



anses

***Amaranthus palmeri***  
**S.Watson**  
**risque d'introduction et**  
**de dissémination en France**

Avis de l'Anses  
Rapport d'expertise collective

Novembre 2025



Le directeur général

Maisons-Alfort, le 19 novembre 2025

## AVIS de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

relatif à l'« Évaluation du risque simplifiée relative à *Amaranthus palmeri*  
S.Watson pour la France métropolitaine »

---

*L'Anses met en œuvre une expertise scientifique indépendante et pluraliste.*

*L'Anses contribue principalement à assurer la sécurité sanitaire dans les domaines de l'environnement, du travail et de l'alimentation et à évaluer les risques sanitaires qu'ils peuvent comporter.*

*Elle contribue également à assurer la protection de la santé et du bien-être des animaux et de la santé des végétaux, l'évaluation des propriétés nutritionnelles et fonctionnelles des aliments et, en évaluant l'impact des produits réglementés, la protection de l'environnement.*

*Elle fournit aux autorités compétentes toutes les informations sur ces risques ainsi que l'expertise et l'appui scientifique technique nécessaires à l'élaboration des dispositions législatives et réglementaires et à la mise en œuvre des mesures de gestion du risque (article L. 1313-1 du Code de la santé publique).*

*Ses avis sont publiés sur son site internet.*

---

L'Anses s'est autosaisie le 29 mai 2024 pour la réalisation de l'expertise suivante : Évaluation du risque simplifiée relative à *Amaranthus palmeri* S.Watson pour la France métropolitaine.

### 1. CONTEXTE ET OBJET DE LA SAISINE

*Amaranthus palmeri* S.Watson, de la famille des Amaranthaceae, est une adventice annuelle estivale dioïque (individus mâles et individus femelles distincts) à feuilles larges qui se caractérise par une croissance rapide, une très forte production de graines (jusqu'à 600 000 graines par individu femelle), une utilisation efficace des ressources et une adaptabilité à divers environnements naturels et divers systèmes de culture. Les semences peuvent être produites par fécondation ou par apomixie<sup>1</sup> (Ribeiro *et al.*, 2014), cette apomixie facultative permettant aux pieds femelles de se reproduire indépendamment de la présence de pieds mâles et de permettre la dispersion dans l'environnement de nombreux individus porteurs des gènes de résistance aux herbicides. A partir des années 2000, *A. palmeri* est devenue la principale adventice des cultures OGM de maïs et soja aux États-Unis, où les populations résistantes au glyphosate sont déjà présentes dans 28 états et couvrent plusieurs centaines

---

<sup>1</sup> Capacité qu'ont certaines espèces végétales de former des graines contenant un embryon identique à la plante-mère, sans fécondation entre gamètes mâle et femelle.

de milliers d'hectares. Le sex-ratio des populations est estimé à 50/50, cependant le déterminisme du sexe d'un individu demeure inconnu (génétique, environnemental, structure de population).

Les populations d'*A. palmeri* se sont étendues à partir du début du 20<sup>ème</sup> siècle depuis leur aire d'origine, au nord du Mexique et dans le sud-ouest des États-Unis, jusque dans le nord-est des États-Unis, le Canada, dans l'arc des Caraïbes (République Dominicaine, Cuba), en Amérique du Sud, en Asie (Inde, Chine) et sur le pourtour méditerranéen. Les premières introductions en Europe datent des années 1950, et à partir des années 2010, des populations permanentes de cette espèce sont signalées dans plusieurs pays européens et méditerranéens : Italie, Espagne, Grèce, Turquie, Chypre, Israël, Tunisie et tout récemment Maroc (Tanji, 2023). Des populations occasionnelles ont été observées en Belgique, en Allemagne, en Suède et en France (1962, Alsace). En Espagne, les premiers peuplements ont été localisés dans une zone de reconditionnement de semences importées (maïs, soja) puis rapidement le long des routes, et dans les champs avoisinants.

Cette espèce a fait l'objet de différentes analyses de risque phytosanitaires (ARP) pour la Chine (2013), le Canada (2018), les États-Unis (2019-2020) et la zone OEPP qui couvre le continent européen et le bassin méditerranéen (OEPP, 2020).

Elle est réglementée en Espagne et au Maroc où elle fait l'objet d'une lutte obligatoire ; à ce jour il n'existe pas de réglementation française concernant cette espèce, pour laquelle une fiche d'alerte a été produite par l'Anses en février 2013.

