



HAL
open science

Évaluation des méthodes alternatives d'entretien et de lutte contre les ravageurs dans les espaces végétalisés : les cas du désherbage et de la sauvegarde du buis

Adeline Kohler

► **To cite this version:**

Adeline Kohler. Évaluation des méthodes alternatives d'entretien et de lutte contre les ravageurs dans les espaces végétalisés : les cas du désherbage et de la sauvegarde du buis. Sciences du Vivant [q-bio]. 2019. dumas-02376667

HAL Id: dumas-02376667

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02376667>

Submitted on 22 Nov 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

AGROCAMPUS OUEST

CFR Angers CFR Rennes

Année universitaire : 2018 - 2019 Spécialité/Mention : Paysage Spécialisation/Parcours : Paysage : Opérationnalité et Projet	Mémoire de fin d'études <input checked="" type="checkbox"/> d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage <input type="checkbox"/> de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage <input type="checkbox"/> d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)
--	--

Evaluation des méthodes alternatives d'entretien et de lutte contre les ravageurs dans les espaces végétalisés : les cas du désherbage et de la sauvegarde du buis.

Par : Adeline KOHLER



Soutenu à ANGERS le 12/09/2019

Devant le jury composé de :

Président : Adeline BULOT

Maître de stage : Xavier GENY

Enseignant référent : Vincent BOUVIER

Autres membres du jury (Nom, Qualité)

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation «Patrimoine-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0 France»
 disponible en ligne <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>



Remerciements

Je remercie toute l'équipe d'ID VERDE Agence d'Angers de m'avoir accueillie au sien de leur entreprise et de m'avoir offert une expérience professionnelle riche, m'a fait découvrir de nouveaux aspects du travail en entreprise de paysage forts intéressant, m'a permis d'apprendre et de me développer à mon rythme et m'avoir fait confiance sur tous les travaux que l'on m'avait confié. Ce fut une bonne expérience, avec une équipe soudée et chaleureuse qui a su tout de suite me mettre en confiance.

Je remercie plus particulièrement Dorothée, ma tutrice de stage, et Audrey, ma collègue, pour leur suivi et leur soutien qui m'a été d'une aide précieuse pendant toute la durée de mon stage.

Je remercie Vincent Bouvier pour son suivi et ses conseils et remarques avisés faites lors de l'élaboration de ce mémoire.

Je remercie enfin ma famille et mes amis qui m'ont soutenu tout au long de ma formation.

Table des matières

Introduction :	1
I. Evolution des techniques de lutte contre les ravageurs en France depuis le XIXe jusqu'à nos jours.....	2
1. Les moyens de lutte du XIXe siècle jusqu'à la seconde guerre mondiale.....	2
2. La révolution chimique du milieu du XXe siècle	4
3. Le recours aux méthodes alternatives dans un souci du respect de l'environnement	6
II. Evaluation des méthodes alternatives à travers deux exemples : le désherbage et la protection du buis	8
1. Le désherbage, un secteur qui connaît déjà de nombreuses méthodes alternatives.	8
2. La protection du buis, un sujet avec des enjeux patrimoniaux importants	22
III. Les limites et les perspectives des méthodes d'entretien des espaces verts.	35
1. Les méthodes d'entretien ont tout de même leurs limites.....	35
2. Comment seront donc entretenus les espaces verts de demain ?	36
Conclusion.....	39
Bibliographie	40
Sitographie	41

Glossaire et liste des abréviations

C. buxicola : *Cylindrocladium buxicola*, champignon ravageur du buis

C. perspectalis : *Cydalima perspectalis*, ou pyrale du buis, papillon ravageur du buis

PPP : Produits PhytoPharmaceutiques, ou pesticides.

Btk : *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*, bactérie permettant de lutter contre la pyrale du buis

Liste des illustrations

Figure 1 - <i>Icerya purchasi</i> , une cochenille australienne importée aux Etats-Unis et qui s'attaque aux vergers d'agrumes prédaté par <i>Rodolia cardinalis</i> une coccinelle australienne (Internet Archive Book Images - 1911)	2
Figure 2 - Travail manuel de désherbage dans les champs au début du XXe (Coll. J.L. Bernard).....	3
Figure 3 - Pompe-pulvérisateur Vermorel (Vermorel, ca. 1926 ; Rabaté, 1927).....	4
Figure 4 - Utilisation des produits phytosanitaires en Lorraine. Valeur données en kg. (d'après document DRAF/SRPV, 1996).	5
Figure 5 - Evolution du tonnage des substances actives vendues en France entre 1999 et 2009 (UIPP).....	5
Figure 6 - buis avec pyrale à gauche, <i>Ilex crenata</i> à droite (DRIAAF-SRAL)	6
Figure 7 – Balayeuse permettant de désherber les voiries (Ville Avion, 2019)	6
Figure 8 - Piège pour chenille processionnaire (François GOGLINS, 2016)	7
Figure 9 - Matériels utilisés pour le désherbage chimique. A gauche, la pompe à dos pour la pulvérisation manuelle (présent sur la photo également la cuve pour la référence tracté) ; à droite : le pulvérisateur à détection optoélectronique (Compamed, 2013)	9
Figure 10 - Matériels utilisés pour le désherbage thermique. A gauche : modalité eau chaude ; au milieu : modalité brûleur à gaz à flamme directe ; à droite : modalité vapeur (Compamed, 2013).....	9
Figure 11 - Matériels utilisés pour le désherbage mécanique. A gauche : la brosseuse rotative utilisée pour la surface imperméable ; à droite : la herse rotative pour les surfaces perméables (Compamed, 2013).....	10
Figure 12 - Evolution de l'infestation des graminées annuelles par essai dans la modalité chimique (Compamed, 2013).....	11
Figure 13 - Evolution de l'infestation des graminées annuelles par essai dans la modalité : au-dessus : binette ; au-dessous : désherbeur mécanique (Compamed, 2013).....	12
Figure 14 - Evolution de l'infestation des graminées annuelles par essai dans la modalités : en haut : Bruleur à gaz ; au milieu : Eau chaude ; en bas : Vapeur (Compamed, 2013).	13
Figure 15 - Poste de dépense pour les interventions de désherbage (Compamed, 2013)	17
Figure 16 - Résultats de l'évaluation environnementale comparative des techniques (Compamed, 2013).....	20
Figure 17 - Répartition de la pyrale en France (Plante & Cité, 2014)	22
Figure 18 - Cycle biologique de la pyrale du buis (Plante & cité, 2014).....	23
Figure 19 - Dispositif expérimental de piégeage de masse contre la pyrale du buis (SaveBuxus, 2015)	25
Figure 20 - Dénombrement des chenilles rapporté à 5m linéaire par modalité (SaveBuxus, 2016).....	26
Figure 21 - Efficacité de chacune des souches de trichogramme suivant les différentes modalités (SaveBuxus, 2016)	27
Figure 22 - Taux de défoliation en fonction du traitement de Bkt appliqué (SaveBuxus, 2015)	28

Figure 23 - Observation des mésanges sur le site de la Roseraie. A gauche : utilisation des nichoirs par les mésanges, à droite, la prédation des chenilles de la pyrale par les mésanges (Savebuxus, 2017).....	29
Figure 24 - Cycle de développement de <i>Cylindrocladium buxicola</i> (SaveBuxus, 2016)	30
Figure 25 - Niveaux de sensibilité estimée pour quelques variétés de buis à la cylindrocladiose (SaveBuxus, 2016)	31
Figure 26 - Schéma simplifié d'aide à la décision "météo dépendant" (SaveBuxus, 2016).....	33
Figure 27 - Exemple de classement des sites pour la gestion différenciée (SMAEP 4B, 2017)	37
Tableau I - Ensemble des modalités étudiées sur chaque secteur (Compamed, 2013)	10
Tableau II - Tableau comparatif des méthodes de désherbage en fonction de l'efficacité.....	14
Tableau III - Liste des coûts directs et indirects dans l'entretien des espaces verts	15
Tableau IV – Les différents paramètres pouvant influencer sur le coût de chacune des méthodes (Compamed, 2013)	18
Tableau V - Tableau comparatif des méthodes de désherbage en fonction de l'efficacité et du coût	19
Tableau VI - Tableau comparatif des méthodes de désherbage en fonction de l'efficacité, du coût et de l'impact sur l'environnement	21

Avant-Propos

L'entreprise ID VERDE, créée en 1986 sous le nom de CGEV (Compagnie Générale des Espaces Verts) puis ISS, s'est agrandie au fil des ans en rachetant des petites entreprises pour atteindre une dimension tout d'abord nationale, puis Européenne lorsqu'elle a commencé à s'implanter en Angleterre. Aujourd'hui, l'entreprise compte 123 agences à travers l'Europe, dont 52 en France.

L'entreprise réalise des prestations de création, d'entretien et de régénération à travers 5 domaines d'expertise : les espaces verts, les espaces urbains, les espaces sportifs et récréatifs, le paysagisme d'intérieur et l'arrosage, chaque agence ayant ses spécialités. Leurs aménagements se veulent de qualité, pour satisfaire au mieux les clients. L'entreprise met aussi un accent particulier sur la formation de ses collaborateurs pour leur sécurité et dans l'objectif d'acquérir des techniques respectueuses de l'environnement.

Souhaitant travailler dans une entreprise de paysage car désirant devenir par la suite conductrice de travaux, j'ai effectué un stage de six mois au sein de l'agence d'Angers de l'entreprise ID VERDE, située à St Barthélémy d'Anjou, me permettant d'achever ma formation d'ingénieur paysagiste et de mettre un premier pied dans le monde de l'entreprise.

Ce stage a été pour moi l'occasion de constater les nombreux problèmes rencontrés par les conducteurs de travaux lors de leur journée, et de les aider au mieux dans leur tâche. J'ai pu ainsi côtoyer des clients, des fournisseurs et des architectes paysagistes sur différents chantiers et constater les problématiques de chacun.

Les missions qui m'ont été confiées sont diverses, mais toutes étant plutôt liées à la partie administrative du métier. J'étais principalement chargée de faire les plans de validation et de recollement, les fiches de validation de matériaux et les dossiers des ouvrages exécutés, ainsi que les DICT, les PPSPS et les demandes de sous-traitance, permettant de défaire mes collègues de ces tâches chronophages mais indispensables pour le bon déroulement d'un chantier. J'aidais aussi le bureau d'étude en faisant des métrés et en assistant l'envoi des dossiers d'appel d'offre par voie informatique. Ainsi, j'ai pu voir un grand nombre de dossiers très différents, allant de l'aménagement d'un bâtiment industriel à l'aménagement d'un centre bourg ou d'un quartier. Chaque chantier possédait ses propres problématiques, parfois techniques, parfois humaines, parfois financières, et voir comment elles étaient abordées et résolues par mes collègues fut très enrichissant.

Introduction :

Le 6 février 2014 la loi Labbé a été rédigée puis votée pour mieux encadrer l'utilisation des produits phytosanitaires sur le territoire national, à savoir :

« La loi Labbé* modifiée par l'article 68 de la LTE** et la loi Pothier*** **interdit à partir du 01/01/2017 aux personnes publiques d'utiliser/faire utiliser des produits phytosanitaires pour l'entretien des espaces verts, forêts, promenades et voiries** (sauf pour des raisons de sécurité ...) **accessibles ou ouverts au public**. Les **produits phytosanitaires de biocontrôle, à faibles risques et autorisés en agriculture biologique** restent cependant utilisables, ainsi que tous les autres produits de protection des plantes (macro-organismes, substances de base). [...] Au 1^{er} janvier 2019, l'interdiction s'étend aux particuliers. Les jardiniers amateurs **ne pourront plus utiliser ni détenir** de produits phytosanitaires sauf ceux de biocontrôle, à faibles risques et autorisés en agriculture biologique. » [1] (« Le point sur la Loi Labbé - Ecophyto PRO : réduire et améliorer l'utilisation des phytos » s. d.)

La perspective de cette nouvelle loi entraîna beaucoup d'interrogations pour les collectivités en ce qui concerne l'entretien des espaces verts dans leur commune sans l'aide des produits phytopharmaceutiques. Certains professionnels soulevèrent alors les problématiques que cela allait engendrer. Ce fut le cas de Jacques My en 2016, directeur de l'union des entreprises de protection des jardins. [2] (Rivière-Wekstien 2016)

Il explique dans l'article écrit par Gil Rivière-Wekstien que l'interdiction d'utiliser des pesticides engendrerait des problèmes de coûts et d'efficacité pour les collectivités, en ce qui concerne le désherbage. Il ajoute même que certaines techniques alternatives ne sont pas meilleures pour l'environnement. En ce qui concerne les insectes, des solutions de biocontrôle existent, mais sont souvent plus chères et plus difficiles à mettre en place. Enfin, pour les maladies et les parasites, il n'existe pas forcément de traitement alternatif, comme c'est le cas pour le buis qui est à l'heure actuelle ravagé par un champignon ne pouvant être combattu qu'avec une solution chimique. Il conclut alors que s'interdire les solutions chimiques, c'est s'interdire une gamme de solutions qui peuvent parfois permettre de sauver des espèces de la disparition.

Maintenant que quelques années se sont passées depuis la mise en place de cette loi, avec les premiers retours d'expérience, nous sommes en droit de nous demander si M. My avait raison ou tort en ce qui concernait ses inquiétudes à propos de l'efficacité et du coût pour les mairies qu'engendreraient ces nouvelles mesures.

Aussi, les méthodes alternatives permettent-elles l'entretien des espaces végétalisés et la lutte contre les ravageurs avec efficacité, comparativement aux méthodes classiques ?

Pour répondre à cette question, mon argumentaire se basera sur une analyse bibliographique. La première partie retracera un historique des méthodes d'entretien, la seconde évaluera l'efficacité de ces méthodes et la troisième analysera les limites de ces méthodes et ouvrira sur les perspectives d'avenir.

I. Evolution des techniques de lutte contre les ravageurs en France depuis le XIXe jusqu'à nos jours

1. Les moyens de lutte du XIXe siècle jusqu'à la seconde guerre mondiale

Au XIXe siècle, les ruraux employaient déjà dans les campagnes plusieurs auxiliaires pour lutter contre certains ravageurs comme les chats pour chasser les rongeurs, les coccinelles dans les jardins pour se débarrasser des pucerons, ou encore, ils installaient des nichoirs pour favoriser les oiseaux insectivores et leur permettre de plus facilement chasser les insectes nuisibles. Parfois, ils employaient le porc pour détruire les formes hivernantes des insectes dans la litière des forêts ou des volailles dans les champs.

De même, à partir du milieu du XIXe siècle, nous vîmes apparaître en France comme aux Etats-Unis ce qu'on appellera par la suite la lutte biologique et microbiologique.

Les commerces par bateaux permettaient de faire énormément d'échanges entre les continents. Cependant, ces échanges commerciaux permirent à certains ravageurs d'accéder à de nouveaux continents. Sans leurs prédateurs naturels pour les chasser, ils purent alors se développer en toute tranquillité et ravager les cultures sans qu'aucun contrôle de leur population ne soit exercé.

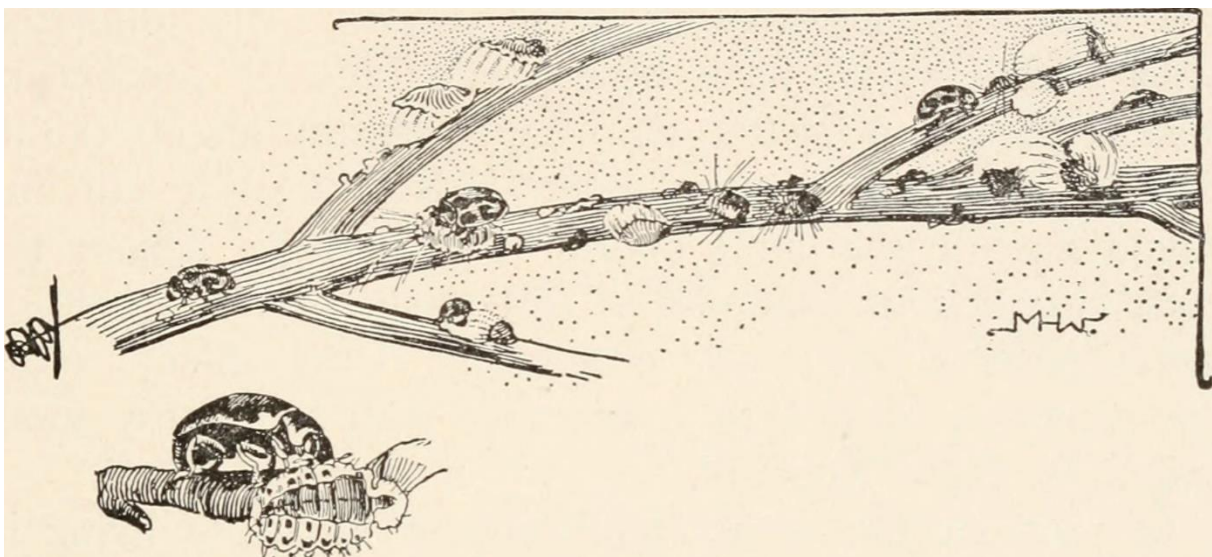


Figure 1 - *Icerya purchasi*, une cochenille australienne importée aux Etats-Unis et qui s'attaque aux vergers d'agrumes prédatée par *Rodolia cardinalis*, une coccinelle australienne (Internet Archive Book Images - 1911)

Ce fut le cas avec une cochenille *Icerya purchasi* introduite accidentellement d'Australie aux Etats-Unis en 1868 et qui ravageait les vergers d'agrumes. L'entomologiste C.V. Riley entreprit alors la première connue opération de lutte biologique par entomophagie qui fut un succès. Il était convaincu que l'innocuité de la cochenille dans son pays d'origine était due à des prédateurs. Aussi, il envoya une mission en Australie à la recherche d'entomophages. Plusieurs furent rapportés dont la Coccinelle *Rodolia cardinalis* qui se révéla efficace contre la cochenille

(figure 1). Elle fut élevée puis distribuée aux agrumiculteurs. Il fallut moins de deux ans pour que la population de cochenille soit réduite au point que les dégâts deviennent insignifiants.

