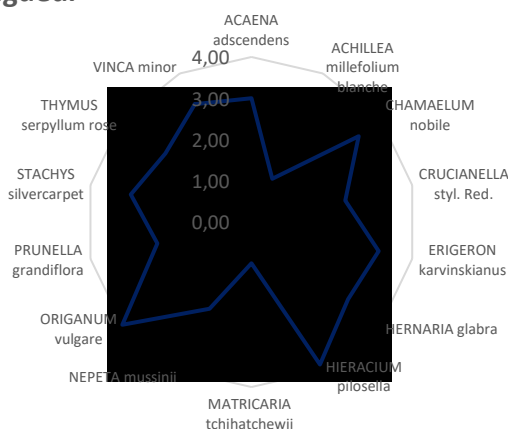
Figure 13 : Relevé climatographique de **Cerisy-la-Salle** (2021-2022).

La pluviométrie a été suffisante pour permettre l'implantation correcte des plantes au printemps 2021, alors que le printemps et l'été 2022 ont été beaucoup plus secs et chauds.

Résultats

Les résultats présentés ci-dessous sont issus de la dernière notation réalisée le 27 juin 2022. Les graphiques représentent les notes de vigueur et d'esthétique qui ont été réalisées de la même manière que l'essai sur la plateforme d'expérimentation de Saint-Germain-en-Laye (moyenne entre les 3 répétitions de parcelles).

Vigueur



Esthétique

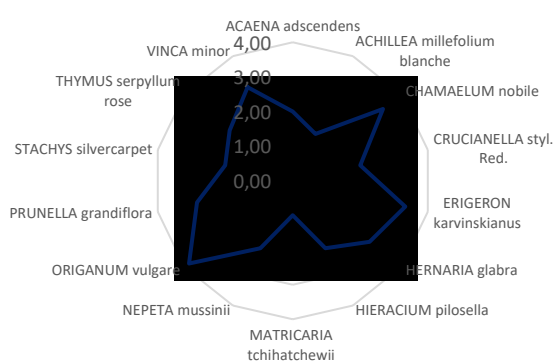


Figure 14 : Graphique représentant la vigueur et la qualité esthétique de chaque espèce. Notation du 27/06/2022.

Les végétaux montrant les meilleures **capacités de reprise** et **aspect esthétique** :



L'évolution du pourcentage de recouvrement du sol par chacun des végétaux a également été suivi tout au long du projet, ainsi que leur capacité à limiter les adventices. Le graphique ci-dessous représente le pourcentage de recouvrement du sol lors de la dernière notation du 27 juin 2022 :

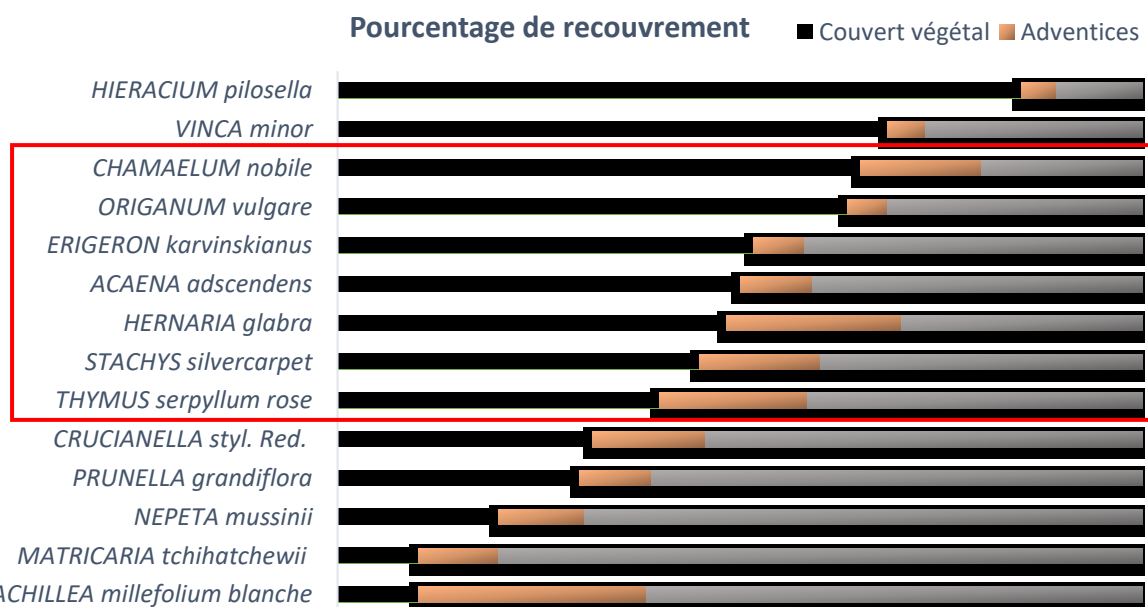


Figure 14 : Graphique représentant le taux de recouvrement de chaque espèce. Notation du 27/06/2022.

On peut retrouver, parmi les végétaux montrant une bonne vigueur et qualité esthétique, également un bon potentiel de couverture du sol et gestion des adventices (en rouge).



Concernant le cas particulier de la piloselle, elle montre une très bonne et rapide couverture du sol. Si au départ elle limite peu les adventices, elle a un effet notable en deuxième année. Cependant, son possible impact envahissant (plante rampante et semis naturel) son implantation ne convient pas à tous les usages.

L'Erigeron de Karvinski, s'il peut également se montrer envahissant dans certaines circonstances par semis naturel, n'a pas posé de problème de ce type dans le cadre de l'essai.

Désherbage manuel : En plus du paillage mis en place à la plantation, un désherbage manuel a été réalisé sur les parcelles après les notations, afin de les débarrasser plus particulièrement des érigréons du Canada, adventices particulièrement favorisé par le désherbage chimique.

Les végétaux qui ont montré les meilleurs résultats dans le cadre du projet, sont de manière générale des vivaces basses qui forment des « coussins », laissant peu de place aux adventices pour s'implanter, contrairement aux plantes rampantes. Les aromatiques qui ont été testés sur les talus se sont implantées convenablement et ont montré des résultats intéressants, contrairement à ce que l'on aurait pu attendre (talus orientation Nord, forte pluviométrie et humidité due à la proximité du bassin).