Les filières d'entrée identifiées concernent l'importation de semences de cultures estivales et les céréales destinées à la transformation industrielle pour l'alimentation humaine ou animale. Sa dissémination naturelle est assurée localement par barochorie<sup>2</sup> et hydrochorie<sup>3</sup> et, à longue distance, par les activités humaines (récoltes, lots de semences, matériel agricole contaminé).

La modélisation des conditions climatiques favorables à son développement, réalisée sur l'ensemble de la zone OEPP (OEPP, 2020), montre que l'espèce peut s'établir sur l'ensemble du pourtour méditerranéen.

Des publications scientifiques récentes (Matzrafi *et al.*, 2023, Manicardi *et al.*, 2023) montrent, par ailleurs, que certaines des populations permanentes qui sont présentes dans des régions frontalières du territoire hexagonal, notamment à Lleida et Huesca, en Espagne, et dans le Piedmont et en Émilie Romagne, en Italie, sont résistantes au glyphosate ou à d'autres herbicides (de la famille des inhibiteurs de l'acétolactate synthase). De plus, il a été confirmé que le caractère de résistance à certains herbicides peut être transféré à d'autres espèces d'Amarantes présentes en France et qu'*A. palmeri* peut s'hybrider avec d'autres espèces du même genre (Pereira & Dunning, 2023).

Compte tenu qu'*A. palmeri* n'appartient pas à la liste des espèces exotiques envahissantes préoccupantes pour l'Union européenne (Règlement (UE) n°1143/2014), que les régions méridionales de la France métropolitaine et les Antilles françaises présentent des conditions climatiques potentiellement favorables à son établissement, et que des populations de cette espèce sont présentes à proximité (en Espagne et en Italie pour la France métropolitaine, et à Cuba et en République Dominicaine, pour les Antilles françaises), cette

<sup>2</sup> Mode de dispersion des graines par la gravité, en tombant.

<sup>3</sup> Mode de dispersion des graines par l'eau.

auto-saisine a pour objectifs de réaliser une évaluation du risque simplifiée relative à *A. palmeri* à l'échelle du territoire :

- de la France métropolitaine pour les productions agricoles estivales (maïs, soja, tournesol) et les milieux non cultivés (1<sup>er</sup> volet de l'expertise) ;
- des Antilles françaises pour les productions de banane et de canne à sucre (2<sup>nd</sup> volet de l'expertise).

Cette évaluation du risque simplifiée relative à *A. palmeri* pour la France métropolitaine et les Antilles françaises permettra de :

- identifier les filières d'entrée et évaluer sa probabilité d'entrée pour les deux zones ;
- évaluer sa probabilité d'établissement en France métropolitaine et dans les Antilles françaises, à court et moyen termes et en tenant compte des prévisions d'évolution climatique.
- évaluer sa vitesse de dissémination sachant qu'une dissémination sur de longues distances par assistance humaine pourrait être assurée par les engins agricoles ou le transport de graines.

Dans la mesure où le risque lié à *A. palmeri* serait jugé fort, il s'agirait ensuite d'élaborer des recommandations :

- pour la surveillance du territoire (dans le sud de la France métropolitaine dans le cadre du premier rapport et aux Antilles dans le cadre du second rapport) en vue de la détection précoce de toute introduction de l'espèce ;
- de mesures de gestion pour son éradication, en cas de signalement confirmé d'un foyer récent.

Dans ce cas de figure, les conclusions de l'évaluation du risque simplifiée pour la France métropolitaine pourraient soutenir la proposition d'inscription d'*A. palmeri* comme organisme nuisible dans le cadre du Règlement (UE) 2016/2031 du Parlement européen et du Conseil du 26 octobre 2016 relatif aux mesures de protection contre les organismes nuisibles aux végétaux. En effet, l'alinéa 2 de l'article premier du règlement prévoit que « Lorsque des éléments mettent en évidence que des plantes non parasites, autres que celles régies par l'article 4, paragraphe 1, du règlement (UE) n° 1143/2014, présentent des risques phytosanitaires qui auraient une incidence économique, sociale ou environnementale extrêmement grave pour le territoire de l'Union, ces plantes non parasites peuvent être considérées comme des organismes nuisibles aux fins du présent règlement ».