En France, la lutte biologique et microbiologique se développait elle aussi au XIX^e. Par exemple, en 1840, Boisgiraud recommandait la récolte de Carabiques et de Staphylins pour limiter les populations de Bombyx disparate. Et en 1874, ce fut L. Pasteur, après avoir fait des recherches sur les maladies du Ver à soie, qui préconisa l'emploi d'agents microbiens et notamment de Champignons pour guérir les vers à soie. [3] (Jourdeuil et al, 1991)



Figure 2 - Travail manuel de désherbage dans les champs au début du XXe (Coll. J.L. Bernard)

Quant au désherbage, que ce soit dans les champs ou dans les jardins, jusqu'à la fin du XIX^e siècle, celui-ci se faisait entièrement à la main (figure 2). Un travail long et fastidieux qui était souvent réalisé par les femmes et les enfants. Cependant, ce désherbage ne permettait pas de réduire les populations d'adventices au fil des ans, si bien que les cultures étaient de nouveau envahies à chaque printemps.

Et avec l'exode rurale et l'enseignement des enfants qui devient obligatoire, il n'y avait plus assez de bras dans les fermes pour assurer l'entretien des cultures. Ce fut l'une des raisons du développement du machinisme en général ainsi que l'arrivée en masse des produits de synthèse. [4] (Gasquez 2015)

2. La révolution chimique du milieu du XXe siècle

Le nom herbicide est apparu peu avant la 1^e guerre mondiale pour des produits, comme « l'herbicide Euréka » et « l'herbicide Floquet », faits probablement à base de sels d'arsenic et qui étaient utilisés pour nettoyer les allées ou entretenir les terrains de « laws-tennis ».

Cependant, il faut attendre 1934 pour voir la première molécule issue de la chimie utilisée comme herbicide. Il s'agissait du thirame de la famille des dithiocarbamates. Mais ce fut avec l'apparition du 2,4-D (acide 2,4 diclorophénoxyacétique) et le MCPA (acide 4 chloro 2 phénoxyacétique), les deux premières phytohormones mimétiques de l'auxine, synthétisé en 1941 et homologué peu après la Seconde Guerre Mondiale, ainsi qu'avec le DDT, un puissant insecticide, que commença la révolution chimique dans l'agriculture.

Ces pesticides ont été développés pour pouvoir maintenir les rendements agricoles et combler le manque de main d'œuvre. Avec la découverte des propriétés sélectives de certains produits chimiques, le travail essentiellement féminin de 4 à 7 jours d'une personne pour nettoyer un hectare de blé fut remplacé par un traitement de 4 heures pour un homme et un cheval (figure 3). [4] (Gasquez 2015)



Figure 3 - Pompe-pulvérisateur Vermorel (Vermorel, ca. 1926 ; Rabaté, 1927)

C'est à partir de 1940 que le marché offre aux agriculteurs des insecticides et herbicides efficaces, peu coûteux et faciles d'emplois ce qui démocratise l'emploi de ces produits pour augmenter les rendements. La consommation des produits phytosanitaires va alors doubler tous les 10 ans entre 1945 et 1985. Néanmoins, les ventes vont connaître un léger déclin en 1992 avec la mise en place d'une jachère obligatoire avant de réaugmenter fortement milieu des années 90 à cause d'une forte pression des ravageurs. [5] (Duval 2010)

Par ailleurs, tous ces pesticides ne sont pas uniquement utilisés par les agriculteurs. En 1996, 82% des pesticides sont utilisés par les agriculteurs, 15% par les particuliers pour entretenir

leurs allées, leurs jardins et leurs potagers, et 0,7% par les communes pour entretenir les espaces verts de la ville (figure 4). [6] (Schiavon et Perrin-Ganier 1999)

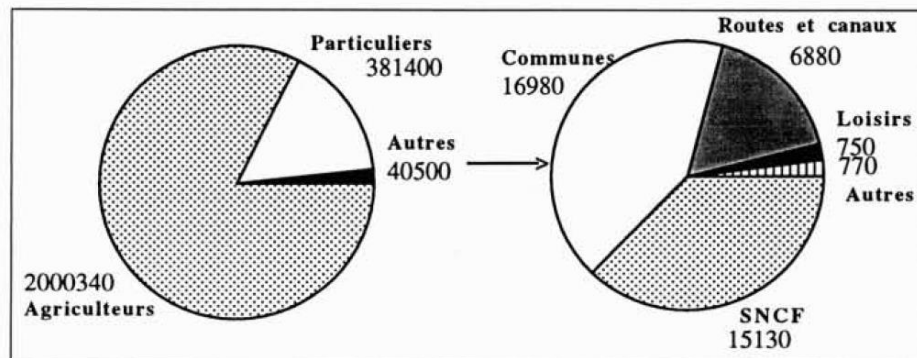


Figure 4 - Utilisation des produits phytosanitaires en Lorraine. Valeur données en kg. (d'après document DRAF/SRPV, 1996).

En Europe, depuis 2000, les ventes de produits phytosanitaires ont tendance à décroître (figure 5) à cause de l'apparition de nouvelles molécules s'utilisant à très faible doses, et de la limitation voire l'interdiction d'usage de certaines substances actives classées comme dangereuses. De plus, en 1962 sort le livre de Rachel Carson, *Silent Spring*, qui constate un impact négatif sur la faune et la flore de l'utilisation des pesticides, ce qui a permis une prise de conscience sur l'emploi de ces derniers et a permis la mise en place de protocoles dits de « lutte raisonnée » qui utilisent moins de produits phytosanitaires.

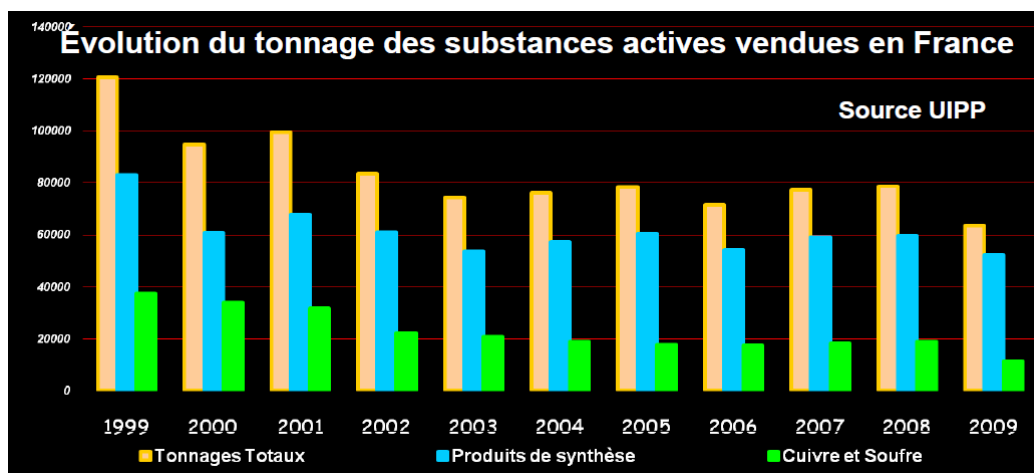


Figure 5 - Evolution du tonnage des substances actives vendues en France entre 1999 et 2009 (UIPP)

De plus, il apparaît que la lutte chimique possède de nombreux défauts comme l'apparition de résistance parmi les populations traitées, ce qui demande alors d'augmenter les doses de traitement ou de trouver de nouvelles molécules encore plus dangereuses, ou encore la quasi-disparition de toute forme de vie, aussi bien nuisible qu'auxiliaire. D'ailleurs, une grande partie des pesticides utilisés est lessivée par les eaux de pluie et pollue les nappes phréatiques et les rivières. [5] (Duval 2010)

Avec le concept de Développement Durable, la prise de conscience de l'état de nos sols et du nombre d'espèces vivantes qui disparaissent chaque jour à cause des pesticides, la France lance en 2007, à la suite du Grenelle de l'environnement, le plan Ecophyto qui vise à réduire l'usage des pesticides, ce qui entraîne alors une évolution vers des méthodes alternatives.

3. Le recours aux méthodes alternatives dans un souci du respect de l'environnement

Le plan Ecophyto 2018, et maintenant le plan Ecophyto II prévoit de réduire drastiquement l'usage, les risques et les impacts des produits phytosanitaires. Pour cela, il a fallu trouver des solutions alternatives aux pesticides, en plus de la mise en place d'une agriculture raisonnée. Ces solutions alternatives sont de quatre natures différentes.

Il y a d'abord les **mesures prophylactiques** comme le choix de variétés résistantes aux maladies, ou alors des espèces similaires au niveau de l'esthétisme pour les plantes ornementales mais qui ne sont pas atteintes par la maladie (exemple : utilisation du *Ilex crenata* à la place du *Buxus sempervirens*) (figure 6). Une bonne pratique culturale est aussi importante pour éviter de blesser les végétaux et permettre aux pathogènes de rentrer. De même une bonne maîtrise des paramètres environnementaux est aussi importante pour éviter de créer un climat favorable aux développements des maladies.



Figure 6 - buis avec pyrale à gauche, Ilex crenata à droite (DRIAAF-SRAL)

Ensuite, **la lutte mécanique et thermique** est un des leviers importants pour pallier aux pesticides, surtout dans le milieu des espaces verts. Des machines ont été développées pour faciliter le désherbage manuel et mécanique comme des balayeuses ou le désherbage thermique. La mise en place de paillage dans les massifs est aussi une bonne alternative car ils permettent d'empêcher les adventices de pousser tout en nourrissant la terre pour les paillages organiques (figure 7)



Figure 7 – Balayeuse permettant de désherber les voiries (Ville Avion, 2019)

La lutte physique est aussi un bon moyen pour lutter contre les insectes principalement avec l'aide de pièges comme des panneaux englués, des pièges à phéromones pour les papillons, ou des pièges permettant le ramassage d'insectes comme des sacs placés sur les troncs des pins pour capturer les chenilles processionnaires. (figure 8)



Figure 8 - Piège pour chenille processionnaire (François GOGLINS, 2016)

Enfin, **la lutte biologique et microbiologique** qui a toujours connu un développement malgré la concurrence avec les produits phytosanitaires après la Seconde Guerre Mondiale, est un bon palliatif aux pesticides en ce qui concerne la lutte contre les ravageurs. De plus en plus d'auxiliaires, de bactéries et de virus ont été trouvés et utilisés pour lutter contre les insectes nuisibles.

Et c'est surtout avec l'arrivée de la loi Labbé qui interdit à partir du 1^{er} janvier 2017 aux personnes publiques d'utiliser des produits phytosanitaires pour l'entretien des espaces verts, forêts, promenades et voiries accessibles ou ouvertes au public, que la recherche développe de plus en plus de méthodes alternatives pour pallier les pesticides de manière efficace. Surtout que depuis l'année 2019, l'interdiction s'est étendue aux particuliers. La demande de solutions alternatives est donc grandissante pour permettre aussi aux particuliers de pouvoir entretenir leur jardin. La question que nous sommes alors en droit de nous poser est : ces solutions alternatives sont-elles tout aussi efficaces que l'utilisation des pesticides ?

II. Evaluation des méthodes alternatives à travers deux exemples : le désherbage et la protection du buis

Pour répondre à la problématique, nous allons nous baser sur deux exemples bien connus dans l'entretien des espaces verts. Le premier est le désherbage, qui est l'une des grandes problématiques dans la gestion des voiries et des espaces verts pour les communes. En effet, de nos jours, la population perçoit mal que des adventices poussent le long des trottoirs, dans les allées d'un jardin ou dans les parterres de fleurs. Pour elle, cela fait « sale », « pas entretenu », « délaissé » [7] (Menozzi 2007). Les communes doivent alors trouver des solutions pour continuer l'entretien de leur ville tout en n'utilisant plus de pesticides.

Le deuxième exemple est celui de la protection du buis. Cette plante est l'une des préoccupations principales dans les jardins historiques de France. Elle est la proie de deux ravageurs principaux : la pyrale du buis qui est un papillon, et *Cylindrocladium buxicola* qui est un champignon ravageur du buis. Il a fallu, pour continuer de lutter et préserver le patrimoine, trouver des solutions autres que les pesticides.

1. Le désherbage, un secteur qui connaît déjà de nombreuses méthodes alternatives

a. Présentation des différentes méthodes actuelles de désherbage

Les méthodes actuelles de désherbage sont de trois natures différentes : chimiques, thermiques et mécaniques. Les méthodes présentées plus-après sont celles utilisées dans l'étude faite par Compamed en 2013 qui s'est penchée sur la question de l'efficacité des méthodes alternatives du désherbage comparativement aux produits phytopharmaceutiques.

Les méthodes chimiques sont certes interdites à présent dans l'entretien des espaces verts mais nous servent de référence pour comparer l'efficacité des autres méthodes. Dans l'étude, les chercheurs utilisent deux méthodes pour désherber chimiquement : le pulvérisateur à dos qui applique la même dose de produits sur les endroits traités, et un pulvérisateur à détection optoélectronique qui ne traite que les zones qui nécessitent du désherbant, limitant ainsi la consommation de produit phytosanitaire (figure 9)



Figure 9 - Matériels utilisés pour le désherbage chimique. A gauche, la pompe à dos pour la pulvérisation manuelle (présent sur la photo également la cuve pour la référence tracté) ; à droite : le pulvérisateur à détection optoélectronique (Compamed, 2013)

Ensuite, parmi les méthodes thermiques, nous trouvons celles qui utilisent de l'eau, comme l'eau chaude ou la vapeur, et celles qui utilisent du gaz. Ces brûleurs thermiques vont détruire l'adventice par choc thermique (figure 10).



