

Étude de la banque de graines du sol du *Datura stramonium* L. sur base de données d'occurrence issues de la science citoyenne

Auteur : Marchoul, Emma

Promoteur(s) : Monty, Arnaud

Faculté : Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

Diplôme : Master en bioingénieur : gestion des forêts et des espaces naturels, à finalité spécialisée

Année académique : 2022-2023

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/18276>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

Étude de la banque de graines du sol du *Datura stramonium* L. sur base de données d'occurrence issues de la science citoyenne

EMMA MARCHOUL

TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE
MASTER BIOINGÉNIEUR EN GESTION DES FORÊTS ET DES ESPACES NATURELS

ANNÉE ACADÉMIQUE 2022-2023

PROMOTEUR : ARNAUD MONTY

© Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique de Gembloux Agro-Bio Tech.

Le présent document n'engage que son auteur.

Étude de la banque de graines du sol du *Datura stramonium* L. sur base de données d'occurrence issues de la science citoyenne

EMMA MARCHOUL

**TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE
MASTER BIOINGÉNIEUR EN GESTION DES FORÊTS ET DES ESPACES NATURELS**

ANNÉE ACADÉMIQUE 2022-2023

PROMOTEUR : ARNAUD MONTY

Remerciements

Je voudrais tout d'abord remercier mon promoteur, Arnaud Monty, pour son encadrement, sa disponibilité et ses précieux conseils tout au long de la réalisation de mon TFE. Ses retours constructifs et ses commentaires perspicaces ont permis l'enrichissement de ce travail et ont contribué à faire de cette version finale une réalisation aboutie.

Ensuite, je tiens à remercier les membres de mon jury, Caroline De Clerck, Gregory Mahy et Yves Brostaux pour avoir accepté d'en faire partie et pour le temps qu'ils ont consacré à la lecture de mon mémoire. Plus particulièrement, je tiens à remercier Yves Brostaux pour sa générosité en prenant le temps de répondre à mes questions et sa patience lors de nos échanges. De même, je remercie Caroline De Clerck pour notre discussion très enrichissante sur la banque de graines du sol des espèces adventices.

Je remercie également Thomas Coppée et Benjamin Cornier pour notre échange sur les difficultés rencontrées lors de l'interprétation des données d'incertitude, communiquées sur les plateformes de science citoyenne.

Un mot spécial de remerciement à Adrien Delforge pour ses nombreux conseils et pour m'avoir indiqué l'emplacement de plusieurs populations de *D. stramonium* en Wallonie. Sans lui, cette chasse au *D. stramonium* aurait été bien plus compliquée.

En dernier lieu, je voudrais exprimer ma reconnaissance envers ma sœur, mon compagnon et mes amies pour leur soutien indéfectible. Flora Marchoul, Léa Demartean et Elyse Macors, vos conseils avisés et votre relecture attentive ont été d'un grand réconfort. Un sincère merci est également adressé à mes merveilleux chauffeurs, Angelo Bellomo, Elodie Bernardello, Fanny Leleux et Nina Leclef.

Résumé

Le *Datura stramonium* L. est une espèce végétale annuelle répandue dans de nombreuses régions du monde. Son caractère envahissant et sa toxicité suscitent une préoccupation croissante en Belgique. Afin d'enrichir les connaissances existantes sur son écologie et de développer des méthodes de lutte intégrée durables, cette étude s'est intéressée à la densité de graines viables présentes dans le sol, ainsi qu'aux facteurs exerçant une influence sur celle-ci. La sélection des populations à échantillonner a été réalisée en exploitant la base de données mondiale GBIF, regroupant des projets de science citoyenne. Les graines, contenues dans les échantillons de sol collectés, ont été extraites directement par la méthode des sacs en tissu. Les résultats indiquent que cette espèce domine la banque de graines du sol avec en moyenne 5 330 graines/m², confirmant ainsi son caractère envahissant. Cependant, il semblerait que ses graines soient sujettes à la prédation et que plus de la moitié de ses populations ne se maintiennent pas durablement dans le temps. La densité de la végétation établie de *D. stramonium* apparaît comme le facteur impactant le plus cette densité de graines viables et se baser sur celui-ci pourrait permettre l'estimation directe de la banque de graines du sol. Les autres facteurs tels que le taux d'urbanité, le temps de résidence minimal, la disponibilité en lumière et la granulométrie du sol exercent une influence moins marquée sur la densité, ce qui diffère des résultats de certaines études antérieures. Il est toutefois important de noter que le jeu de données utilisé dans cette étude est restreint, ce qui peut influencer les résultats obtenus et la discussion qui en découle. Par conséquent, il convient de considérer les informations présentées dans ce mémoire comme des tendances pouvant potentiellement régir la distribution et l'abondance de la banque de graines du sol. Ces résultats préliminaires fournissent des pistes intéressantes pour une meilleure compréhension de l'écologie du *D. stramonium* mais des études supplémentaires avec des échantillonnages plus vastes et prenant en compte d'autres facteurs seraient nécessaires pour confirmer et approfondir ces tendances.

Mots-clés : *Datura stramonium* L., banque de graines du sol, densité, GBIF, science citoyenne

Abstract

Datura stramonium L. is an annual plant species widespread in many parts of the world. Its invasiveness and toxicity are of growing concern in Belgium. To enrich existing knowledge of its ecology and to develop sustainable integrated fighting methods, the seed density of this species in the soil seed bank, and the factor influencing it, were investigated in this work. The GBIF global database of citizen science projects was exploited to select the sampled populations in which the seeds were directly extracted using the cloth bag method. The results indicated that this species dominated the soil seed bank, confirming its invasive nature. However, the seeds seemed to be subject to predation, and more than half of them were not sustained over time. Among the studied factor, the density of established *D. stramonium* vegetation appeared to have the biggest influence on the viable seed density. Thus, by using this factor, a direct estimation of the soil seed bank could be done. The other factors, such as the urban density, the minimum residence time, the light availability, and the soil granulometry had a lower influence, which is in contradiction with previous studies. Nonetheless, the dataset of this study was limited which could influence the obtained results and the discussion. Consequently, the reported information in this thesis must be considered as trends governing potentially the distribution and abundance of the soil seed bank. In conclusion, these preliminary results provide interesting avenues for a better understanding of the ecology of *D. stramonium*. However, further studies with more extensive sampling and considering other factors would be necessary to confirm and deepen these trends.

Key words: *Datura stramonium* L., soil seed bank, density, GBIF, citizen science

Table des matières

État de l'art	10
1. Datura stramoine	10
1.1. Datura stramoine : une espèce de la famille des <i>Solanaceae</i>	10
1.2. Datura stramoine : une espèce naturalisée et envahissante.....	11
1.3. Datura stramoine : une espèce toxique.....	11
1.4. Datura stramoine : une espèce adventice	12
1.5. Datura stramoine : une espèce rudérale et urbaine	12
2. Banque de graines du sol et importance pour les espèces thérophytes	13
2.1. Dormance des graines	14
2.2. Profondeur d'enfouissement	14
2.3. Texture du sol	15
2.4. Émergence des plantules.....	16
2.5. Relation avec la végétation aérienne	17
3. Méthodes d'analyse de la banque de graines du sol	17
4. Intérêt de la science citoyenne dans l'étude de la banque de graines du sol	18
4.1. Différents niveaux et projets de science citoyenne	18
4.2. Évolution de la science citoyenne	19
4.3. Avantages.....	20
4.4. Points d'attention	21
5. Objectifs	22
Matériel et méthode	23
1. Zone d'étude	23
2. Taux d'urbanité	23
3. Science participative et base de données issue d'occurrence d'espèces	24
5. Sites d'étude et récolte des données	25
5.1. Sites d'étude	25
5.2. Récolte des échantillons et des données.....	27
6. Extraction directe des graines	29
7. Test de viabilité	31
8. Catégories de graines	32
9. Analyse des données	32
Résultats	35
Objectif : Déterminer la densité de graines de <i>D. stramonium</i> présentes dans la banque de graines du sol et les facteurs l'influençant	37

Sous-objectif 1 : Déterminer si la présence de graines dans la banque de graines du sol est influencée par un ou plusieurs facteurs explicatifs.....	37
Sous-objectif 2 : Déterminer, dans le cas où des graines sont présentes dans la banque de graines du sol, si la densité est influencée par un ou plusieurs facteurs explicatifs	39
Objectif secondaire 1 : Déterminer la profondeur à laquelle la BGS est la plus concentrée et quels sont les facteurs influençant cette répartition	42
Objectif secondaire 2 : Démontrer qu'il est possible d'utiliser et de se fier aux données d'occurrence, transmises via des projets de science participative, pour étudier la banque de graines du sol d'une espèce thérophYTE et plus précisément du <i>D. stramonium</i>	43
Discussion	45
1. Fiabilité et utilisation de projets de science citoyenne	46
2. Etude de la banque de graines du sol du <i>D. stramonium</i>	47
Conclusion et perspectives	52
Contribution personnelle	53
Bibliographie	54
Annexes	66

Table des figures

Figure 1 : Photo de feuilles, fleurs et fruits non matures d'un plant de <i>D. stramonium</i> (INRAE, 2020)	10
Figure 2 : Position des 30 sites initialement sélectionnés pour l'échantillonnage de la banque de graines du sol du <i>D. stramonium</i>	25
Figure 3 : Photos d'un jeune plant de <i>C. hybridum</i> (Syngenta, n.d.) (gauche) et de <i>D. stramonium</i> (droite).....	26
Figure 4 : Répartition, le long d'un gradient d'urbanité et d'un gradient de temps de résidence minimal, des 30 sites initialement sélectionnés pour l'échantillonnage de la banque de graines du sol du <i>D. stramonium</i>	26
Figure 5 : Photos d'un plant vivant (gauche) et d'un plant mort (droite) de <i>D. stramonium</i>	27
Figure 6 : Schéma représentant un segment de sol (en gris) et un sous-segment de sol (en gris hachuré)	28
Figure 7 : Clef de détermination de la texture du sol (Fichier écologique des essences, n.d.).....	29
Figure 8 : Photo de graines de <i>D. stramonium</i> dont la couleur oscille entre le noir (gauche), le brun (milieu) et le gris (droite).....	29
Figure 9 : Photos de téguments de graines de <i>D. stramonium</i> retrouvés dans les échantillons composites analysés.....	30
Figure 10 : Photos de graines abîmées de <i>D. stramonium</i> retrouvées dans les échantillons composites analysés	30
Figure 11 : Photos de graines de <i>D. stramonium</i> considérées comme visuellement intactes et retrouvées dans les échantillons composites analysés.....	31
Figure 12 : Photos de graines viables de <i>D. stramonium</i> laissant une trace huileuse sur le papier buvard (deux photos de gauche) et de graines « vides » ne laissant aucune trace (deux photos de droite)...	31
Figure 13 : Position des 30 sites initialement sélectionnés pour l'échantillonnage de la banque de graines du sol du <i>D. stramonium</i> , avec les sites réellement échantillonnés (rouge), non échantillonnés car présents sur des propriétés privées (bleu) et non échantillonnés car sols non propices pour les prélèvements (vert).....	35
Figure 14 : Nombre de sites présentant (bleu) ou ne présentant pas (orange) de graines viables de <i>D. stramonium</i> en fonction des facteurs explicatifs (a. Disponibilité en lumière ; b. Densité de <i>D. stramonium</i> dans la végétation réalisée ; c. Temps de résidence minimal ; d. Taux d'urbanité).....	38
Figure 15 : Représentation graphique du modèle linéaire généralisé de type Poisson expliquant la variation de la densité estimée de graines viables par m ² de <i>D. stramonium</i> en fonction des facteurs explicatifs (a. Disponibilité en lumière ; b. Densité de <i>D. stramonium</i> dans la végétation réalisée ; c. Temps de résidence minimal ; d. Taux d'urbanité).....	40
Figure 16 : Représentation graphique du modèle linéaire généralisé de type Poisson expliquant la variation de la densité estimée de graines non viables par m ² de <i>D. stramonium</i> en fonction des facteurs explicatifs (a. Disponibilité en lumière ; b. Densité de <i>D. stramonium</i> dans la végétation réalisée ; c. Temps de résidence minimal ; d. Taux d'urbanité).....	41
Figure 17 : Densité estimée de graines de <i>D. stramonium</i> , viables (VIA) et non viables (NON_VIA), en fonction de la profondeur d'échantillonnage du sol.....	42
Figure 18 : Nombre de sites présentant des graines viables/graines non viables/plants de <i>D. stramonium</i> (catégorie « Présence de <i>D. stramonium</i> ») ou n'en présentant pas (catégorie « Absence de <i>D. stramonium</i> ») en fonction de l'année d'encodage, renseignée sur la base de données mondiale GBIF	43
Figure 19 : Nombre de sites présentant des graines viables/graines non viables/plants de <i>D. stramonium</i> (catégorie « Présence de <i>D. stramonium</i> ») ou n'en présentant pas (catégorie « Absence de <i>D. stramonium</i> ») en fonction de la présence ou non d'un changement d'occupation du sol.....	43

Figure 20 : Influence de l'année d'encodage, renseignée sur la base de données mondiale GBIF, sur la présence ou non d'un changement d'occupation du sol	44
Figure 21 : Nombre de sites présentant des graines viables/graines non viables/plants de <i>D. stramonium</i> (catégorie « Présence de <i>D. stramonium</i> ») ou n'en présentant pas (catégorie « Absence de <i>D. stramonium</i> ») en fonction de la valeur d'incertitude des coordonnées GPS, renseignée sur la base de données mondiale GBIF	44
Figure 22 : Densité d'individus de <i>D. stramonium</i> dans la végétation réalisée en fonction de deux catégories de taux d'urbanité, une faible (<50%) et une élevée (>50%)	49

Table des tableaux

Tableau 1 : Volume prélevé en centimètre et surface échantillonnée pour un segment de sol, un sous-segment de sol et un site complet	28
Tableau 2 : Catégories de graines, définies sur base de leur apparence et des résultats du test d'écrasement à sec.....	32
Tableau 3 : Nombre de graines comptées et densité estimée de graines par m ² (graines/m ²) dans la banque de graines du sol du <i>D. stramonium</i> , en fonction des différentes catégories de graines définies, pour tous les sites échantillonnés	36
Tableau 4 : Valeurs moyennes et écarts-types des facteurs explicatifs (disponibilité en lumière, temps de résidence minimal, taux d'urbanité et densité d'individus de <i>D. stramonium</i> dans la végétation réalisée) pour les sites présentant des graines viables de <i>D. stramonium</i> (colonnes intitulées « Présence ») et pour les sites n'en présentant pas (colonnes intitulées « Absence »)	38
Tableau 5 : Densité estimée moyenne de graines viables de <i>D. stramonium</i> en fonction de la granulométrie du sol	40
Tableau 6 : Densité estimée moyenne de graines non viables de <i>D. stramonium</i> en fonction de la granulométrie du sol	41
Tableau 7 : Densité estimée moyenne de graines de <i>D. stramonium</i> , viables (VIA) et non viables (NON_VIA), en fonction de la profondeur d'échantillonnage du sol et du type de granulométrie du sol	42

Table des abréviations

Abréviation	Signification
BGS	Banque de graines du sol
Densité réalisée	Densité d'individus de <i>D. stramonium</i> présents dans la végétation réalisée
GBIF	<i>Global Biodiversity Information Facility</i>
GDD	<i>Growing degree days</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
Graines AB	Graines abîmées
Graines NON_VIA	Graines non viables
Graines VIA	Graines viables
Graines VIDE	Graines vides
Graines VIS_INT	Graines visuellement intactes
TRM	Temps de résidence minimal

État de l'art

1. *Datura stramoine*

1.1. *Datura stramoine* : une espèce de la famille des *Solanaceae*

Le *Datura stramonium* L., aussi appelé datura stramoine, herbe du diable ou pomme épineuse, est une plante annuelle estivale faisant partie de la famille des *Solanaceae* (CABI, 2021; Chadha et al., 2020; Fried, 2012; Loddo et al., 2014; Weaver and Warwick, 1984).



Figure 1 : Photo de feuilles, fleurs et fruits non matures d'un plant de *D. stramonium* (INRAE, 2020)

Cette plante peut mesurer entre 40 et 200 centimètres (cm) (Figure 1). Ses tiges, d'une couleur verte à violacée, se ramifient de manière dichotomique. Ses grandes feuilles vert foncé et irrégulièrement dentées possèdent un long pétiole pouvant aider à caractériser l'espèce. L'odeur nauséabonde qui s'en dégage peut également permettre son identification. Ses fleurs, en forme de trompette, sont solitaires et portées par un pédoncule, situé à l'aisselle des feuilles. Elles sont de grande taille et de couleur blanche à violacée. Cette espèce est principalement autogame. Ses fruits sont des capsules ovoïdes densément recouvertes d'épines, s'ouvrant par déhiscence. Les graines, pouvant mesurer entre 2 à 3 millimètre (mm) de large et 3 à 4 mm de long, sont plates, réniformes et de couleur brun-noir à grisâtre. Elles sont enveloppées dans un tégument imperméable. La dispersion par autochorie de ces diaspores (distance de 1 à 3 mètre (m)) peut être accompagnée d'une dispersion humaine (machines agricoles, déplacement de terres, ...) ou hydrique. (i.e. Afsca, 2022; CABI, 2021; Fried, 2012; Loddo et al., 2014; Tela botanica, 2021; Weaver and Warwick, 1984) Une graine pèse environ 6 mg à maturité (Pawlak et al., 1990). Un plant peut produire jusqu'à 30 000 graines par an, bien que dans les populations les plus denses, la moyenne de graines produites se rapproche de 1 500 (Weaver and Warwick, 1984). Ce nombre peut être réduit lorsque les plants se situent dans des zones ombragées, en compétition avec des cultures à émergence rapide ou dans des milieux subissant un fort stress hydrique (Benvenuti et al., 1994; Buhler et al., 1997; Chadha et al., 2020).

1.2. *Datura stramoine* : une espèce naturalisée et envahissante

Actuellement, cette espèce est largement répandue dans les régions tempérées, tropicales et subtropicales (CABI, 2021; Chadha et al., 2020; Gaire and Subedi, 2013; Nikolić et al., 2022). Considérée comme naturalisée en Europe (Devos, 1870; Lambdon et al., 2008), cette plante proviendrait d'Amérique du Sud (Espèces exotiques envahissantes, 2021; INVMED, 2021; Weaver and Warwick, 1984) bien que certains déclarent une origine asiatique (Gaire and Subedi, 2013). Une étude (Geeta and Gharaibeh, 2007) s'est intéressée à cette problématique et a tenté de retrouver les traces du genre *Datura*, via des considérations taxonomiques mais aussi culturelles. Les auteurs ont ainsi expliqué qu'il était très probable que le *D. stramonium* soit originaire d'Amérique du Sud et qu'il soit arrivé en Europe et en Asie au cours du 15^{ième} siècle, avec les conquistadors. Sa dispersion aurait ensuite été favorisée par les nomades (Devos, 1870). Cependant une autre espèce, le *Datura metel* L., aurait été présente en Asie et en Europe avant l'époque pré-colombienne (Geeta and Gharaibeh, 2007).

En Belgique, l'arrivée du *D. stramonium* serait notamment due à des importations de laines, de céréales et de minerais (Alien Plants Belgium, 2011). Aujourd'hui, ce sont les mélanges de graines destinées aux oiseaux (Afsca, 2022; Benvenuti, 2004; Chambre d'agriculture Bretagne, 2019) qui contribuent à disperser cette espèce dans le pays. De plus, étant considérée comme une plante ornementale, elle est vendue sur de nombreux sites web (i.e. Graines, 2023; Graines-du-monde, 2023; Matelma, 2023), ce qui favorise sa présence dans les jardins. Elle peut également être retrouvée dans des lots de semences de sorgho et de millet (Afsca, 2022). Les champs de maïs et de pomme de terre, lorsqu'ils ne sont pas traités rapidement, peuvent aussi devenir des vecteurs de dispersion car le *D. stramonium* a tendance à s'y maintenir (Afsca, 2022) et à s'y disperser aisément grâce aux machines agricoles (Buhler et al., 1997 ; Fried, 2012).

Des recherches récentes montrent que les conditions climatiques changeantes semblent avoir un impact limité sur lui, voire pourraient même le favoriser en raison de sa nature thermophile (Nikolić et al., 2022). En effet, pouvant se développer dans une large gamme d'humidité, la sécheresse n'a que peu d'effets sur cette espèce, lui permettant toujours de produire un nombre de graines considéré comme important (Chadha et al., 2020). En outre, étant une plante en C3 (Chadha et al., 2020; Weaver and Warwick, 1984), celui-ci voit sa croissance ainsi que sa production de graines s'accroître lorsque le taux de CO₂ atmosphérique augmente (Nikolić et al., 2022). Enfin, Nikolić et al. (2022) ont récemment démontré qu'il était plus tolérant au stress salin et aux conditions acides que ce que ne le laissaient présager de précédentes études (Tela botanica, 2021). Le *D. stramonium* a donc un potentiel invasif « susceptible d'augmenter avec le changement climatique » (Chadha et al., 2020; Nikolić et al., 2022).

1.3. *Datura stramoine* : une espèce toxique

Bien que le *D. stramonium* soit utilisé dans certaines communautés comme herbe thérapeutique pouvant soigner l'asthme, les ulcères, les rhumatismes, etc. (Gaire and Subedi, 2013; Khare, 2004), celui-ci est la cause de plusieurs accidents, parfois mortels, dans différentes régions du monde. En effet, les alcaloïdes qu'il contient (scopolamine, hyoscyamine et atropine), qui sont la source de ses vertus médicinales, sont responsables de nombreuses intoxications, tant chez les animaux que chez les hommes (Chadha et al., 2020; INRAE, 2020; Weaver and Warwick, 1984). Toutes les parties de cette plante sont toxiques à l'ingestion, mais aussi au toucher (Sillon belge, 2022). Par conséquent, le fait qu'il soit retrouvé dans les champs (Cavero et al., 2000; Chadha et al., 2020; INRAE, 2020; Weaver and Warwick, 1984) et dans les jardins privés inquiète les autorités publiques (Centre antipoisons, n.d.; INRAE, 2019; Marc et al., 2007).

1.4. *Datura stramoine* : une espèce adventice

Le *D. stramonium* est considéré comme une adventice des cultures (CABI, 2021; INVMED, 2021; Kleunen et al., 2007; Weaver and Warwick, 1984) et est principalement retrouvé dans les champs de sarrasin, de pomme de terre, de maïs, de soja et de légumineuses (Cavero et al., 2000; Chadha et al., 2020; INRAE, 2020; Weaver and Warwick, 1984).

Plusieurs études (CABI, 2021; Dorado et al., 2019; Loddo et al., 2014) ont montré que cette plante a un impact négatif sur les rendements agricoles (Ghersa and Roush, 1993), en concurrençant les cultures d'été. En effet, grâce à sa croissance rapide et à sa capacité à concentrer ses feuilles à son extrémité supérieure (Benvenuti et al., 1994; Cavero et al., 1999; Weaver and Warwick, 1984), elle est capable de faire de l'ombre à la culture (CABI, 2021; Dorado et al., 2019; Loddo et al., 2014).

De plus, la présence d'alcaloïdes au sein de cette plante peut entraîner la contamination de certaines denrées alimentaires telles que le maïs, le sarrasin, le millet et le sorgho (Règlement (UE) 2021/1408). Depuis le 1^{er} septembre 2022, une nouvelle réglementation européenne définit les teneurs maximales en alcaloïdes tropaniques que peuvent contenir ces cultures (Règlement (UE) 2021/1408). Si les seuils sont dépassés, les produits contaminés ne peuvent plus être vendus (Règlement (CE) 1881/2006), entraînant ainsi une perte économique pour l'agriculteur.

Enfin, le caractère thérophyte (INVMED, 2021) du *D. stramonium*, commun à la majorité des adventices annuelles des cultures (Buhler et al., 1997; Schwartz-Lazaro and Copes, 2019), empêche le développement d'une méthode de lutte efficace (Cavero et al., 2000) et lui permet de devenir rapidement envahissant (Chadha et al., 2020).

1.5. *Datura stramoine* : une espèce rudérale et urbaine

De manière générale, le *D. stramonium* se développe mieux dans les sols neutres et fertiles (plante nitrophile), ainsi que sur des sites ouverts et ensoleillés, où les précipitations sont fréquentes (CABI, 2021; Nikolić et al., 2022; Weaver and Warwick, 1984). Par conséquent, il est possible de l'observer dans de nombreux milieux tels que les friches, les jardins, les bords de route et de rivière, les décombres, les berges exondées des cours d'eau, les lisières des forêts, les terres arables, les fermes, etc. (CABI, 2021; Fried, 2012; Tela botanica, 2021). Il peut donc être retrouvé, tout comme d'autres adventices des cultures, dans les milieux anthropisés (Benvenuti, 2004; Hall et al., 2021). Il est alors considéré comme une espèce rudérale, pouvant se reproduire rapidement et en masse (Vallet et al., 2010), grâce à sa production importante de graines (Cavero et al., 2000; Chadha et al., 2020).

Les principales conditions environnementales des milieux anthropisés, pouvant contribuer à l'implantation de ces espèces rudérales, sont :

- Les niveaux élevés de lumière, qui dépendent du contexte urbain (Benvenuti, 2004; Desaegher et al., 2019) et qui favorisent les espèces végétales héliophiles (Desaegher et al., 2019) ;
- Les températures élevées (Albrecht et al., 2011; Benvenuti, 2004; Daramola and Balogun, 2019; Géron et al., 2022a; Vallet, 2009; Wang and Akbari, 2014), créant l'apparition d'îlots de chaleur, qui favorisent les espèces possédant un cycle de photosynthèse en C4 (Benvenuti, 2004) ;
- Les niveaux élevés en nutriments (Benvenuti, 2004; Grella et al., 2018; Hahs and McDonnell, 2006), principalement en nitrates (Pellissier et al., 2008), qui favorisent les espèces nitrophiles (Benvenuti, 2004; Pellissier et al., 2008) ;

- Les sols présentant des niveaux de compaction importants, qui jouent un rôle dans la sélection des différentes associations floristiques (Benvenuti, 2004) ;
- La fréquence des événements de sécheresse ainsi que leur intensité, plus marquée dans les milieux urbains (Albrecht et al., 2011; Benvenuti, 2004; Géron et al., 2022a; Gorton et al., 2020), qui favorisent les espèces xérophytes et excluent la végétation liée aux milieux humides (Albrecht et al., 2011; Benvenuti, 2004) ;
- Les niveaux élevés de pollution atmosphérique (Benvenuti, 2004; Vallet, 2009), qui impactent négativement les espèces dépendantes de l'entomofaune et favorisent la flore autogame ou anémophile (Benvenuti, 2004). Ils augmentent également la concentration en CO₂ (Gorton et al., 2020), ce qui favorise les plantes en C3 (Nikolić et al., 2022).