Le présent avis et le rapport associé traitent de la première partie des travaux, relative au territoire métropolitain.

## 2. ORGANISATION DE L'EXPERTISE

L'Anses a confié au groupe de travail « *Amaranthus palmeri* », rattaché au Comité d'experts spécialisé « Risques biologiques pour la santé des végétaux » l'instruction de cette auto-saisine.

Les travaux d'expertise du groupe de travail ont été soumis régulièrement au CES entre juillet 2024 et juillet 2025 (02/07/2024, 24/09/2024, 19/11/2024, 28/01/2025, 25/03/2025,

27/05/2025, 01/07/2025) et pour validation le 23 septembre 2025 (tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques). Le rapport produit par le groupe de travail tient compte des observations et éléments complémentaires transmis par les membres du CES.

Ces travaux sont ainsi issus d'un collectif d'experts aux compétences complémentaires.

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise (Janvier 2024) ».

Le plan du rapport d'expertise collective est celui du schéma d'aide à la décision pour une analyse de risque phytosanitaire express<sup>4</sup> émis par l'Organisation Européenne et Méditerranéenne de la Protection des Plantes (OEPP/EPPO) (EPPO Standard PM 5/5(1)) en 2012 et actualisé entre 2021 et 2024. La conduite de l'expertise a suivi les lignes directrices de ce schéma, à savoir : une étape d'initiation, puis une étape d'évaluation du risque phytosanitaire avec plus particulièrement une évaluation de la probabilité d'entrée, d'établissement, de dissémination et d'impact d'*Amaranthus palmeri* pour la zone ARP considérée. L'EPPO Standard PM 5/5(1) prévoit une graduation qualitative de la probabilité d'entrée, d'établissement, de la magnitude de dissémination et d'impact à 5 niveaux (très faible, faible, modérée, élevé et très élevé) associée à une incertitude avec une graduation à trois niveaux (faible, modéré, élevé). La graduation du risque phytosanitaire pour la zone concernée a fait l'objet d'une adaptation avec une échelle à cinq niveaux (très faible, faible, modérée, élevée et très élevée) associée à un niveau d'incertitude à trois niveaux (faible, modéré, élevé).

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise.

Les déclarations d'intérêts des experts sont publiées sur le site internet : <https://dpi.sante.gouv.fr/>.

### 3. ANALYSE ET CONCLUSIONS DU CES ET DU GT

Cette analyse de risque phytosanitaire d'*Amaranthus palmeri* pour la France métropolitaine (1<sup>er</sup> volet de la saisine), fait suite à celle de l'OEPP réalisée en 2020 pour l'Europe. Elle apporte une analyse plus fine au regard du contexte climatique et agricole de la France métropolitaine et bénéficie des nombreuses études et publications réalisées depuis 2020 sur cette espèce. Entre 2020 et 2025, 837 publications portant sur *A. palmeri* sont recensées dans Web of Science. De plus, elle bénéficie de l'expérience récente de l'Espagne qui fait actuellement face à une forte infestation de populations d'*A. palmeri* résistantes à différents herbicides et ayant un fort impact sur les cultures estivales et certaines cultures pérennes comme vergers, vigne et luzerne.

#### 3.1. Principale caractéristique d'*Amaranthus palmeri* : une plante envahissante

*Amaranthus palmeri* présente un grand nombre de caractères lui conférant une qualité de plante compétitrice des cultures très performante (sur la base de la définition des

<sup>4</sup> Ou évaluation du risque simplifiée

caractéristiques d'une espèce végétales envahissante remarquable établie par Baker (1974)<sup>5</sup> :

- Germination dès 10°C du printemps à l'automne ;
- espèce annuelle à croissance très rapide, bourgeonnement possible de la base après fauche ;
- très fort enracinement, feuilles disposées en hélice optimisant l'interception du rayonnement lumineux ;
- fructification abondante (jusqu'à 600 000 graines par pied femelle) ;
- pollinisation anémophile, allogamie mais apomixie possible ;
- grande plasticité écologique (pH, sécheresse, fertilité) ;
- graines très petites facilement dispersées ;
- production de substances allélopathiques et de pollen allergénique ;
- résistance à différentes familles d'herbicides.