Figure 10 - Matériels utilisés pour le désherbage thermique. A gauche : modalité eau chaude ; au milieu : modalité brûleur à gaz à flamme directe ; à droite : modalité vapeur (Compamed, 2013)

Enfin, il y a les méthodes mécaniques qui elles nécessitent des outils permettant d'arracher la plante du sol. Nous trouvons principalement la binette qui permet un arrachage manuel, la brosse métallique qui s'utilise uniquement sur les surfaces imperméables et la herse rotative qui s'utilise uniquement sur les surfaces perméables car elle travaille le sol meuble et déracine ainsi la végétation (figure 11). [8] (Breseghello et al, 2013b)

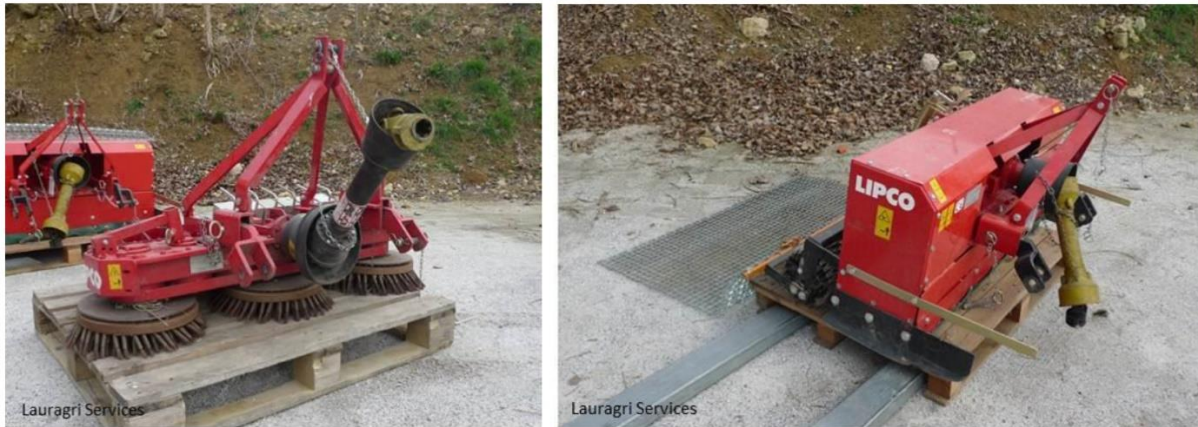


Figure 11 - Matériels utilisés pour le désherbage mécanique. A gauche : la brosseuse rotative utilisée pour la surface imperméable ; à droite : la herse rotative pour les surfaces perméables (Compamed, 2013)

Il existe aussi d'autres outils qui ne sont pas utilisés dans l'étude, surtout parmi les outils mécaniques. Nous retrouvons des binettes mais cette fois-ci électriques, qui sont moins fatigantes d'utilisation pour l'agent d'entretien, mais plus chères. Il y a aussi le débroussaillage fait à l'aide d'engins tels que de réciprocatoreur équipé d'un système de lame réciproque ou le rototonde. Mais cette méthode se limite à des petites et moyennes surfaces et nécessite de nombreux passages [9] (Graidorge 2016).

b. Etude comparative en termes d'efficacité entre ces méthodes

Methodologie

L'étude menée par Compamed ZNA [10] (Bresghehello et al, 2013) a mis en place un protocole simple sur deux sites différents pour pouvoir comparer toutes les méthodes de désherbage. Les deux parcelles utilisées pour l'expérimentation sont, une sur support imperméable (P1SI2011 et P1SI2012 dans les documents), et l'autre sur support perméable (P1SP2011 et P1SP2012). Les chercheurs ont ensuite divisé ces parcelles en 7 parcelles élémentaires équivalentes, chacune accueillant une méthode de désherbage différente résumée dans le tableau suivant (tableau I).

Tableau I - Ensemble des modalités étudiées sur chaque secteur (Compamed, 2013)

N°	Modalité	Famille	Matériel utilisé
01	Manuel – Binette	Mécanique	Type grattoir-sarcler
02	Désherbeur mécanique		Herse rotative/Brosse rotative
03	Brûleur à gaz	Thermique	Désherbeur thermique à flamme directe
04	Eau chaude		Désherbeur thermique à eau chaude
05	Vapeur		Désherbeur thermique à vapeur
06	Témoin non traité	-	-
07	Pulvérisation manuelle	Chimique	Pompe à dos + glyphosate

Pour estimer l'efficacité de chaque modalité, les observations ont porté sur le taux de recouvrement ou le dénombrement des adventices présentes sur chaque parcelle élémentaire étudiée. Elles sont faites avant traitement (T0), puis à T+7j, T+14j, T+21j, T+30j et T+60 jours après le traitement.

Les variables « effectif » et « recouvrement » sont exprimées sous forme de pourcentage moyen d'efficacité par adventice selon la formule de Henderson et Tilton :

$$Efficacité = 100 \times \left(1 - \frac{Pt \times Ta}{Tt \times Pa}\right)$$

Avec :

Pa = Infestation dans la parcelle traitée avant traitement

Pt = Infestation dans la parcelle traitée après traitement

Ta = Infestation dans la parcelle témoin avant traitement

Tt = Infestation dans la parcelle témoin après traitement

Observations et résultats

Témoins non traités

Pour les témoins non traités, il est relevé une prédominance des adventices annuelles avec 5 graminées (*Bromus madritensis*, *Poa annua*, *Echinochloa* sp, *Digitaria sanguinalis* et *Setaria viridis*) et 3 dicotylédones annuelles (*Sonchus asper*, *Euphorbia maculata* et *Trifolium campestre*). Cette prédominance est essentiellement due à une pression de désherbage exercée sur les sites les années précédentes qui n'ont pas permis aux autres espèces pluriannuelles de se développer.

Désherbage chimique par pulvérisation manuelle

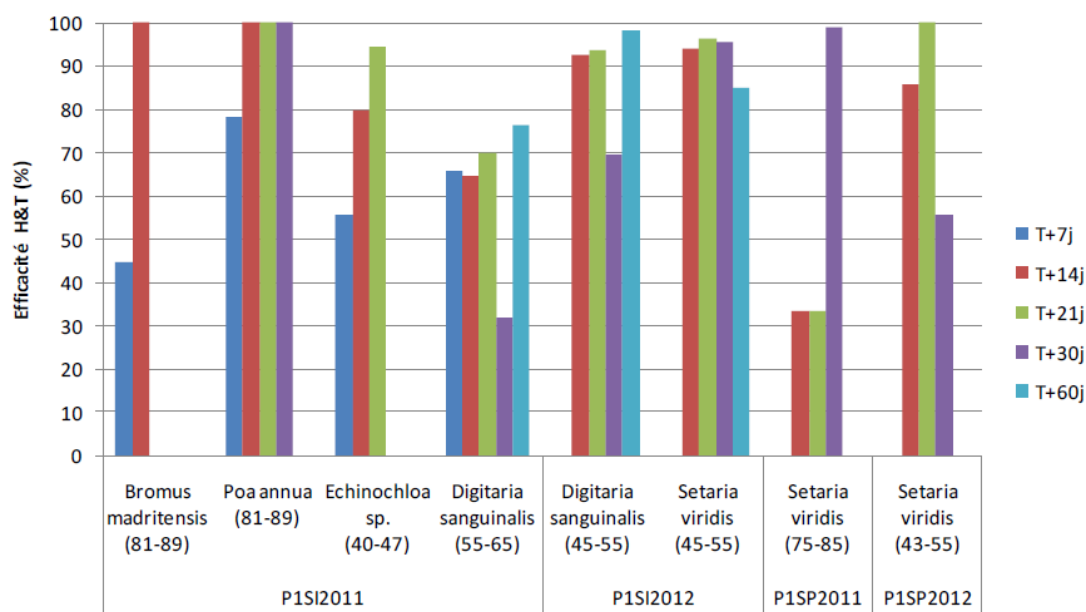


Figure 12 - Evolution de l'infestation des graminées annuelles par essai dans la modalité chimique (Compamed, 2013)

Il est relevé que les premiers effets visibles n'apparaissent qu'à partir de 14 jours en moyenne après l'application (figure 12). Les produits chimiques mettent du temps avant de détruire la plante, le temps que celle-ci l'absorbe et que la molécule active agisse. Cependant, l'efficacité est totale à quasi-totale et ceci quel que soit le type de surface, jusqu'à la repousse des adventices qui peut survenir plus ou moins vite suivant le type d'adventice.

Dés herbage mécanique

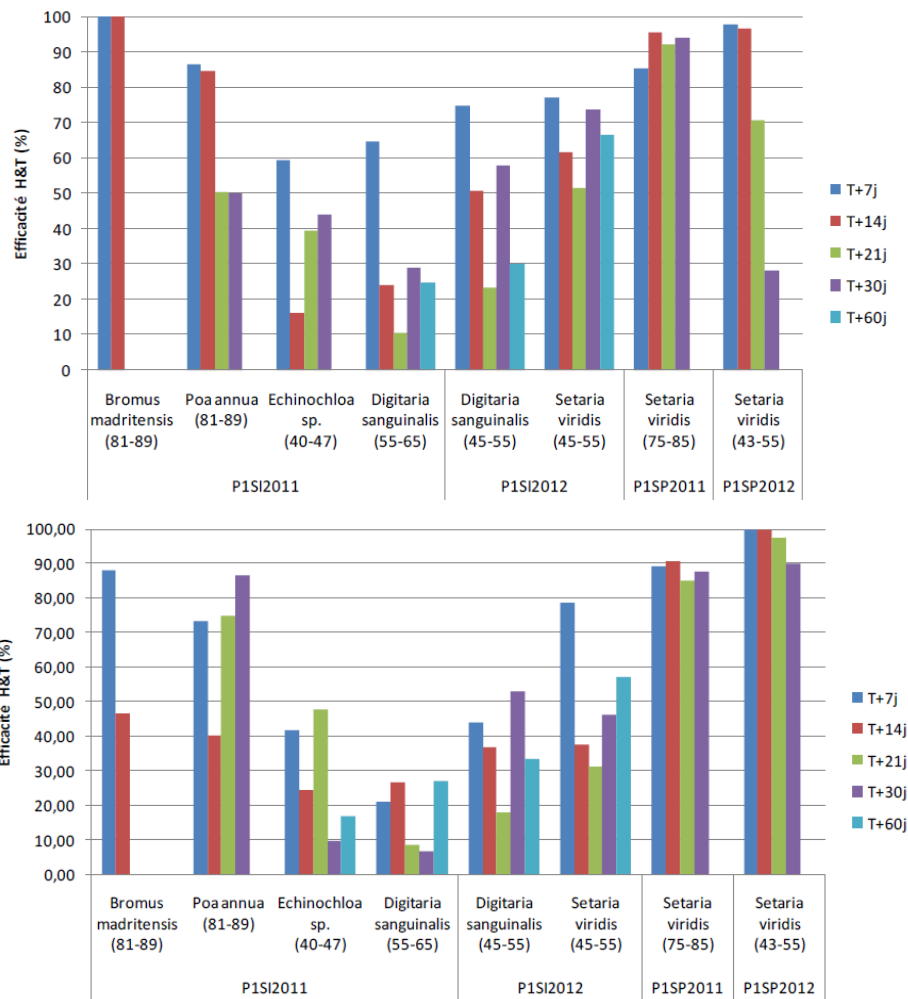


Figure 13 - Evolution de l'infestation des graminées annuelles par essai dans la modalité : au-dessus : binette ; au-dessous : désherbeur mécanique (Compamed, 2013).

Il est constaté en général que l'efficacité sur une surface imperméable est bien moindre que sur une surface perméable (figure 13). Cela est dû au mode d'action des modalités mécaniques. Sur une surface imperméable, les outils mécaniques ne peuvent que sectionner la partie aérienne de la plante sans l'arracher, ce qui permet la repousse de l'adventice plus ou moins rapidement. Alors que sur une surface perméable, les outils peuvent pénétrer en profondeur et déloger les racines, ce qui tue entièrement ou presque les adventices, et ralentit considérablement la repousse. Cette repousse est aussi liée aux conditions météorologiques post-traitement, la pluie favorisant la reprise végétative contrairement à la sécheresse.

L'espèce traitée rentre aussi en compte. Certaines espèces comme *Echinochloa sp.* et *Digitaria sanguinalis* semblent plus résistantes contre le désherbage mécanique, grâce à leur système racinaire dense et leur résilience face à l'arrachement.

Comparativement aux produits phytosanitaires, l'efficacité est immédiate avec les outils mécaniques, arrachant directement les adventices du sol, ou les sectionnant. Cependant, la persistance de l'action est moins importante, les repousses apparaissant plus rapidement après un désherbage mécanique qu'un désherbage chimique. Dans les deux cas, la repousse est étroitement liée aux conditions climatiques, à l'espèce et au stade phénologique de l'adventice lors du traitement.

Désherbage thermique

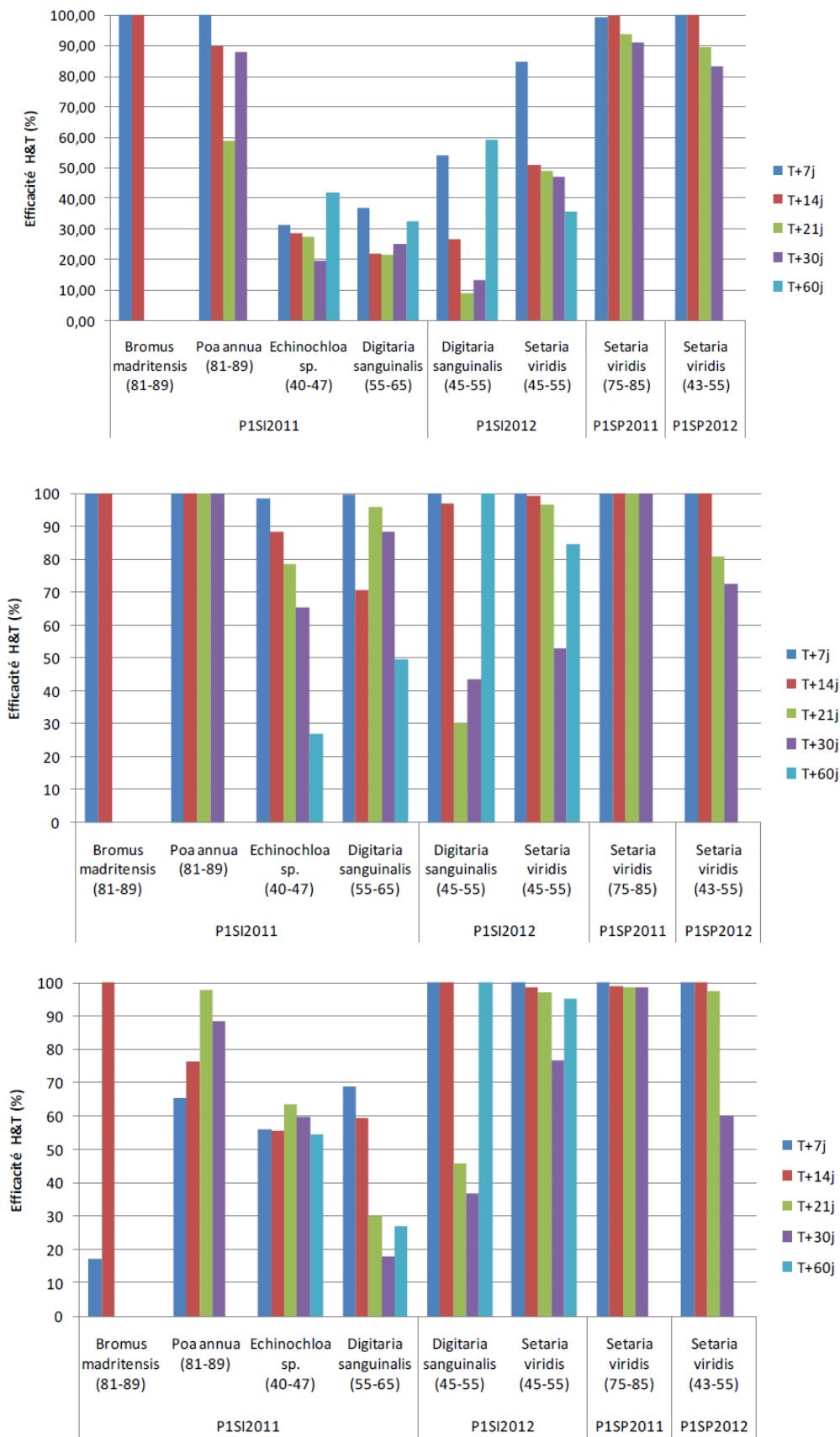


Figure 14 - Evolution de l'infestation des graminées annuelles par essai dans la modalités : en haut : Brûleur à gaz ; au milieu : Eau chaude ; en bas : Vapeur (Compamed, 2013).

En comparaison avec la méthode chimique par aspersion à la main, les trois modalités thermiques ont une efficacité immédiate sur la majorité des adventices avec toutefois des efficacités très contrastées en fonction du support, des adventices et de leur stade de développement végétatif (figure 14).

Cependant, entre les trois modalités différentes, nous observons des efficacités à long terme très contrastées :

- La modalité du brûleur à gaz est une technique d'efficacité bien inférieure aux autres car des repousses très importantes sont enregistrées dès 14 jours pour les adventices en cours de développement. Cependant, pour les adventices en fin de cycle végétatif, l'efficacité est tout de même satisfaisante. De plus, c'est une technique qui ne peut être utilisée en été à cause des risques d'incendie qu'engendre l'utilisation d'une flamme.
- Les modalités de l'eau chaude et de la vapeur peuvent en revanche être considérées comme meilleures par rapport à la pulvérisation des pesticides avec une efficacité plus rapide et qui dure tout aussi longtemps, sauf pour quelques espèces vivaces.

Conclusion

Toutes les méthodes testées ont des efficacités différentes surtout dans la durée. Là où les techniques thermiques et mécaniques ont des effets immédiats contrairement aux techniques chimiques, elles sont cependant moins efficaces dans le temps avec des repousses qui apparaissent plus tôt et donc nécessitent des interventions plus fréquemment si l'on veut qu'il n'y ait jamais d'adventices sur la parcelle.