La floraison, qui peut être très longue pour certaines plantes, améliore la qualité esthétique des solutions de végétalisation dans le cadre de ces essais de vivaces. Il est à noter que le terrain est particulièrement difficile sur ces talus, avec également un sol très dur.

Essai en entreprise n°2

Structure d'accueil :

Pépinière Hardy / La Palmette
Les Landelles
50 590 Regnéville-sur-Mer
Parcelle de Quettreville-sur-Sienne

Culture pleine-terre de poiriers Williams J.
en palmettes U-doubles



Cet essai s'intéresse à l'enherbement volontaire des cultures de pleine-terre. La **recherche de solutions compatibles et non concurrentielles vis à vis des cultures en place** nous a conduit à tester, non plus la plantation de vivaces, mais d'autres solutions adaptées à la zone à couvrir :

- **Inter-rang : semis de mélanges spécifiques** (deux modalités de semis en inter-rang positionnés sur un même rang, en 2 répétitions)
- **Pied d'arbre : implantation de sédums** (deux modalités de sedums sur un même rang, en 4 répétitions)

Les **témoins** admis sont les rangs adjacents, gérés par **désherbage mécanique** par le producteur.

	Modalités	Fournisseurs	Densité	Mise en place
Mélange semis Inter-rang	Mélange spécifique engrais vert vivaces	Nova-Flore	3gr/m ²	29/04/21
	Mélange "vignes fleuries sauvages"	Nova-Flore	2gr/m ²	29/04/21
Végétaux Pieds d'arbres	Sedums "pré-cultivés"	Les jardins d'Agapanthes	2-3 par pied d'arbre	27/05/21
	Sedums Mix tapis	Pépinières Renault	20 cm ² pied d'arbre	29/04/21

Présentation des modalités :

- Mélange spécifique - Engrais vert vivaces :** Le mélange, de faible hauteur, permet « aération du sol, facilité de destruction, forte restitution d'azote, intérêt pour les insectes pollinisateurs et les auxiliaires ; favorise le développement de l'activité du sol par une forte intégration de biomasse ». Les 8 espèces qui le composent, ont été choisis spécifiquement pour les besoins de l'essai, inter-rang de pépinière pleine-terre.
- Mélange Vignes fleuries sauvages** - mélange pluri-annuel utilisé en inter-rang de vigne : « Association de légumineuses et de fleurs sauvages, répond aux objectifs d'amélioration de la biodiversité. »
 Gestion : pluri-annuelle (2-3 ans) / Diversité : 12 espèces dont 8 sauvages / Hauteur moyenne : 50 cm
 Floraison : estivale ou printanière / Entretien : faucher à 10-15 cm du sol en fin de floraison
- Sedums « pré-cultivés » :** En production locale, les jardins d'Agapanthes (Saint Jean de la Haize – 50) proposent des sédums : « plantes vivaces très résistantes qui s'adaptent à toutes sortes d'utilisations et plus particulièrement pour les toitures végétalisées. Leur culture est facile, demande peu d'entretien et ils sont résistants à la sécheresse. » Les 'pré-cultivés' sont des sortes de petites mottes prêtes à être implantées dans le substrat des toitures végétales. Les variétés proposées en mélange sont couvrantes.
- Sédums en « tapis » :** « Les tapis sont rapides à installer, pour végétaliser les toitures ou les espaces difficiles à planter ou à entretenir. Ils sont composés d'un mélange de sédums dont les fleurs s'épanouissent durant le printemps/été. La hauteur de végétation ne dépasse pas les 15 cm de haut. » Dans le cadre de l'essai, le tapis a été découpé en carrés de 20x20cm afin d'être installé à chaque pied d'arbre.

Composition des mélanges		
Mélange spécifique engrais vert vivaces	<i>Fagopyrum esculentum</i>	Sarrasin commun
	<i>Lotus corniculatus</i>	Lotier corniculé
	<i>Medicago sativa</i>	Luzerne cultivée
	<i>Phacelia tanacetifolia</i>	Phacélie à feuille de tanaïs
	<i>Trifolium incarnatum</i>	Trèfle incarnat
	<i>Trifolium pratense</i>	Trèfle des prés (t. violet)
	<i>Trifolium repens</i>	Trèfle rampant (t. blanc)
	<i>Vicia sativa</i>	Vesce cultivée
Mélange Vignes fleuries sauvages	<i>Achillea millefolium</i>	Achillée millefeuille
	<i>Anthemis tinctoria</i>	Anthémis des teinturiers
	<i>Bellis perennis</i>	Pâquerette vivace
	<i>Linum perenne</i>	Lin vivace
	<i>Lotus corniculatus</i>	Lotier corniculé
	<i>Prunella vulgaris</i>	Brunelle commune
Mélange de sédums	Espèces à port rampant <i>Sedum album</i> 'Minor', <i>album</i> 'Murale', <i>lydium</i> 'Glaucum', <i>sedum spurium</i> , <i>sexangulaire</i> , <i>sedum acre</i> ...	