2. Banque de graines du sol et importance pour les espèces thérophytes

Depuis le début de la civilisation, de nombreuses méthodes de contrôle et de lutte contre les adventices ont été développées (Buhler et al., 1997). Avec l'exode rural survenu à la moitié du 20^{ème} siècle, le recours aux herbicides s'est accru en Europe de l'Ouest (Gianessi, 2013). Cependant, bien que ces substances aient figuré parmi les pesticides les plus vendus en Europe aux côtés des fongicides entre 2011 et 2020 (Eurostat, 2022), leur utilisation est désormais plus étroitement régulée et des phénomènes de résistance apparaissent chez certaines adventices (Benvenuti, 2004; Loddo et al., 2021, 2014). Il est alors nécessaire de développer des méthodes de lutte intégrée durables, fondées sur une compréhension approfondie de la biologie et de l'écologie de ces espèces végétales (Bahadur et al., 2015; Benvenuti, 2003; Buhler et al., 1997; Chadha et al., 2020; Forcella et al., 1993; Loddo et al., 2014; Sarukhan and Harper, 1973; Schwartz-Lazaro and Copes, 2019).

Pour lutter contre les espèces thérophytes, basant leurs stratégies de survie sur la production et le maintien de graines dans le sol (Peco et al., 1998; Saatkamp et al., 2009; Schwartz-Lazaro and Copes, 2019), il est essentiel de comprendre leur banque de graines du sol (BGS). Ce réservoir peut être défini comme l'ensemble des graines viables issues de la pluie de graines ou ayant été introduites involontairement, présentes dans le sol et capables de renouveler les plants parents ayant disparu (Buhler et al., 1997; Csontos, 2007; Douh et al., 2014; Gioria et al., 2014; Pellissier et al., 2008; von Blanckenhagen and Poschlod, 2005).

En malherbologie, la BGS est principalement étudiée pour les espèces dont les graines ont un temps de résidence élevé dans le sol (Peco et al., 1998; Saatkamp et al., 2009; Schwartz-Lazaro and Copes, 2019). En effet, ces plantes ont des répercussions économiques durables pour les agriculteurs, ce qui justifie l'intérêt qui leur est porté (Buhler et al., 1997). Ces graines pouvant résider en moyenne plus de deux ans dans le milieu, sont appelées des graines persistantes. Celles qui ne sont pas capables de se maintenir durant deux saisons de végétation sont, quant à elles, appelées des graines transitoires. (Bakker et al., 1996; Bekker et al., 1998; Csontos and Tamás, 2003; Saatkamp et al., 2014, 2009; Schwartz-Lazaro and Copes, 2019)

Les facteurs qui influencent cette BGS, ainsi que la persistance de celle-ci, sont nombreux et interconnectés (Buhler et al., 1997; Schwartz-Lazaro and Copes, 2019) : capacité d'entrer en dormance, taux d'émergence, taille des graines, prédation, profondeur d'enfouissement, conditions environnementales, décomposition microbienne, travail du sol, effectif de la population aérienne, etc. Certains d'entre eux seront expliqués dans les points suivants.

2.1. Dormance des graines

Les espèces thérophytes, qu'elles soient estivales ou hivernales, possèdent des graines devant entrer en dormance pour passer la mauvaise saison (Baskin and Baskin, 1985; Thompson, 1978). Ce phénomène est défini comme « un mécanisme qui permet aux plantes de retarder la germination jusqu'à ce que les conditions soient optimales pour la survie de la génération suivante » (Finkelstein et al., 2008).

La *D. stramonium* présente plusieurs types de dormance (Loddo et al., 2014; Weaver and Warwick, 1984). Le premier correspond à une dormance « physiologique primaire acquise aux derniers stades de maturation sur la plante mère » (Baskin and Baskin, 1985; Benvenuti and Mazzoncini, 2021). Elle permet aux graines produites de rester dormantes avant même l'apparition de conditions défavorables (Geneve, 2003; Hilhorst et al., 2010). De cette manière, elles éviteront de germer pendant la mauvaise saison et pourront éventuellement être dispersées sur de plus longues distances, afin d'augmenter le *seed shadow* (UNIGE, 2017). Il existe de nombreuses variations de dormance primaire (Geneve, 2003). Dans le cas du *D. stramonium*, celle-ci est de type exogène physique (Geneve, 2003) : les graines possèdent des téguments imperméables (Loddo et al., 2014; Weaver and Warwick, 1984), ce qui empêche l'embryon d'absorber de l'eau (Baskin and Baskin, 1988; Geneve, 2003). Cette dormance est rompue naturellement par une augmentation de la température (Geneve, 2003). Elle peut également être brisée par différents facteurs tels que l'abrasion par les minéraux du sol, le passage dans le tube digestif des animaux, ou encore l'attaque des micro-organismes présents dans le sol, bien que ces derniers facteurs aient un impact moins important sur la levée de la dormance (Geneve, 2003, 1998). En laboratoire, différentes méthodes de scarification, telles que l'abrasion mécanique, la dégradation chimique ou le lavage des graines sont utilisées (Benvenuti and Macchia, 1995; CABI, 2021; Geneve, 2003; Loddo et al., 2014; Weaver and Warwick, 1984). Le deuxième type de dormance pouvant apparaître chez cette espèce, appelé dormance secondaire, est induit par les conditions environnementales défavorables et apparaît cycliquement (Baskin and Baskin, 1985; Benvenuti and Mazzoncini, 2021; Geneve, 2003; Loddo et al., 2014; Weaver and Warwick, 1984). Il peut être levé, pour l'espèce étudiée, à la suite d'une exposition à de faibles températures pendant l'hiver et à une augmentation de celles-ci pendant le printemps (Baskin and Baskin, 1988; Werle et al., 2014) ou par une exposition brutale à la lumière, dans le cas où les graines auraient été profondément enfouies dans le sol (Benvenuti and Macchia, 1998; Benvenuti, 2003; Caballero et al., 2008).

Ces différents types de dormance permettent au *D. stramonium* de rester dans le sol plusieurs mois, voire plusieurs années, et donc de constituer une BGS persistante (Benvenuti and Mazzoncini, 2021; Bradford, 2002; Buhler et al., 1997).

2.2. Profondeur d'enfouissement

La profondeur d'enfouissement dans le sol peut influencer la capacité des graines à germer et donc leur persistance. Selon une étude réalisée par Benvenuti and Macchia (1998), l'enfouissement des graines de *D. stramonium* peut réduire leur taux de germination, et ce, indépendamment du taux de radiation reçu. En effet, une profondeur accrue peut créer un environnement hypoxique limitant la respiration, ce qui maintient les métabolites fermentaires émis par les graines dans le milieu (Benvenuti, 2003; Benvenuti and Mazzoncini, 2021) et abaisse le taux de germination (Benvenuti, 2003).

Les milieux permettant un enfouissement important sont les terres cultivées, avec le travail mécanique du sol (Colbach, 2014), et les sols ayant une tendance à la fissuration lors des périodes sèches (Bekker et al., 1998; Price et al., 2010; Schwartz-Lazaro and Copes, 2019). En revanche, les sols à particules fines ont tendance, en raison des forces de cohésion qui existent entre elles, à ralentir la descente naturelle des graines (Bekker et al., 1998 ; Benvenuti, 2007 ; Saatkamp et al., 2014).

Dans le cas du *D. stramonium*, lorsque les graines sont enterrées à plus de 30 cm dans le sol (Stoller and Wax, 1974; Weaver and Warwick, 1984), leur longévité peut dépasser les 30 ans. Ceci résulte de la profondeur qui, en plus de limiter les échanges gazeux, tend à réduire la prédation des graines (Benvenuti, 2007) et la fréquence d'apparition des conditions extrêmes (Stoller and Wax, 1974). Cela leur permet alors de se maintenir plus longtemps dans le milieu. Ce cas correspond néanmoins à une situation exceptionnelle, rencontrée dans des conditions bien particulières. Généralement, dans les sols non-labourés, les graines ne sont pas enfouies aussi profondément et leur viabilité diminue (Benvenuti, 2007; Espèces exotiques envahissantes, 2021; Stoller and Wax, 1974).

La prédominance de ces graines en surface est attribuable à leur dimension. En effet, d'une manière générale, les graines plus volumineuses et présentant un appendice ont tendance à rester plus en surface que les graines sphériques et petites (Bekker et al., 1998; Benvenuti, 2007; Csontos, 2007; Saatkamp et al., 2009; Schwartz-Lazaro and Copes, 2019). Cela est dû à leur rapport surface/volume important qui les empêche de se déplacer passivement dans le sol par les petites fissures ou les galeries (Bekker et al., 1998). Les graines volumineuses sont également moins susceptibles d'être déplacées par la faune du sol (Bekker et al., 1998; Saatkamp et al., 2014) ou d'être enfouies par l'impact des gouttes de pluie (Benvenuti, 2007).

2.3. Texture du sol

La texture du sol peut également impacter le taux de germination des graines. En effet, une baisse de ce dernier peut être constatée dans les sols à particules fines car celles-ci empêchent, par leur taille réduite et les forces de cohésion importantes, les échanges gazeux (Benvenuti, 2003). Ces sols sont alors considérés comme des obstacles à l'émergence des plantules (Benvenuti and Mazzoncini, 2021; Nikolić et al., 2022), surtout lorsqu'ils sont compactés (Benvenuti and Mazzoncini, 2018). Cependant, dans le cas spécifique du *D. stramonium*, la taille importante des graines atténue l'importance de cette compaction, comme l'ont souligné Benvenuti and Mazzoncini en 2018.

Dans les sols à particules plus grossières, la perméabilité à l'air est améliorée (Benvenuti, 2003) et la transmittance est meilleure (Benvenuti, 1995), ce qui permet un plus haut taux d'émergence et donc une accumulation moins importante de graines dans le sol (Benvenuti, 2003).

Des études antérieures (Benvenuti, 2003; Benvenuti et al., 2001) ont montré qu'une profondeur de 10 cm dans un sol limoneux pouvait permettre à environ 10% des graines de *D. stramonium* de germer, mais que toute profondeur supérieure à 12 cm entraînait une dormance secondaire (Benvenuti, 2007). Bien qu'aucun seuil d'inhibition n'ait été établi pour les sols argileux, il a été démontré que le taux d'émergence des graines était réduit de moitié en les enfouissant à une profondeur de 4 cm par rapport aux graines qui n'avaient pas été enterrées (Nikolić et al., 2022).

2.4. Émergence des plantules

Comme vu précédemment, la BGS peut être impactée par l'émergence des plantules. Plusieurs paramètres peuvent conditionner cette étape : la température, le taux d'humidité, l'arrangement vertical dans le sol, la lumière et la granulométrie du sol (Baskin and Baskin, 1988; Benvenuti, 1995; Benvenuti et al., 2001; Benvenuti and Mazzoncini, 2021, 2018; Bradford, 2002; Loddó et al., 2014; Werle et al., 2014).

Dans le cas du *D. stramonium*, comme pour la majorité des espèces thérophytes, le paramètre impactant le plus la germination est la température, et plus précisément l'accumulation de chaleur (Baskin and Baskin, 1988; Benvenuti et al., 1994; Werle et al., 2014). Cette notion est exprimée en *growing degree days* (GDD) (McMaster and Wilhelm, 1997; Werle et al., 2014) et expose le fait que les journées plus chaudes permettent un développement plus rapide de la plante (Miller et al., 2001).

L'équation utilisée est (Dorado et al., 2009; McMaster and Wilhelm, 1997; Miller et al., 2001) :

$$GDD = \left[\frac{T_{MAX} + T_{MIN}}{2} \right] - T_{SEUIL}$$

Avec T_{MAX} et T_{MIN} qui correspondent respectivement aux températures maximale et minimale du jour considéré et T_{SEUIL} qui correspond à la température en dessous de laquelle aucun processus biologique n'est possible. Pour le *D. stramonium* la température seuil utilisée varie entre 9 et 10,6°C (Dorado et al., 2009; Pawlak et al., 1990; Werle et al., 2014).

En conditions contrôlées, le *D. stramonium* montre des taux d'émergence moyens, sur une courte période. En effet, Werle et al. (2014) montrent qu'en prenant une température seuil de 9°C, 90% des graines émergent en 247 GDD. En Espagne, de telles conclusions ont pu être développées et ce, en conditions réelles : Dorado et al. (2009) montrent, avec une température seuil de 10,6°C, que les plants atteignent un taux d'émergence de 70% avec une moyenne de 229 GDD. Cependant, les conditions belges sont différentes et les levées semblent s'échelonner sur une plus grande période, durant la saison estivale (avril à septembre) (ARVALIS, 2021 ; Sillon belge, 2022). Cela peut être dû au fait que les conditions environnementales ne sont pas continuellement favorables (Weaver and Warwick, 1984). Généralement, des températures alternant entre 15 et 35°C permettent une germination optimale (Gaire and Subedi, 2013; Loddó et al., 2014; Weaver and Warwick, 1984; Werle et al., 2014), tandis que les températures fraîches ont tendance à ralentir, voire à l'empêcher car cette espèce ne tolère pas le gel (INRAE, 2019).

Un autre paramètre peut aussi être pris en compte dans certains modèles : le taux d'humidité du sol. Dans ce cas, l'accumulation de chaleur sera comptabilisée uniquement si le taux d'humidité du sol est suffisant pour permettre une bonne croissance. Ce modèle est particulièrement intéressant dans les milieux où l'eau est limitée pendant la période d'émergence. (Werle et al., 2014)

Une fois les conditions optimales réunies, la dormance primaire et/ou secondaire est levée et les graines ne sont alors plus considérées comme faisant partie de la BGS (Csontos, 2007; Gross, 1990; Korres et al., 2016). Dans les milieux tempérés, cette situation est rencontrée, pour les espèces thérophytes estivales, au début de la période de végétation (Csontos, 2007). Lorsque l'échantillonnage est réalisé à ce moment-là, la BGS étudiée est incomplète car une partie, environ 3 à 6 % (Reuss et al., 2001), a déjà germé (Csontos, 2007; Gross, 1990). Cependant, réaliser l'échantillonnage à cette période permet d'éviter la récolte de graines fraîches qui pourraient se révéler non-viables (Csontos, 2007; Ratel, 1996). Ensuite, un autre avantage est le fait que, grâce au temps écoulé depuis la dernière saison de végétation, la plupart des graines non viables sont visibles (Price et al., 2010).

2.5. Relation avec la végétation aérienne

Les espèces thérophytes, principalement celles considérées comme de début de succession, présentent une similitude entre leur BGS et leur végétation aérienne (Albrecht et al., 2011; Arroyo et al., 1999; Caballero et al., 2008; Olano et al., 2005; Thompson et al., 2005; van Langevelde et al., 2016). Cette ressemblance peut même apparaître, principalement pour les espèces nitrophiles, dans les milieux urbains, surtout lorsque la densité des individus aériens est importante (Albrecht et al., 2011 ; Pellissier et al., 2008). Pellissier *et al.* (2008) expliquent cette similitude entre la flore établie et potentielle par le fait que les « communautés végétales des zones urbaines se caractérisent par une forte couverture d'espèces végétales nitrophiles et stratégies R ». Ces espèces, adaptées aux fortes perturbations du milieu, ont alors tendance à produire plus de graines, ce qui leur permet de former de grandes BGS persistantes (Saatkamp et al., 2009). Les conclusions d'autres études tendent également à dire que la ressemblance est accrue lorsque les perturbations du milieu sont fréquentes (Henderson et al., 1988; Thompson, 1978).

La relation entre la végétation aérienne et la BGS peut également être plus marquée lorsque les années de végétation étudiées connaissent des conditions climatiques favorables, augmentant le taux d'émergence (Caballero et al., 2008). En revanche, en cas de conditions défavorables s'étendant sur plusieurs années ou de modifications durables du milieu, ce lien peut s'estomper (Csontos, 2007; Gioria et al., 2014; Gross, 1990; von Blanckenhagen and Poschlod, 2005).

Pour le *D. stramonium* cette ressemblance devrait également être présente. En effet, en plus d'être une espèce thérophyte nitrophile produisant un grand nombre de graines par année, celle-ci se disperse par autochorie. Cela signifie que la dispersion de cette espèce est définie par une fonction exponentielle négative et qu'un plus grand nombre de graines sera retrouvé près de la plante mère (Caballero et al., 2008).

3. Méthodes d'analyse de la banque de graines du sol

Il existe plusieurs techniques permettant d'analyser la BGS. Elles peuvent être réparties en deux grandes catégories : extraction directe et émergence des semis.

La première consiste à extraire de manière directe les graines hors des échantillons de sol, à les compter et à les identifier. Elle se base sur les différences de taille ou de densité des graines pour les séparer du sol. Plusieurs variantes existent : la flottaison, qui permet, grâce à la combinaison de différents produits chimiques, d'assurer la décomposition des agrégats de sol et la flottabilité des graines (Gonzalez and Ghermandi, 2012; Malone, 1967; Mesgaran et al., 2007) et le tamisage, qui consiste à concentrer les graines par passages et lavages successifs au sein de tamis de différentes mailles (Bakker et al., 1996). Cette dernière méthode a été déclinée en plusieurs sous-techniques : l'élutriation, qui, par modification d'un élutriateur de racines hydropneumatique, permet le tamisage et le triage mécanique des graines (Gross and Renner, 1989) et l'utilisation de sacs en tissu, possédant une maille plus ou moins fine, qui permet l'évacuation des particules de sols mais pas des graines, lorsque le contenant est agité dans l'eau (Mesgaran et al., 2007).

La deuxième, qui est la méthode d'émergence des semis, consiste à disposer les échantillons de sol dans des plateaux, sur une épaisseur de sol comprise entre 1 et 5 cm (Bakker et al., 1996; Price et al., 2010; Ter Heerdt et al., 1996). Certains auteurs conseillent, afin de favoriser l'émergence rapide d'un maximum de graines, de limiter au maximum l'épaisseur de la couche (3 à 5 mm) (Bakker et al., 1996; Ter Heerdt et al., 1996) et d'éventuellement réaliser une étape de pré-traitement pour casser la dormance des graines (Espeland et al., 2010). Les échantillons sont ensuite maintenus dans des conditions connues afin de permettre la levée d'un maximum d'espèces et d'individus (Bakker et al., 1996; Ter Heerdt et al., 1996). Dès qu'une plantule émerge, elle est identifiée et retirée (Ter Heerdt et al., 1996). Si l'identification n'est pas directement possible, l'individu est transplanté dans un récipient individuel et est identifié à maturité (Gross, 1990). Cependant, de nombreuses variantes existent en ce qui concerne la durée, la préparation des échantillons, la disposition dans les récipients pour l'émergence ou l'utilisation ou non de substrats (Espeland et al., 2010; Price et al., 2010).

4. Intérêt de la science citoyenne dans l'étude de la banque de graines du sol

Les espèces thérophytes ayant un cycle de vie relativement court (Saatkamp et al., 2009), l'étude de leur BGS est généralement limitée dans le temps. Un moyen de contourner ce problème consiste à connaître l'emplacement exact des populations de ces espèces annuelles, permettant ainsi un échantillonnage du sol à tout moment de l'année. Dès lors, dans le cadre de l'étude de la BGS du *D. stramonium*, les projets de science citoyenne, également connus sous le nom de science participative ou communautaire (Haklay et al., 2021), peuvent être utiles.

Ces projets permettent la participation de scientifiques citoyens, généralement bénévoles (Johnson et al., 2020), dans des activités de recherche scientifique (i.e. Bonney et al., 2014; Callaghan et al., 2019; Fraisl et al., 2022; Johnson et al., 2020; Lee et al., 2020). Cette approche présente un potentiel mondial (Lee et al., 2020) et rend possible l'action du public dans de très nombreux domaines : surveillance de la pollution de l'air, de la biodiversité, des espèces exotiques envahissantes, de la santé mondiale, ... (i.e. Bonney et al., 2014; Fraisl et al., 2022; Johnson et al., 2020).

4.1. Différents niveaux et projets de science citoyenne

Il existe différents niveaux de participation allant de la simple collecte des données à l'élaboration entière de projets de recherche par collaboration avec les scientifiques (Haklay, 2013 cité par Lee et al., 2020). Les niveaux ne permettant pas une implication significative du public sont appelés « descendants » et sont mis en place par une organisation spécifique, tandis que ceux élaborés et gérés conjointement par le public et les scientifiques sont dit « ascendants » (Baruch et al., 2016; Lee et al., 2020).

En écologie, la science citoyenne est principalement utilisée pour l'acquisition de données d'occurrence d'espèces (Fraisl et al., 2022; Johnston et al., 2020; Lee et al., 2020) et est connue sous le terme de « crowdsourcing » (Lee et al., 2020). Lorsque la récolte de données se fait de manière opportuniste, celles-ci sont dites « non structurées ». Cette approche permet une collecte massive d'informations sur une échelle spatio-temporelle étendue. Cependant, leur interprétation peut être délicate et est plutôt de type qualitative (absence/présence d'espèces à un lieu et un moment donné). À l'inverse, les enregistrements « structurés », suivant un protocole précis et ayant un nombre de données limité, donnent la possibilité de tirer des conclusions plutôt quantitatives (fréquence et abondance d'espèces). (Callaghan et al., 2019; Fraisl et al., 2022; Johnston et al., 2020)

4.2. Évolution de la science citoyenne

Bien que les projets de science citoyenne aient été de plus en plus nombreux cette dernière décennie (Haklay et al., 2021; Köpsel et al., 2021; Lee et al., 2020), il ne faut pas oublier que ce principe est connu depuis des centaines d'années (Bonney et al., 2014; Farah, 2015; Lee et al., 2020; Miller-Rushing et al., 2012). En effet, un grand nombre de connaissances scientifiques datant des 19 et 20^{ième} siècles, principalement au niveau des sciences naturelles, proviennent en réalité de personnes bénévoles (Farah, 2015; Miller-Rushing et al., 2012).

Le regain d'intérêt pour cette pratique (Haklay et al., 2021; Köpsel et al., 2021; Lee et al., 2020) et le nombre toujours croissant de scientifiques citoyens y prenant part (Callaghan et al., 2019) est dû à plusieurs facteurs.

Premièrement, la sensibilisation accrue du public sur les problèmes environnementaux suscite chez lui une volonté croissante d'agir en faveur de la biodiversité (Baruch et al., 2016; Lee et al., 2020; Tiago et al., 2017). D'autres sources de motivation peuvent aussi être prises en compte, selon Tiago *et al.* (2017) et Lee *et al.* (2020), pour expliquer cet intérêt pour la science citoyenne : comprendre les objectifs scientifiques derrière les questions de recherche, réaliser des activités en extérieur, rencontrer de nouvelles personnes partageant des intérêts communs, éprouver le sentiment d'avoir un impact réel, etc.

Deuxièmement, l'augmentation générale des niveaux d'éducation dans le monde (Fraisl et al., 2022) et l'accès facilité aux informations scientifiques (Lee et al., 2020) contribuent également à expliquer ce nombre croissant.

Troisièmement, l'accès facilité du public à une nouvelle technologie peu coûteuse, intuitive et pouvant être perçue comme ludique a grandement contribué à l'essor de la science citoyenne (i.e. Adriaens, 2015; Baruch et al., 2016; Bonney et al., 2014; Lee et al., 2020; Liu et al., 2021). En effet, l'utilisation de smartphones, pourvus de capteurs de plus en plus précis, ainsi que d'applications dédiées à la science citoyenne, permettent la mise en avant des projets de recherche (Adriaens, 2015; Bonney et al., 2014; Johnson et al., 2020) et facilitent la collecte de données (Adriaens, 2015; Fraisl et al., 2022; Liu et al., 2021). Cette technologie présente de nombreux avantages, tels que l'interaction directe entre les scientifiques citoyens et les projets de recherche, le gain de temps sur le terrain, l'encodage de données standards, le téléchargement direct évitant les erreurs de transcription ou les pertes, la géolocalisation instantanée, le signalement en temps réel, la transmission de photos, etc. (i.e. Adriaens, 2015; European Commission, 2021; Howard et al., 2022; Johnson et al., 2020; Lemmens et al., 2021). Néanmoins, avant l'apparition de cette nouvelle technologie, les plateformes de science citoyenne existaient déjà et permettaient l'encodage manuel des données d'occurrence (Adriaens, 2015; Liu et al., 2021). Actuellement, elles conservent toujours certains atouts car elles fournissent aux scientifiques citoyens plus de détails sur les projets, donnent accès aux résultats, enseignent les bonnes pratiques de collecte des données, etc. (Liu et al., 2021).

Enfin, la confiance des scientifiques envers les données transmises via la science citoyenne s'est accrue ces dernières années. En effet, avec la soumission de plus en plus fréquente de photos (Adriaens, 2015; Lemmens et al., 2021), il est dorénavant possible de vérifier et valider l'identification des espèces (Fraisl et al., 2022; Johnson et al., 2020). Cela peut se faire de plusieurs manières : par les pairs, par des experts et à l'aide d'une intelligence artificielle (European Commission, 2021; Fraisl et al., 2022; Lemmens et al., 2021). De plus, il est également possible de prendre en compte, avec certains traitements statistiques, les biais et erreurs pouvant être associés à la prise de données (Bonney et al., 2014 ; Fraisl et al., 2022).

4.3. Avantages

Actuellement, deux avantages majeurs peuvent être attribués aux projets de science citoyenne. Le premier atout, plutôt perçu au niveau de la communauté scientifique, est la récolte massive d'observations (Johnson et al., 2020; Lee et al., 2020; Sánchez-Clavijo et al., 2021). Par exemple, Fraisl et al. (2022) estiment que « les projets de science citoyenne liés à la surveillance des espèces ont contribué, à hauteur d'au moins 50% des observations, aux bases de données internationales et mondiales sur la biodiversité, telles que *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF) ». Lemmens et al. (2021) montrent également l'intérêt de cette approche au niveau mondial, en énonçant que la plateforme iNaturalist avait recueilli, au moment de la rédaction de leur article, « près de 30 millions d'observations dans près de 250 000 catégories, fournies par plus d'un million de citoyens ».

Ces volumes importants de données ne pourraient pas être collectés sans l'aide des scientifiques citoyens. En effet, ceux-ci ont la possibilité de couvrir des échelles spatio-temporelles inatteignables à l'échelle de la simple communauté scientifique (Farah, 2015; Fraisl et al., 2022), ce qui ouvre la voie à de nouvelles questions de recherche (Tiago et al., 2017). De plus, avec les restrictions budgétaires auxquelles fait face la recherche scientifique, il est essentiel pour elle d'être aidée par des bénévoles (Callaghan et al., 2019; Johnson et al., 2020; Lee et al., 2020).

Le deuxième aspect à prendre en compte, plutôt considéré au niveau de la société, est que l'inclusion de la population dans les projets de recherche permet sa sensibilisation et améliore sa culture scientifique (Farah, 2015; Fraisl et al., 2022; Lee et al., 2020; Tiago et al., 2017). Cela lui donne alors l'envie et la possibilité de participer à la gestion de son environnement (Farah, 2015; Fraisl et al., 2022). Les scientifiques citoyens peuvent alors devenir des acteurs à part entière (Farah, 2015) et aider à la prise de décisions, de manière à les rendre plus pertinentes et plus facilement acceptables par tous (European Commission, 2021; Fraisl et al., 2022; Köpsel et al., 2021; Lee et al., 2020; Sánchez-Clavijo et al., 2021).