### 3.2. Entrée dans la zone ARP

Le GT considère la probabilité d'entrée d'*A. palmeri* très élevée compte tenu des données suivantes :

- du soja destiné à l'alimentation animale est importé régulièrement en France depuis le Brésil (pays où *A. palmeri* est également présente de façon pérenne) bien que de façon moins importante que pour l'Espagne ;
- des échanges commerciaux (aliments pour bétail) et de matériels agricoles existent entre l'Espagne et la France ;
- et des populations permanentes de l'espèce sont observées en Espagne et en Italie.

L'incertitude est jugée modérée car les importations en provenance du Brésil sont régulières. En revanche, les données concernant les échanges entre l'Espagne et la France, sont non exhaustives ou indisponibles (exemples : mouvements de matériels agricoles transfrontaliers entre l'Espagne et le Sud-Ouest de la France par exemple ou le volume d'aliments pour bétail en provenance d'Espagne, et achetés par des agriculteurs français).

### 3.3. Établissement à l'extérieur dans la zone ARP

Depuis le début du 20<sup>ème</sup> siècle, *A. palmeri* a démontré de très fortes capacités d'adaptation à de nouvelles conditions climatiques, lors de son expansion spectaculaire hors de son aire de distribution native à travers l'Amérique du nord (Briscoe Runquist *et al.*, 2019). Il n'est donc pas exclu que cette espèce puisse s'adapter à des climats que nous considérons comme peu favorables à son établissement à la lumière de ce travail ou pour lesquels nos analyses révèlent un niveau d'incertitude élevé.

Sur la base des résultats de modélisation (climat actuel et période 2041-2060), le GT juge élevée la probabilité d'établissement d'*A. palmeri* à l'extérieur dans la zone ARP avec une incertitude faible, du fait que les zones considérées favorables demeurent limitées à l'échelle du territoire métropolitain. L'analyse des projections climatiques selon différents scénarios d'évolution du climat indique une augmentation globale de la compatibilité climatique de l'Europe, pour la période 2041–2060, quel que soit le scénario envisagé. En France, les

<sup>5</sup> Baker H.G. (1974). The evolution of weeds. Annual Review of Ecology and Systematics, Vol. 5 (1974), pp. 1-24.

zones favorables s'élargissent à l'ouest et au centre du pays, notamment vers l'Aquitaine et le Val de Loire, un résultat observé dans une large proportion des projections, avec cependant un certain niveau d'incertitude.

### 3.4. Dissémination dans la zone ARP

Le GT considère la magnitude de dissémination élevée avec une incertitude faible, du fait de sa dissémination par assistance humaine qui permet un transport des graines d'*A. palmeri* sur de grandes distances (les graines pouvant être transportées par du matériel agricole ou des produits agricoles contaminés (aliments du bétail, foin, fumier)).

### 3.5. Impact d'*Amaranthus palmeri* dans son aire de distribution actuelle

Sur la base de l'ensemble des données disponibles, le GT considère que l'impact d'*A. palmeri* dans la zone de distribution actuelle est très élevé en milieux agricoles sur les cultures estivales avec une incertitude faible.

En revanche, l'impact d'*A. palmeri* sur les milieux naturels est faible avec une incertitude faible.

### 3.6. Impact potentiel d'*Amaranthus palmeri* dans la zone ARP

Le GT considère que l'impact potentiel d'*Amaranthus palmeri* dans la zone ARP est élevé avec une incertitude modérée.

Le GT considère que les impacts qui pourraient être observées dans la zone ARP seraient moindres que dans la zone de distribution actuelle en raison des pratiques culturales différentes en France et moins favorables que celles pratiquées dans la zone d'origine (pas de culture OGM tolérante aux herbicides non sélectifs, faible surface en semis direct). Par ailleurs, les cultures de maïs notamment, qui pourraient être infestées par *A. palmeri* ne se situent pas toutes dans des zones climatiquement favorables à l'amarante.

Pour autant, les impacts potentiels d'*A. palmeri* dans la zone ARP concerneraient significativement et principalement les milieux agricoles. En effet, les impacts observés dans la zone de distribution actuelle indiquent que le développement de populations de cette espèce au sein de certaines cultures présentes dans la zone ARP peut être très rapide et engendrer une forte compétition avec les plantes cultivées, entraînant des pertes importantes sur les rendements. Notamment, la présence de quelques individus par mètre carré est susceptible de réduire fortement le rendement des cultures de maïs, de sorgho et de soja, avec des pertes mesurées dans la zone de distribution actuelle allant de 6 % à plus de 90 % pour le maïs, 50 % pour le sorgho et jusqu'à 65 % pour le soja (USDA, 2019).