Ensuite, il faut adapter sa méthode suivant le type de surface traité et les adventices à détruire. Pour les surfaces imperméables, il est conseillé d'utiliser plutôt des méthodes thermiques qui sont bien plus efficaces que les méthodes mécaniques, alors que pour des surfaces perméables, les méthodes mécaniques suffisent pour obtenir une bonne efficacité.

Tableau II - Tableau comparatif des méthodes de désherbage en fonction de l'efficacité (Adeline Kohler, 2019)

Méthode	Type	Efficacité imperméable			Efficacité perméable		
		Effet immédiat	Efficacité	Durée	Effet immédiat	Efficacité	Durée
Chimique	Chimie	-	++	++	-	++	++
Binette	Mécanique	+	+	--	+	+	-
Désherbeuse mécanique		+	+	--	+	+	-
Brûleur à gaz	Thermique	+	+/- Dépend des adventices	--	+	+/- Dépend des adventices	-
Eau chaude		+	+	+	+	+	+
Vapeur		+	+/- Dépend des adventices	+	+	+/- Dépend des adventices	+

c. Etude comparative en termes de coût

Méthode

Pour évaluer les coûts de désherbage relatif à chaque méthode de désherbage, l'étude faite par Compamed [11] (Laille 2013) va se focaliser principalement sur les coûts directs (listés dans le Tableau III), les coûts indirects étant plus difficiles à étudier et différents entre les communes et les entreprises privées.

Tableau III - Liste des coûts directs et indirects dans l'entretien des espaces verts (Adeline KOHLER, 2019)

Coûts directs	Coûts indirects
<ul style="list-style-type: none"> - Investissement : achat du matériel - Fonctionnement : <ul style="list-style-type: none"> • Main d'œuvre • Consommables : carburants, herbicides, eau, gaz... • EPI • Location du matériel 	<ul style="list-style-type: none"> - Assurance du matériel - Formation du personnel - Certificats - Autorisations - Gestion des déchets et des effluents - Maintenance : <ul style="list-style-type: none"> • Réparation du matériel • Contrôle technique • Entretien • Consommable liés à l'entretien

En effet, les coûts de formation peuvent être très variables en fonction des formations et dépendent aussi de l'organisme d'appartenance de la personne formée (privé ou public). En ce qui concerne les assurances, les mairies fonctionnent en auto-assurances alors que les entreprises privées doivent souscrire un contrat d'assurance. Enfin, les charges salariales et patronales peuvent différer jusqu'à 10% entre le privé et le public.

Le coût d'un itinéraire technique est la somme du coût de chaque intervention. Et une intervention est la somme des différents postes de dépense, dont les méthodes de calcul diffèrent.

- Matériels réutilisables :

Ce calcul s'applique aux matériels de désherbage, aux EPI réutilisables et aux équipements de sécurité.

$$\text{Coût d'un matériel réutilisable (€/m}^2\text{)} = \frac{\text{Coût d'achat(€)}}{\text{Rendement de l'intervention(m}^2\text{/h)} \times \text{Durée de vie du matériel (h)}}$$

Où :

- Le coût d'achat correspond au montant réel déboursé pour la mise en service du matériel
- Le rendement de l'intervention est le temps total passé sur le site rapporté à la surface désherbé.
- La durée de vie du matériel est celle de la durée d'utilisation du matériel.

Cette formule est valable pour les appareils et équipements mobilisés pour le désherbage mais devrait être modifiée pour les équipements qui ne sont pas employés uniquement pour ce type de travail. Mais pour faciliter la méthode, il a été décidé que chaque matériel n'est employé que pour le désherbage tout au long de sa durée.

- Main d'œuvre :

Tous les agents d'entretien n'ont pas nécessairement le même salaire horaire. Il en résulte alors la formule suivante, l'ensemble du personnel devant être pris en compte :

$$\text{Coût de la main d'oeuvre (€}/m^2) = \frac{\sum_i \text{Salaire horaire brut}(i)(\text{€}/h) \times \text{Nombre d'opérateurs}(i)}{\text{Rendement opérateur (h}/m^2)}$$

Où :

- i est un profil d'opérateur (grade, ancienneté...)
- Le rendement opérateur est le temps passé sur site rapporté au nombre de personnes présentes et impliquées dans le traitement ainsi qu'à la surface traitée.

- EPI et consommables :

Seul le matériel jetable est concerné, comme les EPI jetables ainsi que tout matériel ou équipement n'étant utilisé que pour l'intervention et jeté ensuite.

$$\text{Coût matériel jetable (€}/m^2) = \sum_i \frac{\text{Prix}(i)(\text{€}) \times \text{Nombre utilisé}(i)}{\text{Surface du site (m}^2)}$$

- i est un type de matériel

- Intrants :

Cette formule concerne tous les intrants consommés par les différents matériels et équipements employés pour l'intervention (produits phytosanitaires, eau, carburant, gaz...)

$$\text{Coût intrant (€}/m^2) = \sum_i \frac{\text{Prix}(i)(\text{€}/l, kg \dots) \times \text{Quantité consommée}(i)(l, kg \dots)}{\text{Surface du site (m}^2)}$$

$$= \sum_i \frac{\text{Prix}(i)(\text{€}/l, kg \dots) \times \text{Consommation d'un appareil}(i)(l, kg \dots/h) \times \text{Nombre d'appareil concernés}}{\text{Rendement de l'intervention}(m^2/h)}$$

Où :

- i est un type d'intrant
- La quantité de i consommée peut être calculée en utilisant une consommation moyenne multipliée par le nombre d'appareils concernés et rapportée au temps passé sur le site.

Postes de dépense pour les interventions de désherbage

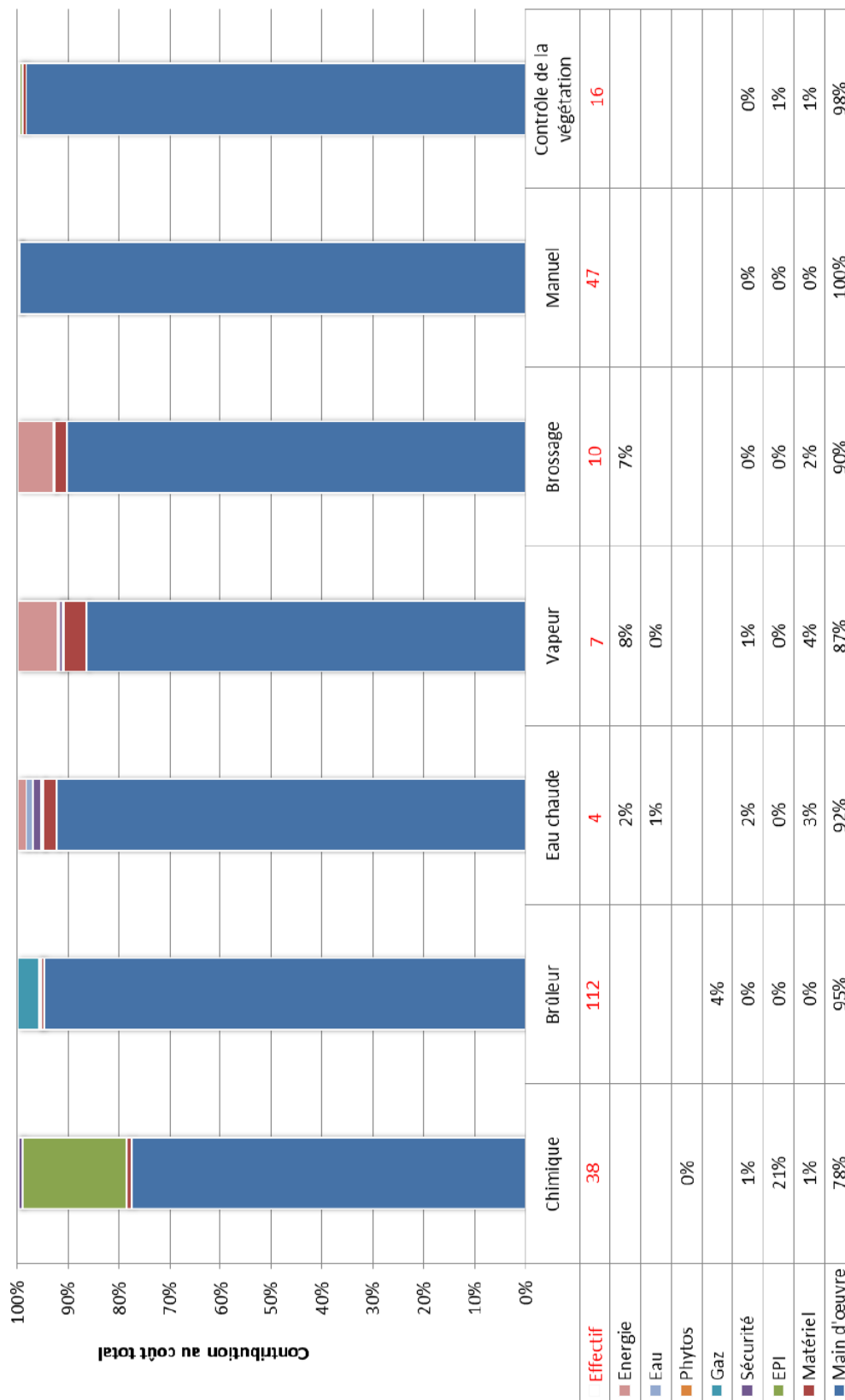


Figure 15 - Poste de dépense pour les interventions de désherbage (Compamed, 2013)

La figure 15 montre que le principal poste de dépense pour toutes les techniques de désherbage est la main d'œuvre. Donc si nous augmentions le nombre d'heures passées sur un terrain ou le nombre d'intervenants, cela augmente donc les dépenses en conséquence, surtout que le prix de vente reste le même. Ensuite, pour certaines méthodes, un deuxième poste important apparaît : pour la chimie, cela va être les EPI qui sont des EPI consommables comme les combinaisons ou les gants ; pour les techniques thermiques, l'utilisation des intrants (gaz, eau) apparaît comme une deuxième dépense importante ; et enfin pour les méthodes qui utilisent des grosses machines comme l'eau, la vapeur et la brosse, la consommation en carburant, l'achat de la machine et la maintenance de celle-ci rentrent en compte.

Pour toutes les deuxièmes ou troisièmes sources de consommation citées précédemment, leurs prix au m² sont relativement fixes, aussi ce n'est qu'en les utilisant avec parcimonie que l'on peut réduire ces coûts. Cependant, selon les techniques, ils ne sont pas totalement comparables. La seule méthode pour définir qu'elle technique est la moins coûteuse sera donc de comparer les nombres d'heures et le nombre d'interventions nécessaires pour obtenir un désherbage de même intensité.

Tableau IV – Les différents paramètres pouvant influencer sur le coût de chacune des méthodes (Compamed, 2013)

Méthode	Vitesse de traitement	Nombre annuel d'intervention	Nombre d'employés nécessaires
Chimique (pulvé à dos)	700m ² /h/agent	2	1
Gaz (lance sur chariot tracté)	600m ² /h/agent	4,5	1
Eau chaude	20m ² /h/agent	2	2
Vapeur (petit appareil)	30m ² /h/agent	2	1
Brossage	600m ² /h/agent	3	1
Travail du sol (module tracté)	20m ² /h/agent	1	1
Manuel (binette)	80m ² /h/agent	2	1

Les données du Tableau IV ne sont que des données observées et ne sont donc pas absolue [12] (Laille et al. 2012). Le nombre de passages peut grandement augmenter en fonction du seuil critique d'intervention, si nous voulons que ce soit toujours propre ou si nous acceptons que quelques plantes puissent pousser avant d'intervenir. De plus, la vitesse de traitement varie aussi en fonction de l'équipement utilisé, de la surface à traiter (si celle-ci est adaptée à la taille de l'appareil ou non), du type de surface et pour les travaux manuels, de l'efficacité des opérateurs.

Cependant, ce tableau permet de remarquer qu'au niveau de la vitesse de traitement, la technique qui permet de traiter le plus de surface en moins de temps est l'utilisation de la chimie, d'où le fait que ce soit la plus rependue avant l'arrivée de la loi Labbé. De plus, elle est efficace sur tous les types de surfaces. Les autres méthodes vont donc demander plus de temps à passer, plus d'interventions ou plus d'investissement dans des grosses machines. Il faudra donc adapter

le meilleur itinéraire technique pour chacune des surfaces à traiter pour optimiser le coût et le temps passé. Par exemple, pour des petits massifs sur surface meuble, le travail manuel à l'aide d'une binette sera finalement le moins cher, alors que le brossage sera le plus efficace pour nettoyer les caniveaux.

Conclusion

Le coût de chaque technique dépend donc entièrement de la grandeur et du type de surface à traiter mais surtout du temps passé sur la parcelle et de la fréquence d'intervention, vu que toutes les techniques dépendent principalement du coût de main d'œuvre. Il faut donc choisir l'itinéraire technique le mieux adapté à la parcelle suivant les contraintes imposées par le site et le degré d'acceptation des adventices, pour diminuer le nombre d'heures passées à désherber et le nombre d'interventions.

Certaines techniques vont demander l'achat de gros matériel qu'il faudra par la suite entretenir, ce qui engendre un coût supplémentaire non-négligeable mais qui sera peu à peu amorti au fil des utilisations. Il faut donc bien réfléchir à l'utilisation et à la fréquence d'utilisation de telles machines avant d'investir.

Tableau V - Tableau comparatif des méthodes de désherbage en fonction de l'efficacité et du coût (Adeline Kohler, 2019)

Méthode	Type	Efficacité imperméable			Efficacité perméable			Coût	
		Effet immédiat	Efficacité	Durée	Effet immédiat	Efficacité	Durée	Même durée	Annuel
Chimique	Chimie	-	++	++	-	++	++	+	-
Binette	Mécanique	+	+	--	+	+	-	-	+
Désherbeuse mécanique		+	+	--	+	+	-	++	++
Bruleur à gaz	Thermique	+	+/- Dépend des adventices	--	+	+/- Dépend des adventices	-	+	+
Eau chaude		+	+	+	+	+	+	++	++
Vapeur		+	+/- Dépend des adventices	+	+	+	+	++	++

d. Etude comparative en termes d'impact sur l'environnement

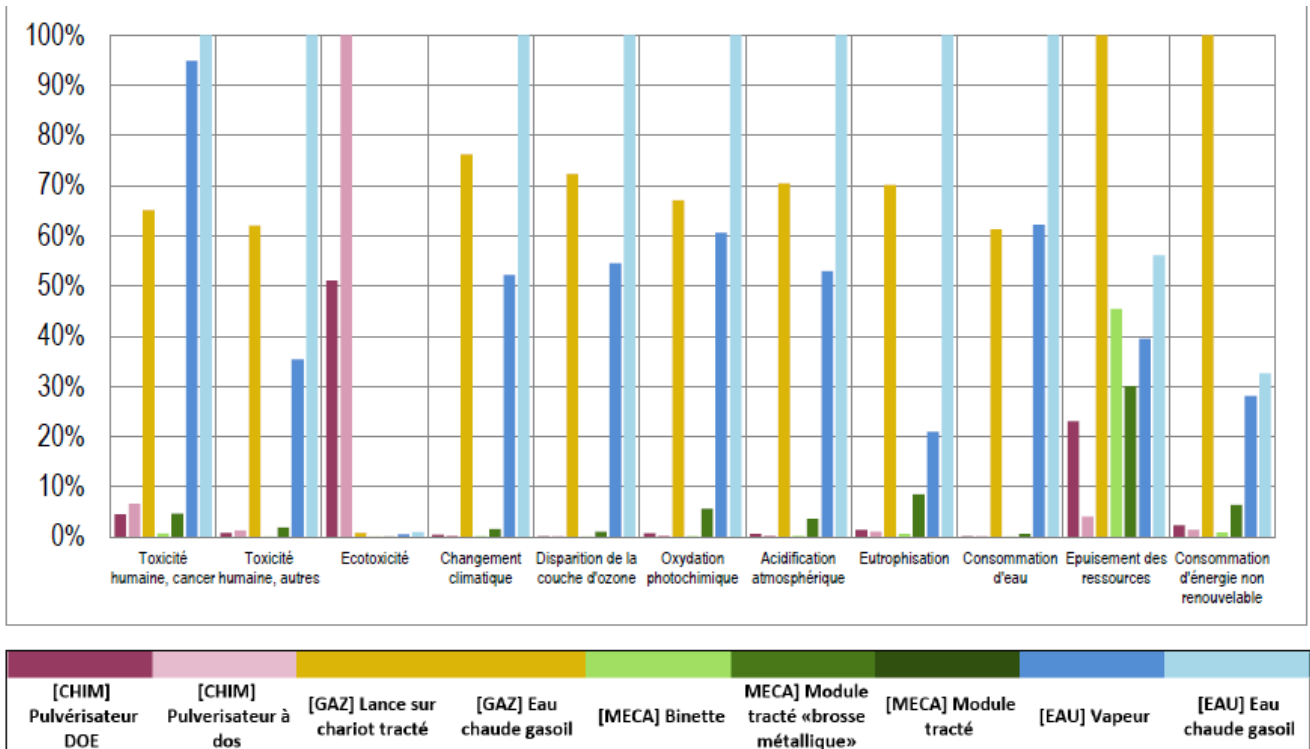


Figure 16 - Résultats de l'évaluation environnementale comparative des techniques (Compamed, 2013)