D'autres avantages, moins mis en avant, peuvent également être cités : l'amélioration des taxons (Fraisl et al., 2022), l'utilisation de photos pour déduire des informations écologiques et phénologiques (Callaghan et al., 2019; Fraisl et al., 2022) et la meilleure connaissance des régions sous-échantillonnées telles que l'Arctique et les régions du Sud (Fraisl et al., 2022).

Une des situations les plus courantes est l'étude des données d'occurrence des espèces exotiques envahissantes sur un territoire (Johnson et al., 2020). En effet, les données issues de la science citoyenne fournissent des informations sur les espèces émergentes (premières détectations), leur distribution spatiale, leur phénologie, les zones potentielles à gérer, etc. (Callaghan et al., 2019; European Commission, 2021; Howard et al., 2022; Johnson et al., 2020).

4.4. Points d'attention

Même si certains projets liés à la science citoyenne ont permis d'améliorer les connaissances scientifiques (Lee et al., 2020), les observations ne sont pas toujours utilisées à leur plein potentiel (Bonney et al., 2014; Fraisl et al., 2022; Gardiner et al., 2012).

Cette méfiance résiduelle vis-à-vis des données récoltées par les bénévoles peut avoir plusieurs origines. Tout d'abord, les scientifiques peuvent être réticents à l'idée d'utiliser la science citoyenne pour la prise de décisions car ces derniers craignent des erreurs dans l'identification des espèces (Geldmann et al., 2016; Kelling et al., 2015; Lee et al., 2020). De plus, comme beaucoup de projets ne requièrent pas de formation chez les scientifiques citoyens et de suivi d'un protocole complexe, les enregistrements sont très hétérogènes et les efforts d'échantillonnage variables (Geldmann et al., 2016; Kelling et al., 2015; Sánchez-Clavijo et al., 2021). Enfin, les données ne sont généralement pas collectées de manière aléatoire (Sánchez-Clavijo et al., 2021), engendrant différents types de biais :

- Temporel : les scientifiques citoyens ont tendance à enregistrer plus d'observations les week-ends (Callaghan et al., 2019; Geldmann et al., 2016) ;
- Spatial : les scientifiques citoyens échantillonnent principalement les sites proches de leur domicile, des routes et des infrastructures humaines, ainsi que les sites connus pour présenter une grande biodiversité et étant facilement accessibles (Callaghan et al., 2019; Geldmann et al., 2016; Johnston et al., 2020; Sánchez-Clavijo et al., 2021). Lors de projets réalisés à l'échelle mondiale, un plus grand nombre d'observations apparaît dans les pays occidentaux développés (Lee et al., 2020) ;
- De préférence : les scientifiques citoyens ont parfois une préférence pour certaines espèces (Johnston et al., 2020).

Ensuite, lorsqu'un événement exceptionnel se produit, à l'échelle nationale ou mondiale, telle qu'une pandémie, il est nécessaire de vérifier que les résultats ne diffèrent pas de ceux qui sont antérieurs à cette crise (Köpsel et al., 2021). Dans le cas de la crise du Covid-19, certaines études relatives à la faune ont pu constater un accroissement du nombre d'observations dans les zones urbaines au détriment des zones rurales (Sánchez-Clavijo et al., 2021; Sweet et al., 2022).

Le manque de confiance peut également être intrinsèque aux projets ou à l'utilisation des plateformes citoyennes. En effet, dans le cas où le projet est trop court, ne permet pas de recruter un nombre suffisant de bénévoles ou ne maintient pas assez longtemps leur motivation, il peut être complexe de tirer des conclusions (Lee et al., 2020; Sánchez-Clavijo et al., 2021). De plus, l'information concernant un certain type de recherche peut être fragmentée entre différents projets et plateformes (Johnson et al., 2020). Cela peut entraîner l'impossibilité de comparer les données et la perte d'informations. (Adriaens, 2015). Les bases de données mondiales, regroupant les informations de plusieurs plateformes, telles que GBIF peuvent aider à cette synthétisation des observations (Adriaens, 2015; Johnson et al., 2020).

Finalement, même si les avancées technologiques permettent d'accroître la fiabilité des résultats, des erreurs subsistent. Par exemple, les capteurs des smartphones peuvent subir des problèmes d'étalonnage (Sánchez-Clavijo et al., 2021), les appareils utilisés peuvent être de mauvaise qualité (Balázs et al., 2021) et il peut y avoir, lors de l'encodage, une absence de signal ou un problème de connexion internet (Balázs et al., 2021). De plus, la fiabilité des intelligences artificielles permettant l'identification peut être discutable, en fonction du niveau de difficulté de la classification. Terry *et al.* (2020) ont par exemple démontré que, par rapport aux experts humains, la précision de la classification variait de 60 à 90%.

5. Objectifs

L'objectif principal de cette étude est de déterminer la densité de graines de *D. stramonium* présentes dans la banque de graines du sol de diverses populations et les facteurs l'influençant. Ces derniers sont le taux d'urbanité, le temps de résidence minimal, la disponibilité en lumière, la texture du sol ainsi que l'effectif et la densité de la végétation établie de *D. stramonium*.

L'objectif secondaire consiste à déterminer la profondeur à laquelle la BGS est la plus concentrée et à identifier les facteurs, parmi ceux mentionnés précédemment, influençant cette répartition.

Un autre objectif secondaire consiste à démontrer qu'il est possible d'utiliser et de se fier aux données d'occurrence, transmises via des projets de science citoyenne, pour étudier la banque de graines du sol d'une espèce thérophyte et plus précisément du *D. stramonium*.

Matériel et méthode

1. Zone d'étude

Cette étude a été réalisée en Belgique. Afin d'éviter les variations climatiques, dues principalement à la distance par rapport à la mer et à l'altitude (Climat, n.d.), il a été décidé de se concentrer sur le territoire situé au Nord du sillon Sambre et Meuse.

Le climat, considéré comme tempéré océanique, est caractérisé par des hivers doux et pluvieux et des étés frais et humides (Climat, n.d). Dans cette région biogéographique atlantique, les températures annuelles sont relativement constantes. En prenant en compte les relevés effectués entre 1991 et 2020, les moyennes des températures hivernales et estivales oscillent respectivement entre 4°C et 17,1°C. La quantité de précipitations est quant à elle légèrement plus faible que dans le reste du pays et avoisine les 700 mm/an. (Royal meteorological institute, 2023)

2. Taux d'urbanité

Parmi les principales caractéristiques relatives à l'environnement urbain pouvant influencer la distribution des espèces (Desaegher et al., 2019; Vallet et al., 2010; Williams et al., 2009), l'imperméabilisation du sol est la plus facile à définir numériquement. L'utilisation de ce facteur est également justifiée par le fait qu'il a déjà été repris dans de nombreuses études (i.e. Desaegher et al., 2019; Hahs and McDonnell, 2006; Lu and Weng, 2006) et qu'il reflète fidèlement les différentes propriétés relatives aux environnements anthropisés, citées ci-dessus (Géron et al., 2022a).

Pour parvenir à définir le taux d'urbanité de la zone biogéographique étudiée, la carte de Copernicus de 2018 a été utilisée (Copernicus Land Monitoring Service, 2023). Elle est produite à partir d'un « algorithme automatique basé sur un indice de différence de végétation normalisé calibré (NDVI) » (Copernicus Land Monitoring Service, 2023; Gallego et al., 2017). Cette carte, fournie sous la forme d'un raster possédant des pixels de 10 x 10m, a été manipulée sur le logiciel QGIS 3.16.11. Le pourcentage d'urbanité, variant de 0% pour les surfaces non minéralisées à 100% pour les surfaces complètement imperméabilisées, a ainsi pu être analysé pour une carte dont la longueur de la maille a été augmentée à 20 m (soit un pixel de 400 m²). Cette nouvelle résolution, commune à plusieurs études, permet d'avoir une vision locale de l'urbanité et ainsi d'appréhender les variations microclimatiques pouvant être engendrées par les surfaces imperméables (Géron et al., 2022b). Il peut être considéré que les mailles dont le pourcentage d'imperméabilité est supérieur à 15% sont situées dans un milieu urbain (Géron et al., 2022a ; Kaiser et al, 2016).

L'avantage de cette base de données est qu'elle distingue les types d'occupation urbaine et fournit ainsi une valeur d'imperméabilité plus élevée pour les zones densément peuplées et les zones commerciales et industrielles. Cependant, en raison de sa résolution limitée, celle-ci ne peut pas fournir d'informations détaillées sur l'imperméabilisation de certaines surfaces, comme les routes en milieu rural. (Mitterer and Disse, 2022)

3. Science participative et base de données issue d'occurrence d'espèces

Dans le cadre de cette étude, il a été décidé d'utiliser la « plus grande base de données d'occurrence d'espèces au monde » (Chandler et al., 2017), GBIF.org. C'est un « réseau international et une infrastructure de données financés par les gouvernements mondiaux ayant pour but de fournir à tous et partout un accès libre aux données sur toutes les formes de vie sur Terre », qui a été créé en 2001 (Global Biodiversity Information Facility, 2023).

Au moment de la rédaction de ce rapport, cette base de données était alimentée par plus de 2 500 fournisseurs et 9 043 articles scientifiques avaient été publiés. Parmi les domaines les plus fréquemment couverts figure la conservation, qui englobe des publications sur « les risques d'extinction, l'identification, la préservation des zones clés de la biodiversité et la surveillance des espèces envahissantes ». D'autres domaines courants d'utilisation de GBIF incluent les études sur les sols et la santé humaine. (Global Biodiversity Information Facility, 2023)

L'avantage de cette base de données est qu'elle permet la prise en compte de nombreux paramètres, ce qui peut rendre les différents projets qu'elle contient comparables (Johnson et al., 2020). Ici, les paramètres ayant été conservés pour l'étude de la BGS du *D. stramonium* en Belgique sont :

- Le statut d'occurrence
- Les coordonnées GPS (latitude et longitude décimale) en WGS84
- L'incertitude des coordonnées en mètre
- L'année de l'observation ou année d'encodage
- L'institution/fournisseur/plateforme de science citoyenne

4. Temps de résidence minimal

L'estimation de la date de première apparition des populations de *D. stramonium* ne pouvant pas être réalisée en se basant sur la végétation existante (i.e. Bekker et al., 1998; Moriuchi et al., 2000; Saatkamp et al., 2009; von Blanckenhagen and Poschlod, 2005), il est nécessaire d'utiliser un proxy. A l'aide de la base de données issue d'occurrence d'espèces, celui-ci consiste à définir la date de premier encodage comme étant la date d'apparition sur le site, ce qui permet de calculer un âge minimal. Ce dernier peut alors être considéré comme un indicateur du temps de résidence minimal (TRM) de l'espèce dans le milieu. Si des renseignements supplémentaires sur la date d'apparition de la population ont été obtenus, notamment à la suite d'une discussion avec le propriétaire du terrain échantillonné, ceux-ci ont été considérés comme plus précis et une mise à jour a été effectuée lors de l'enregistrement de la population.

L'ensemble des relevés ayant été enregistrés sur GBIF pour la Belgique, entre 2013 et 2022, qui ne font pas partie du registre de pl@ntNet, et dont la position GPS était renseignée comme ayant une valeur d'incertitude de maximum 50 m, ont été sélectionnés (GBIF.org, 2023). Un total de 4 604 enregistrements a ainsi été analysé.

Il a été décidé de filtrer la base de données originale selon ces paramètres pour plusieurs raisons. Premièrement, seuls les points ayant une position GPS encodée avec une incertitude de maximum 50 m ont été conservés afin de faciliter les recherches sur le terrain, étant donné la contrainte de temps à laquelle fait face cette étude. Ensuite, afin de garantir l'accessibilité des sites et la fiabilité des données (Joly et al., 2016), les informations provenant de la plateforme de pl@ntNet ont été retirées. Il ne reste alors plus que les données issues des plateformes Observations.be/Waarnemingen.be,

iNaturalist et SPW-DEMNA. Enfin, il est important de noter que les plateformes permettant la participation citoyenne ne sont réellement utilisées par la population que depuis environ une décennie (Lee et al., 2020). Cela a entraîné un nombre d'encodage annuel moyen plus élevé à partir des années 2012-2013. En ce qui concerne le *D. stramonium*, après analyse des sites « observations.be » et « iNaturalist », il s'avère qu'un nombre considéré comme élevé d'encodage apparaît plus tardivement, aux alentours des années 2017-2019 (iNaturalist.org, 2023 ; observations.be, 2023). Il a donc été décidé, pour cette étude, de se concentrer exclusivement sur les dix dernières années.

Grâce à ce proxy, il est donc possible de définir le TRM de l'espèce sur le site. Par exemple, si une population a été enregistrée pour la première fois en 2013 et qu'elle peut être retrouvée aujourd'hui sur le terrain, il est acceptable d'affirmer que cette population a au moins 10 ans.

5. Sites d'étude et récolte des données

5.1. Sites d'étude

Un total de 30 sites a pu être visité du 1^{er} au 22 juin (Figure 2).

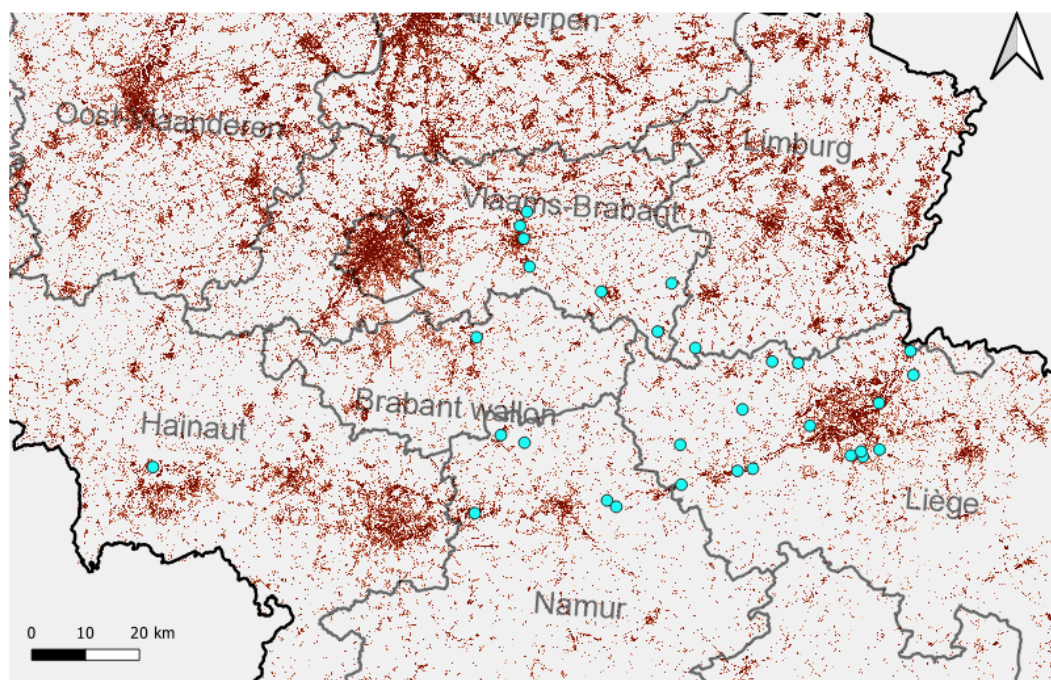


Figure 2 : Position des 30 sites initialement sélectionnés pour l'échantillonnage de la banque de graines du sol du *D. stramonium*

Les dates d'échantillonnage, sélectionnées en fonction de l'émergence des plantules, se sont avérées relativement tardives par rapport aux informations préexistantes sur la levée du *D. stramonium* (Sillon belge, 2022). Cette situation est attribuable aux périodes de gel tardives observées jusqu'au début du mois d'avril 2023 (Agromet, 2023), ce qui a provoqué un retard général au niveau de la végétation. De plus, la période de sécheresse à laquelle la Belgique a fait face du 16 mai au 16 juin (Meteo Belgique, 2023) n'a pas permis aux plants de *D. stramonium* de lever rapidement partout.

Il a été décidé d'attendre que les plants aient quelques semaines avant de commencer l'échantillonnage car les cotylédons, par leur grande taille et leur forme lancéolée, sont difficilement distinguables de cotylédons d'autres espèces, comme le chénopode hybride (*Chenopodium hybridum* L.) (ARVALIS, 2021) (Figure 3).



Figure 3 : Photos d'un jeune plant de *C. hybridum* (Syngenta, n.d.) (gauche) et de *D. stramonium* (droite)

La sélection des sites (*Figure 2*) ne s'est pas faite aléatoirement. Dans un premier temps, seuls ceux présents au Nord, ou légèrement au Sud, du sillon Sambre et Meuse et présents dans la partie wallonne du pays ont été sélectionnés. Cela a permis de faciliter les échanges qui pouvaient avoir lieu avec les propriétaires des différents terrains devant être échantillonnés. Ensuite, par analyse de la *Figure 4*, quelques sites supplémentaires ont été choisis en région flamande car ils possédaient des combinaisons de TRM et de taux d'urbanité intéressantes. Dans un deuxième temps, l'emplacement géographique des sites sélectionnés a été analysé via google maps. En effet, il a été décidé d'éviter au maximum les coordonnées apparaissant clairement au sein des jardins car ces milieux sont fortement anthropisés et façonnés par les choix des différents propriétaires pour des raisons ornementales (Vallet et al., 2010). Ces sites sont donc très hétérogènes et l'effectif présent dans la végétation aérienne pourrait ne pas être représentatif de l'effectif présent dans la BGS (Thompson et al., 2005). De plus, une condition supplémentaire pour la sélection des zones à échantillonner était qu'elles devaient toujours être espacées de minimum 1 km, afin de garantir l'absence de liens génétiques.

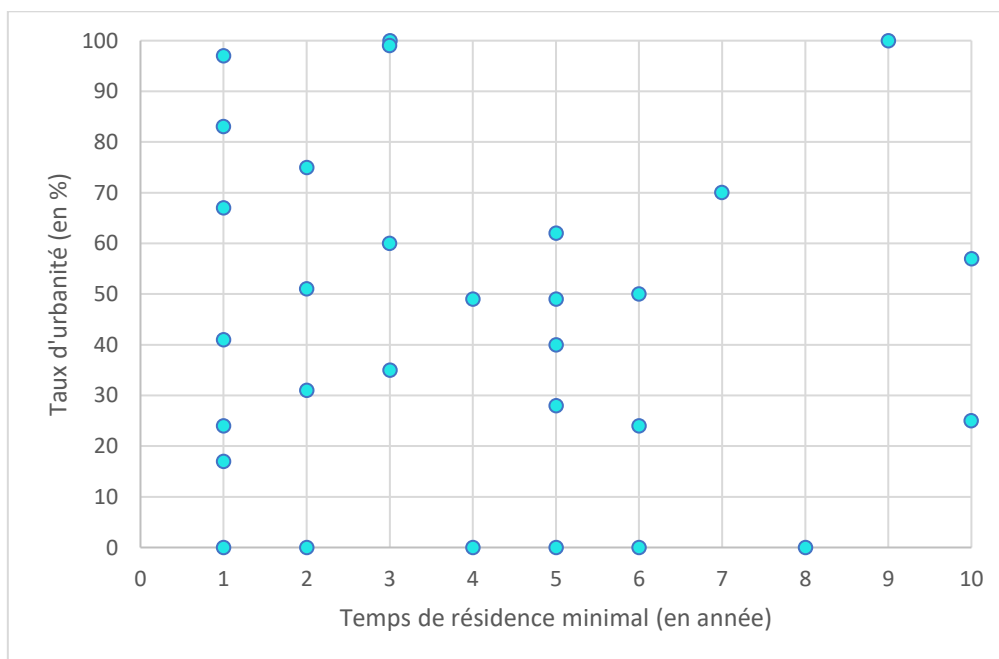


Figure 4 : Répartition, le long d'un gradient d'urbanité et d'un gradient de temps de résidence minimal, des 30 sites initialement sélectionnés pour l'échantillonnage de la banque de graines du sol du *D. stramonium*

5.2. Récolte des échantillons et des données

Une fois le point GPS, issu du jeu de données, localisé de manière précise sur le terrain, une étape de prospection a été réalisée dans un rayon de 16 m autour de celui-ci, soit sur une surface de 804 m². Cette grandeur a été sélectionnée car elle correspond à la moyenne des valeurs d'incertitude des coordonnées des 30 sites sélectionnés. Cette approche suppose que si un individu était présent dans la zone, il se trouverait à l'intérieur de ce périmètre. Ensuite, l'ensemble des plants présents dans l'aire définie, qu'ils soient morts ou vivants (*Figure 5*), ont été dénombrés afin de déterminer l'effectif et la densité aérienne.



Figure 5 : Photos d'un plant vivant (gauche) et d'un plant mort (droite) de *D. stramonium*

Deux scénarios ont été envisagés pour déterminer la position du premier point de collecte. Dans le premier cas, lorsqu'un nombre positif d'individus était recensé, la zone la plus densément couverte était identifiée de manière visuelle et un point GPS était pris à son centroïde approximatif. Cette zone est préférentiellement sélectionnée pour la prise d'échantillons car il est supposé qu'elle corresponde à la zone d'apparition de l'espèce. Par conséquent, afin d'analyser le nombre maximum de graines pouvant être retrouvées dans la BGS, cette zone paraît la plus adéquate. Dans le deuxième cas, celui où aucun individu n'était observé, la position précise du point GPS était utilisée comme premier point de collecte, en supposant que cet emplacement était exact et en faisant abstraction de la valeur d'incertitude communiquée.

Quatre autres points, situés au Nord, au Sud, à l'Est et à l'Ouest, ont également été considérés à une distance de 2 m du premier point, et leur emplacement a été matérialisé à l'aide de jalons. Cela permet de couvrir de manière systématique la zone la plus dense, ou supposée la plus dense. La distance de 2 m a été sélectionnée car il est admis que le *D. stramonium* se disperse de manière naturelle de 1 à 3 m (CABI, 2021 ; INVMED, 2021). Il peut donc être supposé que la BGS, à cette distance du premier point de collecte, comprend toujours un maximum de graines, selon le principe d'agrégation (Caballero et al., 2008 ; Csontos, 2007). La zone ainsi couverte occupe une superficie de 8 m². Un comptage y a de nouveau été mené afin de déterminer le nombre et la densité d'individus présents.

La disponibilité en lumière a été mesurée à l'aide d'un densiomètre forestier. Cet appareil, facile d'utilisation, est un « miroir convexe de forme sphérique avec un champ de réflexion de 45°, gravé d'une grille de 24 carrés » (Baudry et al., 2014; Ferment et al., 2001; Paletto and Tosi, 2009). Une fois positionné au niveau du point central de la zone précédemment sélectionnée et correctement placé en tenant horizontalement l'outil à la hauteur des coudes, quatre points ont été imaginés au sein de chaque carré (96 points au total). Ceux reflétant le ciel ont été comptabilisés. Cette manipulation a été

réalisée dans les quatre directions cardinales (Baudry et al., 2013), matérialisées par les jalons. Une fois les quatre valeurs encodées, la disponibilité en lumière du site a été calculée en effectuant la somme de ces valeurs. Ensuite, ce résultat a été multiplié par 1,04 selon Baudry *et al.* (2013) et finalement divisé par 4.

Un segment de sol a été pris aux cinq points précédemment déterminés, à l'aide d'une sonde faisant 1 cm de rayon (r) et 20 cm de profondeur (L) (Figure 6). L'opération a été répétée trois fois, soit un total de 15 carottes de sol, afin d'augmenter le volume de sol sondé (Tableau 1) et ainsi maximiser la probabilité de prélever des graines.

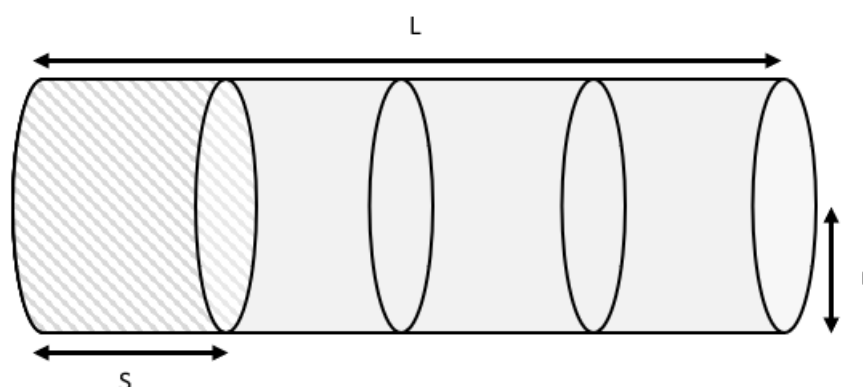


Figure 6 : Schéma représentant un segment de sol (en gris) et un sous-segment de sol (en gris hachuré)

Grandeur	Calcul	Résultat
Volume d'un segment de sol	$\pi * r^2 * L$	62,83 cm ³
Volume d'un sous-segment de sol	$\pi * r^2 * S$	15,71 cm ³
Volume total prélevé sur un site	$(\pi * r^2 * L) * 15$	942,48 cm ³
Surface d'un segment de sol	$\pi * r^2$	3,14 cm ²
Surface d'un sous-segment de sol	$\pi * r^2$	3,14 cm ²
Surface totale échantillonnée sur un site	$(\pi * r^2) * 15$	47,12 cm ²

Tableau 1 : Volume prélevé en centimètre et surface échantillonnée pour un segment de sol, un sous-segment de sol et un site complet

Chaque segment a été séparé en quatre sous-segments de 5 cm (S) : 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm et 15-20 cm, afin de déterminer la profondeur à laquelle la BGS est la plus concentrée. Plusieurs études montrent que, dans les sols non travaillés, les graines de la plupart des espèces s'accumulent préférentiellement dans les couches les moins profondes (Benvenuti and Mazzoncini, 2021; Csontos, 2007; Price et al., 2010), généralement définies comme les 5 (Csontos, 2007) ou 10 premiers cm du sol (Price et al., 2010; Schwartz-Lazaro and Copes, 2019). En revanche, dans les sols labourés, le phénomène d'inversion de profil (Csontos, 2007) permet aux graines de descendre plus bas. Ces considérations justifient alors la prise d'échantillons entre 10 et 20 cm de profondeur.