Cependant, compte tenu de la différence de pratiques agricoles en France métropolitaine (absence d'OGM, peu de semis direct avec utilisation répétée d'herbicides totaux) par rapport aux États-Unis et au Brésil (usage généralisé d'OGM, et de semis direct avec utilisation massive d'herbicides non sélectifs qui favorisent les populations d'*A. palmeri* résistantes) l'importance de l'impact potentiel d'*A. palmeri* à l'échelle de la zone ARP (France métropolitaine) n'est considérée qu'élevée comparativement à l'importance de l'impact dans la zone de distribution actuelle qui est jugée très élevée. L'impact économique potentiel résultant est dépendant du niveau d'infestation des cultures concernées. Ces trois grandes cultures (maïs, soja, sorgho) représentent des surfaces significatives dans la zone ARP. Le maïs représente une filière importante dans la zone ARP, avec près de 3 millions d'hectares



cultivés en 2024, soit environ 10 % de la surface agricole utile et une tendance à la hausse (Agreste, 2024), notamment dans des zones géographiquement exposées à un risque d'invasion de l'espèce (proximité des pays dans lesquels l'espèce est déjà présente) et/ou aux conditions climatiques susceptibles de permettre le développement de populations viables, notamment la Nouvelle-Aquitaine et l'Occitanie, ainsi que la vallée du Rhône et l'Alsace. La surface occupée par les cultures de soja dans la zone ARP en 2024 est estimée à 149 000 ha et celle occupée par le sorgho à 69 000 ha, soit environ 0,5 % et 0,2 % de la surface agricole utile, une proportion importante de ces surfaces étant également situées dans les régions dont les conditions climatiques sont potentiellement propices à l'installation de l'espèce.

De plus, dans la zone de distribution actuelle, *A. palmeri* peut impacter négativement le rendement des cultures maraîchères telles que la tomate (diminution du rendement allant jusqu'à 49 % pour certaines variétés, culture représentant 475 500 tonnes de production par an dans la zone ARP (Agreste, 2024). En Espagne, *A. palmeri* infeste également les vergers et luzernes et en Californie elle commence à représenter une menace dans les jeunes vignes. Vergers, luzerne et vigne sont des cultures très importantes dans la zone ARP et leur infestation par *A. palmeri* pourrait occasionner des pertes de rendement importantes.

L'espèce étant potentiellement résistante à des herbicides d'utilisation courante, les coûts de gestion des populations installées pourront nécessiter des méthodes alternatives potentiellement plus onéreuses que les méthodes conventionnelles (herbicides alternatifs – autres que ceux faisant l'objet d'une résistance dans la population à gérer, lutte mécanique, lutte biologique).

Le développement de populations d'*A. palmeri* dans la zone ARP entraînerait également des allergies dans la population humaine, comme l'ont montré les études réalisées dans la zone actuellement occupée par l'espèce.

L'impact de populations d'*A. palmeri* sur les milieux naturels (berges de cours d'eau) ou non cultivés (bords de route, jardins publics...) est considéré comme mineur.

### 3.7. Identification des zones les plus menacées

Sur la base des résultats de modélisation de la distribution potentielle d'*A. palmeri* en fonction du climat en France métropolitaine, les zones climatiquement favorables avec une incertitude faible et donc considérées comme les plus menacées en France métropolitaine sont situées :

- dans le sud du pays : les côtes méditerranéennes (Occitanie, Provence-Alpes-Côte d'Azur, Corse) ainsi que dans le Tarn et le Tarn-et-Garonne ;
- d'autres zones favorables, plus localisées, se rencontrent dans les régions Centre-Val de Loire, Bourgogne-Franche-Comté et Alsace ;
- de larges zones considérées comme climatiquement favorables mais avec incertitude modérée sont identifiées en Nouvelle-Aquitaine, en Centre-Val de Loire et en Île-de-France.

### 3.8. Évaluation globale du risque phytosanitaire

*Amaranthus palmeri* est une espèce à fort potentiel envahissant ayant un impact très important sur les rendements de nombreuses cultures d'été (soja, maïs, tomate, oignon, tournesol et dans une moindre mesure luzerne, vergers, vignes).

*A. palmeri* a démontré une capacité importante d'adaptation et de colonisation de régions dont le climat est différent de celui de sa zone d'origine.