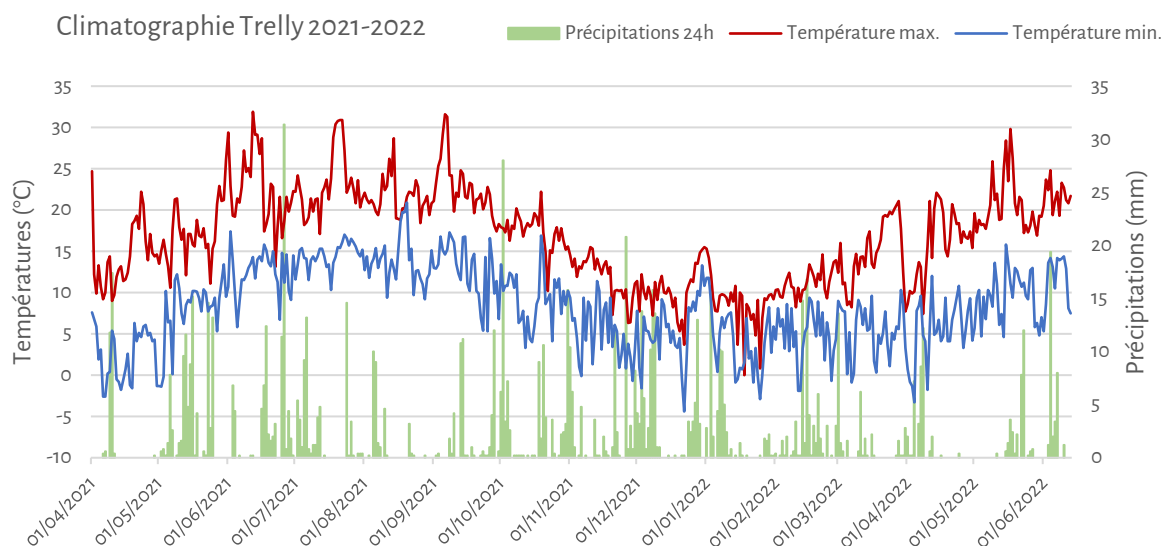


Figure 13 : Relevé climatographique de Treilly (2021-2022).

Résultats

➤ Végétalisation des inter-rangs de culture pleine-terre

Les mélanges fleuris ont été semés en inter-rang, après un faux semis, à la fin du mois d'avril 2021. Ils ont été choisis pour leur hauteur peu contraignante, leur floraison, la couverture du sol et la présence de légumineuse qui limite leur aspect concurrentiel. Des modalités prévues à base de trèfles nain ou de micro-trèfle n'ont pas pu être installées pour cause de difficultés d'approvisionnement en semences début 2021.



Mélange **vignes fleuries sauvages**



Mélange spécifique **engrais vert vivaces**

Les graphiques ci-dessous montrent l'évolution de la couverture du sol dans le temps par les mélanges fleuris et par les adventices, dans les différentes modalités.

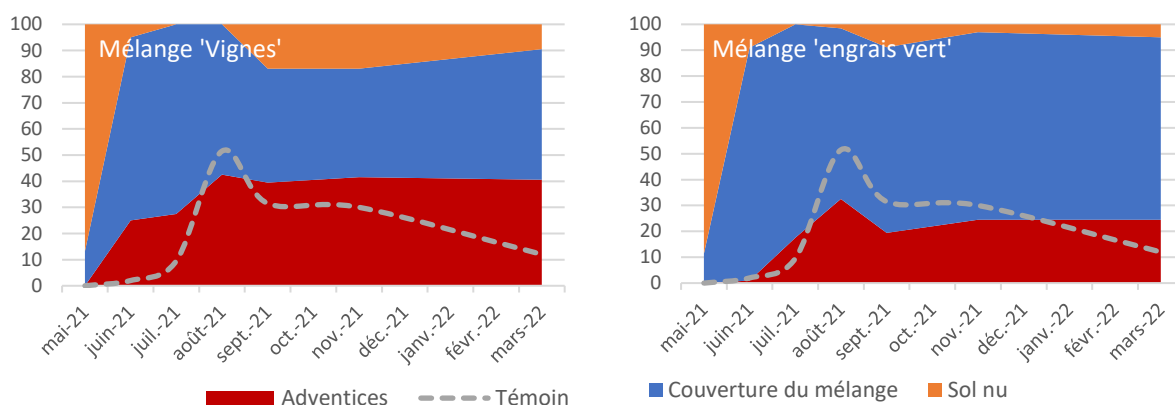


Figure 14 : Graphique représentant la variation dans le temps du couvert végétal. En bleu : mélange fleuri ; en rouge : les adventices, en orange : le sol nu. Estimation faite pour une surface d'1 m².

Le témoin est géré par désherbage mécanique, tout au long du printemps et de l'été. L'augmentation du taux d'adventices durant l'été est dû à la présence principalement de mouton sur cette parcelle.

Pour **les deux mélanges fleuris**, l'implantation s'est très bien faite au printemps 2021. Cependant par la suite, les adventices atteignent une surface élevée, surtout pour le mélange 'vigne'. Ceci est dû à la présence forte de rumex sur l'inter-rang, qui prend vite une surface importante, alors qu'il est facilement géré avec le travail mécanique. Les mélanges ont été abandonnés en mars 2022 à cause de cette trop forte présence de rumex.

Le coût pour les engrais verts est de 5€ pour les 100 m² que représente 1 inter-rang dans cet essai. On le sème habituellement sur toute la surface, en inter-culture. Le mélange pour vigne revient à 10€ pour les 100 m², et il est habituellement implanté 1 rang sur 2 dans les cultures de vignes.

➤ Végétalisation des pieds d'arbres en culture de pleine-terre

Les sédums en pieds d'arbres ont été implantés au printemps 2021 : fin avril pour les tapis et un mois plus tard (cause délai livraison) pour les pré-cultivés. D'autres modalités envisagées (fragments ou collerettes fait-maison) n'ont pas pu être réalisées faute de végétaux disponibles. Le rang de culture peut être géré par désherbage mécanique, seuls les pieds d'arbres ne sont pas touchés.



Végétalisation pieds d'arbres en pépinière fruitière de pleine-terre **tapis de sedums** et sedums **pré-cultivés** : printemps et été

La couverture de sol est la plus rapide avec les morceaux de tapis de sédums, puisque l'ensemble du pourtour de l'arbre est recouvert dès la mise en place. La couverture du sol devient cependant identique dès la deuxième année avec les pré-cultivés (90-95%).