Les 15 sous-segments provenant de la même profondeur ont ensuite été regroupés et placés dans un sachet en plastique étiqueté. Le regroupement de plusieurs segments permet de réduire les biais liés à la micro-hétérogénéité spatiale du quadrat de 8 m² (Caballero et al., 2008). L'ensemble des segments et leur regroupement permet de former un échantillon composite (i.e. Bekker et al., 1997; Gross and Renner, 1989)

Un 16^{ième} segment, situé à côté du point central, a également été prélevé afin de définir, à l'aide de la clef de détermination suivante (Figure 7), la texture du sol :

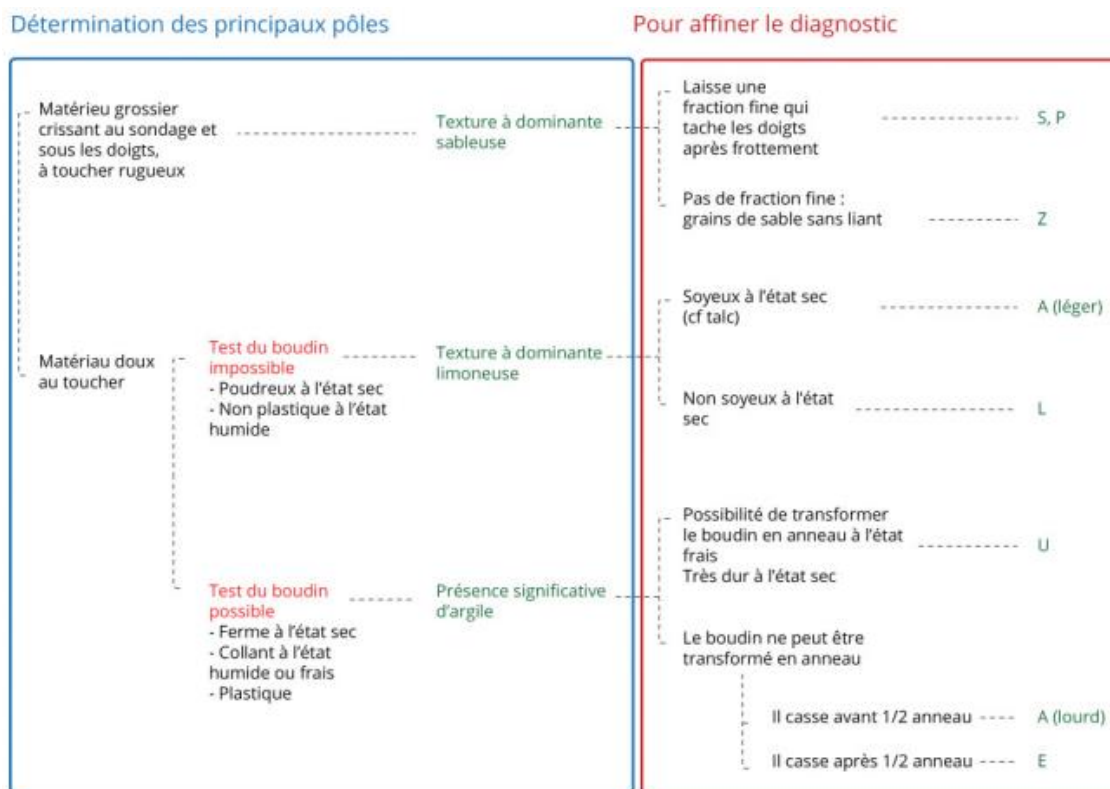


Figure 7 : Clef de détermination de la texture du sol (Fichier écologique des essences, n.d.)

Les échantillons ont été conservés à 4°C jusqu'à ce qu'ils soient analysés, afin de limiter les risques de germination.

6. Extraction directe des graines

Pour cette étude, le nombre de graines de *D. stramonium* présent dans la BGS a été étudié via une méthode d'extraction directe. Bien que les graines de cette espèce soient de couleur cryptique (Gross, 1990) (Figure 8), celles-ci possèdent une grande taille, ce qui permet de les repérer aisément et d'éviter les pertes potentielles. En effet, Gonzalez and Ghermandi (2012) conseillent de n'utiliser l'extraction directe que lorsque les graines pèsent plus de 0,3 mg et mesurent plus d'1 mm de long, ce qui est le cas du *D. stramonium*.



Figure 8 : Photo de graines de *D. stramonium* dont la couleur oscille entre le noir (gauche), le brun (milieu) et le gris (droite)

Des sacs de 23 x 30 cm, réalisés en toile de moustiquaire possédant une maille de 2 x 1,5 mm, ont été utilisés pour séparer les graines de la terre, tel que préconisé dans Mesgaran *et al.* (2007). Les échantillons de sol y ont été versés et le tout a été secoué manuellement dans un grand contenant rempli d'eau courante pendant environ deux minutes, afin d'éliminer toutes les particules de taille inférieure à la maille du sac.

Ensuite, les parois des sacs ont été tapotées jusqu'à ce que l'entièreté des résidus tombe dans un second récipient. Une fois l'ensemble des éléments enlevés du sac, de l'eau courante a été ajoutée à ce contenant, afin de permettre le prélèvement d'éventuelles graines flottantes. Enfin, le reste des résidus a été étalé dans un plateau en plastique de couleur claire afin de sécher. Les graines ont ainsi pu être comptées de manière manuelle.

Lors de cette étape des graines ayant différentes apparences ont pu être observées et un classement a dès lors pu être réalisé en fonction. Ce dernier consistait à séparer les téguments (*Figure 9*), les graines abîmées (*Figure 10*) et les graines visuellement intactes (*Figure 11*).

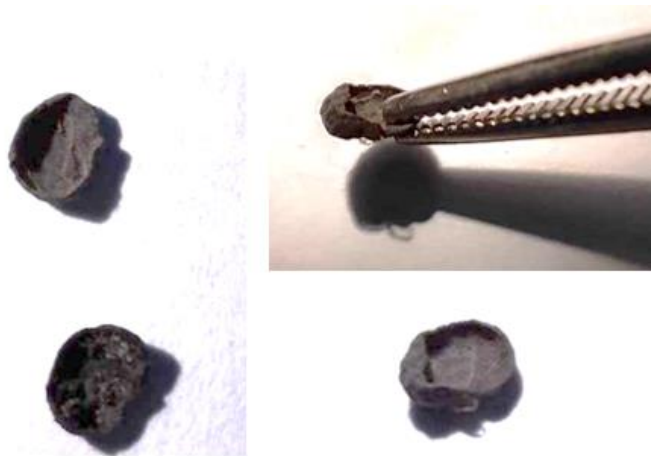


Figure 9 : Photos de téguments de graines de *D. stramonium* retrouvés dans les échantillons composites analysés

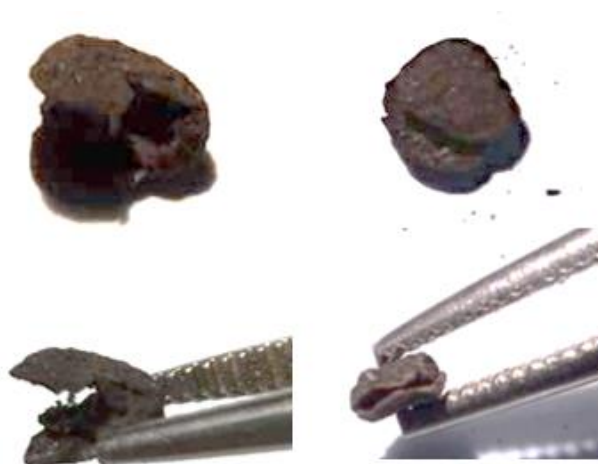


Figure 10 : Photos de graines abîmées de *D. stramonium* retrouvées dans les échantillons composites analysés



Figure 11 : Photos de graines de *D. stramonium* considérées comme visuellement intactes et retrouvées dans les échantillons composites analysés

Les téguments n'ont pas été comptabilisés pour la suite de cette étude car il était impossible de déterminer si deux téguments retrouvés au sein d'un même échantillon formaient, par le passé, la même graine ou non. Les graines abîmées, bien que ne rentrant pas dans la définition de la BGS, ont tout de même été comptées. Finalement, les graines étant considérées comme visuellement intactes ont été soumises au test de viabilité.

7. Test de viabilité

Afin d'éviter un biais de surestimation dû à la méthode d'extraction directe utilisée, la viabilité des 242 graines visuellement intactes a été testée (Gross, 1990). Elles ont été soumises au test d'écrasement « à sec », en anglais *unimbibed crush test*. Cette technique consiste à placer individuellement les graines dans un morceau de papier blanc et à les écraser, sans les détruire complètement, à l'aide d'une pince plate (Sawma and Mohler, 2002).

Dans le cadre de cette étude, les graines de *D. stramonium* ont été placées de manière individuelle sur un papier buvard et ont été écrasées à sa surface. Si elles étaient viables, une empreinte dite « huileuse », laissée par un endosperme « non décomposé » (Rahman et al., 1998), était visible sur le papier (*Figure 12*). Dans le cas contraire, aucune impression n'apparaissait sur le papier et les graines avaient tendance à se fragmenter. Ces graines, faisant partie de la catégorie des graines non viables, sont appelées dans la suite de ce rapport « graines vides ».

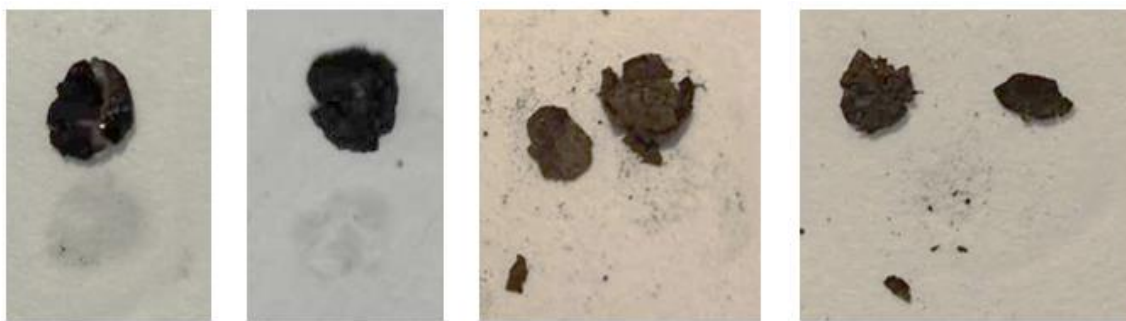


Figure 12 : Photos de graines viables de *D. stramonium* laissant une trace huileuse sur le papier buvard (deux photos de gauche) et de graines « vides » ne laissant aucune trace (deux photos de droite)

D'autres tests existent, tels que la coupe transversale de la graine (Ter Heerdt et al., 1996), le test de germination (Walter et al., 2020), le test d'écrasement (consistant à ressentir ou non une résistance lors du pincement) (Gonzalez and Ghermandi, 2012; Price et al., 2010), le test d'écrasement avec imbibition des graines (Sawma and Mohler, 2002) ou l'évaluation au tétrazolum (Walter et al., 2020). Ils n'ont cependant pas été appliqués dans le cadre de cette étude car ils étaient moins rapides, plus coûteux et/ou trop subjectifs (Sawma and Mohler, 2002; Walter et al., 2020).

8. Catégories de graines

Voici un récapitulatif (*Tableau 2*) des différentes catégories de graines retrouvées, définies selon leur apparence (c.f. Point 6) et les résultats du test d'écrasement à sec (c.f. Point 7).

Tableau 2 : Catégories de graines, définies sur base de leur apparence et des résultats du test d'écrasement à sec

Catégorie	Abréviation	Association	Définition
Graines abîmées	AB		Graines visuellement abîmées (cfr. Point 6)
Graines visuellement intactes	VIS_INT	VIA + VIDE	Graines visuellement intactes (cfr. Point 6)
Graines viables	VIA		Graines laissant une trace huileuse (cfr. Point 7)
Graines vides	VIDE		Graines ne laissant pas de trace huileuse (cfr. Point 7)
Graines non viables	NON_VIA	AB + VIDE	Graines ne contenant plus d'embryon

Dans le cadre de cette étude, la catégorie de graines ayant une grande importance est celle qui concerne les graines viables. En effet, ce sont les seules graines qui font théoriquement partie de la banque de graines du sol (Buhler et al., 1997; Csontos, 2007; Douh et al., 2014; Gioria et al., 2014; Pellissier et al., 2008; von Blanckenhagen and Poschlod, 2005).

9. Analyse des données

L'ensemble des analyses présentées ci-après a été réalisé à l'aide du logiciel Excel (2307 – 32 bits) et du logiciel R studio (2023.3.0.386).

Au vu du faible nombre d'observations, il a été décidé de limiter la quantité de facteurs explicatifs entrant en compte dans les modèles, afin de les simplifier. Seuls les facteurs suivants ont été conservés : taux d'urbanité (en %), temps de résidence minimal ou TRM (en année), densité d'individus de *D. stramonium* présents dans la végétation réalisée de la surface échantillonnée (appelée dans la suite de ce rapport « densité réalisée ») (en individus/m²) et disponibilité en lumière (en %).

Les facteurs relatifs au nombre d'individus présents sur les surfaces prospectées et échantillonnées ont été retirés car la corrélation avec les facteurs de densité était trop élevée. Pour la même raison, le facteur lié à la densité d'individus de *D. stramonium* présents dans la végétation réalisée de la surface prospectée a été écarté. Ensuite, le facteur lié à la granulométrie n'a pas été repris dans les modèles car son caractère discontinu et son grand nombre de catégories ne permettaient pas une analyse correcte de la BGS. Même en rassemblant ces catégories en fonction de la taille principale des particules (limon, argile ou sable), les différences entre les catégories étaient trop importantes. En effet, la catégorie « argile », avec 4 observations, est sous-représentée par rapport aux deux autres qui sont le « sable », avec 9 observations, et le « limon », avec 10 observations.

Malgré ces adaptations, il convient d'éviter de considérer les résultats obtenus à l'aide de ces modèles comme généraux. Au mieux, ils devront être considérés comme des tendances à vérifier grâce à de prochaines études.

OBJECTIF : Déterminer la densité de graines de *D. stramonium* présentes dans la banque de graines du sol et les facteurs l'influençant.

Au vu du nombre excessif de zéros dans le jeu de données, il est nécessaire de séparer cet objectif en deux sous-objectifs :

Le premier sous-objectif consiste à définir quels sont les facteurs influençant la présence de graines viables de *D. stramonium* dans le sol. Pour ce faire, un GLM de type Binomial avec un lien « logit » a été réalisé sur les 23 sites échantillonnés.

Pour le cas précis de la densité réalisée, un test de Fisher a été mené en créant deux catégories (« Densité réalisée égale à 0 » et « Densité réalisée supérieure à 0 »). L'hypothèse nulle consiste à affirmer que la différence observée au niveau du nombre de sites, présentant ou ne présentant pas des graines viables, ne dépend pas de la densité réalisée (association aléatoire des variables).

Le deuxième sous-objectif consiste à définir quels sont les facteurs influençant la densité de graines viables de *D. stramonium* dans la BGS. Pour ce faire, un GLM de type Poisson avec un lien « log » a été réalisé sur les 8 sites présentant des graines viables.

Afin de comprendre l'impact de la granulométrie du sol sur la densité de graines viables dans la BGS, un test de χ^2 a été réalisé. Ce test aide à décider si les variations observées sont le résultat du hasard (hypothèse nulle) ou s'il existe en réalité une différence significative, au niveau de la densité de graines viables, entre les sols sableux, limoneux et argileux.

Une analyse identique a également été menée afin de déterminer quels facteurs impactent la présence et la densité de graines non viables dans le sol.

OBJECTIF SECONDAIRE 1 : Déterminer la profondeur à laquelle la BGS est la plus concentrée et quels sont les facteurs influençant cette répartition.

Pour chaque profondeur (0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm et 15-20 cm), la somme des graines viables a été réalisée. Ensuite, un test de χ^2 a permis de déterminer si les valeurs précédemment calculées étaient significativement différentes entre les profondeurs ou non.

Après, un GLM de type Binomial avec un lien « logit » a été mené en opposant la densité de graines viables de la profondeur la plus concentrée et la somme des densités des autres profondeurs. Cela permet ainsi de savoir quels facteurs influencent cette répartition.

Afin de comprendre l'impact de la granulométrie du sol sur cette répartition, un test de χ^2 a été réalisé. Ce test aide à décider si les variations observées sont le résultat du hasard (hypothèse nulle) ou s'il existe en réalité une différence significative, au niveau de la répartition des graines viables, entre les sols sableux, limoneux et argileux.

Une analyse identique a été également menée sur les graines non viables.

OBJECTIF SECONDAIRE 2 : Démontrer qu'il est possible d'utiliser et de se fier aux données d'occurrence, transmises via des projets de science citoyenne, pour étudier la banque de graines du sol d'une espèce thérophYTE, et plus précisément du *D. stramonium*.

Les facteurs explicatifs étudiés sont l'année d'encodage (facteur dont le TRM est directement dérivé), l'incertitude des coordonnées géographiques et le changement d'occupation du sol. Les deux premiers sont directement communiqués par la base de données GBIF. Le troisième a été défini par comparaison des orthophotos disponibles entre les dates d'encodage et la date d'échantillonnage (Orthophoto WMS, 2023).

Afin de déterminer l'impact de ces facteurs explicatifs sur la présence du *D. stramonium* sur le site, un GLM de type Binomial avec un lien de type « logit » a été réalisé. Ici, tous les types de graines (viables et non viables), ainsi que les individus aériens, ont été considérés pour former le facteur à expliquer.

En complément, pour le facteur lié à l'incertitude des coordonnées géographiques, un test de Fisher a été mené. Pour ce faire, au départ des valeurs d'incertitude communiquées, une variable discontinue a été créée avec les catégories « incertitude inférieure à 10 m » et « incertitude égale ou supérieure à 10 m ». L'hypothèse nulle consiste à affirmer que la différence observée au niveau du nombre de sites, présentant ou ne présentant pas de *D. stramonium*, ne dépend pas de l'incertitude des coordonnées géographiques (association aléatoire des variables).

Résultats

Pour cette étude, un total de 30 sites avait été sélectionné pour être échantillonné (*Figure 13*). À la fin de la phase de terrain, seuls 23 d'entre eux ont effectivement été analysés.

Parmi les sept sites qui n'ont pas été échantillonnés, trois ont été considérés comme inaccessibles en raison de leur emplacement sur des zones en cours de chantier. Les quatre autres présentaient des sols inappropriés pour le type d'échantillonnage effectué dans cette étude. En effet, ils étaient soit recouverts d'une épaisse couche de pierres (*Annexe 1*), soit de béton.

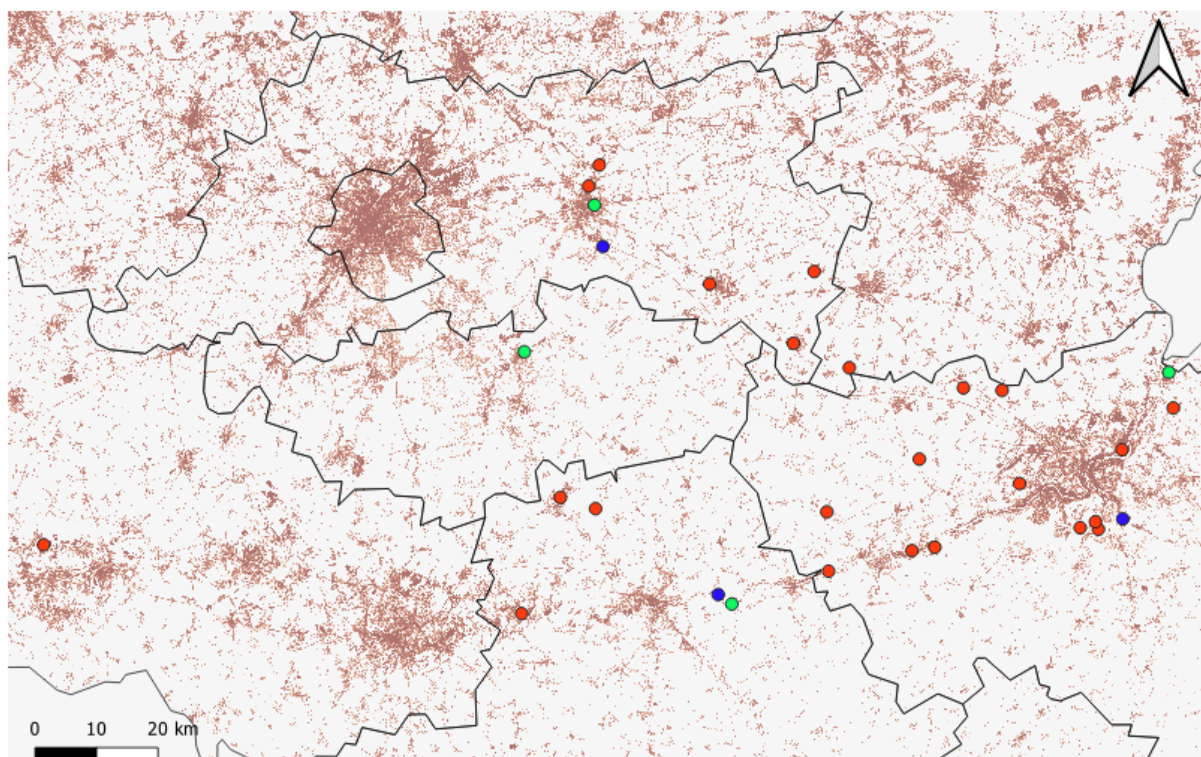


Figure 13 : Position des 30 sites initialement sélectionnés pour l'échantillonnage de la banque de graines du sol du *D. stramonium*, avec les sites réellement échantillonnés (rouge), non échantillonnés car présents sur des propriétés privées (bleu) et non échantillonnés car sols non propices pour les prélèvements (vert)

L'observation de ce tableau (Tableau 3) révèle que parmi les 23 sites soumis à l'échantillonnage, 11 présentent des graines non viables. Parmi ces derniers, huit abritent également des graines viables et ce, en densité très variable.

Lorsque le nombre total de graines est considéré, le taux de viabilité est de 61,28% et le taux de graines non viables est de 38,72%, avec 12,50% de graines vides et 26,22% de graines abîmées.

Tableau 3 : Nombre de graines comptées et densité estimée de graines par m² (graines/m²) dans la banque de graines du sol du *D. stramonium*, en fonction des différentes catégories de graines définies, pour tous les sites échantillonnés

Province	Total de graines		Graines viables		Graines non viables		Graines vides		Graines abîmées	
	Nombre compté	Densité estimée	Nombre compté	Densité estimée	Nombre compté	Densité estimée	Nombre compté	Densité estimée	Nombre compté	Densité estimée
Baudour	145	30 770	72	15 279	73	15 491	18	3 820	55	11 671
Louvain 1	47	9 974	31	6 578	16	3 395	7	1 485	9	1 910
Marneffe	44	9 337	31	6 578	13	2 759	5	1 061	8	1 698
Gembloux 1	39	8 276	34	7 215	5	1 061	5	1 061	0	0
Flémalle	29	6 154	28	5 942	1	212	1	212	0	0
Amay 1	12	2 546	1	212	11	2 334	0	0	11	2 334
Gembloux 2	6	1 273	2	424	4	849	3	637	1	212
Tirlemont	3	637	2	424	1	212	1	212	0	0
Louvain 2	1	212	0	0	1	212	1	212	0	0
Liège	1	212	0	0	1	212	0	0	1	212
Visé	1	212	0	0	1	212	0	0	1	212
Amay 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crisnée	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Esneux 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Esneux 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gingelom	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gives	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Heneffe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Herstal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Landen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Léau	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lens sur Geer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sambreville	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	328	69 604	201	42 653	127	26 950	41	8 700	86	18 250

La densité de graines/m² a pu être estimée au moyen de cette formule : $Nbr\ grains * (\frac{10\ 000}{Surf.\ tot.\ ech.}) = Nbr\ grains * (\frac{10\ 000}{47,12})$

Objectif : Déterminer la densité de graines de *D. stramonium* présentes dans la banque de graines du sol et les facteurs l'influençant

Sous-objectif 1 : Déterminer si la présence de graines dans la banque de graines du sol est influencée par un ou plusieurs facteurs explicatifs

Par analyse du *Tableau 3*, il est possible de constater que seulement huit sites possèdent des graines viables tandis que 15 n'en possèdent pas.

Selon le GLM de type Binomial suivi du test d'analyse de la déviance, seule la densité réalisée explique de manière très hautement significative ($p\text{-valeur} = 3.02\text{e-}05$) la présence de graines viables de *D. stramonium* dans la BGS. Ce facteur aurait un impact positif sur la présence de graines viables.

L'observation du *Tableau 4* et de la *Figure 14.b.* semble confirmer cette influence. En effet, les sites ayant une densité réalisée nulle montrent rarement des graines viables tandis que ceux ayant une densité réalisée supérieure à zéro en présentent toujours. Cette différence a été mise en évidence par le test de Fisher. En effet, l'hypothèse nulle est rejetée ($p\text{-valeur} = 0,00028$), ce qui signifie qu'il existe une différence très hautement significative entre les situations où la densité est égale à zéro et celles où elle est supérieure à zéro. Dans le cas où la densité est égale à zéro, la probabilité de ne pas rencontrer de graines viables est très hautement significative.

Les autres facteurs, qui sont la disponibilité en lumière, le TRM et le taux d'urbanité, n'exercent aucune influence sur la présence ou l'absence de graines viables, selon le GLM de type Binomial. (*Tableau 4 ; Figures 14.a., 14.c. et 14.d.*).

Pour la granulométrie, quatre sites sont considérés comme argileux. Parmi eux, deux renferment des graines viables tandis que les deux autres n'en contiennent pas. Les sites caractérisés par une granulométrie du sol plus grossière sont plus nombreux, avec neuf sableux et 10 limoneux. Parmi les sols sableux, le nombre de sites présentant ou non des graines viables reste sensiblement le même (respectivement de quatre et de cinq). Pour les sols limoneux, un plus gros contraste est observable car seulement deux sites possèdent des graines viables.

Selon le GLM de type Binomial suivi du test d'analyse de la déviance, aucun facteur n'explique de manière significative la présence de graines non viables dans le sol.