L'étude de la figure 16 [13] (Bellino et al., 2014) permet de tirer les conclusions suivantes en ce qui concerne l'impact environnemental de chacune des techniques :

- Globalement, les techniques utilisant de l'eau apparaissent comme les plus impactantes sauf en ce qui concerne l'écotoxicité. Cette technique, au vu des précédentes données, semble être très chronophage et consommatrice d'intrants, ce qui explique sa très faible efficacité environnementale.
- La technique « binette » est évidemment la moins impactante, n'utilisant aucun intrant, uniquement quelques ressources pour fabriquer l'outil.
- Les techniques chimiques ressortent comme étant nettement plus impactantes que toutes les autres techniques sur le facteur écotoxicité, c'est-à-dire que les produits chimiques déposés sur les plantes, finissent par pénétrer dans le sol et rejoindre les nappes phréatiques via les eaux pluviales. De plus, certes le glyphosate en tant que tel est considéré comme peu toxique mais les préparations utilisées sont, elles, plus toxiques à cause du tensioactif ajouté, ce qui le classe comme cancérigène probable, et perturbateur endocrinien, pouvant apporter des problèmes lors du développement du fœtus. Enfin, il existerait une relation possible entre le glyphosate, tout comme d'autres PPP (Produits Phytopharmaceutiques), et la maladie de Parkinson. [14] (Brohan, Teigné, et Le Gall 2015)
- La technique « brosseuse » génère quant à elle une quantité de limaille non-négligeable qui est relâchée dans l'environnement et qu'il faut renouveler régulièrement, utilisant des ressources premières et sources d'énergies.
- La technique « gaz » ressort comme une technique plutôt efficace du point de vue environnemental. Toutefois, son association pour des raisons de sécurité incendie en été

avec des méthodes comme eau chaude ou vapeur tend à lourdement aggraver le bilan environnemental, notamment sur l'indicateur « énergie non-renouvelable ».

Les différentes familles de techniques ont des spécificités propres, quant à leurs impacts environnementaux : les techniques chimiques génèrent une pollution chimique locale des sols et des milieux aquatiques, les techniques thermiques génèrent une pollution due à l'utilisation de combustibles fossiles ainsi que des intrants.

Cependant, l'impact sur l'environnement est aussi lié à la fréquence des passages. En effet, plus nous intervenons, plus nous utilisons le matériel, des intrants, etc... et donc plus nous polluons. Dans cette optique, la voie d'amélioration environnementale optimale pour le désherbage est la réduction du nombre de passages. Les conclusions qui en découlent portent donc sur les objectifs de désherbage par les gestionnaires selon le principe évident que moins nous désherbons, moins nous polluons. Ainsi, en dehors des contraintes sécuritaires pouvant concerner certains sites industriels, il convient de travailler sur la modification de la tolérance du public aux adventices. Lors de la conception des aménagements, il faut aussi prendre en compte cette donnée en concevant des espaces de telle sorte que, soit ces espaces ne requièrent très peu voire aucun désherbage, ou favorise l'utilisation de méthodes moins polluantes, soit favorise la tolérance de la présence des adventices aux yeux de la population.

Conclusion

Globalement, les méthodes les plus impactantes sur l'environnement sont celle utilisant des ressources naturelles comme le gaz et les énergies fossiles, polluant au passage l'air, et celles utilisant des PPP, contaminant les nappes phréatiques et les rivières à cause des eaux de ruissellement. La toxicité de ces derniers dépend entièrement du mélange utilisé, les tensioactifs étant souvent plus toxiques pour l'environnement et pour l'homme que les molécules actives utilisées. Les méthodes les moins impactantes sont celles qui n'utilisent donc que très peu de ressources telles que la binette voir les autres méthodes mécaniques.

Tableau VI - Tableau comparatif des méthodes de désherbage en fonction de l'efficacité, du coût et de l'impact sur l'environnement (Adeline Kohler, 2019)

Méthode	Type	Efficacité imperméable			Efficacité perméable			Cout		Impact environnement
		Effet immédiat	Efficacité	Durée	Effet immédiat	Efficacité	Durée	Même durée	Annuel	
Chimique	Chimie	-	++	++	-	++	++	+	-	++
Binette	Mécanique	+	+	--	+	+	-	-	+	-
Désherbeuse mécanique		+	+	--	+	+	-	++	++	+
Bruleur à gaz		+	+/-	--	+	+/-	-	+	+	+
Eau chaude	Thermique	+	+	+	+	+	+	++	++	++
Vapeur		+	+/-	+	+	+/-	+	++	++	++

2. La protection du buis, un sujet avec des enjeux patrimoniaux importants

L'utilisation du buis dans les jardins remonte à l'Antiquité, et elle a connu son apogée au XVII^e siècle avec les jardins à la française dans de nombreux châteaux. Le buis possède de nombreuses variétés qui permettent d'offrir une large palette de formes, de tailles, de ports et de couleurs. Cependant, depuis quelques années, le buis est menacé par deux principaux ravageurs : la pyrale du buis ou *Cydalima perspectalis* et un champignon *Cylindrocladium buxicola*, bien que d'autres ravageurs existent (le psylle du buis *Psylla buxi*, l'acarien des pousses terminales du buis *Aceria unguiculata*, la cécidomyie du buis *Monarthropalpus buxi*, ou encore le tétranyque du buis *Eurytetranychus buxi*) mais sont considérés d'incidence négligeable en culture comme en plantation.

a. La pyrale du buis : présentation des différents moyens de lutte

La pyrale du buis est arrivée en 2008 en France par l'Alsace et s'est développée peu à peu dans toute la France. En 2014, elle était présente dans 71 départements (figure 16). Cette forte dissémination est due aux échanges commerciaux de plants infestés ainsi qu'une progression naturelle de la population.

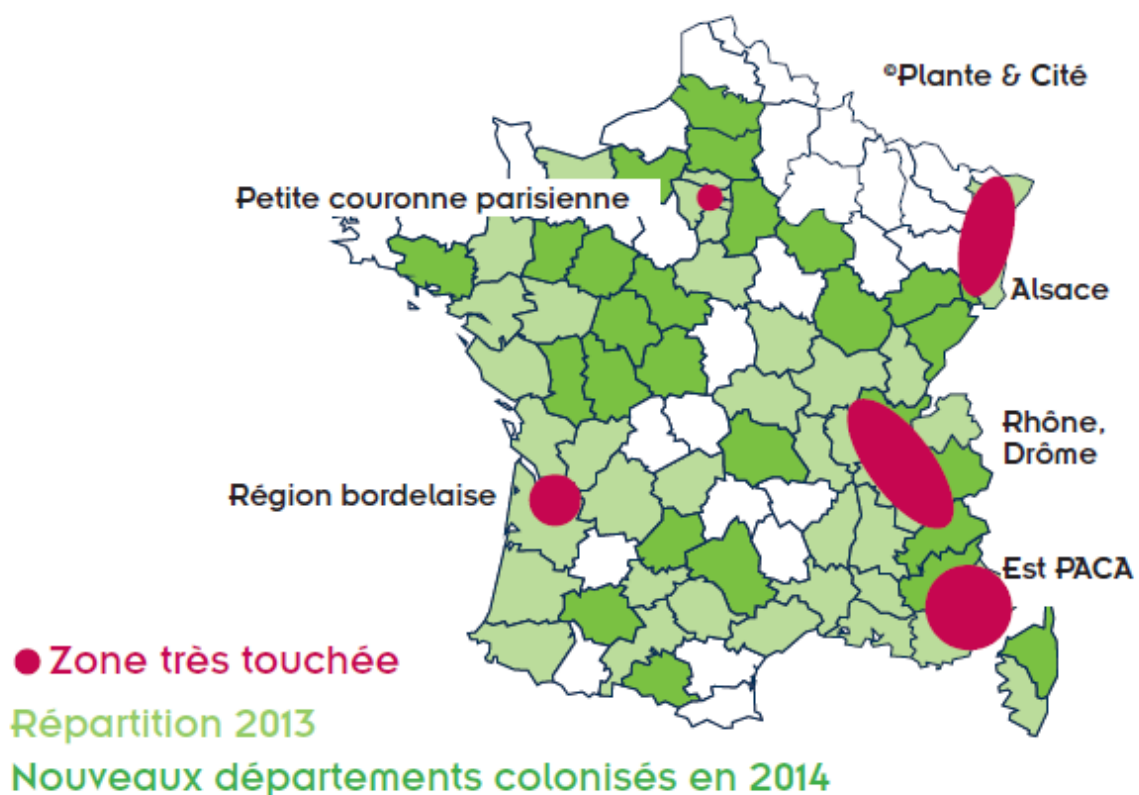


Figure 17 - Répartition de la pyrale en France (Plante & Cité, 2014)

Il est important de bien connaître le cycle de vie de la pyrale du buis pour savoir quand intervenir (figure 17). Les études de piégeages ont permis d'établir ce cycle et donc de mieux connaître le ravageur.

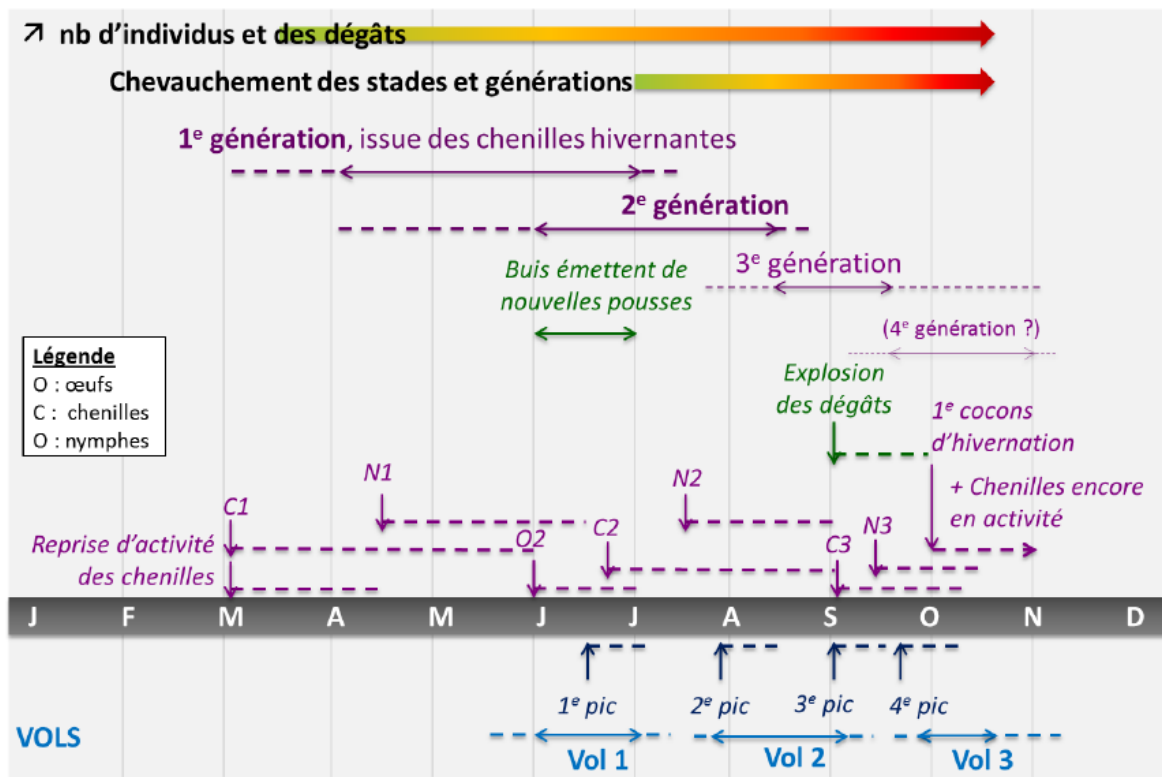


Figure 18 - Cycle biologique de la pyrale du buis (Plante & cité, 2014)

Les chenilles hivernantes reprennent leur activité en mars/avril selon la région et les caractéristiques des chenilles. La première génération est observée de mars à juillet avec des vols essentiellement en juin. La deuxième génération elle apparaît de juin à mi-août. Les dégâts sur les buis sont engendrés à partir de mars-avril avec la reprise des chenilles jusqu'à octobre-novembre avec l'apparition des cocons hivernants. Le pic des dégâts apparaît pendant l'été avec le chevauchement des générations. Et lorsque le feuillage des buis est largement consommé, les chenilles s'attaquent à l'écorce, amenant le buis à dépérir encore plus.

Pour lutter contre la pyrale du buis, il existe plusieurs solutions :

- Les méthodes de prophylaxies : l'élimination des feuilles mortes et autres débris présents dans, sur et autour du buis permet de supprimer des nids potentiels pour la pyrale. De plus, supprimer manuellement ou mécaniquement (appareil à air ou à eau sous pression, souffleur...) les différents stades du ravageur en présence dans le cas d'une faible infestation est un moyen efficace et peu coûteux de lutter contre la pyrale.
- Les produits phytosanitaires : il existe deux types, les pyréthriinoïdes (comme les molécules deltaméthrine ou cyperméthrine) qui sont des insecticides de contact efficaces mais qui ont l'inconvénient de ne pas être sélectifs et de toucher également les insectes auxiliaires utiles ; et le diflubenzuron qui est un régulateur de croissance des

insectes mais qui n'est réellement efficace que s'il est appliqué lorsque les chenilles sont très petites. [15] (« Traitements et lutte contre la pyrale du Buis - Pyrale du buis » s. d.)

- Le piégeage phéromonal : Le principe de cette technique est d'attirer les papillons à l'aide de phéromones sexuelles dans un piège duquel ils ne peuvent pas ressortir pour y mourir. Ces pièges sont principalement utilisés pour faire de l'étude de population mais peuvent aussi permettre de faire de la capture de masse et ainsi de lutter contre les pyrales.
- Le lâcher des parasitoïdes oophages : cela consiste de lâcher des parasitoïdes, ici à savoir des Trichogrammes, qui vont parasiter les œufs de la pyrale pour leur propre développement et donc ainsi les détruire.
- La pulvérisation d'agents entomopathogènes : il s'agit d'utiliser des agents entomopathogènes, à savoir les nématodes et *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* (Btk), une bactérie, pour lutter contre les stades larvaires de la pyrale. Ceux-ci sont asperger sur les chenilles directement pour qu'elles les ingèrent et qu'ils puissent ainsi agir et les tuer.
- La prédation par l'avifaune : cette technique nécessite de placer des nichoirs à proximité des buis pour favoriser l'installation des oiseaux insectivores qui se nourrissent des chenilles et/ou des papillons et donc ainsi prédater la population des pyrales, et donc la réguler.

Chaque technique intervient sur un stade de développement différent : le piégeage sur le stade adulte, les parasitoïdes sur les œufs et les agents entomopathogènes sur le stade larvaire. C'est pour cela qu'il est important de connaître le cycle de développement du papillon pour pouvoir intervenir au bon moment avec la technique appropriée.

b. Efficacité des moyens de lutte contre la pyrale

Le piège phéromonal

Le piège phéromonal permettant le piégeage de masse a été étudié dans l'étude SaveBuxus menée par Plante & cité, Astredhor, INRA et Koppert [16] (ASTREDHOR et Plante & Cité 2015). Dans la roseraie du Val de Marne, les chercheurs ont divisé le jardin en deux pour étudier l'efficacité du piégeage de masse avec la phéromone fournie par Koppert, Pherodis 2015. La moitié de la roseraie été équipée de 45 pièges BUXatrap et cinq pièges CAMERatrap (avec eau + mouillant). Les premiers sont les plus performants pour la capture en masse car ils ne nécessitent que très peu d'entretien. Les cinq derniers permettent d'assurer un suivi hebdomadaire du nombre de papillons car permettent un comptage plus aisé que les pièges BUXatrap. L'autre moitié de la roseraie servait de témoin sur lequel il a aussi été disposé cinq pièges CAMERatrap (figure 19).