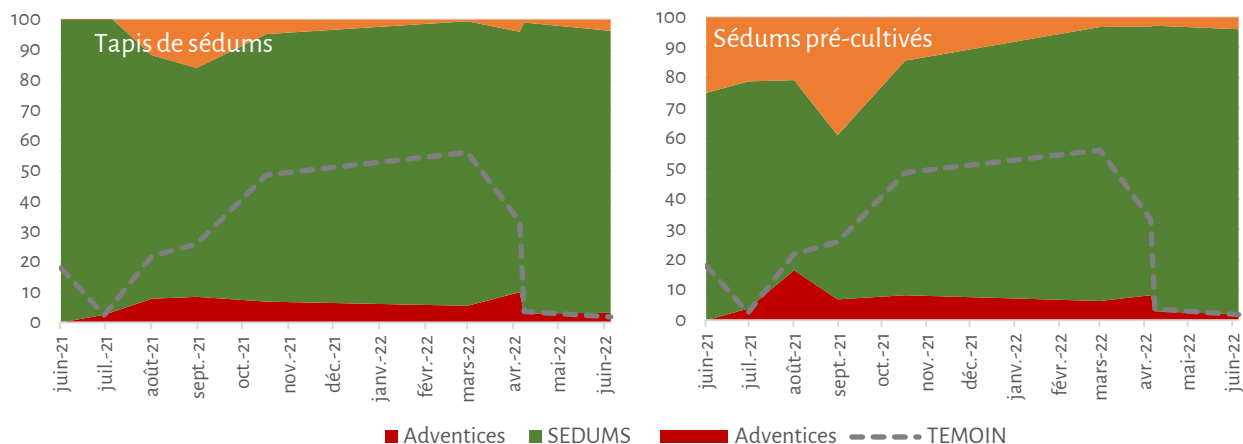


Figure 15 : Graphique représentant la variation dans le temps du couvert végétal. En vert : la plante d'intérêt ; en rouge : les adventices, en orange : le sol nu. Estimation faite pour une surface d'1 m².

Les sédums au pied des arbres permettent de couvrir le sol de manière importante et durable sur l'année, et de limiter l'implantation des adventices sur cette zone d'entretien difficile, en comparaison avec le témoin.

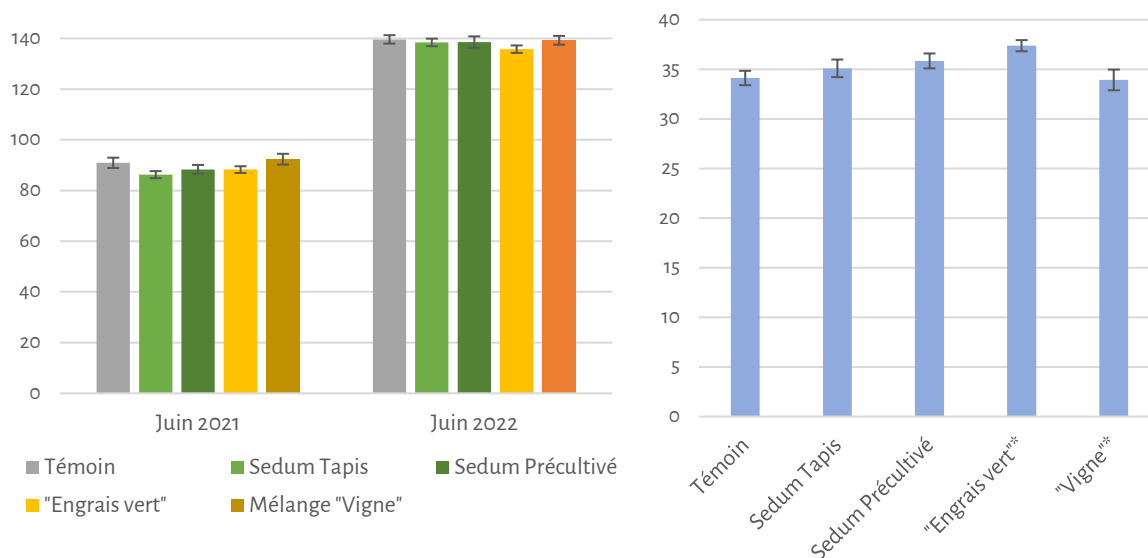


Figure 16 : Histogramme représentant la hauteur des arbres en fonction du couvert végétal (en cm), à gauche, et le taux de chlorophylle des arbres en fonction du couvert végétal (obtenue via une pince SPAD), à droite.

L'implantation de solutions de végétalisation n'a pas eu d'impact significatif sur la croissance des plantes (attention les semis engrais vert et mélange vigne ont été abandonnés en mars 2022). Il n'y pas eu de concurrence visible de la végétalisation sur l'année de suivi de la culture.

Si ce type de solution montre des résultats très intéressants pour les pieds d'arbre, elle se destine à des cultures à forte valeur ajoutée ou aux collectivités en raison de son coût important (140€HT tapis à 190€HT pré-cultivés pour les 100 plants du rang de l'essai). La production en interne par les entreprises de production

de ces solutions peut être envisagé, les fragments de sédums semés sur substrat s'implantent facilement en émettant des racines pour se développer et coloniser la surface.

IV. Test d'allélopathie

Introduction

Définition de l'allélopathie

C'est l'ensemble des interactions biochimiques réalisées par les plantes entre elles ou avec des microorganismes.

Ce sont à la fois des interactions négatives (compétition des ressources et mécanismes de défense) mais aussi des interactions positives (phénomène de coopération ou stimulation avec les microorganismes). Ces interactions se font par l'intermédiaire de composés dits allélochimiques. Ceux-ci sont libérés par la plante dans son milieu. Ces composés sont des métabolites secondaires et appartiennent à des familles biochimiques très variées. Ils sont libérés de différentes façons comme par les voies racinaires (exsudation), par voies aériennes (lixiviation, volatilisation) ou par décomposition des résidus de plante morte.

Les plantes testées dans ces essais sont celles qui ont été recensées dans la bibliographie comme ayant été suspectées d'avoir un effet allélopathique (cf : annexe I – Etude bibliographique)

Lieu de l'expérimentation :

Serre d'expérimentation de ASTREDHOR Seine-Manche

76130 Mont-Saint-Aignan

Objectifs :

Mettre en place un protocole pour évaluer la capacité des plantes à lutter, via des interactions biochimiques, contre les adventices.