Tableau 4 : Valeurs moyennes et écarts-types des facteurs explicatifs (disponibilité en lumière, temps de résidence minimal, taux d'urbanité et densité d'individus de *D. stramonium* dans la végétation réalisée) pour les sites présentant des graines viables de *D. stramonium* (colonnes intitulées « Présence ») et pour les sites n'en présentant pas (colonnes intitulées « Absence »)

	Disponibilité en lumière (en %)		Temps de résidence minimal (en année)		Taux d'urbanité (en %)		Densité réalisée (en ind/m ²)	
	Présence	Absence	Présence	Absence	Présence	Absence	Présence	Absence
Moyenne	95,2	95,3	3,0	4,4	39,9	38,4	10,7	0,0
Ecart-type	10,4	11,5	1,8	3,0	28,8	36,2	17,9	0,0

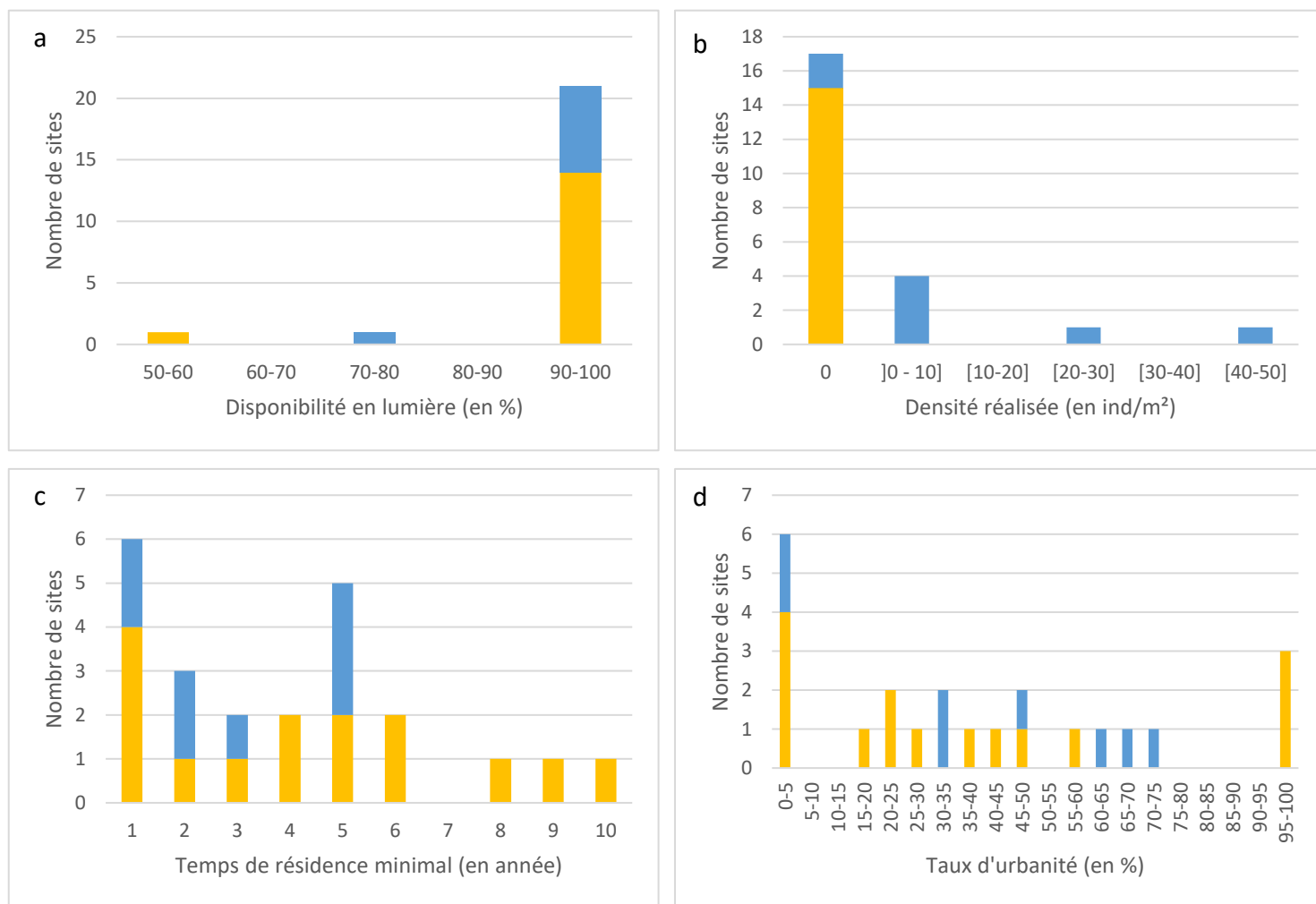


Figure 14 : Nombre de sites présentant (bleu) ou ne présentant pas (orange) de graines viables de *D. stramonium* en fonction des facteurs explicatifs (a. Disponibilité en lumière ; b. Densité de *D. stramonium* dans la végétation réalisée ; c. Temps de résidence minimal ; d. Taux d'urbanité)

Sous-objectif 2 : Déterminer, dans le cas où des graines sont présentes dans la banque de graines du sol, si la densité est influencée par un ou plusieurs facteurs explicatifs

Lorsque seuls les huit sites contenant des graines viables sont considérés, une moyenne de 5 332 graines viables par m² est retrouvée. Cependant, un grand écart-type (5 075,79 graines/m²) est à prendre en compte. En effet, en fonction des sites, la densité de graines par m² peut varier de 212 à 15 279 (*Tableau 3*).

Le GLM de type Poisson suivi du test de l'analyse de la déviance indique que deux facteurs sont très hautement significatifs : la densité réalisée (p-valeur < 2.2e-16) et la disponibilité en lumière (p-valeur = 1.003e-10). Plus leurs valeurs sont importantes, plus elles influencent positivement la densité de graines dans la BGS (*Figure 15.b. et 15.a.*).

Les autres facteurs testés ne présentent aucune différence significative (*Figure 15.c. et 15.d.*)

Pour le facteur lié à la granulométrie, le test χ^2 met en évidence que la densité estimée moyenne de graines viables dans les sols sableux semble plus importante que dans les sols argileux et limoneux (*Tableau 5*), avec respectivement 7 215, 3 820 et 3 077 graines/m². Il y a donc un rejet de l'hypothèse nulle (p-valeur < 2.2e-16).

En ce qui concerne les graines non viables, présentes sur 11 sites, une moyenne de 2 450 graines/m² est retrouvée. Cependant, un grand écart-type (4 478,87 graines/m²) est à prendre en compte. En effet, en fonction des sites, la densité de graines non viables par m² peut varier de 212 à 15 491 (*Tableau 3*).

Le GLM de type Poisson suivi du test de l'analyse de la déviance indique que deux facteurs sont très hautement significatifs : la densité réalisée (p-valeur < 2.2e-16) et le temps de résidence minimal (p-valeur = 0.000792). Plus leurs valeurs sont importantes, plus elles influencent positivement la densité de graines non viables dans la BGS (*Figure 16.b. et 16.c.*).

Les autres facteurs testés ne présentent aucune différence significative (*Figure 16.a. et 16.d.*)

Pour le facteur lié à la granulométrie, le test χ^2 met en évidence que la densité estimée moyenne de graines non viables dans les sols sableux semble plus importante que dans les sols argileux et limoneux (*Tableau 6*), avec respectivement 4 414, 955 et 743 graines/m². Il y a donc un rejet de l'hypothèse nulle (p-valeur < 2.2e-16).

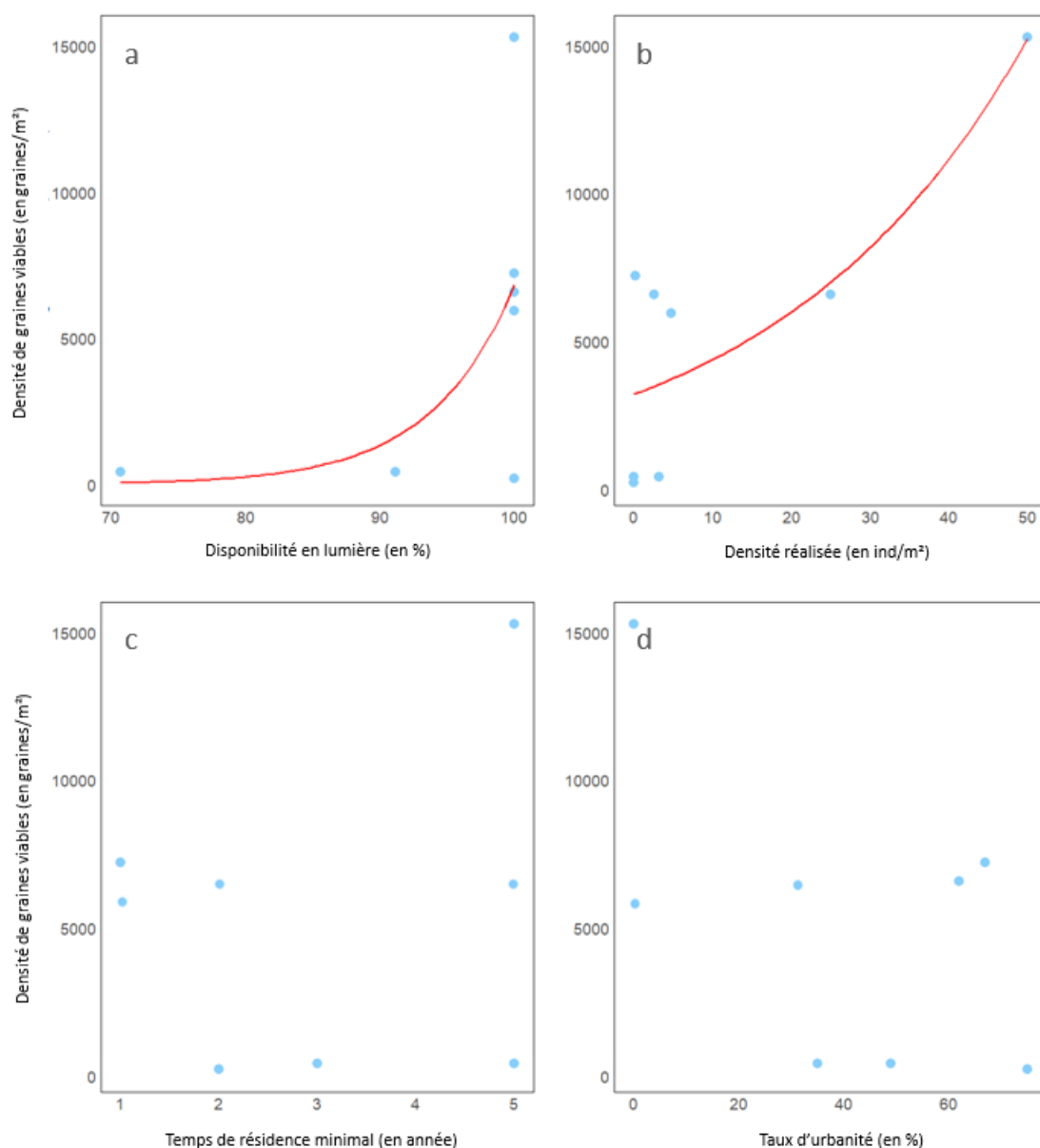


Figure 15 : Représentation graphique du modèle linéaire généralisé de type Poisson expliquant la variation de la densité estimée de graines viables par m² de *D. stramonium* en fonction des facteurs explicatifs (a. Disponibilité en lumière ; b. Densité de *D. stramonium* dans la végétation réalisée ; c. Temps de résidence minimal ; d. Taux d'urbanité)

Tableau 5 : Densité estimée moyenne de graines viables de *D. stramonium* en fonction de la granulométrie du sol

Granulométrie	Densité de graines VIA par site	Moyenne
Sable	15 279	7 215
	6 578	
	6 578	
	424	
Limon	5 942	3 077
	212	
Argile	7 215	3 820
	424	

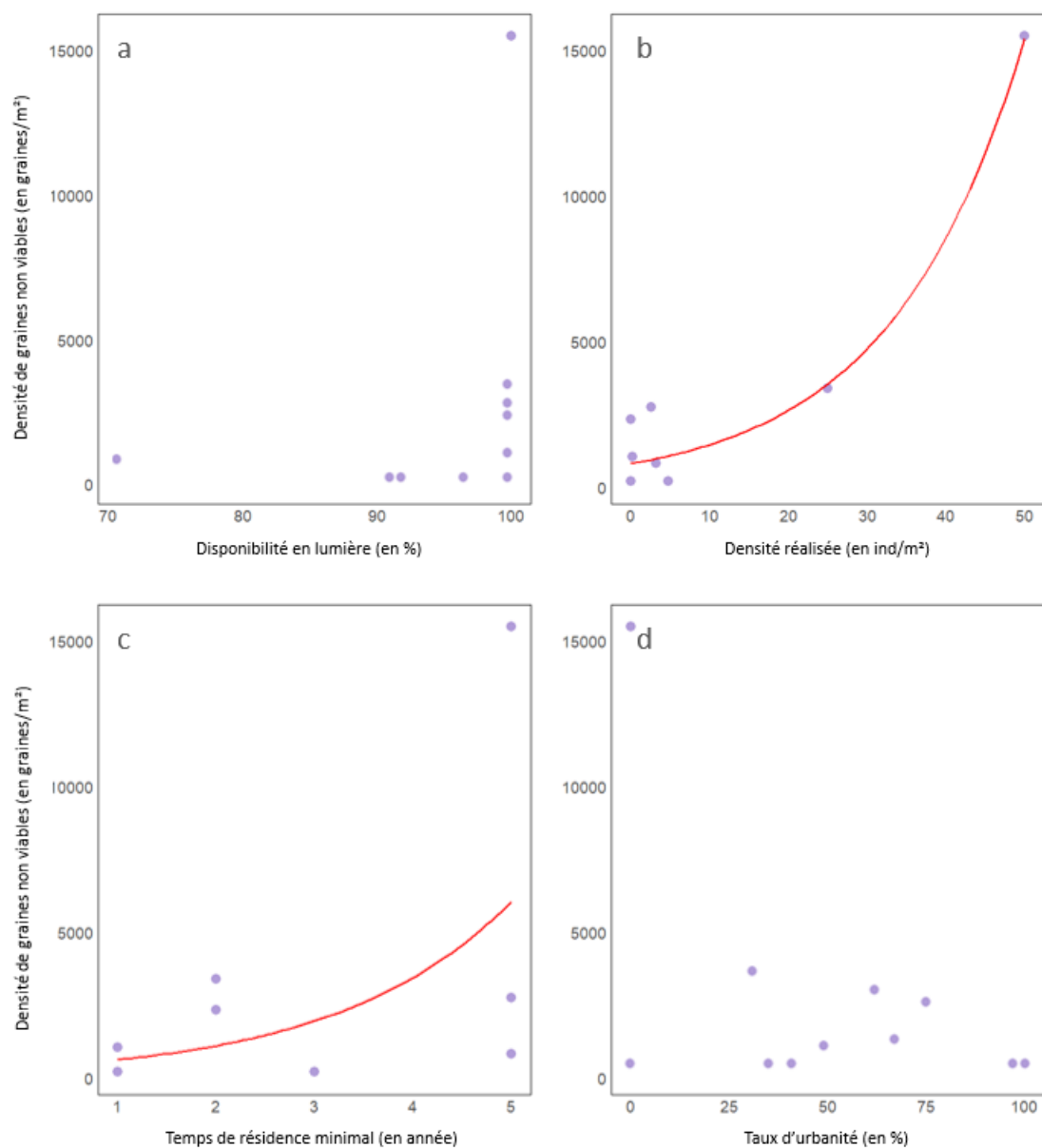


Figure 16 : Représentation graphique du modèle linéaire généralisé de type Poisson expliquant la variation de la densité estimée de graines non viables par m² de *D. stramonium* en fonction des facteurs explicatifs (a. Disponibilité en lumière ; b. Densité de *D. stramonium* dans la végétation réalisée ; c. Temps de résidence minimal ; d. Taux d'urbanité)

Tableau 6 : Densité estimée moyenne de graines non viables de *D. stramonium* en fonction de la granulométrie du sol

Granulométrie	Densité de graines NON_VIA par site	Moyenne
Sable	15 491	4 414
	3 395	
	2 759	
	212	
	212	
Limon	2 334	743
	212	
	212	
	212	
Argile	1 061	955
	849	

Objectif secondaire 1 : Déterminer la profondeur à laquelle la BGS est la plus concentrée et quels sont les facteurs influençant cette répartition

Par observation du *Tableau 3*, il est possible de constater que huit sites possèdent des graines viables tandis que 11 possèdent des graines non viables. Si un site possède des graines viables, il contient automatiquement des graines non viables, mais l'inverse n'est pas toujours vrai.

Statistiquement, d'après le test de χ^2 , plus de graines viables sont retrouvées dans l'horizon 0-5 cm que dans tous les autres horizons (p-valeur < 2.2e-16) (*Figure 17*). Le GLM de type Binomial effectué à la suite de cette constatation ne parvient pas à mettre en évidence un lien entre la concentration de graines viables dans la couche de sol de 0 à 5 cm et l'un des facteurs explicatifs.

En moyenne, ce sont les sols de type argileux qui contiennent le plus de graines viables dans l'horizon 0-5 cm. Cette différence entre les différents types de granulométrie est mise en évidence par un test de χ^2 (p-valeur < 2.2e-16). Pour les autres profondeurs, ce sont les sols à particules grossières (sable et limon) qui semblent posséder le plus de graines (p-valeur < 2.2e-16) (*Tableau 7*).

Statistiquement, d'après le test de χ^2 , plus de graines non viables sont retrouvées dans l'horizon 0-5 cm que dans tous les autres horizons (p-valeur < 2.2e-16) (*Figure 17*). Le GLM de type Binomial effectué à la suite de cette constatation ne parvient pas à mettre en évidence un lien entre la concentration de graines non viables dans la couche de sol de 0 à 5 cm et l'un des facteurs explicatifs.

En moyenne, ce sont les sols à particules grossières (sable et limon) qui possèdent le plus de graines non viables, quelle que soit la profondeur considérée (*Tableau 7*). Les différents tests de χ^2 réalisés pour les quatre profondeurs montrent tous une p-valeur < 2.2e-16, prouvant l'existence d'une différence entre les différents types de granulométrie.

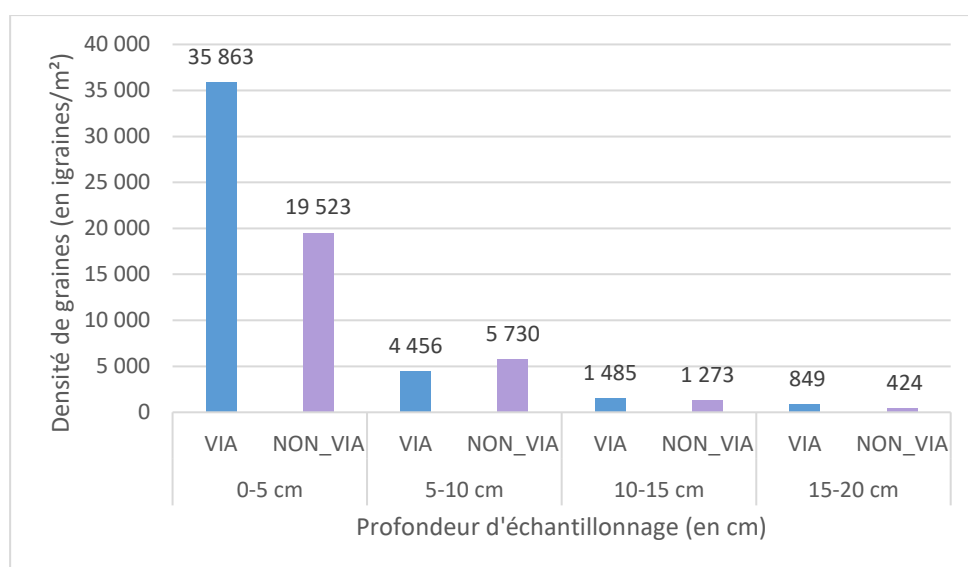


Figure 17 : Densité estimée de graines de *D. stramonium*, viables (VIA) et non viables (NON_VIA), en fonction de la profondeur d'échantillonnage du sol

Tableau 7 : Densité estimée moyenne de graines de *D. stramonium*, viables (VIA) et non viables (NON_VIA), en fonction de la profondeur d'échantillonnage du sol et du type de granulométrie du sol

	0-5 cm		5-10 cm		10-15cm		15-20 cm	
	VIA	NON_VIA	VIA	NON_VIA	VIA	NON_VIA	VIA	NON_VIA
Argile	7 215	637	424	424	0	0	0	212
Limon	5 093	424	212	1 485	424	0	424	212
Sable	5 730	4 244	1 910	1 061	637	1 273	212	0

Objectif secondaire 2 : Démontrer qu'il est possible d'utiliser et de se fier aux données d'occurrence, transmises via des projets de science participative, pour étudier la banque de graines du sol d'une espèce thérophyte et plus précisément du *D. stramonium*

Selon le GLM de type Binomial, l'année d'encodage exerce une influence significativement négative sur la présence de *D. stramonium* (p-valeur = 0.01402). Cela signifie que plus l'année d'encodage est ancienne, plus la probabilité de retrouver cette espèce sur le site est faible, ce qui est visible sur la Figure 18.

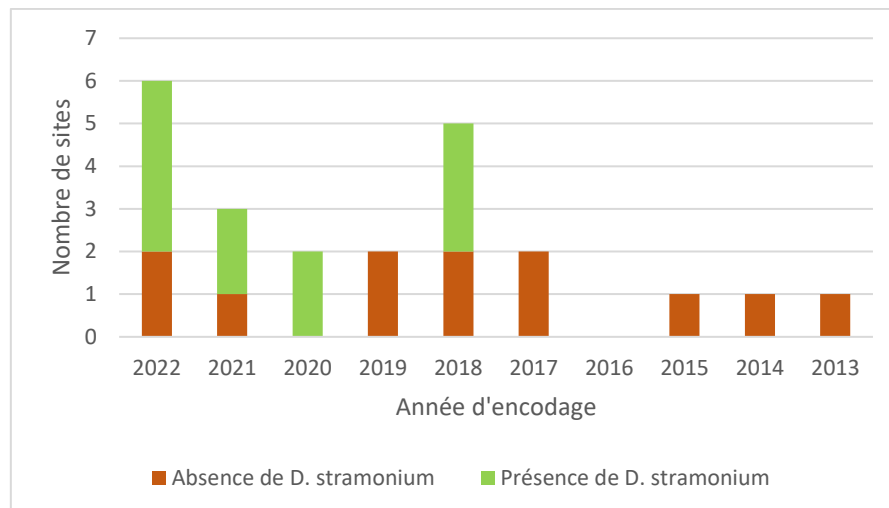


Figure 18 : Nombre de sites présentant des graines viables/graines non viables/plants de *D. stramonium* (catégorie « Présence de *D. stramonium* ») ou n'en présentant pas (catégorie « Absence de *D. stramonium* ») en fonction de l'année d'encodage, renseignée sur la base de données mondiale GBIF

Le fait qu'il y ait eu un changement d'occupation du sol entre l'année d'encodage et le moment de l'échantillonnage influence également de manière significative la présence de *D. stramonium* (p-valeur = 0.01828). Lorsqu'un changement est repéré, la probabilité de retrouver cette espèce est nulle (Figure 19).

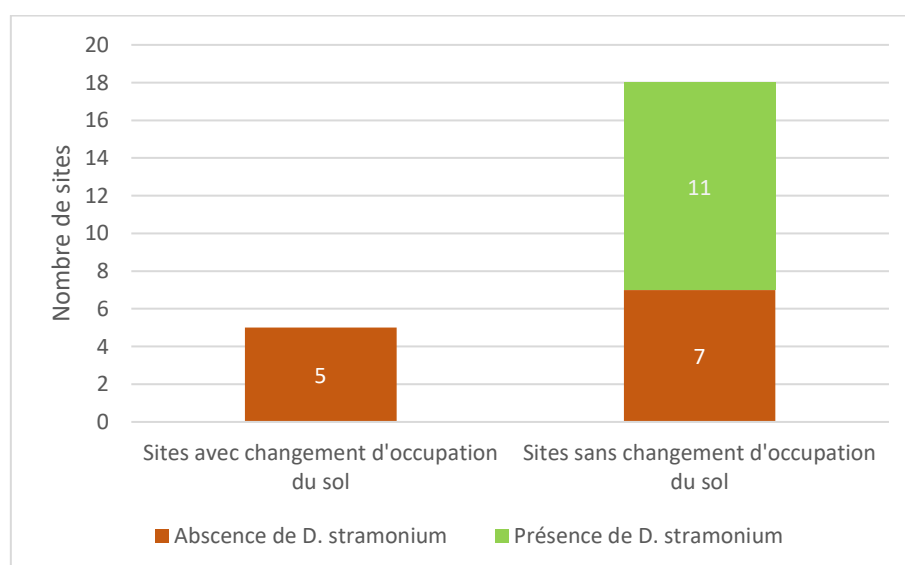


Figure 19 : Nombre de sites présentant des graines viables/graines non viables/plants de *D. stramonium* (catégorie « Présence de *D. stramonium* ») ou n'en présentant pas (catégorie « Absence de *D. stramonium* ») en fonction de la présence ou non d'un changement d'occupation du sol

Ce changement d'occupation du sol est impacté de manière hautement significative par l'année d'encodage (p -valeur = 0.008937). Plus l'année d'encodage est ancienne, plus la probabilité d'avoir un changement d'occupation augmente (Figure 20).

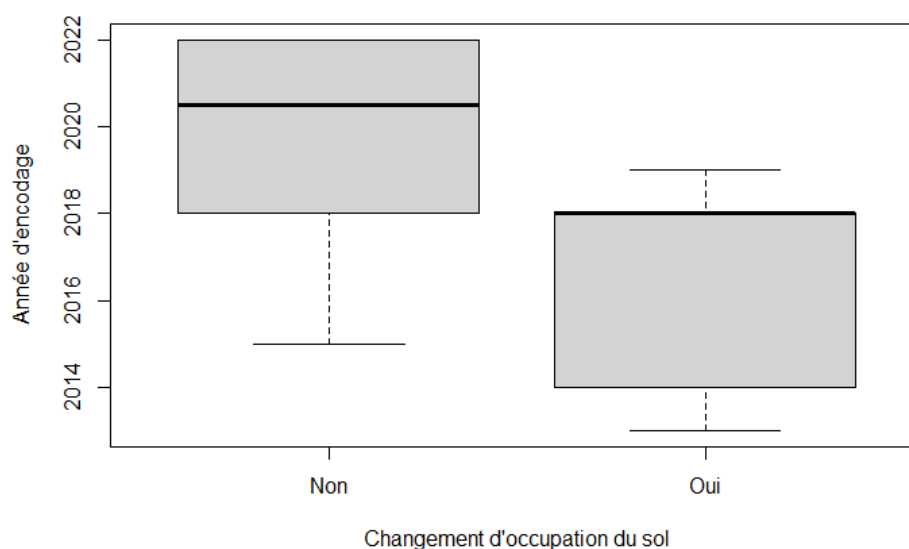


Figure 20 : Influence de l'année d'encodage, renseignée sur la base de données mondiale GBIF, sur la présence ou non d'un changement d'occupation du sol

En revanche, selon le GLM de type Binomial, il n'existe aucune différence significative entre les sites renseignés avec des valeurs d'incertitude différentes.

Le test de Fisher mené en complément permet d'apporter une information un peu plus contrastée : les résultats obtenus permettent de rejeter l'hypothèse nulle, qui consistait à affirmer que l'association des deux facteurs (présence de l'espèce et incertitude) était aléatoire. En effet, une p -valeur de 0.004577 est observée, ce qui signifie que lorsque la valeur d'incertitude est inférieure à 10 m, alors la présence de l'espèce est plus probable (Figure 21).