**DISPOSITIFS EXPÉRIMENTAUX CONTRE LA PYRALE DU BUIS (*Cydalima perspectalis*)
Roseaie du Val-de-Marne (L'Hajÿ-les-Roses, 94)**

Résultats des captures de papillons dans les pièges en 2015

- | | |
|---|---|
|  0 à 50 papillons |  Contours de la zone d'expérimentation |
|  50 à 100 papillons |  Zone tampon |
|  100 à 150 papillons | |
|  150 à 200 papillons | |
|  200 à 250 papillons | |
|  250 à 300 papillons | |



Figure 19 - Dispositif expérimental de piégeage de masse contre la pyrale du buis (SaveBuxus, 2015)

Les pièges BUXatrap ne permettant pas un dénombrement facile des papillons attrapés, ce sont les chenilles qui ont été dénombrées lors du dernier stade larvaire début mai, puis en juillet et en septembre. Le dernier comptage a été effectué début mai de l'année suivante afin d'évaluer sur l'ensemble des périodes de vols l'évolution de la pyrale dans le parc.

Les résultats observés ont été plutôt décevants. Bien qu'il y ait tout de même moins de chenilles dans la partie où les piégeages ont été mis en place, le piégeage de masse n'endigue pour autant pas la multiplication des chenilles (figure 20).

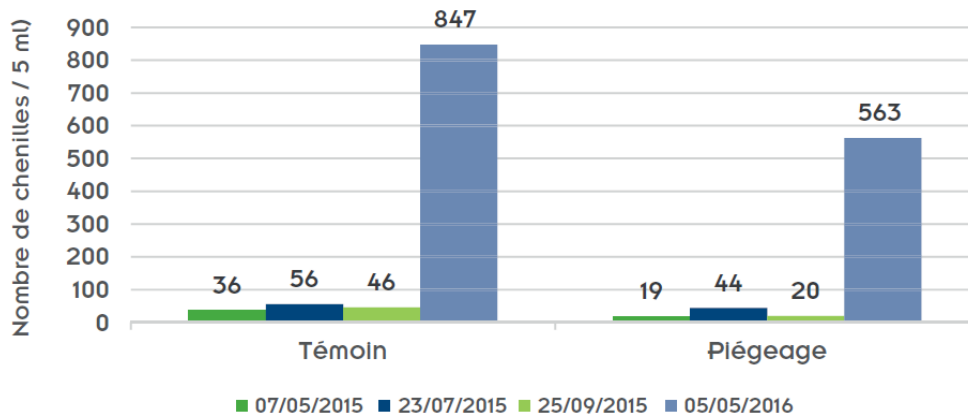


Figure 20 - Dénombrement des chenilles rapporté à 5m linéaire par modalité (SaveBuxus, 2016)

Le lâcher de parasitoïdes oophages

Les parasitoïdes oophages de la pyrale du buis sont les souches de trichogrammes Y, Qa, Qc, P et Tc (indigènes) ainsi que Sa et Nb (exotiques) [17] (ASTREDHOR et Plante & Cité 2016). Pour évaluer l'efficacité de chacune des souches à parasiter les œufs de la pyrale, elles ont été étudiées dans trois configurations différentes :

- En tube : 1 brin de buis, 25 œufs de pyrale, 1 trichogramme et sous conditions de laboratoire.
- En mésocosme : buisson de buis de 0.06 m³, 150 œufs de pyrale, de 50 à 300 trichogrammes et sous conditions de laboratoire.
- Sur le terrain : buisson de buis de 1 m³, 600 œufs de pyrale, 1400 trichogrammes et en extérieur.

Dans les conditions d'expérimentation du mésocosme, le seuil maximal de 90% d'efficacité a été obtenu avec un rapport de 200 femelles trichogrammes pour 150 œufs de pyrale. Sur le terrain, cependant, les conditions climatiques ont un impact variable sur l'efficacité et la dispersion selon les souches de trichogramme (figure 21).

Souche	SR	Tubes		Mésocosme			Terrain			Conclusion
		Eff	Para	Eff	Para	Disp	Eff	Para	Disp	
Y	70 %	b	b	a	b	a	a	a	a	Test 2017
Qa	70 %	d	c	a	a	a	b	a	b	Éliminée
Qc	58 %	d	c	b	c	-	-	-	-	Éliminée
P	100 %	b	b	NT	NT	NT	a	a	a	Test 2017
Tc	64 %	a	a	NT	NT	NT	?	?	?	Test 2017
Sa	100 %	c	c	NT	NT	NT	a	a	a	Test 2017
Nb	70 %	d	c	NT	NT	NT	c	a	b	Éliminée

Eff : efficacité (nombre d'œufs tués)
 Para : parasitisme (nombre d'œufs parasités)
 Disp : dispersion ; « ? » tests en cours
 NT : souches non testées car non disponibles lors des essais début 2016
 « - » : souche non testée car éliminée en amont
 Les souches sont classées de « a » (meilleure) à « d » (moins bonne).

Figure 21 - Efficacité de chacune des souches de trichogramme suivant les différentes modalités (SaveBuxus, 2016)

En ce qui concerne les descendants, pour toutes les souches de trichogramme, en conditions de laboratoire, les descendants F1 et F2, issus d'œufs de pyrale, sont aussi, voire plus, efficaces que leurs parents. Toutefois la population des descendants ne se maintient pas sur le terrain étant donné des taux d'émergence faibles et un sexe-ratio défavorable aux femelles. Leur impact est donc négligeable dans le contrôle biologique de la pyrale du buis. Ceci est peut-être dû à un système de défense au niveau de l'œuf de la pyrale, cette hypothèse est à l'heure actuelle encore testée.

Cependant, cette piste est toujours explorée car elle permet tout de même de limiter la propagation des larves de la pyrale du buis et pourrait donc être utilisées en parallèle d'autres techniques pour une meilleure efficacité.

La pulvérisation d'agents entomopathogènes

En 2014, lors de l'étude SaveBuxus, les chercheurs ont réalisé des essais pour tester l'efficacité des agents entomopathogènes, dont principalement Btk pour lutter contre les stades larvaires de la pyrale [16] (ASTREDHOR et Plante & Cité 2015). Il ressort des études que la bactérie permet un contrôle efficace du ravageur s'il est positionné dans de bonnes conditions climatiques et au bon moment du cycle de développement, soit dès la reprise d'activité des larves hivernantes. Des traitements une semaine après le pic de vols peuvent aussi permettre de gérer les générations suivantes si de nouvelles se sont installées. Un suivi rigoureux de la biologie du ravageur est donc nécessaire.

Cependant, pour s'assurer d'une efficacité optimale, le produit doit pénétrer jusqu'au cœur du buis, là où se logent de nombreuses chenilles pour rentrer à leur contact. Pour augmenter l'efficacité globale du traitement et donc diminuer les défoliations, il convient d'utiliser du matériel permettant de pénétrer au mieux au cœur du buisson lors de l'application de la bouillie. L'augmentation du volume de bouillie (de 300~400 à 600 L/Ha) peut aussi permettre une

pénétration homogène et donc mieux atteindre les grosse chenilles. En revanche, l'ajout d'un adjuvant ne semble pas augmenter l'efficacité du Btk (figure 22).

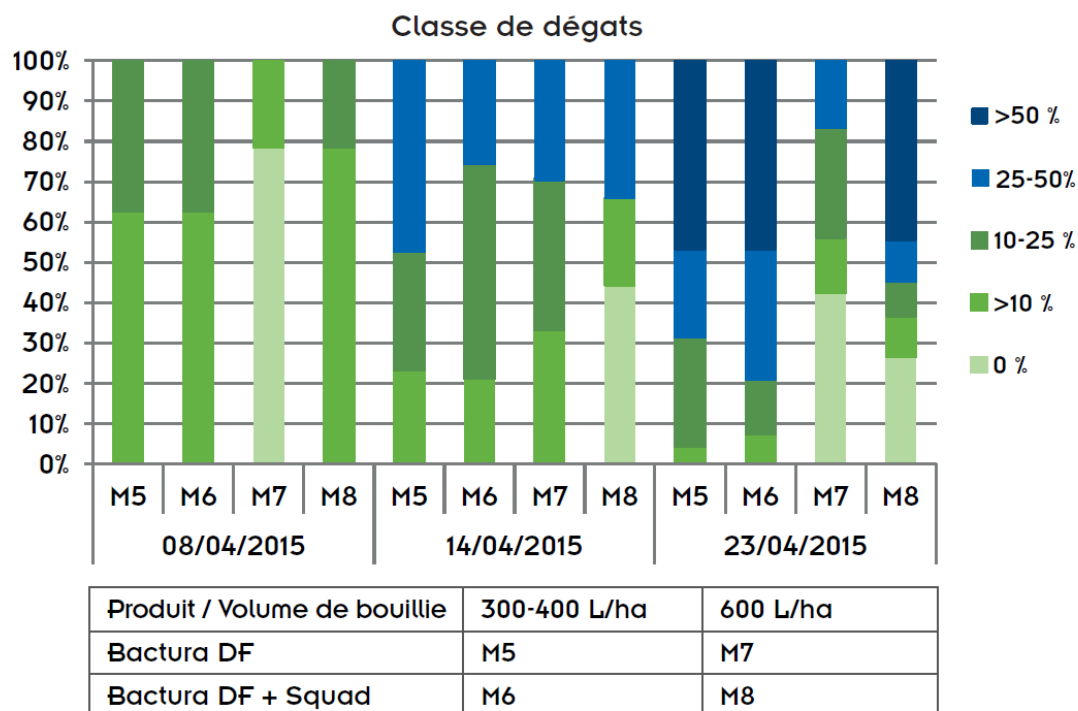


Figure 22 - Taux de défoliation en fonction du traitement de Btk appliqué (SaveBuxus, 2015)

La prédation par l'avifaune

Les mésanges sont d'importants prédateurs de lépidoptères et représentent donc des alliés pour la gestion des chenilles phytophages. En adaptant alors le site par l'installation de nichoirs, nous pouvons favoriser leur nidification et donc augmenter le niveau de prédation.

Différentes observations ont permis de confirmer que la pyrale fait désormais partie du régime alimentaire des mésanges (figure 23). Fin 2016, l'INRA a installé 20 nichoirs sur le site de la Roseraie du Val de Marne pour tenter de favoriser la nidification de cet oiseau [18] (ASTREDHOR et Plante & Cité 2017). Au printemps suivant, le suivi photographique a permis de confirmer la présence de mésanges sur le site ainsi que le fait qu'elles s'alimentaient de pyrales. Le taux de colonisation était de 11 couvées par hectares, soit un taux élevé permettant de confirmer la relation positive entre le nombre de nichoirs et la présence des mésanges. De plus, aucun poussin n'est mort dans les nichoirs, permettant d'en déduire qu'ils ne sont pas sensibles à la toxicité des chenilles.

Ces premières observations amènent donc à penser que favoriser la nidification des mésanges pourrait être une bonne stratégie de régulation biologique à combiner avec les autres méthodes.



Figure 23 - Observation des mésanges sur le site de la Roseaie. A gauche : utilisation des nichoirs par les mésanges, à droite, la prédation des chenilles de la pyrale par les mésanges (Savebuxus, 2017).

Conclusion :

Dans le cadre de ces travaux réalisés dans l'étude SaveBuxus, les premiers éléments pour la gestion des populations de pyrale du buis qui ressortent sont :

- Prophylaxie :
 - Supprimer les feuilles mortes et autres débris présents dans, sur, et autour du buis concerné.
 - Supprimer manuellement ou mécaniquement les stades du ravageur en présence dans le cas d'une faible infestation.
- ➔ Ces méthodes permettent déjà de limiter en partie la propagation du ravageur. Elles sont peu coûteuses et faciles à mettre en place en revanche elles sont chronophages.
- Suivi/Monitoring :
 - Observer minutieusement tous les nouveaux pieds achetés ou à planter.
 - Surveiller les buis de manière régulière et avec soin (jusqu'au cœur de la plante) à la recherche de chenilles hivernantes pour intervenir le plus tôt possible en adaptant les méthodes de protection dès février-mars.
 - Surveiller les vols des papillons avec des pièges à entonnoir associés à la phéromone spécifique de la pyrale d'avril à octobre.
 - Surveiller également l'apparition des premières chenilles de chaque génération en inspectant soigneusement les buis jusqu'au cœur de la plante.
- Méthodes de lutte : le mieux est de combiner les différentes méthodes de lutte en fonction des stades de développement présents
 - Pour le piégeage : placer des pièges à phéromones peu avant la reprise des vols, les vider régulièrement et les recharger en phéromone. Ils permettront ainsi de diminuer la densité de papillons présents sur le site.
 - Pour les parasitoïdes oophages : mettre en contact les trichogrammes avec les buis lors de la ponte des œufs de pyrale pour que les femelles puissent les parasiter.
 - Pour le traitement au Btk : effectuer un traitement dès la reprise d'activité des chenilles hivernantes puis traiter 1 semaine après le pic de vol (constater la présence de chenilles) et renouveler le traitement à 7-10 jours si besoin (en cas de ré-infestation par exemple) pour les générations suivantes.

- Pour la prédation : l'installation de nichoirs semblent suffisent pour permettre l'installation des mésanges sur le site et ainsi permettre leur prédation.

➔ Toutes ces méthodes sont à mettre en parallèle pour permettre une bonne lutte contre la pyrale. Pour l'instant, les méthodes qui se sont montrés les plus efficaces sont le traitement avec la bactérie Btk ainsi que les mésanges (qui ont notamment fait leur preuves sur le site de l'Atoll à Angers). Les autres méthodes sont encore à développer pour augmenter leur efficacité mais permettent tout de même un certain contrôle de la population et peuvent facilement être mis en parallèle en ce qui concerne le piégeage.

c. Champignon : aucune méthode alternative trouvée

La maladie attribuée à *Cylindrocladium buxicola* a été observée pour la première fois en 1994 au Royaume-Uni avant de s'étendre à d'autres pays de l'union Européenne dans les années 2000. Cependant, celle-ci n'a été identifié qu'en 2002 et semble proche d'isolats originaires de Nouvelle-Zélande.

D'un point de vue biologique, *C. buxicola* se développe à des températures comprises entre 5 et 30°, avec un optimum situé entre 18 et 25°C. Des conditions humides, ombragées et peu ventilées favorise également son développement. Son développement se déroule en 5 étapes (figure 24).