Les pays d'où sont importés des produits tels que le soja et le maïs pour l'alimentation du bétail (États-Unis, Brésil) et les pays limitrophes de la France (Espagne et Italie) présentent des populations d'*A. palmeri* résistantes à différents herbicides dont le glyphosate et les inhibiteurs de l'ALS, ce qui rend la lutte contre cette espèce très difficile.

Les produits importés tels que le soja et le maïs pour la fabrication d'aliments du bétail ne font pas l'objet d'une réglementation ni d'un contrôle particulier, et ils sont la source avérée et régulière de l'introduction d'*A. palmeri* (via des lots de soja ou de maïs contaminés par des graines d'*A. palmeri*) en Espagne.

*A. palmeri* a la capacité de s'hybrider avec d'autres amarantes et de leur transmettre les gènes de résistance à de multiples herbicides.

Les régions de France métropolitaine dont le climat est favorable au développement d'*A. palmeri* et présentant des cultures estivales susceptibles d'être colonisées et impactées par l'organisme nuisible sont limitées au sud (et plus particulièrement dans le sud-est) et en Alsace, et dans une moindre mesure au sud-ouest de la France Métropolitaine.

Par conséquent, le GT considère que :

- La probabilité d'entrée d'*A. palmeri* en France métropolitaine est jugée très élevée avec une incertitude modérée pour les raisons suivantes :
  - des importations régulières de soja et maïs sont réalisées en provenance de pays infestés tels que les États-Unis et le Brésil ;
  - ces produits ne font pas l'objet de réglementation interdisant la présence de graines d'*A. palmeri*, et ne font donc pas l'objet de contrôle ;
  - des populations d'*A. palmeri* en fort développement sont présentes en Italie et en Espagne et des échanges (aliments pour bétail, foin...) existent entre l'Espagne et le sud de la France.
- La probabilité d'établissement d'*A. palmeri* en France métropolitaine est considéré comme élevé avec une incertitude faible pour les raisons suivantes :
  - différentes régions de France métropolitaine présentent un climat favorable à son développement ;
  - dans ces régions, différentes cultures estivales (notamment maïs, soja, sorgho) permettant son développement sont communes.
- Le potentiel de dissémination est jugé élevé (du fait de la dissémination à longue distance par assistance humaine) avec une incertitude faible (sur la base des observations faites en Espagne).
- L'impact d'*A. palmeri* sur la production agricole globale dans la zone de distribution actuelle est jugé très élevé pour les cultures estivales (telles que le maïs, le soja, ou le sorgho) avec une incertitude faible. L'impact est jugé modéré en vergers ou en cultures pérennes et faible en milieu naturel avec une incertitude faible.
- Compte tenu de la différence de pratiques agricoles en France métropolitaine (absence d'OGM et peu de semis direct) par rapport aux États-Unis et au Brésil (forte utilisation de variétés OGM associées au non travail du sol et à des herbicides non sélectifs favorisant les populations résistantes), l'impact potentiel d'*A. palmeri* dans la zone ARP (France métropolitaine) est jugé élevé, avec une incertitude modérée, particulièrement pour les cultures annuelles estivales et dans les régions dont le climat est

particulièrement favorable à son développement (sud-est et du sud-ouest), notamment du fait de la proximité de populations d'*A. palmeri* en Italie et en Espagne et des caractères de résistances à différents herbicides tels que le glyphosate et les inhibiteurs de l'acétolactate synthase (ALS) déjà acquis.

Pour ces raisons le GT a évalué que le risque phytosanitaire global est élevé avec un niveau d'incertitude modéré du fait de la disparité des régions de France métropolitaine quant à leur compatibilité climatique pour l'établissement d'*A. palmeri* et la répartition des cultures estivales favorables à son développement.

Le GT recommande l'inscription d'*A. palmeri* comme organisme nuisible dans le cadre du Règlement (UE) 2016/2031 du Parlement européen et du Conseil du 26 octobre 2016 relatif aux mesures de protection contre les organismes nuisibles aux végétaux.