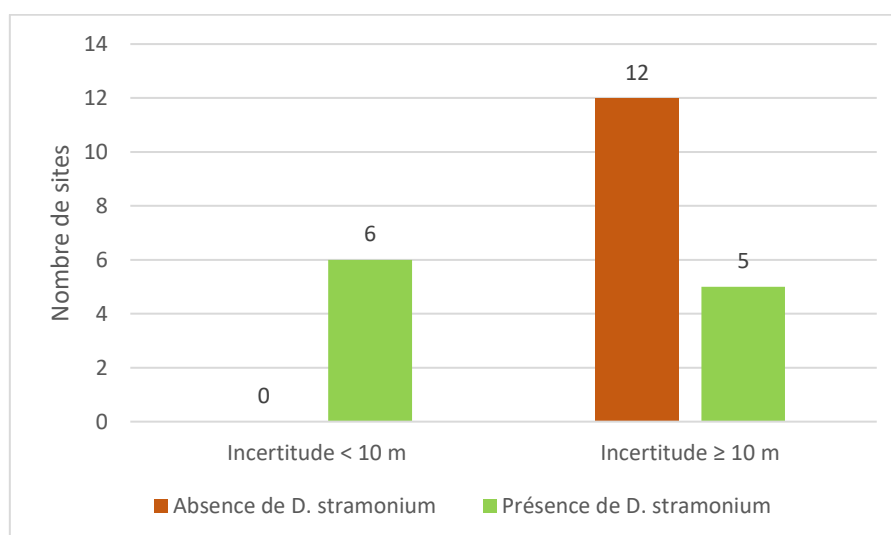


Figure 21 : Nombre de sites présentant des graines viables/graines non viables/plants de *D. stramonium* (catégorie « Présence de *D. stramonium* ») ou n'en présentant pas (catégorie « Absence de *D. stramonium* ») en fonction de la valeur d'incertitude des coordonnées GPS, renseignée sur la base de données mondiale GBIF

Discussion

Ce mémoire a pour objectif principal d'étudier la BGS du *D. stramonium*. Pour y parvenir, il a d'abord été nécessaire de prouver que les données d'occurrence, issues de projets de science citoyenne, pouvaient être considérées comme fiables pour l'étude de l'écologie de cette espèce. Dans ce but, et afin de couvrir un spectre varié de situations, le choix a été fait, au niveau de la méthodologie, de travailler avec des gradients. Cette approche a le mérite d'éviter la transposition au jeu de données traité des biais connus de la science participative, qui peuvent être temporels, spatiaux ou liés aux préférences des scientifiques citoyens. Par conséquent, en sélectionnant spécifiquement des sites en fonction de paramètres tels que le taux d'urbanité ou le TRM, il est possible d'empêcher la sur-représentation de milieux encodés récemment (Lee et al., 2020) ou localisés à proximité immédiate des habitations (Callaghan et al., 2019; Geldmann et al., 2016; Johnston et al., 2020; Sánchez-Clavijo et al., 2021), qui constituent la majorité des observations de la science citoyenne.

Cependant, même en adoptant cette démarche, l'utilisation de ces données d'occurrence présente quelques faiblesses. Premièrement, les gradients considérés ne sont pas toujours exhaustifs, contrairement à ce qui pourrait être obtenu avec un protocole d'étude défini et rigoureux. En effet, bien que la base de données GBIF regroupe un grand nombre d'observations sur le *D. stramonium*, celles-ci ne sont pas réparties de manière égale dans le temps ou dans l'espace. Par exemple, sur les 4 604 observations traitées, seulement 710 d'entre elles concernent les années 2013 à 2017. Il en va de même pour le taux d'urbanité car toutes les valeurs ne sont pas représentées avec la même fréquence : il existe un très grand nombre de sites possédant un taux d'urbanité de 0% (3615 sur 4606) tandis que pour les taux compris entre 1 et 15%, l'occurrence est moindre (29 sur 4606). Deuxièmement, malgré l'utilisation de critères de pré-sélection lors du choix des sites (valeur d'incertitude des coordonnées GPS de max. 50 m, exclusion des jardins, etc.), une partie d'entre eux peut se révéler inappropriée pour l'étude une fois la phase de terrain entamée (Figure 13). Par exemple, certains sites peuvent être localisés sur des propriétés privées, autres que les jardins, ou présenter des sols peu propices à l'échantillonnage.

Il reste néanmoins possible d'affirmer que la science citoyenne demeure une option valable pour l'étude de l'écologie du *D. stramonium*, surtout lorsqu'aucun projet scientifique n'est en place. En effet, des traces de l'espèce (sous forme de graines ou d'individus aériens) ont été retrouvées sur la moitié des sites échantillonnés. L'absence, ou la présence, de cette espèce sur certains sites peut être expliquée par les facteurs suivants : l'année d'encodage (ou TRM), l'incertitude des coordonnées géographiques et le changement d'occupation du sol.

Cette étude permet également de mettre en évidence que toutes les populations de *D. stramonium* ne parviennent pas à se maintenir durablement dans le temps. En effet, celles dont le TRM est supérieur à 5 ans ne présentent jamais de graines viables. De plus, le taux de graines non viables dans les échantillons (40%) est relativement élevé, ce qui n'était pas forcément attendu au regard des informations connues sur cette espèce. Cette problématique de maintien dans le temps pourrait être attribuée, au moins en partie, au fait que la majorité des graines semble se concentrer dans la couche la plus superficielle du sol (0 à 5 cm). Par conséquent, étant plus exposées aux attaques des micro-organismes et des macro-invertébrés (Benvenuti, 2007), aux événements extrêmes (Stoller and Wax, 1974) et à la compétition avec la végétation indigène (D'Antonio and Meyerson, 2002), ces graines sont susceptibles de perdre plus rapidement leur viabilité.

Ainsi, bien que le *D. stramonium* semble former d'abondantes BGS (Bakker et al., 1996), avec une moyenne 5 300 graines/m² par site, ces résultats suggèrent que la gestion de cette espèce pourrait être moins complexe que prévu. En empêchant le renouvellement de la BGS pendant quelques années par l'éradication complète et régulière des individus aériens, il est possible que les populations de cette espèce diminuent considérablement dans les zones traitées. Cette étude souligne que l'évolution de la densité de la végétation aérienne pourrait être un indicateur de l'efficacité de ces efforts de gestion. En effet, il a été démontré que la densité de graines viables de la BGS était positivement corrélée à la densité d'individus de *D. stramonium* dans la végétation réalisée. Par conséquent, si la végétation observée prospère au fil du temps, cela témoigne d'une BGS abondante. En revanche, si au fil de la gestion et des années, le nombre d'individus dans la végétation aérienne diminue, cela pourrait indiquer un appauvrissement de la BGS et éventuellement la disparition de cette population.

1. Fiabilité et utilisation de projets de science citoyenne

La présence de *D. stramonium*, que ce soit sous forme de graines ou d'individus aériens, a été observée sur 11 des 23 sites échantillonnés (*Tableau 3*), soit presque la moitié d'entre eux. Les résultats de cette étude ont permis d'identifier au moins deux facteurs responsables de l'absence de l'espèce sur ces emplacements.

Tout d'abord, les **changements d'occupation** du sol exercent une influence significative : lorsqu'un site a subi une transformation entre l'année d'encodage et la date de l'échantillonnage, aucune trace de *D. stramonium* n'a jamais été détectée (*Figure 19*). Ensuite, l'**année d'encodage** joue également un rôle car, au moment de l'échantillonnage, aucune plante ou graine n'a jamais été observée sur les sites enregistrés avant 2018 (*Figure 18*). Ces résultats sont indépendants des éléments connus de l'écologie de l'espèce, étant donné qu'il est admis que celle-ci tend à se disperser naturellement sur de très faibles distances (CABI, 2021 ; INVMED, 2021) et que sa BGS est considérée comme persistante (i.e. Stoller and Wax, 1974; Weaver and Warwick, 1984).

Il est également nécessaire de souligner que ces deux facteurs sont liés. En effet, les emplacements plus anciens semblent davantage sujets à des changements d'occupation du sol que ceux ayant été encodés plus récemment (cinq ans ou moins) (*Figure 20*). Cette constatation est cohérente au regard des habitats préférentiels de cette espèce (CABI, 2021; Fried, 2012; Tela botanica, 2021) qui sont principalement les friches (*Annexe 2*) ainsi que les bords de routes et de voies ferrées. Selon les données sur l'occupation des sols en Belgique (Statbel, n.d.), entre 2013 et 2021, ces milieux, ainsi que les terres consacrées aux prairies et pâturages permanents, ont perdu plus de 70 000 hectares au profit des terres labourables et des terrains bâtis. De plus, leur ancienneté les expose à de plus probables transformations, en raison de l'augmentation continue de la population en Europe et de l'expansion des zones urbaines qui s'accélère (Ferreira et al., 2021; Kuang et al., 2021; Salvati et al., 2018).

Finalement, en ce qui concerne la **valeur d'incertitude des coordonnées géographiques**, les résultats sont moins nets. Il a été mis en évidence que les données d'occurrence avec une précision de localisation inférieure à 10 m semblaient toujours contenir du *D. stramonium* (*Figure 21*). Cependant, cette information est à nuancer car, en plus de se baser sur un jeu de données réduit, de nombreux paramètres peuvent influencer cette valeur. D'une part, l'année d'encodage impacte la valeur d'incertitude, même si ceci n'a pu être mis en avant dans cette étude. Cela est dû au fait que la technologie et l'internet mobile ont évolué très rapidement ces dernières années (Kumar et al., 2021; Retscher, 2020) : depuis 2016, les smartphones peuvent accéder aux mesures du *Global Navigation*

Satellite Systems (GNSS)¹ brutes, ce qui permet un positionnement plus précis (Elmezayen and El-Rabbany, 2019; Li et al., 2021), même avec des capteurs à faible coût (Paziewski, 2020). Toutefois, selon Li et al. (2021), la qualité des données peut être affectée par ces puces et antennes bon marché, entraînant des problèmes tels qu'« une faible intensité du signal, un bruit de mesure élevé ou une mauvaise suppression des trajets multiples ». L'imprécision peut également être forte lorsque les conditions atmosphériques sont difficiles (Kumar and Dutt, 2019; Paziewski, 2020). D'autre part, les plateformes de science citoyenne fournissent, dans certains cas, des valeurs d'incertitude par défaut lors de l'encodage. Observations.be, le fournisseur de données principal dans cette étude (18 sites sur 23), communique automatiquement une valeur d'incertitude de 25 m lorsque les coordonnées WGS84 sont encodées sur la plateforme. Pour iNaturalist, l'observateur doit renseigner lui-même la valeur d'imprécision des coordonnées WGS84 sinon, le site n'en fournit pas. Finalement, pour le SPW-DEMNA, les valeurs d'incertitude semblent majoritairement correspondre à des encodages par défaut, avec la plupart des données communiquées étant de 10 ou 49 m. Ces constatations émergent suite à la manipulation des différentes plateformes exploitées dans ce rapport et à l'examen des valeurs d'imprécision des coordonnées géographiques renseignées pour les 4 604 données traitées. Aucune statistique concernant le degré d'imprécision et sa cause n'a été délivrée par le fournisseur principal.

Lors d'études futures, il serait intéressant d'analyser l'éventuel impact du type de fournisseur sur la présence du *D. stramonium*. Cependant, le jeu de données utilisé pour ce mémoire ne permettait pas de tirer des conclusions sur ce facteur car la majorité des observations ne proviennent que d'une seule plateforme, observations.be. De plus, les deux seuls sites rapportés par iNaturalist ont été encodés par la même personne, ce qui ne reflète pas de manière représentative la diversité des observations pour cette plateforme.

2. Etude de la banque de graines du sol du *D. stramonium*

Sur les 23 sites échantillonnés, seuls huit d'entre eux ont révélé la présence de graines viables dans le sol (*Tableau 3*) et cette observation semble être intimement liée à la densité réalisée des individus de *D. stramonium*. En ce qui concerne les graines non viables, les facteurs liés à la densité réalisée et au temps de résidence minimal permettent d'expliquer leur densité.

La densité moyenne de graines de *D. stramonium* dans la BGS pour les huit sites analysés est de 5 332 par m². Cette valeur semble cohérente avec celles trouvées dans la littérature. En effet, Bakker et al. (1996) estiment que la majorité des espèces végétales présente des densités inférieures à 500 graines/m², mais qu'il n'est pas rare que certaines espèces présentent une densité moyenne de 5 000 graines/m². Ces valeurs peuvent varier en fonction des milieux. Par exemple, en milieu agricole, il n'est pas exceptionnel que les BGS puissent dépasser les milliers voire les centaines de milliers d'individus par m² par espèce (Bakker et al., 1996; MESGARAN et al., 2007). Ces espèces sur-représentées sont alors considérées comme les espèces dominantes de la BGS et représentent 70 à 90% de l'effectif de celle-ci (Buhler et al., 1997). En milieu urbain, la densité de graines présentes dans le sol, au niveau de la communauté, est plus faible et reste au stade des quelques milliers par m² (Albrecht et al., 2011).

¹ Global Navigation Satellite Systems ou GNSS : « Ces systèmes globaux de navigation par satellites englobent le système GPS américain, le système russe GLONASS et le nouveau système Européen Galileo » (Observatoire royal de Belgique, n.d.)

Cependant, les résultats de cette étude ne permettent pas de démontrer cette dernière affirmation, à savoir que le **taux d'urbanité** affecte de manière significative la densité, ou même la présence, de graines viables. Plusieurs hypothèses peuvent être émises, en dehors du fait que l'effectif analysé était très faible. Premièrement, le *D. stramonium*, au vu de sa nature cosmopolite (CABI, 2021; Fried, 2012; Tela botanica, 2021), est considéré comme un *urban exploiters* (McKinney, 2002) et est classé dans la communauté végétale des adventices répandues, ce qui signifie qu'il peut être présent de manière égale tout au long du gradient rural-urbain (Tian et al., 2015). Par conséquent, il semble cohérent que le nombre de graines produites ne diffère pas significativement entre les milieux ruraux et urbains, indiquant que les conditions urbaines telles que des températures plus élevées, des sols compactés ou des sécheresses intenses (i.e. Albrecht et al., 2011; Benvenuti, 2004; Géron et al., 2022a) n'ont pas d'impact sur le BGS du *D. stramonium*. Deuxièmement, la taille des pixels choisie (400 m²) pour interpréter la carte de Copernicus de 2018 est peut-être trop élevée pour analyser les effets de l'urbanité dans le cadre de cette étude. En effet, même si cette résolution permet de capter, selon Géron et al. (2022b), les variations microclimatiques engendrées par la présence de surfaces imperméables et de comparer les taux d'urbanité entre différentes études, les types de milieux ne sont pas toujours correctement représentés. Par exemple, pour le site de Louvain 1, un champ a été considéré comme ayant un taux d'urbanité de 31% en raison des structures imperméables présentes tout autour (Annexe 3). Or, à une échelle inférieure (100 m²), cette valeur tombe à 0%, ce qui reflète mieux la réalité du terrain. Troisièmement, le protocole mis en place supposait que les populations de *D. stramonium* n'avaient pas été gérées depuis leur encodage. Cependant, en fonction du taux d'urbanité (McKinney, 2002), et plus précisément du type d'utilisation du sol, une certaine gestion a pu apparaître et provoquer l'apparition, la disparition ou la dispersion au-delà des 16 m de prospection, de cette espèce. Certains sites ont, par exemple, subi un labour, une tonte voire des actions spécifiques visant à éliminer le *D. stramonium*. En revanche, sur d'autres, de la terre contaminée semble avoir été amenée (Annexe 4). Ce sont les observations de terrain (non protocolaires) et les informations renseignées par les propriétaires qui ont permis cette réflexion. Finalement, la suppression des jardins du jeu de données initial restreint l'analyse car ces milieux, pouvant être présents tout au long du gradient rural-urbain, sont particulièrement propices au développement et au maintien de cette espèce.

Le facteur semblant avoir le plus d'impact sur la densité de graines viables est la **densité d'individus de *D. stramonium* présents dans la végétation réalisée**. En effet, la présence de l'espèce en surface, que ce soit sous la forme de plants morts ou vivants, affecte de manière systématiquement positive la présence de graines dans la BGS. De plus, une augmentation de la densité d'individus dans la végétation aérienne est associée à une augmentation positive de la densité de graines viables dans le sol.

Ces informations confirment en partie ce qui a été trouvé dans la littérature car il existe bel et bien une ressemblance entre la BGS et la végétation aérienne de cette espèce thérophyte de début de succession (Albrecht et al., 2011; Arroyo et al., 1999; Caballero et al., 2008; Olano et al., 2005; Thompson et al., 2005; van Langevelde et al., 2016), se dispersant de manière concentrique et sur une faible distance (CABI, 2021 ; INVMED, 2021). Cependant, il a été souligné par Henderson et al. (1988) ainsi que par Thompson (1978) qu'une similitude importante devait être rencontrée dans les milieux fréquemment perturbés, tels que les milieux urbains. Or, dans cette étude, le taux d'urbanité n'influence pas la densité de graines dans la BGS mais semble impacter de manière négative la densité d'individus dans la végétation réalisée. En effet, après analyse des huit sites présentant des graines viables, les milieux ayant un taux d'urbanité élevé (plus de 50%) ne présentaient pas d'individus de *D. stramonium* dans leur végétation réalisée, ou en tout cas pas de plants vivants (Figure 22).

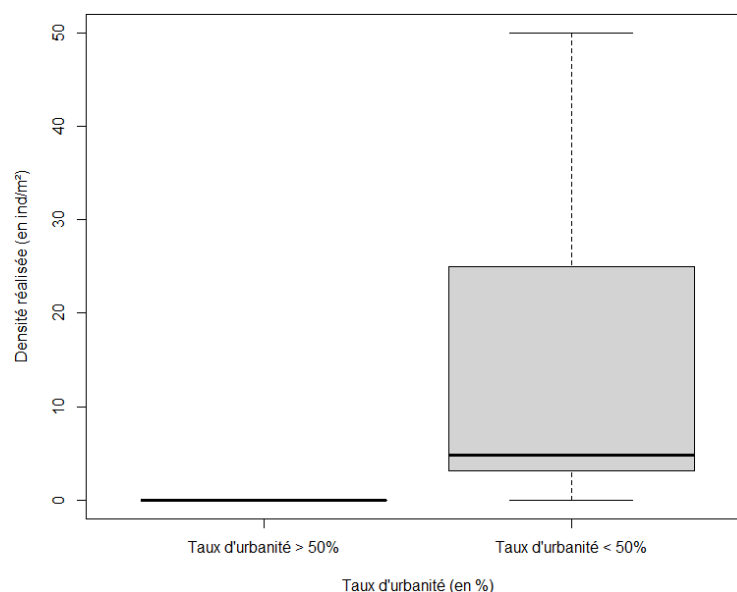


Figure 22 : Densité d'individus de *D. stramonium* dans la végétation réalisée en fonction de deux catégories de taux d'urbanité, une faible (<50%) et une élevée (>50%)

Cette divergence pourrait éventuellement être expliquée par les conditions météorologiques défavorables des six premiers mois de l'année 2023 (Agromet, 2023 ; Meteo Belgique, 2023). En effet, Caballero *et al.* (2008) ont indiqué que le lien entre la BGS et la végétation aérienne était normalement plus fort lorsque les conditions climatiques favorisent l'émergence des plantes. Cependant, cette année, les gels tardifs, les températures relativement basses du printemps et la sécheresse de cette même saison ont eu pour effet de ralentir l'émergence de cette espèce. Dans les milieux urbains, les problèmes de gels tardifs et de températures basses ont été atténués en raison des îlots de chaleur caractéristiques de ces zones (i.e. Albrecht *et al.*, 2011; Géron *et al.*, 2022a). Par conséquent, l'accumulation des GDD est atteinte plus rapidement qu'en milieu rural. Toutefois, ces milieux sont également connus pour être plus sensibles à la sécheresse que les autres à cause des nombreuses surfaces imperméables (i.e. Albrecht *et al.*, 2011; Géron *et al.*, 2022a) et, même si le *D. stramonium* semble s'acclimater aux conditions sèches (Chadha *et al.*, 2020), ses graines ont tout de même besoin d'eau pour germer (Werle *et al.*, 2014). Ces considérations expliquent, au moins en partie, pourquoi les résultats obtenus ne s'accordent pas parfaitement avec les informations tirées de la littérature. Il est très probable que si l'échantillonnage avait été décalé de quelques semaines, un lien plus fort aurait été remarqué entre le BGS et la végétation aérienne des milieux urbains. Cependant, par faute de temps, il n'a pas été possible de le retarder dans le cadre de cette étude.

Cette espèce a tout de même été observée dans la végétation réalisée à plusieurs endroits, dans des zones avec un taux d'urbanité moins élevé. L'hypothèse sous-jacente est que sur ces sites, envahis par plus d'une vingtaine d'individus dans la végétation aérienne, le *D. stramonium* était une espèce dominante (Buhler *et al.*, 1997) (*Annexe 5*).

L'analyse de la **granulométrie du sol** semble révéler que les sols sableux accueillent une plus grande densité de graines viables que les autres. Ce résultat diffère des conclusions rapportées dans la littérature, où il est généralement admis que ces sols, étant plus perméables à l'air et ayant une meilleure transmittance (Benvenuti, 2003, 1995), permettent la levée d'un plus grand nombre de plants. Cela entraîne ainsi une densité moins élevée de graines dans la BGS. Une hypothèse pouvant expliquer cette différence est que les sols à particules fines retiennent davantage l'humidité (Anschütz *et al.*, 2003), favorisant ainsi davantage la germination des graines. Par conséquent, en considérant les conditions météorologiques de l'année 2023, il pourrait être supposé que ces sols aient offert un

environnement plus propice à la germination, contribuant ainsi à une diminution de la densité de graines dans la BGS. Cependant, ces constatations sont à prendre avec du recul. Tout d'abord, l'analyse granulométrique a été réalisée sur base d'une clef de terrain (*Figure 7*), dépendant de la perception de la personne ayant effectué les échantillons. Bien que celle-ci ait été la même tout au long de l'étude, une certaine subjectivité a pu entrer en compte et impacter les résultats. Si un plus grand laps de temps avait été alloué à l'étude, la réalisation d'une analyse granulométrique du sol en laboratoire (Konert and Vandenberghe, 1997) aurait été préférable afin de déterminer avec précision la proportion de particules fines présentes. Ensuite, le nombre limité de sites argileux échantillonnés (seulement 4 sur les 23 sites) par rapport aux autres types de sols (9 sableux et 10 limoneux) rend l'analyse statistiquement moins robuste. Cette étude ne permet donc pas de savoir avec certitude si cette sous-représentation est due au fait que le *D. stramonium* ne se développe pas bien sur ce type de sol ou si la zone d'étude ne permettait pas de couvrir suffisamment de sites argileux.

Un autre facteur semblant avoir un impact positif sur la densité de graines dans la BGS est la **disponibilité en lumière**, bien que ces résultats doivent être considérés avec prudence. En effet, il est possible de dire que tous les sites, même ceux où aucune graine n'a été retrouvée, possédaient une luminosité importante, voire totale (plus de 50%) (*Tableau 4 ; Figure 14.a.*). Cette influence concorde avec les besoins du *D. stramonium* qui est, pour rappel, une espèce photosensible positive (Benvenuti et al., 1994; Buhler et al., 1997; Chadha et al., 2020). Ainsi, plus le milieu est lumineux, plus l'espèce aura tendance à produire des graines, ce qui peut se traduire par une densité élevée de graines dans la BGS. En revanche, il aurait pu être intéressant de caractériser cette disponibilité en lumière directement au niveau des plants ou du sol. Dans cette étude, ce facteur a uniquement été calculé à hauteur du coude, comme le préconisent les différents articles relatifs au densiomètre (Baudry et al., 2014, 2013; Ferment et al., 2001; Paletto and Tosi, 2009). Par conséquent, l'ombrage créé par la végétation herbacée n'a pas été pris en compte. Or, les observations de terrain (non protocolaires) ont permis de constater que, d'une manière générale, les sites où des graines viables étaient présentes différaient, en termes de végétation, des sites où elles étaient absentes (présence de graines non viables uniquement ou absence totale de graines). Sur ces derniers, le développement d'espèces vivaces telles que les orties (*Urtica dioica* L., les ronces (*Rubus spp.*) et les chardons (*Cirsium spp.*), était suffisamment présent que pour être remarqué. Ces espèces ont ainsi pu concurrencer le *D. stramonium* pour certaines ressources telles que la luminosité, les nutriments ou l'eau, ce qui a pu provoquer une production moins importante de graines (Benvenuti et al., 1994; Buhler et al., 1997; Chadha et al., 2020) et mener à la disparition de l'espèce (D'Antonio and Meyerson, 2002). Le fait d'observer pour trois sites uniquement des graines non viables, en petit nombre (*Tableau 3*), pourrait être le reflet de l'impact de cette compétition.

Le **temps de résidence minimal** ne semble pas avoir d'impact significatif sur la présence ou la densité de graines viables, ce qui n'était pas attendu. La seule observation possible est que les sites ayant un TRM supérieur à cinq ans ne semblent jamais présenter de graines viables (*Figure 14.c.*). Or, en réalisant cette étude, il avait été supposé que les sites plus anciens contiendraient plus de graines car les populations de *D. stramonium* auraient eu le temps de s'y développer et d'augmenter la densité de graines dans la BGS. Cette étude permet donc de mettre en évidence le fait que les populations de *D. stramonium* ne semblent pas se maintenir efficacement dans le temps. Ceci semble être confirmé par le fait que ce facteur influence positivement la densité de graines non viables (*Figure 16.c.*).

Cependant, le temps de résidence minimal est un proxy dont la fiabilité peut être remise en doute. En effet, cette méthode de datation est approximative car la base de données fonctionne en partie via des relevés sporadiques, étant donné que le site fait appel aux données issues de la science citoyenne, en plus de celles issues de projets de recherches ou de relevés systématiques (Global Biodiversity

Information Facility, 2023). Par conséquent, il est possible que certaines populations aient été signalées à tort à une date donnée, biaisant ainsi l'analyse du temps de résidence réel. Par exemple, lors de cette étude, des discussions avec les propriétaires des terrains échantillonnés ont permis de constater que le TRM d'au moins deux populations était mal estimé, soulignant ainsi la complexité d'établir une datation précise pour les populations de *D. stramonium*.

Finalement, la couche de sol allant de 0 à 5 cm correspond à la **profondeur à laquelle la BGS est la plus concentrée** (Figure 17), ce qui semble pertinent au vu de la taille des graines de *D. stramonium* (Bekker et al., 1998; Benvenuti, 2007; Csontos, 2007; Saatkamp et al., 2009; Schwartz-Lazaro and Copes, 2019). Cela met en évidence leur difficulté à pénétrer naturellement dans le sol. Il n'y a que dans le milieu ayant subi un travail mécanique du sol (Colbach, 2014) que le nombre de graines entre les horizons 0-5 cm et 5-10 cm semble équilibré. Il est également important de noter que les sols argileux semblent contenir une proportion plus importante de graines entre 0 et 5 cm tandis que les sols à particules plus grossières permettent à plus de graines de s'enfuir dans les horizons plus profonds. Cette information paraît également cohérente au regard de la littérature (Bekker et al., 1998; Benvenuti, 2007; Saatkamp et al., 2014). Cette concentration dans les premiers centimètres du sol et la diminution de la densité en fonction de la profondeur est un phénomène ayant été mis en avant dans de nombreuses études de la BGS d'espèces adventices (Williams et al., 2016).