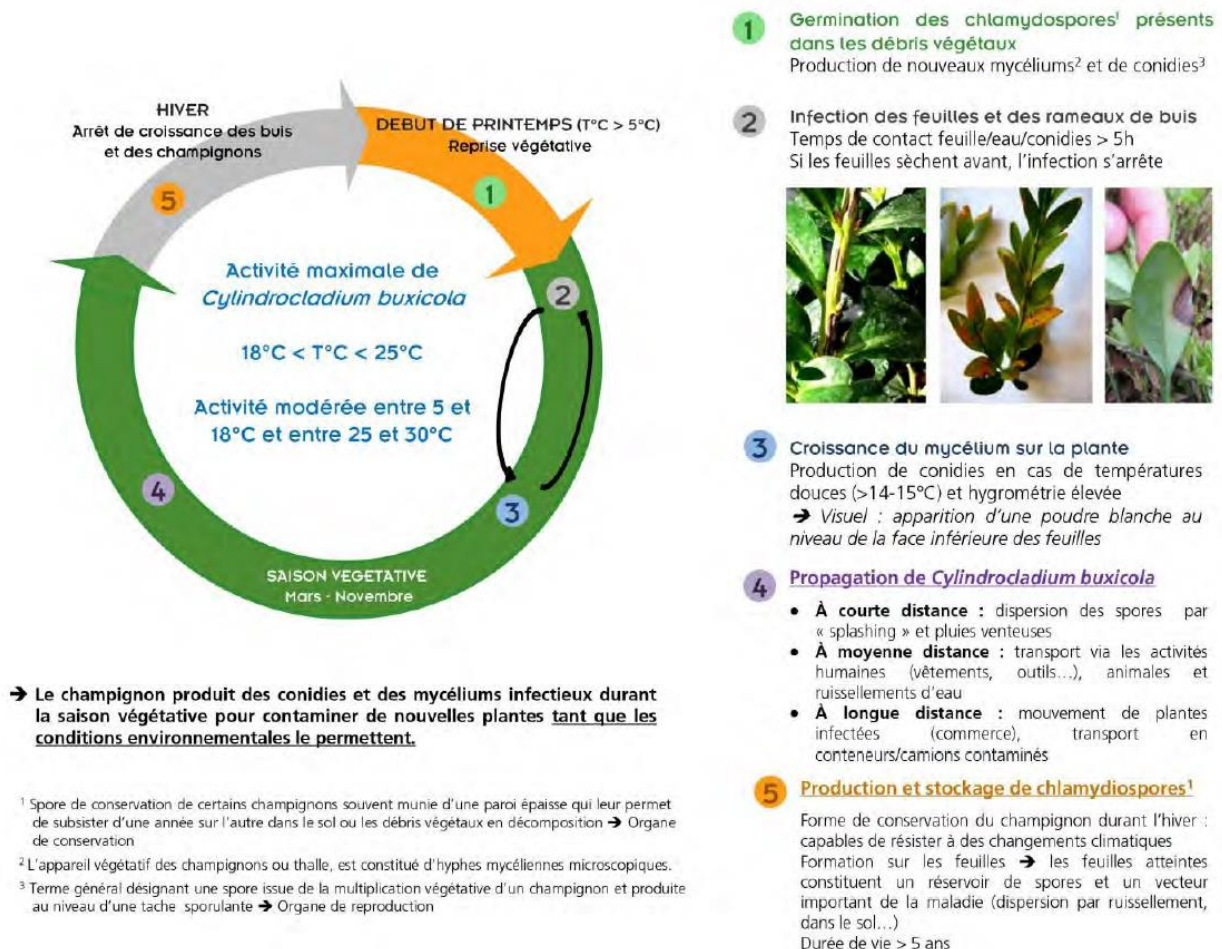


Figure 24 - Cycle de développement de *Cylindrocladium buxicola* (SaveBuxus, 2016)

L'infection débute avec le développement du mycélium sur les feuilles, causant l'apparition de tâches foliaires marron-noir. Les spores, elles, ont besoin d'une averse afin de pouvoir se libérer et coloniser de nouvelles surfaces. Collées à leur nouveau support, elles germent et pénètrent dans les plantes sensibles par le biais des stomates sur les feuilles. Contrairement à un autre champignon parasite du buis, *C. buxicola* n'a pas besoin de lésions pour infecter les buis. Il faut cependant avoir de l'humidité sur les feuilles pendant plusieurs heures pour que les spores germent et infectent la plante. Lorsque les feuilles ou rameaux sèchent, le processus d'infection s'arrête.

Pour éviter l'infection des buis par *C. buxicola*, plusieurs bonnes pratiques existent, n'utilisant pas de produits phytosanitaires. [19] (Jacob et Tolle, 2016)

Pour commencer, l'utilisation de variétés moins sensibles à la maladie (figure 25), ou alors l'utilisation d'une autre catégorie de plantes similaires, constitue un outil intéressant pour réduire la pression globale de l'agent sur un site. Cependant, dans certains cas, l'utilisation d'autres variétés est parfois difficile à envisager, comme en parcs et jardins du fait de la préférence des espèces de buis dites « de château », notamment dans les jardins reconnus « d'intérêt patrimonial ». Mais si nous décidions de changer de variété ou de catégorie de plante, il faut tenir compte des exigences particulières propres à la plante autant qu'au milieu d'accueil et de son mode de gestion.

Sensible à très sensible	Moyennement sensible	Peu sensible à tolérant
<i>B. sempervirens</i> 'Suffruticosa'	<i>B. sempervirens</i> 'Rotundifolia'	
<i>B. microphylla</i> 'Morris Midget'	<i>B x</i> 'Green Gem' [UK]	<i>B x</i> 'Green Gem' [USA, B]
<i>B. sempervirens</i> 'Justin Brouwers' [B]	<i>B. sempervirens</i> 'Justin Brouwers' [USA]	<i>B. sempervirens</i> 'Fastigiata'
<i>B. sempervirens</i> ('Arborescens') [USA]	<i>B. sempervirens</i> ('Arborescens') [B, UK]	<i>B. sempervirens</i> 'Dee Runk'
<i>B. sempervirens</i> 'Elegantissima' [USA]		<i>B. sempervirens</i> 'Elegantissima' [B]
<i>B. sempervirens</i> 'Jensen'	<i>B x</i> 'Green Mound'	<i>B. microphylla</i> 'John Baldwin'
<i>B. microphylla</i> 'Morris Dwarf'	<i>B x</i> 'Green Mountain'	<i>B. microphylla</i> 'Faulkner'
<i>B x</i> 'Glencoe'	<i>B. microphylla</i> 'Green Pillow'	<i>B. microphylla</i> 'Winter Gem'
	<i>B. microphylla</i> 'Grace H. Philips'	<i>B. microphylla</i> 'National'
	<i>B. microphylla</i> 'Jim Stauffer'	<i>B. microphylla</i> 'Golden Dream'
	<i>B. bodinieri</i> [UK]	<i>B. bodinieri</i> [B]
	<i>B. hartlandii</i> [UK]	<i>B. hartlandii</i> [B]
		<i>B. balearica</i>
		<i>B. microphylla</i> (sinica var insularis) 'Nana'
		<i>B. microphylla</i> 'Green Beauty'

Légende

B (Belgique), **UK** (Royaume-Uni), **USA** (Etats-Unis)

<i>Buxus sempervirens</i>	<i>Buxus microphylla</i>	Autres espèces	Hybrides	Contradictoire [abrév. Pays]
---------------------------	--------------------------	----------------	----------	------------------------------

Figure 25 - Niveaux de sensibilité estimée pour quelques variétés de buis à la cylindrocladiose (SaveBuxus, 2016)

Ensuite, des mesures d'hygiène lors de la manipulation des buis sont à mettre en place car elles visent à restreindre les risques de dissémination des agents pathogènes liés aux activités. Toutes les personnes amenées à manipuler les buis doivent se laver les mains régulièrement et

désinfecter leurs outils de façon systématique. Dans l'idéal, les outils doivent être désinfectés dès qu'ils ont servi à tailler un pied atteint avant de tailler un nouvel arbuste.

En présence de buis infectés, il faut éviter autant que possible les sources de contaminations croisées en restreignant les mouvements des jardiniers autour des zones sensibles et en maintenant un périmètre de sécurité autour des buis malades auquel les visiteurs n'ont pas accès. Mais il est vrai que dans de grands parcs classés au patrimoine, il est difficile d'isoler les buis malades des visiteurs, ce qui cause un plus grand brassage des agents pathogènes et leur permet de coloniser d'autres parties du jardin en « s'accrochant » aux vêtements via l'eau.

Le champignon peut survivre pendant au moins 5 ans dans les débris organiques et tissus végétaux tombés au sol grâce à ses formes de conservation très résistantes. L'élimination des feuilles tombées au sol, des plantes malades et des déchets de taille permet donc de réduire considérablement les risques de contamination. Mais elle doit être méthodique et totale : une très faible fraction du stock de feuilles non ramassées peut permettre à la contamination de repartir.

Enfin de bonnes pratiques culturales permettent de mieux lutter contre le champignon. La fertilisation assure une bonne reprise de la plante et contribue fortement à la bonne santé du buis, réduisant sa sensibilité aux maladies.

En ce qui concerne l'arrosage, l'eau étant un facteur important pour la dispersion et le développement de la maladie, il vaut mieux favoriser l'irrigation localisées comme le goutte à goutte. Mais il vaut mieux éviter l'arrosage aérien qui mouille le feuillage et donc favorise le développement du champignon et engendre des éclaboussures qui permettent la dispersion des spores. Si l'arrosage aérien ne peut être évité, l'idéal est d'irriguer au même moment que la chute de rosée pour éviter de prolonger les durées d'humectation par rapport à celle existant naturellement.

Le paillage quant à lui, limite le dessèchement du sol, ce qui permet de réduire l'arrosage considérablement et donc les problèmes liés à celui-ci. De plus, les paillages apportent de la structure au sol et de la vie biologique, favorisant le bon développement de la plante. Enfin, il permet de limiter la propagation des champignons pathogènes car il évite les éclaboussures en cas de forte pluie. Cependant, cette pratique ne permet pas de ramasser facilement les feuilles. Il faut donc prendre tout en compte au regard des atouts et des contraintes propres à chaque technique avant de mettre un système en place.

Une bonne gestion de l'humidité est aussi importante aux vues du mode de développement du champignon. Les buis doivent être plantés de manière à leur permettre de sécher plus rapidement (soleil, vent). Cela peut passer par un abaissement de la densité de plantation en trouvant le meilleur compromis entre humidité ambiante et résultat esthétique. Un bon drainage de la parcelle est aussi important. Enfin, l'élimination des feuilles mortes et autres débris végétaux au fur et à mesure qu'ils s'accumulent sur le feuillage permet d'aérer le buis et de lui permettre de mieux sécher.

Enfin, la taille d'entretien des buis doit être limitée au début de la reprise végétative (avril) afin de limiter le stress provoqué par cette intervention, et si nécessaire fin août. Cette taille doit être

effectuée avec un cisaille manuelle, l'électrique broyant les tiges et provoquant leur jaunissement, devenant une porte d'entrée pour d'autres pathogènes. Il faut désinfecter régulièrement les outils comme dit précédemment et collecter et éliminer les débris et rameaux.

Cependant, il n'existe pas réellement d'autres solutions que les produits phytosanitaires pour lutter contre le champignon.

Un stimulateur de défenses naturelles SERENADE possède une action indirecte sur le pathogène en renforçant les buis mais ne permet pas de lutter directement contre le champignon. Mais les autres essais d'utilisation de microorganismes contre le développement des champignons ne sont pas concluants pour le moment. Aussi, à ce jour, les services d'espaces verts ne possèdent pas de moyens de lutte efficaces hormis les produits phytosanitaires.

Cependant, la réglementation a été allégée pour certains cas particuliers : « **La lutte contre les organismes réglementés** à l'aide de produits phytosanitaires reste autorisée. Des dérogations pourront également être données pour utiliser des produits phytosanitaires contre des **dangers sanitaires graves menaçant la pérennité du patrimoine historique ou biologique.** » [1] (« Le point sur la Loi Labbé - Ecophyto PRO : réduire et améliorer l'utilisation des phytos » s. d.). Les buis faisant généralement partie du patrimoine historique dans les parcs, leur traitement à l'aide de PPP pour lutter contre *C. buxicola* est donc autorisé.

Il existe deux types de traitement : préventif qui se font avant l'apparition du champignon, et curatif qui se font après, pour lutter contre le pathogène. La lutte chimique préventive, associée à toutes les méthodes culturales cités précédemment sont préférables à une stratégie de lutte curative car elles limitent mieux la propagation de la maladie.

Ces traitements préventifs, pour limiter leur utilisation doivent être appliqués lorsque les conditions météorologiques favorables au développement du pathogène sont anticipées et à plus forte raison s'ils sont déjà atteints. Et en cas de temps changeant, alternant entre pluie et beau temps, des fongicides à action mixte curative peuvent être préférés à des produits agissant strictement en préventif (figure 26).

	Buis sensibles		Buis peu ou moins sensibles	
	Météo favorisant la maladie	Météo ne favorisant pas la maladie	Météo favorisant la maladie	Météo ne favorisant pas la maladie
Buis sans symptômes	Produits à action mixte, antisporeulants alternés avec préventifs stricts	SDN alternés avec préventifs stricts	SDN ou préventifs stricts	Traitement non indispensable
Buis avec symptômes	Produits à action mixte avec potentiel éradiquant	Produits à action mixte, antisporeulants	Produits à action mixte avec potentiel éradiquant	Produits à action mixte

Figure 26 - Schéma simplifié d'aide à la décision "météo dépendant" (SaveBuxus, 2016)

Conclusion

Contre les ravageurs du buis, c'est surtout une bonne pratique culturale et une bonne connaissance des cycles de vie des ravageurs qui permettent de limiter au mieux leur colonisation et leur propagation. Etant une espèce utilisée dans les jardins historiques et devenant ainsi patrimoine, l'utilisation de produits phytosanitaires est donc possible pour lutter contre les ravageurs mais des solutions alternatives sont tout de même étudiées et peuvent être utilisées en parallèle. Les solutions préventives sont celles surtout à privilégier comme la mise en place de pièges à phéromones ou de nichoirs pour la pyrale d'une part, et l'utilisation de produits phytosanitaires préventif pour *C. buxicola* d'autre part, pour éviter, ou dans le pire des cas limiter, l'installation du ravageur sur la parcelle.

III. Les limites et les perspectives des méthodes d'entretien des espaces verts.

1. Les méthodes d'entretien ont tout de même leurs limites

Cette analyse bibliographique se résume tout de même à deux études principales, celle menée par Compamed et celle menée par le groupe SaveBuxus. Cela est dû au manque d'études qu'il existe aujourd'hui concernant ce sujet. Elles restent cependant critiquables et contestables, surtout que certaines de ces études commencent à dater et que les technologies évoluent. Les outils électriques par exemples n'ont pas pu être évalués lors de l'étude des méthodes mécaniques et sont des outils permettant d'augmenter l'efficacité tout en étant plus respectueux de l'environnement car utilisant des énergies moins émettrices de gaz à effet de serre.

Malgré cela, comme nous l'avions vu dans la partie précédente, chacune des méthodes d'entretien a ses propres limites. Premièrement, elles ont toutes des limites en termes d'efficacité, celle-ci dépendant énormément du terrain à entretenir et des conditions climatiques. Là où une technique sera efficace dans un contexte donné, elle ne le sera pas dans un autre. Par exemple, en désherbage, s'il l'on veut utiliser des méthodes mécaniques de désherbage, la modalité de la binette sera la plus efficace sur des petites surfaces où il faut être minutieux comme des massifs, alors qu'une herse tractée sera plus favorable pour un sol perméable comme un stabilisé, et qu'une balayeuse sera plus utile sur des voies imperméables, des chaussés.

Deuxièmement, ce sont surtout les conditions climatiques qui influent sur l'entretien. En effet, lors de l'arrivée des beaux jours, les conditions sont plus favorables pour le développement de la plupart des adventices et des ravageurs. De plus, certains ne se développent qu'en présence d'eau. Aussi, d'une année sur l'autre, en fonction de la météo, les méthodes d'entretien seront plus ou moins efficaces, demandant parfois d'augmenter le nombre de passages, ou au contraire, permettant de le diminuer.

Les autres limites d'entretien restent le budget alloué à celui-ci par les gestionnaires. Comme nous l'avions vu, c'est surtout la main d'œuvre qui coûte le plus cher pour chaque méthode. Parfois s'ajoute des coûts pour le matériel ou les équipements. Il faut donc bien calculer le coût de chaque méthode pour un espace donné car parfois, il vaut mieux investir dans du matériel permettant de gagner du temps et de diminuer le nombre d'interventions que de rester sur du petit matériel peu coûteux mais chronophage.

Ensuite, il est vrai que d'un point de vue efficacité, les produits phytosanitaires sont tout de même les plus efficaces et les moins coûteux d'un point de vue financier, d'où leur utilisation pendant des années. Mais les études ont montré que ces produits peuvent être toxiques d'un point de vue environnemental et sanitaire, car ils sont cancérigènes pour les populations, engendrant aussi des malformations lors du développement du fœtus, tout en polluant les nappes phréatiques et les cours d'eau à cause des eaux de ruissellement. De surcroît, certains n'étant pas sélectifs, ils affectent autant les nuisibles que les auxiliaires, menant ainsi à la disparition

de populations d'insectes de manière involontaire, comme la disparition des abeilles, engendrant de gros problèmes pour les écosystèmes. Leur utilisation est donc à limiter si l'on veut préserver les écosystèmes pour les générations futures et diminuer le nombre de problèmes sanitaires liés à leur utilisation. D'où la création de la loi Labbé.

Aussi, d'autres méthodes autorisées par la loi sont tout aussi polluantes que les produits phytosanitaires, émettant des gaz à effet de serre lors de leur utilisation, ou utilisant des ressources naturelles telles que le gaz ou l'eau. Ces méthodes sont donc aussi à limiter ou à améliorer pour diminuer la pollution de l'air et favoriser plutôt les méthodes moins coûteuses en ressources, ou utilisant des énergies renouvelables.

2. Comment seront donc entretenus les espaces verts de demain ?

Nous pouvons nous attendre à une évolution du matériel permettant l'entretien des espaces verts dans le futur, avec des outils plus performants, moins coûteux en énergie, utilisant plutôt l'électricité que l'énergie thermique. Et pour lutter contre les ravageurs, la recherche se penche de plus en plus sur la lutte biologique et micro biologique comme nous avons pu le voir avec la pyrale du buis, en recherchant des prédateurs pour diminuer leur population. Cependant, la recherche et le développement de ces technologies demandent du temps et ne seront disponibles que dans quelques années.