Conception du test n°1

- Plantation en croix des plantes couvre-sol étudiées
- Laisser les plantes se développer pendant 4 à 6 semaines pour que les métabolites issus des exsudats et de la lixiviation se concentrent dans le substrat
- Eliminer les parties aériennes pour ne pas impacter la germination des adventices
- Semer 100 graines d'adventice entre les plants
- Dénombrer 10 à 15 jours après le semis



Test en terrine (2019-20)

Résultats :

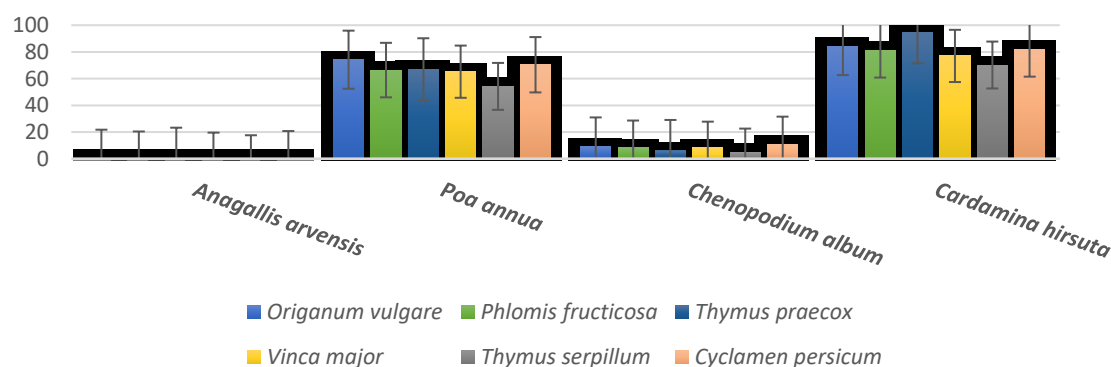


Figure 17 : Histogramme représentant la quantité de graines d'adventices germées en fonction de la vivace implantée.

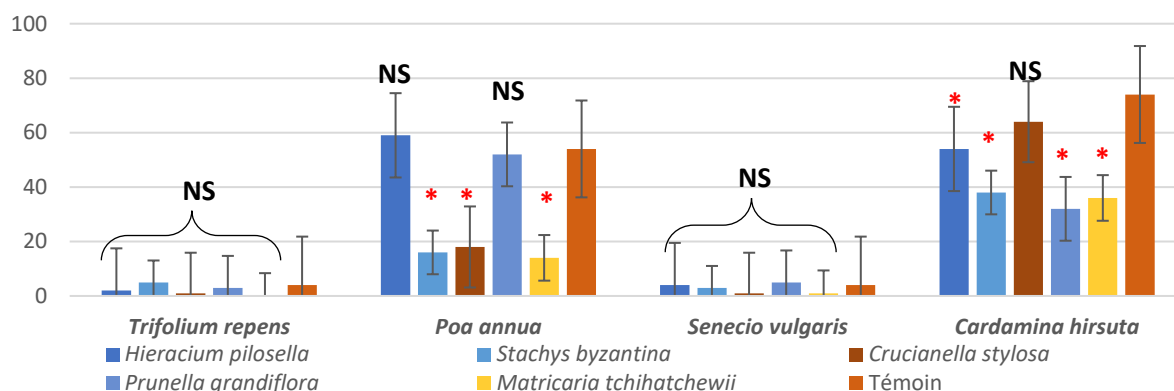


Figure 18 : Histogramme représentant la quantité de graines d'adventices germées en fonction de la vivace implantée. Essai 2019. Test khi² au seuil de 5%.

Les taux de germination obtenus en 2019 (Figure 17) ne mettent pas en lumière un potentiel effet allélopathique des plantes testées, ni par leurs exsudats racinaires, ni par lixiviation. Ces dernières ont pourtant été citées dans la littérature comme suspectées d'avoir une action sur la germination des adventices.

En revanche, en 2020 (Figure 18) on observe des effets visibles sur 2 espèces d'adventice : *Poa annua* et *Cardamina hirsuta*. Ces effets montrent une diminution significative, en comparaison du témoin, de leur taux de germination en présence de *Stachys byzantina*, *Crucianella stylosa* et *Matricaria tchihatchewii*, pour cette première; et en présence de *Hieracium pilosella*, *Stachys byzantina*, *Prunella grandiflora* et *Matricaria tchihatchewii*, pour la seconde.

Conception du test n°2

Prélever les parties aériennes des plantes testées

- Les découper en tronçons grossiers
- Mélanger à un volume de défini de substrat
- Laisser la décomposition se faire pendant 6 à 8 semaines pour libérer les métabolites
- Déposer le mélange décomposé dans un récipient (ici boîte de Pétri)
- Semer 100 graines d'adventices
- Dénombrer 10 à 15 jours après le semis



Test sur matière décomposée (2019-20)

Résultats :

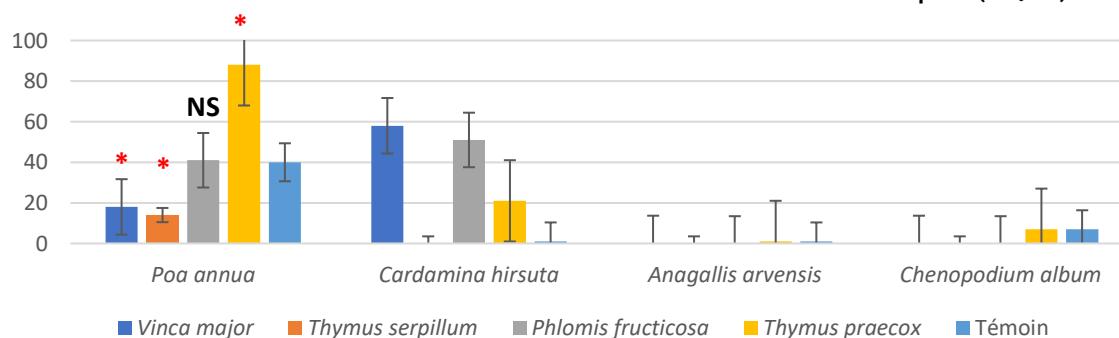


Figure 19 : Histogramme représentant la quantité de graines d'adventices germées en fonction de la vivace décomposée. Essai 2019. Test khi² au seuil de 5%.