Le fait que ces graines restent en surface ou à une très faible profondeur expliquerait pourquoi les populations ne semblent pas se maintenir sur le long terme et donc le taux de viabilité de 60% (Benvenuti, 2007; Espèces exotiques envahissantes, 2021; Reuss et al., 2001; Stoller and Wax, 1974). En effet, les graines sont davantage exposées aux intempéries et à la prédation (Stoller and Wax, 1974), ce qui diminue leur nombre avant la période de végétation suivante. Ceci peut ainsi expliquer pourquoi la densité de graines non viables est également plus importante au niveau de cette couche peu profonde (Figure 17).

Conclusion et perspectives

L'étude de l'écologie du *Datura stramonium* L. et, plus précisément de sa BGS, se révèle d'une importance croissante en Belgique. En effet, la présence grandissante de cette espèce dans le pays soulève des préoccupations majeures, tant du point de vue de la santé humaine et animale que des enjeux économiques.

Ce mémoire a mis en évidence le fait que la BGS du *D. stramonium* semble être bien fournie, avec une densité moyenne de 5 330 graines/m². Cela pourrait conduire, dans les années à venir, à ce que cette espèce devienne dominante. Toutefois, il a également été mis en avant que sa BGS était sujette à la prédation, entraînant une limitation du recrutement au sein de la végétation aérienne. Par conséquent, si des actions de gestion visant à éliminer la végétation aérienne sont menées en parallèle de ces considérations écologiques, les populations de *D. stramonium* pourraient avoir du mal à se maintenir dans le temps malgré leur abondance initiale. Cette espèce serait donc moins problématique, en termes de gestion et d'invasion, que d'autres telles que la renouée du Japon (*Fallopia japonica* (Houtt.) Ronse Decr.).

En ce qui concerne l'analyse des facteurs pouvant expliquer la densité de la BGS, l'étude a mis en évidence une corrélation positive avec la densité de la végétation établie. Cependant, la relation avec les autres facteurs reste incertaine. La plupart des graines étaient localisées entre 0 et 5 cm de profondeur, et la densité diminuait avec l'augmentation de la profondeur.

Il est donc important de considérer ce document comme une étude préliminaire, enrichissant les connaissances déjà acquises pour cette espèce, mais pouvant surtout servir de base et de guide aux futures recherches dans ce domaine. Dans cette optique, plusieurs recommandations peuvent être formulées.

Le taux d'urbanité ne reflète pas suffisamment les conditions et les changements d'utilisation du sol que subissent les différents sites. Il est donc préférable de travailler avec une résolution très locale et de considérer également les types de milieux. Un autre aspect intéressant serait d'évaluer le type d'utilisation du sol et les différentes actions et gestions menées sur chacun des sites.

La présence d'individus de *D. stramonium* dans la végétation aérienne est un bon indicateur pour la prise d'échantillons de la BGS. Cependant, la période au cours de laquelle l'échantillonnage est réalisé influence énormément ce facteur. Il est donc préférable d'attendre que les conditions météorologiques soient optimales pour la germination du *D. stramonium* sur l'ensemble de la zone d'étude et que l'espèce ait été observée à de nombreux endroits avant de débiter l'étude.

La granulométrie du sol semble être un facteur important à prendre en compte lors de l'analyse de la BGS du *D. stramonium*, mais celle-ci doit être évaluée de manière rigoureuse en laboratoire.

La disponibilité en lumière devrait être préférentiellement mesurée au niveau du sol afin de prendre en compte l'impact de la couverture végétale herbacée. Définir le pourcentage de recouvrement de la surface échantillonnée pourrait également être une alternative.

Un autre proxy que celui se basant sur l'année du premier encodage devrait idéalement être utilisé pour évaluer l'âge de la population. Si cela n'est pas possible, le TRM devrait au moins être complété à la suite d'une discussion avec le propriétaire du terrain ou un gestionnaire de la zone. Cela permettrait de rendre ce facteur plus fiable et donc de déterminer si cette espèce semble bien rencontrer des difficultés pour se maintenir dans le temps.

Finalement, afin de comprendre l'ensemble des tenants et les aboutissants de ces facteurs sur la densité de graines viables, il serait conseillé de réaliser deux échantillonnages : un en début de période de végétation et l'autre en fin.

Les projets de science citoyenne fournissant des informations sur l'occurrence des espèces peuvent être exploités, mais à certaines conditions. Si l'étude se veut rigoureuse, elle doit couvrir une large échelle spatiale et temporelle. Il est également conseillé de vérifier si les sites ont subi un changement d'occupation du sol entre l'année d'encodage et celle de l'échantillonnage, afin d'affiner la recherche. Ensuite, dans le cas où le TRM ne serait pas considéré comme un facteur explicatif, il est conseillé de ne prendre en compte que les sites ayant été encodés il y a 5 ans ou moins. De plus, afin d'assurer un maximum de réussite, il serait intéressant de ne sélectionner des points qu'avec des précisions d'encodage inférieures à 10 m. Finalement, au vu des réalités de terrain et des très nombreuses situations pouvant être rencontrées, il est recommandé de prévoir un nombre de sites à échantillonner supérieur à ce qui est nécessaire pour l'étude.

La prise en compte de ces considérations améliorerait la fiabilité de l'étude, apportant de nouveaux éléments de réponse en vue de l'élaboration de mesures de gestion devant être appliquées au niveau national. Il pourrait également être intéressant, comme pour l'ambrosie à feuilles d'armoïse (*Ambrosia artemisiifolia* L.), de mettre en place des actions de sensibilisation de la population au sujet de cette espèce afin d'endiguer son développement et de prévenir les intoxications.

Contribution personnelle

Je confirme avoir rédigé personnellement l'ensemble du présent document. Mes discussions avec mon promoteur, Arnaud Monty, ainsi qu'avec les différents membres du corps enseignant (Adrien Delforge, Benjamin Cornier, Caroline De Clerck, Thomas Coppée et Yves Brostaux) m'ont permis de l'enrichir et de l'améliorer.

En ce qui concerne la phase de terrain, j'atteste avoir récolté moi-même ou avec l'aide d'une tierce personne, l'ensemble des échantillons. Je suis l'unique personne à avoir évalué la granulométrie du sol, la disponibilité en lumière et à avoir extrait, compté et classé les graines retrouvées dans les échantillons prélevés.

Ce travail permet selon moi d'ouvrir la réflexion et d'orienter de futures recherches se concentrant sur l'étude de la banque de graines du sol du *Datura stramonium* L. Il met en évidence la difficulté à retrouver des populations bien établies de l'espèce sur le territoire belge et apporte une réflexion sur les facteurs devant être pris en compte lors de l'analyse de la banque de graines du sol.

Bibliographie

Adriaens, T., Sutton-Croft, M., Owen, K., Brosens, D., Kilbey, D., Groom, Q., Ehmig, C., Thürkow, F., Schneider, K., 2015. Trying to engage the crowd in recording invasive alien species in Europe: experiences from two smartphone applications in northwest Europe. *Management of Biological Invasions* 6(2): 215–225. <https://doi.org/10.3391/mbi.2015.6.2.12>

Afsca, 2022. Evaluation du programme d'analyses de l'AFSCA relatif aux phytotoxines et aux plantes/graines indésirables dans les denrées alimentaires et les aliments pour animaux. https://www.favv-afsca.be/comitescientifique/avis/2022/_documents/Avis11-2022_SciCom2016-13-C_programme_analyses_phytotoxines.pdf

Albrecht, H., Eder, E., Langbehn, T., Tschiersch, C., 2011. The soil seed bank and its relationship to the established vegetation in urban wastelands. *Landscape and Urban Planning* 100, 87–97. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.11.011>

Alien Plants Belgium, 2011. *Datura stramonium*. <https://alienplantsbelgium.myspecies.info/content/datura-stramonium#>. Consulté le 08/03/2023.

Agromet, 2023. <https://www.agromet.be/fr/pages/home/>. Consulté le 04/07/2023.

Anschütz, J., Kome, A., Nederlof, M., Neef, R. de, Ven, T., 2003. Water harvesting and soil moisture retention. Agromisa Foundation, Wageningen.

Arroyo, M.T.K., Cavieres, L.A., Castor, C., Humaña, A.M., 1999. Persistent Soil Seed Bank and Standing Vegetation at a High Alpine Site in the Central Chilean Andes. *Oecologia* 119, 126–132.

ARVALIS, 2021. Plante invasive et toxique - *Datura* dans le maïs : tout mettre en œuvre pour l'éviter. <https://www.arvalis.fr/infos-techniques/eviter-tout-prix-le-datura-dans-les-mais>. Consulté le 08/03/2023.

Bahadur, S., Verma, S.K., Prasad, S.K., Madane, A.J., Maurya, S.P., Gaurav, V.V., Sihag, S.K., 2015. Eco-friendly weed management for sustainable crop production-A review. *J Crop Weed* 11, 181–189.

Bakker, J.P., Poschlod, P., Strykstra, R.J., Bekker, R.M., Thompson, K., 1996. Seed banks and seed dispersal: important topics in restoration ecology. *Acta botanica neerlandica* 45, 461–490.

Balázs, B., Mooney, P., Nováková, E., Bastin, L., Arsanjani, J.J., 2021. Data quality in citizen science. *The science of citizen science* 139.

Baruch, A., May, A., Yu, D., 2016. The motivations, enablers and barriers for voluntary participation in an online crowdsourcing platform. *Computers in Human Behavior* 64, 923–931. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.07.039>

Baskin, J.M., Baskin, C.C., 1985. The annual dormancy cycle in buried weed seeds: a continuum. *BioScience* 35, 492–498.

Baskin, C.C., Baskin, J.M., 1988. Germination ecophysiology of herbaceous plant species in a temperate region. *American journal of botany* 75, 286–305.

Baudry, O., Charmetant, C., Collet, C., Ponette, Q., 2013. MESURER L'OUVERTURE DU COUVERT ET ESTIMER LA DISPONIBILITÉ EN LUMIÈRE EN FORÊT FEUILLUE AU MOYEN DU DENSIOMÈTRE CONVEXE.

- Baudry, O., Charmetant, C., Collet, C., Ponette, Q., 2014. Estimating light climate in forest with the convex densiometer: operator effect, geometry and relation to diffuse light. *Eur J Forest Res* 133, 101–110. <https://doi.org/10.1007/s10342-013-0746-6>
- Bekker, R.M., Verweij, G.L., Smith, R.E.N., Reine, R., Bakker, J.P., Schneider, S., 1997. Soil Seed Banks in European Grasslands: Does Land Use Affect Regeneration Perspectives? *Journal of Applied Ecology* 34, 1293–1310. <https://doi.org/10.2307/2405239>
- Bekker, R.M., Bakker, J.P., Grandin, U., Kalamees, R., Milberg, P., Poschlod, P., Thompson, K., Willems, J.H., 1998. Seed Size, Shape and Vertical Distribution in the Soil: Indicators of Seed Longevity. *Functional Ecology* 12, 834–842.
- Benvenuti, S., Macchia, M., Stefani, A., 1994. Effects of shade on reproduction and some morphological characteristics of *Abutilon theophrasti* Medicos, *Datura stramonium* L. and *Sorghum halepense* L. *Pers. Weed Research* 34, 283–288. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1994.tb01996.x>
- Benvenuti, S., 1995. Soil Light Penetration and Dormancy of Jimsonweed (*Datura stramonium*) Seeds. *Weed Science* 43, 389–393.
- Benvenuti, S., Macchia, M., 1995. Effect of hypoxia on buried weed seed germination. *Weed Research* 35, 343–351. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1995.tb01629.x>
- Benvenuti, S., Macchia, M., 1998. Phytochrome-mediated germination control of *Datura stramonium* L. seeds after seed burial. *Weed Research* 38, 199–205. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.1998.00086.x>
- Benvenuti, S., Macchia, M., Miele, S., 2001. Quantitative analysis of emergence of seedlings from buried weed seeds with increasing soil depth. *Weed Science* 49, 528–535.
- Benvenuti, S., 2003. Soil Texture Involvement in Germination and Emergence of Buried Weed Seeds. *Agronomy Journal* 95, 191–198. <https://doi.org/10.2134/agronj2003.1910>
- Benvenuti, S., 2004. Weed dynamics in the Mediterranean urban ecosystem: ecology, biodiversity and management. *Weed Research* 44, 341–354. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2004.00410.x>
- Benvenuti, S., 2007. Natural weed seed burial: effect of soil texture, rain and seed characteristics. *Seed Science Research* 17, 211–219. <https://doi.org/10.1017/S0960258507782752>
- Benvenuti, S., Mazzoncini, M., 2018. Soil Physics Involvement in the Germination Ecology of Buried Weed Seeds. *Plants* 8, 7. <https://doi.org/10.3390/plants8010007>
- Benvenuti, S., Mazzoncini, M., 2021. “Active” Weed Seed Bank: Soil Texture and Seed Weight as Key Factors of Burial-Depth Inhibition. *Agronomy* 11, 210. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020210>
- Bonney, R., Shirk, J.L., Phillips, T.B., Wiggins, A., Ballard, H.L., Miller-Rushing, A.J., Parrish, J.K., 2014. Next Steps for Citizen Science. *Science* 343, 1436–1437. <https://doi.org/10.1126/science.1251554>
- Bradford, K.J., 2002. Applications of Hydrothermal Time to Quantifying and Modeling Seed Germination and Dormancy. *Weed Science* 50, 248–260.
- Buhler, D.D., Hartzler, R.G., Forcella, F., 1997. Weed Seed Bank Dynamics. *Journal of Crop Production* 1, 145–168. https://doi.org/10.1300/J144v01n01_07
- Caballero, I., Olano, J.M., Loidi, J., Escudero, A., 2008. A model for small-scale seed bank and standing vegetation connection along time. *Oikos* 117, 1788–1795. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2008.17138.x>

- CABI Compendium, 2021. *Datura stramonium* (jimsonweed). <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.18006>. Consulté le 08/02/2023.
- Callaghan, C.T., Poore, A.G.B., Major, R.E., Rowley, J.J.L., Cornwell, W.K., 2019. Optimizing future biodiversity sampling by citizen scientists. *Proc. R. Soc. B.* 286, 20191487. <https://doi.org/10.1098/rspb.2019.1487>
- Cavero, J., Zaragoza, C., Suso, M.L., Pardo, A., 1999. Competition between maize and *Datura stramonium* in an irrigated field under semi-arid conditions.
- Cavero, Zaragoza, Bastiaans, Suso, Pardo, 2000. The relevance of morphological plasticity in the simulation of competition between maize and *Datura stramonium*. *Weed Research* 40, 163–180. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2000.00176.x>
- Centre antipoisons, n.d. Près du cœur, loin des yeux. <https://www.centreantipoisons.be/nature/plantes/pr-s-du-c-ur-loin-des-yeux>. Consulté le 08/02/23.
- Chadha, A., Florentine, S., Javaid, M., Welgama, A., Turville, C., 2020. Influence of elements of climate change on the growth and fecundity of *Datura stramonium*. *Environ Sci Pollut Res* 27, 35859–35869. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10251-y>
- Chambre d'agriculture Bretagne, 2019. Le datura stramoine : une plante préoccupante. [https://www.capbio-bretagne.com/ca1/PJ.nsf/TECHPJPARCLEF/33200/\\$File/Le%20datura%20stramoine.pdf?OpenElement](https://www.capbio-bretagne.com/ca1/PJ.nsf/TECHPJPARCLEF/33200/$File/Le%20datura%20stramoine.pdf?OpenElement)
- Chandler, M., See, L., Copas, K., Bonde, A.M.Z., López, B.C., Danielsen, F., Legind, J.K., Masinde, S., Miller-Rushing, A.J., Newman, G., Rosemartin, A., Turak, E., 2017. Contribution of citizen science towards international biodiversity monitoring. *Biological Conservation*, SI:Measures of biodiversity 213, 280–294. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.09.004>
- Climat, n.d. Le climat en Belgique. <https://climat.be/en-belgique/climat-et-emissions/climat>. Consulté le 21/02/2023.
- Colbach, N., 2014. The functional role of the soil seed bank in agricultural ecosystems, in: *Seeds*. CABI, Wallingford, UK, pp. 235–262. <https://doi.org/10.1079/9781780641836.0235>
- Copernicus Land Monitoring Service, 2023. Imperviousness Density 2018. <https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/imperviousness/status-maps/imperviousness-density-2018>. Consulté le 12/02/2023.
- Csontos, P., Tamás, J., 2003. Comparisons of soil seed bank classification systems. *Seed Science Research* 13, 101–111. <https://doi.org/10.1079/SSR2003129>
- Csontos, P., 2007. Seed banks: ecological definitions and sampling considerations. *COMMUNITY ECOLOGY* 8, 75–85. <https://doi.org/10.1556/ComEc.8.2007.1.10>
- D'Antonio, C., Meyerson, L.A., 2002. Exotic Plant Species as Problems and Solutions in Ecological Restoration: A Synthesis. *Restoration Ecology* 10, 703–713. <https://doi.org/10.1046/j.1526-100X.2002.01051.x>
- Daramola, M.T., Balogun, I.A., 2019. Analysis of the urban surface thermal condition based on sky-view factor and vegetation cover. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 15, 100253. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.100253>

- Desaegher, J., Nadot, S., Machon, N., Colas, B., 2019. How does urbanization affect the reproductive characteristics and ecological affinities of street plant communities? *Ecology and Evolution* 9, 9977–9989. <https://doi.org/10.1002/ece3.5539>
- Devos, A., 1870. Les plantes naturalisées ou introduites en Belgique. *Bulletin de la Société Royale de Botanique de Belgique / Bulletin van de Koninklijke Belgische Botanische Vereniging* 9, 5–122.
- Dorado, J., Sousa, E., Cahla, I.M., Gonzalez-Andujar, J.M., Fernández-Quintanilla, C., 2009. Predicting weed emergence in maize crops under two contrasting climatic conditions. *Weed Research* 49, 251–260.
- Douh, C., Daïnou, K., Joël Loumet, J., Fayolle, A., Doucet, J.-L., 2014. Explorer la banque de graines du sol pour mieux comprendre la dynamique de régénération des forêts tropicales africaines (synthèse bibliographique). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*
- Elmezayen, A., El-Rabbany, A., 2019. Precise Point Positioning Using World's First Dual-Frequency GPS/GALILEO Smartphone. *Sensors* 19, 2593. <https://doi.org/10.3390/s19112593>
- Espèces exotiques envahissantes, 2021. *Datura stramonium*. <http://especies-exotiques-envahissantes.fr/espece/datura-stramonium/>. Consulté le 08/02/2023.
- Espeland, E.K., Perkins, L.B., Leger, E.A., 2010. Comparison of Seed Bank Estimation Techniques Using Six Weed Species in Two Soil Types. *Rangeland ecology & management* 63, 243–247. <https://doi.org/10.2111/REM-D-09-00109.1>
- European Commission, 2021. Data-validation solutions for citizen science data on invasive alien species. Publications Office, LU.
- Eurostat, 2022. Agri-environmental indicator - consumption of pesticides. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Agri-environmental_indicator_-_consumption_of_pesticides. Consulté le 08/05/2023
- Farah, J., 2015. Crowdsourcing, Citizen Empowerment and Data Credibility: the Case of Observations.be. p. 469. https://doi.org/10.1007/978-3-319-09129-7_35
- Ferment, A., Picard, N., Gourlet-Fleury, S., Baraloto, C., 2001. A Comparison of Five Indirect Methods for Characterizing the Light Environment in a Tropical Forest. <https://doi.org/10.1051/forest:2001171>
- Ferreira, C., Kalantari, Z., Pereira, P., 2021. Liveable cities: Current environmental challenges and paths to urban sustainability. *Journal of Environmental Management* 277, 111458. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111458>
- Fichier écologique des essences, n.d. Evaluer la texture du sol. <https://www.fichierecologique.be/#!/>. Consulté le 08/06/2023.
- Finkelstein, R., Reeves, W., Ariizumi, T., Steber, C., 2008. Molecular Aspects of Seed Dormancy. *Annual Review of Plant Biology* 59, 387–415. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092740>
- Forcella, F., Eradat-Oskoui, K., Wagner, S.W., 1993. Application of weed seedbank ecology to low-input crop management. *Ecological Applications* 3, 74–83.
- Fraisl, D., Hager, G., Bedessem, B., Gold, M., Hsing, P.-Y., Danielsen, F., Hitchcock, C.B., Hulbert, J.M., Piera, J., Spiers, H., Thiel, M., Haklay, M., 2022. Citizen science in environmental and ecological sciences. *Nat Rev Methods Primers* 2, 1–20. <https://doi.org/10.1038/s43586-022-00144-4>

- Fried, G., 2012. Guide des plantes invasives, *Datura stramonium*. Editions Belin. 272p. http://www.especes-exotiques-envahissantes.fr/wp-content/uploads/2015/04/Datura-stramonium_Datura-stramoine.pdf.
- Gaire, B.P., Subedi, L., 2013. A review on the pharmacological and toxicological aspects of *Datura stramonium* L. *Journal of Integrative Medicine* 11, 73–79. <https://doi.org/10.3736/jintegrmed2013016>
- Gallego, J., Sannier, C., Pennec, A., Dufourmont, H., 2017. Validation of copernicus land monitoring services and area estimation. ICAS VII 2016 : Seventh International Conference on Agriculture Statistics Proceedings. <https://doi.org/10.1481/icasVII.2016.g42b>
- Gardiner, M.M., Allee, L.L., Brown, P.M., Losey, J.E., Roy, H.E., Smyth, R.R., 2012. Lessons from lady beetles: accuracy of monitoring data from US and UK citizen-science programs. *Frontiers in Ecology and the Environment* 10, 471–476. <https://doi.org/10.1890/110185>
- GBIF.org (6 April 2023) GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.29b3m2>
- Geeta, R., Gharaibeh, W., 2007. Historical evidence for a pre-Columbian presence of *Datura* in the Old World and implications for a first millennium transfer from the New World. *Journal of biosciences* 32, 1227.
- Geldmann, J., Heilmann-Clausen, J., Holm, T.E., Levinsky, I., Markussen, B., Olsen, K., Rahbek, C., Tøttrup, A.P., 2016. What determines spatial bias in citizen science? Exploring four recording schemes with different proficiency requirements. *Diversity and Distributions* 22, 1139–1149. <https://doi.org/10.1111/ddi.12477>
- Geneve, R.L., 1998. Seed Dormancy in Commercial Vegetable and Flower Species. *Seed Technology* 20, 236–250.
- Geneve, R.L., 2003. Impact of temperature on seed dormancy. *HortScience* 38, 336–340.
- Géron, C., Lembrechts, J.J., Hamdi, R., Berckmans, J., Nijs, I., Monty, A., 2022a. Phenotypic variation along urban-to-rural gradients: an attempt to disentangle the mechanisms at play using the alien species *Matricaria discoidea* (Asteraceae). *Plant ecology* 223, 1219–1231. <https://doi.org/10.1007/s11258-022-01269-y>
- Géron, C., Lembrechts, J.J., Nijs, I., Monty, A., 2022b. Woody invaders from contrasted climatic origins distribute differently across the urban-to-rural gradient in oceanic Europe – Is it trait-related? *Urban Forestry & Urban Greening* 75, 127694. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127694>
- Ghersa, C.M., Roush, M.L., 1993. Searching for Solutions to Weed Problems. *BioScience* 43, 104–109. <https://doi.org/10.2307/1311971>
- Gianessi, L.P., 2013. The increasing importance of herbicides in worldwide crop production. *Pest Management Science* 69, 1099–1105. <https://doi.org/10.1002/ps.3598>
- Gioria, M., Jarošík, V., Pyšek, P., 2014. Impact of invasions by alien plants on soil seed bank communities: Emerging patterns. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 16, 132–142. <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2014.03.003>
- Global Biodiversity Information Facility, 2023. Qu'est ce que GBIF ?. <https://www.gbif.org/fr/what-is-gbif>. Consulté le 08/05/2023.

Gonzalez, S., Ghermandi, L., 2012. Comparison of methods to estimate soil seed banks: the role of seed size and mass. *Community Ecology* 13, 238–242.

Gorton, A.J., Burghardt, L.T., Tiffin, P., 2020. Adaptive evolution of plant life history in urban environments. *Urban evolutionary biology* 142.

Graines, 2023. <https://www.graines.be/c8-Graines-Datura-et-Digitalis.html>. Consulté le 08/05/2023

Graines-du-monde, 2023. <https://www.graines-du-monde.be/graines-exotiques/180-graines-datura-stramoine-stramonium.html>. Consulté le 08/05/2023

Grella, C., Renshaw, A., Wright, I.A., 2018. Invasive weeds in urban riparian zones: the influence of catchment imperviousness and soil chemistry across an urbanization gradient. *Urban Ecosyst* 21, 505–517. <https://doi.org/10.1007/s11252-018-0736-z>

Gross, K.L., Renner, K.A., 1989. A New Method for Estimating Seed Numbers in the Soil. *Weed Science* 37, 836–839.

Gross, K.L., 1990. A Comparison of Methods for Estimating Seed Numbers in the Soil. *Journal of Ecology* 78, 1079–1093. <https://doi.org/10.2307/2260953>

Hahs, A.K., McDonnell, M.J., 2006. Selecting independent measures to quantify Melbourne's urban–rural gradient. *Landscape and Urban Planning* 78, 435–448. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.12.005>

Haklay, M., Fraisl, D., Greshake Tzovaras, B., Hecker, S., Gold, M., Hager, G., Ceccaroni, L., Kieslinger, B., Wehn, U., Woods, S., Nold, C., Balázs, B., Mazzonetto, M., Ruefenacht, S., Shanley, L.A., Wagenknecht, K., Motion, A., Sforzi, A., Riemenschneider, D., Dorler, D., Heigl, F., Schaefer, T., Lindner, A., Weißpflug, M., Mačiulienė, M., Vohland, K., 2021. Contours of citizen science: a vignette study. *Royal Society Open Science* 8, 202108. <https://doi.org/10.1098/rsos.202108>

Hall, R.M., Urban, B., Skalova, H., Moravcova, L., Sölter, U., Starfinger, U., Kazinczi, G., van Valkenburg, J., Fenesi, A., Konstantinovic, B., Uludağ, A., Lommen, S., 2021. Seed viability of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) is affected by seed origin and age, but also by testing method and laboratory. <https://doi.org/10.3897/NEOBIOTA.70.66915>

Henderson, C.B., Petersen, K.E., Redak, R.A., 1988. Spatial and Temporal Patterns in the Seed Bank and Vegetation of a Desert Grassland Community. *Journal of Ecology* 76, 717–728. <https://doi.org/10.2307/2260569>

Hilhorst, H.W.M., Finch-Savage, W.E., Buitink, J., Bolingue, W., Leubner-Metzger, G., 2010. Dormancy in Plant Seeds, in: Lubzens, E., Cerda, J., Clark, M. (Eds.), *Dormancy and Resistance in Harsh Environments, Topics in Current Genetics*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 43–67. https://doi.org/10.1007/978-3-642-12422-8_4

Howard, L., Rees, C.B. van, Dahlquist, Z., Luikart, G., Hand, B.K., 2022. A review of invasive species reporting apps for citizen science and opportunities for innovation. *NeoBiota* 71, 165–188. <https://doi.org/10.3897/neobiota.71.79597>

iNaturalist.org, 2023. *Datura stramonium*. https://www.inaturalist.org/observations?nelat=51.50510161538786&nelng=6.408124109281034&order_by=observed_on&place_id=any&subview=table&swlat=49.49701303936689&swlng=2.524099922352878&taxon_id=55854. Consulté le 08/06/2023

INRAE, 2019. Pourquoi et comment le datura contamine-t-il les denrées alimentaires ? <https://www.inrae.fr/actualites/pourquoi-comment-datura-contamine-t-il-denrees-alimentaires>. Consulté le 08/02/2023.