Dans un avenir proche, seules trois méthodes qui permettront de diminuer les coûts d'entretien pour respecter la loi Labbé sont la conception des espaces permettant une diminution des coûts d'entretien, l'élaboration d'un plan de gestion ainsi que le changement des mentalités.

Les espaces verts de demain seront probablement plus réfléchis en termes d'entretien qu'ils ne le sont à l'heure actuelle. L'utilisation de paillis et de couvre-sol permettent de considérablement limiter la pousse d'adventices. L'étude du climat et du sol permet aussi de choisir des plantes adaptées, permettant de mieux résister au climat et donc demandant moins d'entretien. Enfin, l'innovation végétale permet de trouver des nouveaux végétaux plus résistants aux maladies et moins sensibles aux ravageurs. Nous pourrions imaginer que certaines variétés de buis seront totalement résistant à *C. buxicola* et permettra ainsi d'éviter l'emploi de pesticides contre ce champignon.

Mais c'est surtout avec la mise en place d'un plan de gestion réfléchi que les décisionnaires pourront grandement diminuer les coûts d'entretien et augmenter l'efficacité de leur passage. Celui-ci se fait en 4 étapes [20] (SMAEP 4B 2017) :

- **Etape 1 : le plan d'entretien.** C'est un plan cartographique qui permet d'identifier au sein de la commune l'ensemble des zones entretenues du territoire, les zones à risque pour l'eau et les méthodes de désherbages déjà utilisées (chimiques et/ou alternatives). Cela permet d'identifier et de classer les zones à entretenir en fonction du risque de ruissellement et de pollution des eaux, afin d'adapter les méthodes d'entretien en

conséquence. Mais avant d'arriver à ce classement, il faut bien étudier chacune des parcelles entretenues, en identifiant leurs lieux sur la commune, leurs enjeux ainsi que le public qui utilise ces parcelles.

- **Etape 2 : le plan de gestion différenciée.** Cela consiste à ne pas appliquer à tous les espaces la même intensité ni la même nature d'entretien. Pour cela, il faut prendre en compte pour chaque espace sa situation, sa surface, son intérêt écologique, sa fonction, et sa fréquentation. Cela permettra de rationaliser les coûts d'entretien, d'améliorer la qualité et la diversité des espaces et de protéger et d'enrichir la valeur écologique des milieux. Pour se faire, une méthode de classement doit être définie (figure 27), permettant d'appliquer un niveau d'entretien différent pour chaque zone en fonction de son importance.

Code	Espace horticole 1	Espace structuré 2	Espace d'accompagnement Lieux publics d'importance 3	Espace champêtre 4	Espace sportif 5
Types d'espaces	Zone centrale/ historique à forte fréquentation	Zone d'accueil du public	Zone périphérique	Zone naturelle faiblement fréquentée	Zone d'activités sportives
Définitions	Très fréquenté, faisant appel à toute la palette végétale horticole dont le fleurissement en massifs composés	Lieu de détente, ambiance d'une nature toujours maîtrisée mais que l'on veut représenter plus libre	Espace vert à entretien modéré, végétation indigène spontanée, arbustes et plantes vivaces	Espace vert peu fréquenté, à entretien réduit, végétation indigène spontanée et mélange fleuri	Espace vert à entretien spécifique selon les exigences sportives, pas de fleurissement
Exemples	Centre-ville	Cimetière place de l'église, espaces verts, lotissement.	Terre-plein central, pieds d'immeubles, cheminements, lotissements	Verger, chemins de randonnée, haies bocagères	Stade de foot, piste d'athlétisme

Figure 27 - Exemple de classement des sites pour la gestion différenciée (SMAEP 4B, 2017)

- **Etape 3 : le choix des méthodes alternatives.** Celui-ci doit se faire en fonction du niveau de risque, des objectifs d'entretien, des moyens de la commune et de la nature des surfaces à entretenir. Les moyens alternatifs ont la particularité d'être tout de même plus favorables à la biodiversité, à la qualité de l'eau et à la réduction des déchets. Ne pas intervenir et laisser la nature s'exprimer est aussi une forme d'entretien qui peut être définie dans le plan de gestion différenciée.
- **Etape 4 : bilan annuel.** Le but est de constater un an après la mise en place du plan de gestion les changements opérés durant l'année et de réajuster les objectifs d'entretien en fonction des retours.

Ce plan de gestion permet ainsi d'intervenir lourdement dans les espaces à forte pression comme les centres-villes et plus légèrement dans les périphéries ou dans les parcs. Cela dépend des enjeux et des choix que font les décideurs. Mais cela à l'avantage de ne plus intervenir au même degré qu'avant, lorsque l'on utilisait les PPP, et donc de diminuer le nombre d'interventions et donc les coûts. De plus, les plans de gestion ont déjà fait leurs preuves. Dans

les retours d'expériences que nous avons en 2019, les professionnels expliquent que ce n'est qu'avec un bon plan de gestion qu'ils peuvent maintenir les coûts d'entretien au même niveau qu'avant, et donc de ne pas avoir de pertes financières. C'est donc un réel outil à mettre en place lorsqu'une commune veut passer en « zéro phyto ».

Cependant, le fait de ne plus intervenir à la même fréquence dans certains endroits à la conséquence de déplaire à certains habitants. Ces derniers perçoivent les adventices comme des bouts de campagne s'invitant dans la ville, et elles sont tolérées dans certains espaces comme le long des berges d'une rivière par exemple. Mais la plupart du temps, la présence de ces plantes donne à l'espace un aspect « sale » et « négligé » aux yeux de certains habitants.

Ce sont principalement les personnes âgées, notamment celles issues des classes populaires, qui portent un regard négatif sur les adventices. Elles sont plus acceptées par les personnes plus jeunes et les classes moyennes et supérieures, qui les perçoivent comme un bout de nature, qui vient contraster avec l'uniformité des sols imperméables, surtout les adventices à fleurs comme les myosotis ou les pâquerettes. Cependant, du point de vue de la population, celles-ci doivent être contrôlées, canalisées et ne doivent pas devenir envahissantes.

De plus, si le plan de gestion différencié est fait en privilégiant le centre-ville et les premières couronnes au dépend de la périphérie, cela peut engendrer des tensions sociales. Les habitants des quartiers périphériques vont interpréter la présence des adventices en bas de chez eux comme un désintérêt envers eux de la part de la municipalité.

Parfois, l'intervention même minimale des agents d'entretien dans ces quartiers peut permettre de rassurer les habitants sur le fait que la mairie s'occupe aussi d'entretenir leurs espaces. Mais c'est surtout la sensibilisation auprès des habitants sur la végétation spontanée qui permet aux riverains de les accepter. Une campagne de sensibilisation est donc très importante pour faire changer les mentalités et permettre ainsi d'arriver à un consensus entre les choix des décisionnaires et la vision qu'ont les habitants de l'entretien de leur ville.

Un plan de gestion équilibré et une acceptation de la part des habitants de celui-ci sont donc très importants pour diminuer les interventions et ainsi permettre le passage au « zéro phyto » avec un budget annuel qui reste le même qu'avant voire qui diminue. De plus, cela permet d'augmenter la biodiversité en ville et ainsi la préservation d'espèces qui jusqu'ici avaient disparu de nos villes. Enfin, la non-utilisation des PPP permet ainsi de préserver la santé des habitants et d'améliorer la qualité de l'eau et de l'environnement. [7] (Menozzi 2007).

Conclusion

Les méthodes alternatives permettent-elles l'entretien des espaces végétalisés et la lutte contre les ravageurs avec efficacité, comparativement aux méthodes classiques ?

En réponse à cette problématique, dans ce mémoire, nous avons constaté que les méthodes alternatives permettent tout de même d'entretenir les espaces végétalisés et de lutter contre les ravageurs de manière satisfaisante si elles sont employées correctement, sur les bonnes surfaces et en assurant un bon suivi d'entretien. Comparativement aux produits phytosanitaires, elles ne peuvent pas rivaliser en termes de coût financier car ces méthodes alternatives demandent plus de temps d'intervention et une fréquence plus élevée pour maintenir le même niveau d'entretien. Néanmoins, en les couplant avec un plan de gestion différenciée, l'entretien des espaces verts d'une ville en « zéro phyto » devient tout à fait possible et permet ainsi de réduire le coût environnemental et sanitaire qu'impose l'utilisation des PPP.

La recherche et le développement continue de découvrir de nouvelles technologies permettant de diminuer l'utilisation des PPP, notamment avec la lutte biologique et micro biologique pour les ravageurs, ou encore des nouvelles machines de désherbage utilisant des énergies renouvelables et respectueuses de l'environnement. Des technologies dont nous ne soupçonnons même pas l'existence pourrait aussi voir le jour, comme l'utilisation de la musique pour stimuler les plantes.

La loi Labbé avait surtout comme objectif d'améliorer la qualité de vie des habitants en diminuant leur exposition aux produits phytosanitaires, source de plusieurs maladies et malformations dans le monde entier. Certes, pour le moment, la végétation spontanée en ville est perçue comme source de saleté, mais en éduquant les populations dès le plus jeune âge, les mentalités peuvent changer et laisser entrer de nouveau cette végétation. Les nouveaux aménagements urbains peuvent aussi le permettre en réfléchissant aux moyens de diminuer au maximum l'intervention des agents d'entretien, avec la plantation par exemple de plus de bandes de prairies fleuries ou l'utilisation systématique de paillages ou de couvre-sol.


Ce sont donc principalement les mentalités et les méthodes d'entretien qui sont à changer, plus que l'efficacité des outils, bien que cela permettra un meilleur confort pour les agents d'entretien lors de leurs interventions. Et pour les luttes contre les ravageurs dont nous ne trouvons pas de solution, peut-être qu'accepter de choisir d'autres espèces similaires mais non-sensibles peut être la meilleure des solutions. Accepter que la nature soit plus forte que nous et faire avec elle, au lieu de lutter contre elle, permettra ainsi d'améliorer grandement la qualité de nos espaces de vie.

Bibliographie

- [3] Jourdeuil, P, P Grison, et A Fraval. 1991. « La lutte biologique un aperçu historique ». Cellule Environnement de l'INRA.
- [5] Duval, Michel. 2010. « L'histoire des phytosanitaires de l'origine à 2030 », 64.
- [6] Schiavon, M., et C. Perrin-Ganier. 1999. « Origine et devenir des produits phytosanitaires ». *La Houille Blanche*, n° 3-4 (juin): 136-41.
<https://doi.org/10.1051/lhb/1999049>.
- [7] Menozzi, Marie-Jo. 2007. « Mauvaises herbes », qualité de l'eau et entretien des espaces ». *Natures Sciences Sociétés* 15 (2): 144-53.
<https://doi.org/10.1051/nss:2007041>.
- [8] Breseghello, Nicolas, Romain Durbiano, et Adeline Renier. 2013b. « Présentation des expérimentations et matériels utilisés ». Compamed ZNA.
- [9] Graidorge, Joël. 2016. « Le désherbage mécanique et son panel de techniques ». *Techni Cités*, n° n° 294 (juin).
- [10] Breseghello, Nicolas, Romain Durbiano, et Adeline Renier. 2013a. « Action 1 - evaluation experimentale de l'efficacite des methodes de desherbage.pdf ». Compamed ZNA.
- [11] Laille, Pauline. 2013. « Evaluation des couts de désherbage ». Compamed ZNA.
- [12] Laille, Pauline, Damien Provendier, Caroline Gutleben, et Lucile Rimbault. 2012. « Observatoire national des pratiques de désherbage en zones non agricoles ». Compamed ZNA.
- [13] Bellino, Roberto, Stéphane Le Pochat, et Marine Iuso. 2014. « ACV comparative des techniques de desherbage en ZNA ». Compamed ZNA.
- [14] Brohan, Gaëla, Delphine Teigné, et Viviane Le Gall. 2015. « Activité de désherbage, étude des facteurs de risque et préconisation ». Compamed Santé.
- [16] ASTREDHOR, et Plante & Cité. 2015. « Synthèse 2015 - Programme SaveBuxus - volet pyrale.pdf ».
- [17] ASTREDHOR, et Plante & Cité. 2016. « Synthèse 2016 - Programme SaveBuxus - volet pyrale.pdf ».
- [18] ASTREDHOR, et Plante & Cité. 2017. « Synthèse 2017 - Programme SaveBuxus - volet pyrale.pdf ».
- [19] Jacob, Laurent, et Pauline Tolle. 2016. « Bonnes pratiques contre la cylindrocladiose et les autres maladies à dépérissement du buis ». ASTREDHOR.
- [20] SMAEP 4B. 2017. « Guide de gestion des espaces verts sans produits phytosanitaires », novembre, 104.

Sitographie

- [1] « Le point sur la Loi Labbé - Ecophyto PRO : réduire et améliorer l'utilisation des phytos ». s. d. Consulté le 1 septembre 2019. https://www.ecophyto-pro.fr/fiches/fiche/5/le_point_sur_la_loi_labbe/n:304.
- [2] Rivière-Wekstien, Gil. 2016. « Espaces verts et pesticides : un divorce annoncé - ». 12 octobre 2016. <https://www.agriculture-environnement.fr/2016/10/12/espaces-verts-et-pesticides-un-divorce-annonce>.
- [4] Gasquez, Jacques. 2015. « Désherbant, herbicide : un peu d'histoire — Les Mots de l'agronomie ». Les mots de l'agronomie. 1 avril 2015. https://mots-agronomie.inra.fr/mots-agronomie.fr/index.php/D%C3%A9sherbant,_herbicide:_un_peu_d'histoire.
- [15] « Traitements et lutte contre la pyrale du Buis - Pyrale du buis ». s. d. Consulté le 27 août 2019. <https://pyrale-du-buis.com/traitement-lutte-methode.htm>.

	Diplôme : Ingénieur Spécialité : Paysage Spécialisation / option : Paysage : Opérationnalité et Projet Enseignant référent : Vincent Bouvier
Auteur(s) : Adeline Kohler Date de naissance* : 25/06/1996	Organisme d'accueil : Agence IdVerde Angers Adresse : 11 rue du Pâtis CS 80009
Nb pages : 41 Annexe(s) : 0	49124 St Barthélémy d'Anjou
Année de soutenance : 2019	Maître de stage : Xavier GENY
Titre français : Evaluation des méthodes alternatives d'entretien et de lutte contre les ravageurs dans les espaces végétalisés : les cas du désherbage et de la sauvegarde du buis. Titre anglais : Assessment of alternative method of maintenance in struggle against destructives in green areas : the cases of weeding and the safeguard of buxus.	
Résumé (1600 caractères maximum) : Avec l'arrivée de la loi Labbé, l'entretien des espaces verts à connu un bouleversement. En effet, depuis 2017, il est interdit d'utiliser des pesticides dans les espaces ouverts au public. Donc pour continuer d'entretenir ces espaces, il a fallu se rabattre sur des méthodes alternatives. En désherbage, ce sont surtout des méthodes mécaniques et thermiques qui sont utilisés. En lutte contre les ravageurs, l'utilisation de la lutte biologique et microbiologique est la principale alternative. Cependant, chacune de ces méthodes à ses propres spécificités et est plus ou moins efficace en fonction du site entretenu, des conditions météorologiques, des espèces à éliminer... Le choix de la méthode utilisée va alors dépendre du budget alloué à l'entretien et du niveau d'exigence demandé pour l'entretien de la zone donnée. Chacune des méthodes à ses points forts et ses points faibles. Il est donc important de bien les connaître ainsi que les contraintes de sa zone à entretenir avant d'en choisir une ou plusieurs.	
Abstract (1600 caractères maximum) : With the advent of the Labbé law, the maintenance of the green areas knew an upheaval. Indeed, since 2017, it is forbidden to use pesticides in green areas when it's open to public. So, for continuing to maintain this area, it was necessary to use alternatives methods. Thereby, it is thought to use mechanic and thermic methods. In the struggle against destructive, the utilization of biological and microbiological control are the principal alternatives for now. However, each method have is own specificities and is more or less effective according to the area, the climatic conditions, the species to remove... The choice, of the method used, will depend on the budget allocated to the maintenance and the level of requirement chosen for the maintenance of the given area. Each method has its strong points and its weak points. So, it is important to well know it, as well as the constraints of the maintained area before selected one or several.	
Mots-clés : Espaces verts, Loi Labbé, Entretien, Pesticides, méthodes alternatives Key Words: Green areas, Labbé law, Maintenance, Pesticide, alternatives methods	

* Élément qui permet d'enregistrer les notices auteurs dans le catalogue des bibliothèques universitaires