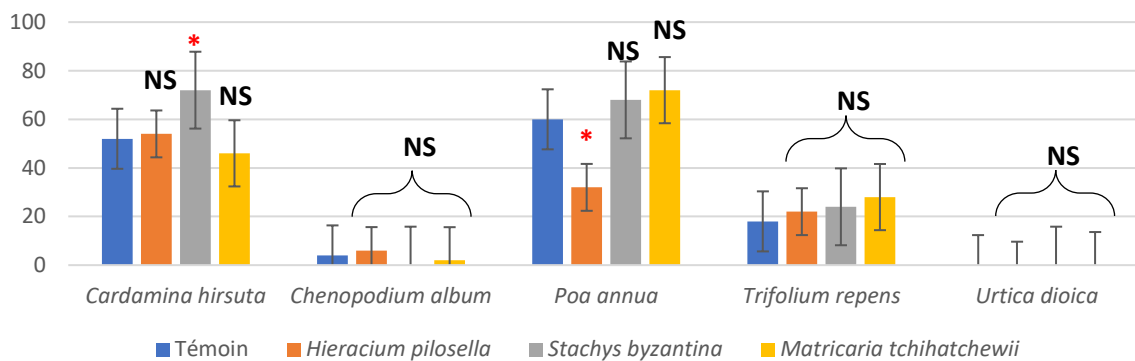


Figure 20 : Histogramme représentant la quantité de graines d'adventices germées en fonction de la vivace décomposée. Essai 2020. Test χ^2 au seuil de 5%.

Parmi les résultats obtenus pour l'essai de 2019 (Figure 19), on relève des différences significatives sur la germination de *Poa annua* lorsque le semis a lieu sur un substrat mélangé avec des débris végétaux de *Vinca minor* et de *Thymus serpyllum* (baisse de la germination) et de *Stachys byzantina* (amélioration de la germination). Cependant l'interprétation du reste des résultats est biaisée par le témoin qui ne montre pas de germination.

Pour 2020, les tests statistiques permettent de valider les observations effectuées (Figure 20). *Cardamina hirsuta* semble être stimulée par la décomposition de *Stachys byzantina* ; quant à la germination de *Poa annua*, elle semble être, au contraire, inhibée par la décomposition de *Hieracium pilosella*.

Conception du test n°3

- Planter les vivaces en 2 lignes
- Laisser les plantes se développer pendant 4 à 6 semaines pour que les métabolites issus des exsudats et de la lixiviation se concentrent dans le substrat
- Éliminer les parties aériennes pour ne pas impacter la germination des adventices
- Planter plusieurs espèces d'adventices autour des lignes de vivaces (cf. schéma ci-contre). Entre 10 et 25 mg de graine selon les espèces.
- Dénombrer la quantité d'adventice 10 à 15 jours après semis



Test en terrine 2nde version (2022)

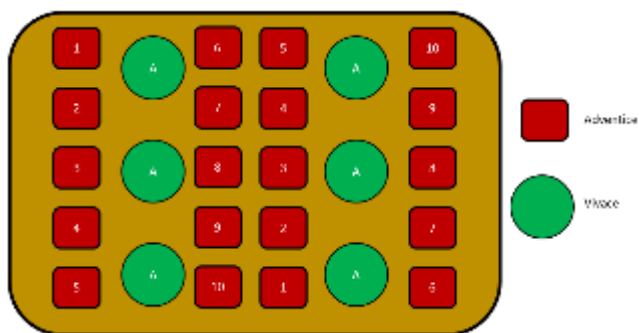


Figure 21 : Schéma du dispositif d'expérimentation. Une terrine = confrontation 1 vivace

Résultats :