INRAE, 2020. Le datura, une plante à hauts risques. <https://www.inrae.fr/actualites/datura-plante-hauts-risques>. Consulté le 08/02/2023.

INV MED, 2021. Datura stramonium. http://www.invmed.fr/src/listes/evee-fiche.php?cd_ref=94489#descr. Consulté le 08/02/2023.

Johnson, B.A., Mader, A.D., Dasgupta, R., Kumar, P., 2020. Citizen science and invasive alien species: An analysis of citizen science initiatives using information and communications technology (ICT) to collect invasive alien species observations. *Global Ecology and Conservation* 21, e00812. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00812>

Johnston, A., Hochachka, W.M., Strimas-Mackey, M.E., Gutierrez, V.R., Robinson, O.J., Miller, E.T., Auer, T., Kelling, S.T., Fink, D., 2020. Analytical guidelines to increase the value of citizen science data: using eBird data to estimate species occurrence. <https://doi.org/10.1101/574392>

Joly, A., Bonnet, P., Goëau, H., Barbe, J., Selmi, S., Champ, J., Dufour-Kowalski, S., Affouard, A., Carré, J., Molino, J.-F., Boujemaa, N., Barthélémy, D., 2016. A look inside the PI@ntNet experience. *Multimedia Systems* 22, 751–766. <https://doi.org/10.1007/s00530-015-0462-9>

Kaiser, A., Merckx, T., Van Dyck, H., 2016. The Urban Heat Island and its spatial scale dependent impact on survival and development in butterflies of different thermal sensitivity. *Ecology and Evolution* 6, 4129–4140. <https://doi.org/10.1002/ece3.2166>

Kelling, S., Fink, D., La Sorte, F.A., Johnston, A., Bruns, N.E., Hochachka, W.M., 2015. Taking a ‘Big Data’ approach to data quality in a citizen science project. *Ambio* 44, 601–611. <https://doi.org/10.1007/s13280-015-0710-4>

Khare, C.P., 2004. *Indian Herbal Remedies: Rational Western Therapy, Ayurvedic, and Other Traditional Usage, Botany*. Springer Science & Business Media.

Kleunen, M. van, Fischer, M., Johnson, S.D., 2007. Reproductive assurance through self-fertilization does not vary with population size in the alien invasive plant *Datura stramonium*. *Oikos* 116, 1400–1412. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2007.16004.x>

Konert, M., Vandenberghe, J., 1997. Comparison of laser grain size analysis with pipette and sieve analysis: a solution for the underestimation of the clay fraction. *Sedimentology* 44, 523–535. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3091.1997.d01-38.x>

Köpsel, V., de Moura Kiipper, G., Peck, M.A., 2021. Stakeholder engagement vs. social distancing—how does the Covid-19 pandemic affect participatory research in EU marine science projects? *Maritime Studies* 20, 189–205. <https://doi.org/10.1007/s40152-021-00223-4>

Korres, N.E., Norsworthy, J.K., Tehranchian, P., Gitsopoulos, T.K., Loka, D.A., Oosterhuis, D.M., Gealy, D.R., Moss, S.R., Burgos, N.R., Miller, M.R., Palhano, M., 2016. Cultivars to face climate change effects on crops and weeds: a review. *Agron. Sustain. Dev.* 36, 12. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0350-5>

- Kuang, W., Du, G., Lu, D., Dou, Y., Li, X., Zhang, S., Chi, W., Dong, J., Chen, G., Yin, Z., Pan, T., Hamdi, R., Hou, Y., Chen, C., Li, H., Miao, C., 2021. Global observation of urban expansion and land-cover dynamics using satellite big-data. *Science bulletin (Beijing)* 66, 297–300. <https://doi.org/10.1016/j.scib.2020.10.022>
- Kumar, P.S., Dutt, V.S.I., 2019. A hypothetical analysis on GPS evolution, error sources, accuracy measures and positioning services. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE) ISSN 2278–3075*.
- Kumar, A., Kumar, S., Lal, P., Saikia, P., Srivastava, P.K., Petropoulos, G.P., 2021. Chapter 1 - Introduction to GPS/GNSS technology, in: Petropoulos, G. p., Srivastava, P.K. (Eds.), *GPS and GNSS Technology in Geosciences*. Elsevier, pp. 3–20. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818617-6.00001-9>
- Lambdon, P.-W., Pyšek, P., Basnou, C., Hejda, M., Arianoutsou, M., Essl, F., Jarosik, V., Pergl, J., Winter, M., Anastasiu, P., Andriopoulos, P., Bazos, I., Brundu, G., Celesti-Grapo, L., Chassot, P., Delipetrou, P., Josefsson, M., Kark, S., Klotz, S., Hulme, P., 2008. Alien flora of Europe: Species diversity, temporal trends, geographical patterns and research needs. *Preslia -Praha* 80, 101–149.
- Lee, K.A., Lee, J.R., Bell, P., 2020. A review of Citizen Science within the Earth Sciences: potential benefits and obstacles. *Proceedings of the Geologists' Association* 131, 605–617. <https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2020.07.010>
- Lemmens, R., Antoniou, V., Hummer, P., Potsiou, C., 2021. Citizen Science in the Digital World of Apps, in: Vohland, K., Land-Zandstra, A., Ceccaroni, L., Lemmens, R., Perelló, J., Ponti, M., Samson, R., Wagenknecht, K. (Eds.), *The Science of Citizen Science*. Springer International Publishing, Cham, pp. 461–474. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58278-4_23
- Li, M., Lei, Z., Li, W., Jiang, K., Huang, T., Zheng, J., Zhao, Q., 2021. Performance Evaluation of Single-Frequency Precise Point Positioning and Its Use in the Android Smartphone. *Remote Sensing* 13, 4894. <https://doi.org/10.3390/rs13234894>
- Liu, H.-Y., Dörler, D., Heigl, F., Grossberndt, S., 2021. Citizen Science Platforms, in: Vohland, K., Land-Zandstra, A., Ceccaroni, L., Lemmens, R., Perelló, J., Ponti, M., Samson, R., Wagenknecht, K. (Eds.), *The Science of Citizen Science*. Springer International Publishing, Cham, pp. 439–459. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58278-4_22
- Loddo, D., Sousa, E., Masin, R., Calha, I.M., Zanin, G., Fernández-Quintanilla, C., Dorado, J., 2014. Germination response of local Southern European populations of *Datura stramonium* at a range of constant temperatures. *Weed Research* 54, 356–365. <https://doi.org/10.1111/wre.12083>
- Loddo, D., McElroy, J.S., Giannini, V., 2021. Problems and perspectives in weed management. *Italian Journal of Agronomy* 16. <https://doi.org/10.4081/ija.2021.1854>
- Lu, D., Weng, Q., 2006. Use of impervious surface in urban land-use classification. *Remote Sensing of Environment* 102, 146–160. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.02.010>
- Malone, C.R., 1967. A Rapid Method for Enumeration of Viable Seeds in Soil. *Weeds* 15, 381–382. <https://doi.org/10.2307/4041016>
- Marc, B., Martis, A., Moreau, C., Arlie, G., Kintz, P., Leclerc, J., 2007. Intoxications aiguës à *Datura stramonium* aux urgences. *La Presse Médicale* 36, 1399–1403. <https://doi.org/10.1016/j.lpm.2007.04.017>

Matelma, 2023. <https://www.matelma.com/be-fr/encyclopedie-des-plantes/10359/datura-stramonium>. Consulté le 08/05/2023

McKinney, M.L., 2002. Urbanization, Biodiversity, and Conservation: The impacts of urbanization on native species are poorly studied, but educating a highly urbanized human population about these impacts can greatly improve species conservation in all ecosystems. *BioScience* 52, 883–890. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0883:UBAC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0883:UBAC]2.0.CO;2)

McMaster, G.S., Wilhelm, W.W., 1997. Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agricultural and Forest Meteorology* 87, 291–300. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(97\)00027-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(97)00027-0)

Meteo Belgique, 2023. Bilan de la vague de chaleur de juin 2023. <https://www.meteobelgique.be/article/nouvelles/la-suite/2515-bilan-de-la-vague-de-chaleur-de-juin-2023>. Consulté le 04/07/2023

Mesgaran, M., Mashhadi, H., Zand, E., Alizadeh, H., 2007. Comparison of three methodologies for efficient seed extraction in studies of soil weed seedbanks. *Weed research* 47, 472–478. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2007.00592.x>

Miller, P., Lanier, W., Brandt, S., 2001. Using growing degree days to predict plant stages. Ag/Extension Communications Coordinator, Communications Services, Montana State University-Bozeman, Bozeman, MO 59717, 994–2721.

Miller-Rushing, A., Primack, R., Bonney, R., 2012. The history of public participation in ecological research. *Frontiers in Ecology and the Environment* 10, 285–290. <https://doi.org/10.1890/110278>

Mitterer, J., Disse, M., 2022. Remote sensing versus surveyed object-based cadastre data: Comparing the advantages of COPENICUS imperviousness density and ATKIS data in Bavaria/Germany using GIS analysis, EGU General Assembly 2022, Vienna, Austria, 23–27 May 2022, EGU22-7477. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-7477>

Moriuchi, K.S., Venable, D.L., Pake, C.E., Lange, T., 2000. Direct Measurement of the Seed Bank Age Structure of a Sonoran Desert Annual Plant. *Ecology* 81, 1133–1138. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2000\)081\[1133:DMOTSB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2000)081[1133:DMOTSB]2.0.CO;2)

Nikolić, N., Šoštarčić, V., Pismarović, L., Šćepanović, M., Masin, R., 2022. Germination Response of *Datura stramonium* L. to Different pH and Salinity Levels under Different Temperature Conditions. *Plants* 11, 3259. <https://doi.org/10.3390/plants11233259>

Observations.be, 2023. Datura stramonium. https://observations.be/species/6683/statistics/?year=2010&month=&sex=&life_stage=&activity=&method=. Consulté le 08/06/2023

Observatoire royal de Belgique, n.d. <https://www.astro.oma.be/fr/recherche-scientifique/systemes-de-reference-et-planetologie/gnss/>. Consulté le 25/07/2023

Olano, J.M., Caballero, I., Loidi, J., Escudero, A., 2005. Prediction of plant cover from seed bank analysis in a semi-arid plant community on gypsum. *Journal of Vegetation Science* 16, 215–222.

Orthophoto WMS, 2023. <https://wms.michelstuyts.be/?lang=fr>. Consulté le 05/07/2023

Paletto, A., Tosi, V., 2009. Forest canopy cover and canopy closure: comparison of assessment techniques. *Eur J Forest Res* 128, 265–272. <https://doi.org/10.1007/s10342-009-0262-x>

Pawlak, J.A., Murray, D.S., Smith, B.S., 1990. Influence of Capsule Age on Germination of Nondormant Jimsonweed (*Datura stramonium*) Seed. *Weed Technology* 4, 31–34.

Paziewski, J., 2020. Recent advances and perspectives for positioning and applications with smartphone GNSS observations. *Meas. Sci. Technol.* 31, 091001. <https://doi.org/10.1088/1361-6501/ab8a7d>

Peco, B., Ortega, M., Levassor, C., 1998. Similarity between seed bank and vegetation in Mediterranean grassland: a predictive model. *Journal of Vegetation Science* 9, 815–828. <https://doi.org/10.2307/3237047>

Pellissier, V., Rozé, F., Aguejdad, R., Quénot, H., Clergeau, P., 2008. Relationships between soil seed bank, vegetation and soil fertility along an urbanisation gradient. *Applied Vegetation Science* 11, 325–334. <https://doi.org/10.3170/2008-7-18448>

Price, J.N., Wright, B.R., Gross, C.L., Whalley, W.R.D.B., 2010. Comparison of seedling emergence and seed extraction techniques for estimating the composition of soil seed banks. *Methods in Ecology and Evolution* 1, 151–157. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2010.00011.x>

Rahman, A., James, T.K., Bourdot, G., Grbavac, N., 1998. Weed seedbank estimation, spatial distribution, decline and potential for predicting future weed populations. *Plant Protection Quarterly* 13, 117–122.

Ratel C.L., 1996. Composition de la banque de semences le long d'un gradient de succession au Sud-Ouest de la forêt boréale québécoise. Thèse de doctorat : université du Québec à Montréal.

Règlement (CE) 1881/2006 de la commission du 19 décembre 2006 portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE), 2006. JO L 364 du 20.12.2006, p. 5. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:02006R1881-20160401&from=HU>

Règlement (UE) 2021/1408 de la Commission du 27 août 2021 modifiant le règlement (CE) no 1881/2006 en ce qui concerne les teneurs maximales de certaines denrées alimentaires en alcaloïdes tropaniques (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE), 2021. OJ L 304, 30.8.2021, p. 1–4. <http://data.europa.eu/eli/reg/2021/1408/oj>

Retscher, G., 2020. Fundamental Concepts and Evolution of Wi-Fi User Localization: An Overview Based on Different Case Studies. *Sensors* 20, 5121. <https://doi.org/10.3390/s20185121>

Reuss, S.A., Buhler, D.D., Gunsolus, J.L., 2001. Effects of soil depth and aggregate size on weed seed distribution and viability in a silt loam soil. *Applied Soil Ecology* 16, 209–217. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(00\)00115-3](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00115-3)

Royal meteorological institute (IRM), 2023. Atlas climatique. <https://www.meteo.be/fr/climat/climat-de-la-belgique/atlas-climatique/cartes-climatiques/temperature-de-lair/moyenne/annuel>. Consulté le 21/02/2023.

Saatkamp, A., Affre, L., Dutoit, T., Poschlod, P., 2009. The seed bank longevity index revisited: limited reliability evident from a burial experiment and database analyses. *Annals of Botany* 104, 715–724. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp148>

Saatkamp, A., Poschlod, P., Venable, D.L., 2014. The functional role of soil seed banks in natural communities, in: *Seeds*. CABI, Wallingford, UK, pp. 263–295. <https://doi.org/10.1079/9781780641836.0263>

- Salvati, L., Zambon, I., Chelli, F.M., Serra, P., 2018. Do spatial patterns of urbanization and land consumption reflect different socioeconomic contexts in Europe? *Science of The Total Environment* 625, 722–730. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.341>
- Sánchez-Clavijo, L.M., Martínez-Callejas, S.J., Acevedo-Charry, O., Díaz-Pulido, A., Gómez-Valencia, B., Ocampo-Peñuela, N., Ocampo, D., Olaya-Rodríguez, M.H., Rey-Velasco, J.C., Soto-Vargas, C., Ochoa-Quintero, J.M., 2021. Differential reporting of biodiversity in two citizen science platforms during COVID-19 lockdown in Colombia. *Biological Conservation* 256, 109077. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109077>
- Sarukhan, J., Harper, J.L., 1973. Studies on Plant Demography: *Ranunculus Repens* L., *R. Bulbosus* L. and *R. Acris* L.: I. Population Flux and Survivorship. *Journal of Ecology* 61, 675–716. <https://doi.org/10.2307/2258643>
- Sawma, J.T., Mohler, C.L., 2002. Evaluating Seed Viability by an Unimbibed Seed Crush Test in Comparison with the Tetrazolium Test1. *wete* 16, 781–786. [https://doi.org/10.1614/0890-037X\(2002\)016\[0781:ESVBAU\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0890-037X(2002)016[0781:ESVBAU]2.0.CO;2)
- Schwartz-Lazaro, L.M., Copes, J.T., 2019. A Review of the Soil Seedbank from a Weed Scientists Perspective. *Agronomy* 9, 369. <https://doi.org/10.3390/agronomy9070369>
- Sillon belge, 2022. Lutter contre le Datura. <https://www.sillonbelge.be/9205/article/2022-05-17/lutter-contre-le-datura>. Consulté le 08/02/2023.
- Statbel, n.d. Utilisation du sol en Belgique à partir de 1980. <https://statbel.fgov.be/fr/themes/environnement/sol/utilisation-du-sol#figures>. Consulté le 17/07/2023.
- Stoller, E.W., Wax, L.M., 1974. Dormancy Changes and Fate of Some Annual Weed Seeds in the Soil. *Weed Science* 22, 151–155.
- Sweet, F.S.T., Rödl, T., Weisser, W.W., 2022. COVID-19 lockdown measures impacted citizen science hedgehog observation numbers in Bavaria, Germany. *Ecology and Evolution* 12, e8989. <https://doi.org/10.1002/ece3john.8989>
- Syngenta, n.d. Chénopode hybride. <https://www.syngenta.fr/traitements/chenopode-hybride>. Consulté le 01/08/2023.
- Tela botanica, 2021. Datura stramonium L. <https://www.tela-botanica.org/eflore/>. Consulté le 08/02/2023.
- Ter Heerdt, G.N.J., Verweij, G.L., Bekker, R.M., Bakker, J.P., 1996. An improved method for seed-bank analysis: seedling emergence after removing the soil by sieving. *Functional ecology* 144–151. <https://doi.org/10.2307/2390273>
- Terry, J.C.D., Roy, H.E., August, T.A., 2020. Thinking like a naturalist: Enhancing computer vision of citizen science images by harnessing contextual data. *Methods in Ecology and Evolution* 11, 303–315. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13335>
- Thompson, K., 1978. The Occurrence of Buried Viable Seeds in Relation to Environmental Gradients. *Journal of Biogeography* 5, 425–430. <https://doi.org/10.2307/3038032>

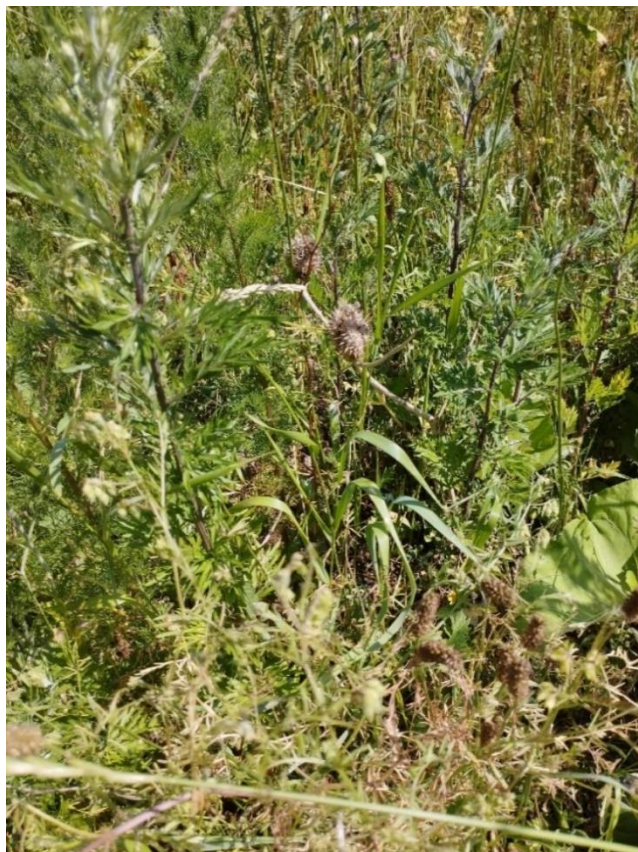
- Thompson, K., Colsell, S., Carpenter, J., Smith, R.M., Warren, P.H., Gaston, K.J., 2005. Urban domestic gardens (VII): a preliminary survey of soil seed banks. *Seed Science Research* 15, 133–141. <https://doi.org/10.1079/SSR2005201>
- Tiago, P., Gouveia, M.J., Capinha, C., Santos-Reis, M., Pereira, H.M., 2017. The influence of motivational factors on the frequency of participation in citizen science activities. *Nature Conservation* 18, 61–78. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.18.13429>
- Tian, Z., Song, K., Da, L., 2015. Distribution patterns and traits of weed communities along an urban–rural gradient under rapid urbanization in Shanghai, China. *Weed Biology and Management* 15, 27–41. <https://doi.org/10.1111/wbm.12062>
- UNIGE, 2017. La dormance des graines est un héritage de leur mère. <https://www.unige.ch/lejournel/numeros/journal159/article-recherche-1/>. Consulté le 30/03/2023
- Vallet, J., 2009. Gradient d’urbanisation et communautés végétales d’espaces boisés : Approche à plusieurs échelles dans trois agglomérations du Massif armoricain (phdthesis). Université d’Angers.
- Vallet, J., Daniel, H., Beaujouan, V., Rozé, F., Pavoine, S., 2010. Using biological traits to assess how urbanization filters plant species of small woodlands. *Applied Vegetation Science* 13, 412–424. <https://doi.org/10.1111/j.1654-109X.2010.01087.x>
- Van Langevelde, F., Tessema, Z.K., de Boer, W.F., Prins, H.H.T., 2016. Soil seed bank dynamics under the influence of grazing as alternative explanation for herbaceous vegetation transitions in semi-arid rangelands. *Ecological Modelling* 337, 253–261. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.07.013>
- von Blanckenhagen, B., Poschlod, P., 2005. Restoration of calcareous grasslands: the role of the soil seed bank and seed dispersal for recolonisation processes. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*
- Walter, L.S., Gabira, M.M., Almeida da Silva, M., Nogueira, A.C., Kratz, D., 2020. Adjustments in the tetrazolium test methodology for assessing the physiological quality of *Jatropha mollissima* (Euphorbiaceae). *Bosque (Valdivia, Chile)* 41, 77–82. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002020000100077>
- Wang, Y., Akbari, H., 2014. Effect of Sky View Factor on Outdoor Temperature and Comfort in Montreal. *Environmental Engineering Science* 31, 272–287. <https://doi.org/10.1089/ees.2013.0430>
- Weaver, S.E., Warwick, S.I., 1984. THE BIOLOGY OF CANADIAN WEEDS.: 64. *Datura stramonium* L. *Can. J. Plant Sci.* 64, 979–991. <https://doi.org/10.4141/cjps84-132>
- Werle, R., Sandell, L.D., Buhler, D.D., Hartzler, R.G., Lindquist, J.L., 2014. Predicting Emergence of 23 Summer Annual Weed Species. *Weed Science* 62, 267–279. <https://doi.org/10.1614/WS-D-13-00116.1>
- Williams, N.S.G., Schwartz, M.W., Vesk, P.A., McCarthy, M.A., Hahs, A.K., Clemants, S.E., Corlett, R.T., Duncan, R.P., Norton, B.A., Thompson, K., McDonnell, M.J., 2009. A conceptual framework for predicting the effects of urban environments on floras. *Journal of Ecology* 97, 4–9. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2008.01460.x>
- Williams, L.K., Kristiansen, P., Sindel, B.M., Wilson, S.C., Shaw, J.D., 2016. Quantifying the seed bank of an invasive grass in the sub-Antarctic: seed density, depth, persistence and viability. *Biol Invasions* 18, 2093–2106. <https://doi.org/10.1007/s10530-016-1154-x>

Annexes

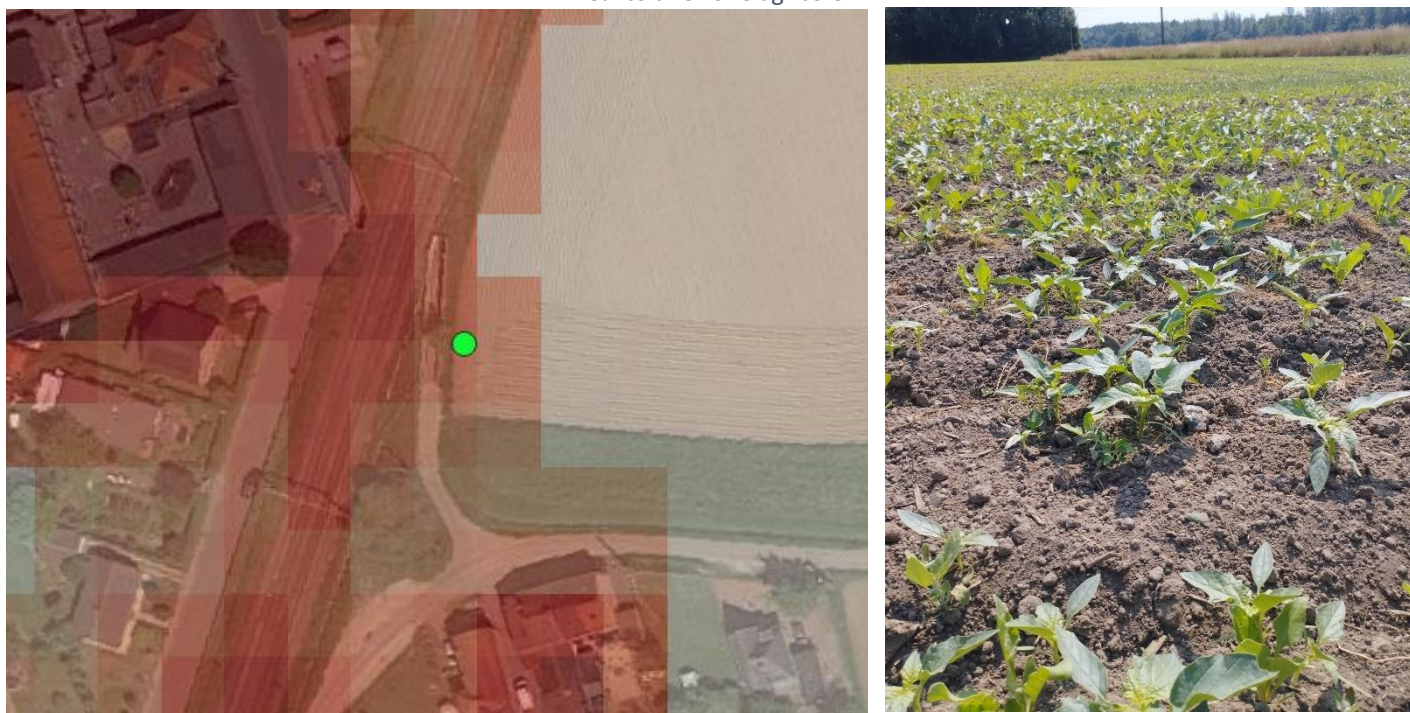
Annexe 1 : site de Namêche non échantillonné pour cause de sol non adapté à l'échantillonnage



Annexe 2 : site de Marneffe considéré comme étant en friche



Annexe 3 : site de Louvain 1 considéré comme ayant un taux d'urbanité de 31 % (image de gauche) et étant en réalité une zone agricole



Annexe 4 : site de Flémalle où de la terre contaminée a été apportée



Annexe 5 : site de Baudour où l'espèce dominante est le *D. stramonium*