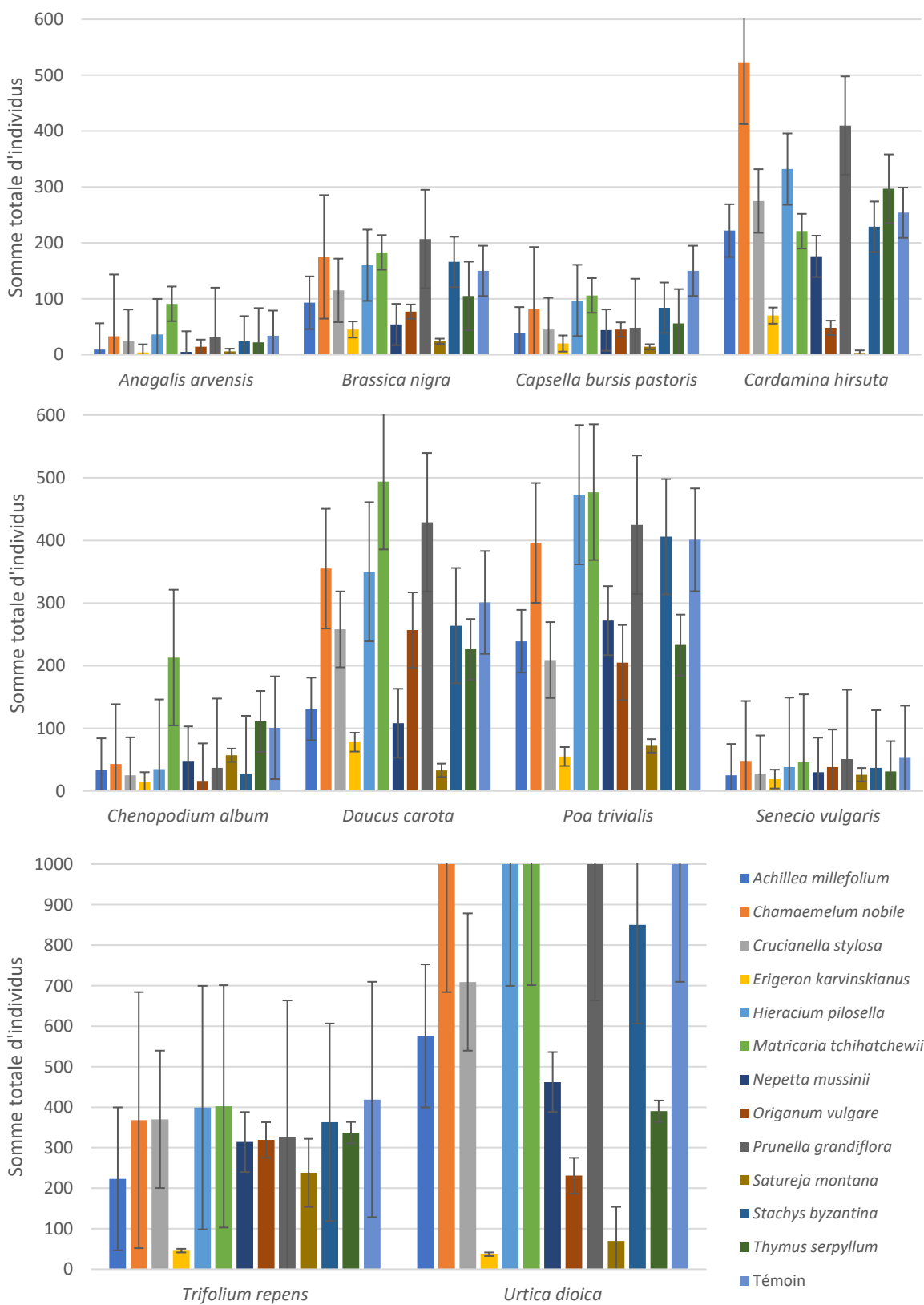


Figure 22 : Histogramme représentant la quantité de graines d'adventices germées en fonction de la vivace implantées. Essai 2022.

Confrontation Vivaces / Adventices		Adventices									
		<i>Anagalis arvensis</i>	<i>Brassica nigra</i>	<i>Capsella bursis pastoris</i>	<i>Cardamina hirsuta</i>	<i>Chenopodium album</i>	<i>Daucus carota</i>	<i>Poa trivialis</i>	<i>Senecio vulgaris</i>	<i>Trifolium repens</i>	<i>Urtica dioica</i>
Vivaces	<i>Achillea millefolium</i>	↓	↓	↓	O	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	<i>Chamaemelum nobile</i>	O	O	↓	↑	↓	O	O	O	O	O
	<i>Crucianella stylosa</i>	O	O	↓	O	↓	O	↓	↓	O	↓
	<i>Erigeron karvinskianus</i>	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	<i>Hieracium pilosella</i>	O	O	↓	↑	O	O	↑	O	O	O
	<i>Matricaria tchihatchewii</i>	↑	O	↓	O	↑	↑	↑	O	O	O
	<i>Nepeta mussinii</i>	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	<i>Origanum vulgare</i>	↓	↓	↓	↓	↓	O	↓	O	↓	↓
	<i>Prunella grandiflora</i>	O	↑	↓	↑	↓	↑	O	O	↓	O
	<i>Satureja montana</i>	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	<i>Stachys byzantina</i>	O	O	↓	O	↓	O	O	O	O	↓
	<i>Thymus serpyllum</i>	O	↓	↓	O	O	↓	↓	O	↓	↓

Figure 23 : Synthèse des résultats 2022. Une flèche = résultat significatif. Test du χ^2 au seuil alpha de 1 %.

Les résultats de ces derniers tests sont davantage concluants que les précédents. Parmi les 12 vivaces testées lors de cet essai, 3 d'entre elle montre des effets significatifs en faveur d'une inhibition de la germination pour l'ensemble des adventices : *Erigeron karvinskianus*, *Nepeta mussinii* et *Satureja montana*. Les adventices semés en présence d'*Achillea millefolium* ont pour l'ensemble diminué comparé au témoin sauf pour l'espèce adventice *Anagalis arvensis*.

Les vivaces testées ont dans l'ensemble montré des résultats en faveur d'une compétition avec les adventices, limitant significativement leur germination.

On observe aussi des résultats inverses, où la germination des adventices est significativement supérieure lorsqu'elles sont semées avec certaines vivaces. C'est le cas pour : *C. nobile*, *H. pilosella*, *P. grandiflora* et notamment *M. tchihatchewii*.

Conclusion

Il est possible de mettre en évidence une interaction entre la germination de plantes adventices et certaines vivaces. Celles qui ont été testées ici sont celles qui ont été recensées dans la bibliographie comme ayant été suspectées d'avoir un effet allélopathique. Les résultats obtenus, notamment lors de l'essai de 2022, permettent d'abonder en ce sens. Parmi ces plantes dites 'allélopathiques' on retrouve principalement des plantes aromatiques (sarriette, thym, origan, par exemple).

Ces tests en terrine permettent de valider qu'il existe une action exercée par ces vivaces via des mécanismes non déterminés pour le moment. Soit une action des racines qui libèrent des molécules allélopathiques dans le substrat, soit des parties aériennes via la lixiviation, soit les deux. Les parties aériennes ayant été supprimées, toutes compétitions pour la lumière est exclue.

Des essais complémentaires sont nécessaires pour déterminer la provenance de l'inhibition de la germination ainsi que son spectre d'action (spécifique à une espèce, à une famille, autres).

V. Conclusion et perspectives

A travers notre plateforme d'expérimentation, une gamme de vivace a été testée afin d'évaluer la capacité d'adaptation de chacune à des milieux contraints (technosols) mais aussi leur qualité esthétique pour un usage en conception paysagère. Il en ressort que près de **75 %** des espèces étudiées semblent avoir la capacité de s'implanter sur des milieux difficiles, ces milieux étant principalement les zones bétonnées en ville et les pieds d'arbres. Leur capacité de recouvrement est aussi l'un des points essentiels de cette étude. L'idée étant de proposer une liste d'espèces capables de croître rapidement et recouvrir les sols afin de limiter la propagation des adventices.

Parmi les 24 espèces étudiées sur notre plateforme, certaines ressortent particulièrement et répondent aux 3 critères essentiels :

- ***Achillea millefolium***, ici c'est une variété horticoles qui a été testée, elle se propage rapidement et son esthétique, proche des variétés sauvages, apporte un côté naturel à des conceptions paysagères. Elle nécessite un entretien, surtout en fin d'été, car le dessèchement des parties aériennes nuit au rendu visuel. Son port buissonnant peut rendre cette plante envahissante lorsque les parties aériennes sont rabattues par le piétinement ou par le vent. Il a cependant été observé que cette espèce n'a pas résisté au 1^{er} hiver sur l'un des essais en entreprise.
- ***Armeria maritima***, une vivace qui est très esthétique et vigoureuse en milieu contraint mais se développe lentement. A envisager en association avec un couvre-sol rasant.
- ***Asperula odoratum***, une plante couvre-sol qui se propage rapidement et qui ne dépasse pas les 40 cm de hauteur. Ses fleurs blanches lui assurent une qualité esthétique intéressante. Cependant, bien que non gélive, en sortie d'hiver la plante peut présenter des pertes ponctuelles dû au froid, lui faisant perdre son homogénéité.
- ***Azorella trifurcata***, un couvre-sol très compact et rigide qui pourrait s'adapter aux pieds d'arbre en ville et limiter la pression d'usage due aux canidés. Le recouvrement est assez lent, une plantation dense est recommandée.
- ***Erigeron karvinskianus***, cette espèce coche tous les critères nécessaires à la végétalisation des espaces contraints. Vigoureuse, esthétique, avec une floraison abondante et longue, et couvrante, elle est capable de s'adapter à un contexte urbain.
- ***Matricaria tchihatchewii***, une plante couvre-sol rasante et couvrante, idéale pour recouvrir une vaste zone. Dans notre essai, 5 plantes permettent de couvrir une surface d'1 m² en un peu plus d'un an. Les adventices capables de se développer au sein de ce tapis sont restreintes et la floraison blanche au printemps apporte une plus-value esthétique non négligeable. L'essai en entreprise n'a cependant pas été concluant, les individus n'ont pas réussi à s'implanter convenablement. Les résultats sont donc à nuancer.
- ***Nepeta mussinii***, une vivace qui se développe très correctement en milieu contraint et qui apporte une floraison abondante. Sa croissance est rapide et permet de couvrir une surface d'1 m² en moins de deux ans, imposant une concurrence importante face aux adventices.
- ***Origanum vulgare***, à l'instar de l'achillée, l'origan a une croissance et un taux de recouvrement important lui permettant de recouvrir 1 m² en un an. Cependant, c'est une espèce qui devient vite envahissante si une taille n'est pas effectuée régulièrement. La plante se ressème chaque année et la densité peut devenir contraignante. Quand elle devient trop haute, elle peut envahir des espaces tels que la voie publique en cas d'implantation en collectivité.
- ***Satureja montana***, une plante aromatique qui a démontré les meilleures capacités pour une végétalisation des espaces contraints. A la fois très couvrante et esthétique, son port buissonnant ne dépasse pas les 40 cm de hauteur ce qui lui permet de ne pas être envahissant.

- ***Stachys byzantina***, une vivace résistante avec une croissance relativement homogène. Ses qualités esthétiques sont variables selon la période de l'année. Elle nécessite un léger entretien, en éliminant en sortie d'hiver les feuilles sénescentes, pour maintenir l'aspect visuel correcte tout au long de l'année.
- ***Thymus serpyllum***, une plante aromatique très couvrante relativement rasante. Elle a une capacité de couverture très importante qui lui permet de se propager rapidement. Il n'y a pas d'entretien particulier à effectuer les premières années.
- ***Tunica saxifraga***, l'esthétique de cette espèce est sa caractéristique dominante, elle a un potentiel de couverture plus faible que les précédentes mais une très bonne vigueur en milieu contraint.

Les essais *in situ* réalisées en collectivité et en entreprise permettent de valider, en partie, ces premières observations. On a pu observer dans l'essai en collectivité que *A. maritima* ne réagissait pas correctement après l'implantation. Elle présentait un jaunissement au niveau des feuilles. Pour *A. trifurcata*, c'est la croissance qui a été trop lente et les adventices ont pris le pas sur cette dernière. Ces exemples n'étant pas exhaustifs.

En ZNC de l'entreprise de production, les espèces plantées sur talus qui ont le mieux fonctionné sont les aromatiques *Thymus serpyllum* et *Origanum vulgare*, qui du fait de leur port très différent peuvent être associés. Dans l'ensemble, les vivaces basses qui forment des « coussins » sont les plus efficaces pour limiter le développement des adventices (*E. karvinskianus*, *C. nobile*). Ces quatre espèces se montrent également esthétiques et très florifères.

Pour la pépinière pleine-terre, le choix se porte sur des végétaux non concurrentiels pour la culture, et ne nécessitant pas de plantation. Dans ce projet ont été testés des mélanges de semis fleurs/légumineuses en inter-rang et des sédums au pied des arbres, couplés à un désherbage mécanique du rang de plantation.

L'autre intérêt de certaines de ces vivaces est leur potentiel pouvoir allélopathique pour limiter la germination et le développement des adventices. En plus de lutter via une compétition spatiale et nutritionnelle, elle va permettre d'inhiber la germination via divers processus biochimiques. Cette capacité de lutte a été testée en suivant plusieurs protocoles, l'idée étant dans ce projet, d'arriver à une méthodologie correcte pour tester l'allélopathie.

Parmi les différentes méthodologies, la dernière testée, en 2022, semble être la plus intéressante. On peut observer une grande significativité des résultats. Les 4 espèces qui se démarquent font aussi partie des espèces répondant aux critères de « bonne végétalisation », parmi celles-ci : *A. millefolium*, *E. karvinskianus*, *N. mussinii* et *S. montana*.

La technique de végétalisation des espaces contraints est une alternative viable en réponse à l'interdiction des produits phytosanitaires. Les premières espèces évaluées confirment le potentiel de cette solution. Il est encore nécessaire d'élargir la gamme de plante en procédant à des essais complémentaires.