### 3.9. Gestion du risque lié à *Amaranthus palmeri*

Pour faire face à ce risque, et dans la perspective de la réglementation d'*A. palmeri*, le GT recommande :

- le contrôle des lots de soja et de maïs importés et destinés à l'alimentation animale (bien que soumis à un contrôle de pureté botanique à 95 % selon le Règlement (UE) 2022/1104) pour détecter leur éventuelle contamination par des graines d'*A. palmeri* (par des laboratoires capables de réaliser ces analyses), dès lors que *A. palmeri* sera inscrite comme organisme nuisible dans le cadre du règlement (UE) 2016/2031 ;
- une surveillance des territoires notamment dans les régions favorables à l'établissement d'*A. palmeri* pour une détection précoce et la mise en œuvre d'une démarche d'éradication en cas d'observation confirmée de l'espèce dans les régions favorables à son établissement.

## 4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DE L'AGENCE

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) endosse les conclusions du groupe de travail et du CES « Risques biologiques pour la santé des végétaux ».

L'Anses recommande en particulier l'inscription d'*Amaranthus palmeri* comme organisme nuisible dans le cadre du Règlement (UE) 2016/2031 relatif aux mesures de protection contre les organismes nuisibles aux végétaux, compte tenu du caractère envahissant de cette adventice pour les cultures estivales, telles que le maïs, et de sa forte capacité à acquérir des résistances aux herbicides.

A la faveur du dérèglement climatique, les zones de la France métropolitaine, favorables à l'établissement d'*A. palmeri*, pourraient s'élargir, d'autant plus qu'*A. palmeri* a démontré une grande capacité d'adaptation et donc de colonisation de nouvelles zones géographiques.

Gilles Salvat

## MOTS-CLÉS

*Amaranthus palmeri*, Amarante de Palmer, filières d'entrée, habitat, établissement, modélisation, dissémination, impact, hybridation, résistance herbicide, gestion, France métropolitaine.

*Amaranthus palmeri*, Palmer amaranth, pathways, suitable habitats, establishment, climate suitability modelling, spread, impact, hybridization, herbicide resistance, phytosanitary measures, metropolitan France.

## CITATION SUGGÉRÉE

Anses. (2025). Evaluation du risque simplifiée relative à *Amaranthus palmeri* pour la France métropolitaine. (saisine n°2024-SA-0072). Maisons-Alfort : Anses, 10 p.

---

**Evaluation du risque simplifiée relative à  
*Amaranthus palmeri* pour la France métropolitaine**

---

**Saisine « 2024-AUTO-0072 - *Amaranthus palmeri* »**

**RAPPORT  
d'expertise collective**

**« Comité d'experts spécialisé sur les risques biologiques  
pour la santé des végétaux »**

**« Groupe de travail *Amaranthus palmeri* »**

**Septembre 2025**

## Citation suggérée

---

Anses. (2025). Evaluation du risque simplifiée relative à *Amaranthus palmeri* pour la France métropolitaine. (saisine n°2024-SA-0072). Maisons-Alfort : Anses, 90 p.

## Mots clés

---

*Amaranthus palmeri*, Amarante de Palmer, filières d'entrée, habitat, établissement, modélisation, dissémination, impact, hybridation, résistance herbicide, gestion, France métropolitaine.

*Amaranthus palmeri*, Palmer amaranth, pathways, suitable habitats, establishment, climate suitability modelling, spread, impact, hybridization, herbicide resistance, phytosanitary measures, metropolitan France.

## Présentation des intervenants

**PRÉAMBULE** : Les experts membres de comités d'experts spécialisés, de groupes de travail ou désignés rapporteurs sont tous nommés à titre personnel, *intuitu personae*, et ne représentent pas leur organisme d'appartenance.

### GROUPE DE TRAVAIL

---

#### Président

M. Thomas LE BOURGEOIS – Malherbologue, CIRAD Montpellier

#### Membres

M. Grégoire BLANCHARD – Ecologue, CIRAD Guadeloupe

M. Guillaume FRIED – Botaniste, Ecologue, Malherbologue, ANSES Laboratoire de la Santé des Végétaux Montpellier

Mme Elena KAZAKOU – Botaniste, Ecologue, Institut Agro Montpellier

M. Jean-Pierre ROSSI – Modélisateur, INRAE Montpellier

.....

### COMITÉ D'EXPERTS SPÉCIALISÉ

---

Les travaux, objets du présent rapport ont été suivis et adoptés par le CES suivant :

- Risques biologiques pour la santé des végétaux – 2022/2026

#### Président

M. Thomas LE BOURGEOIS – Directeur de recherche, CIRAD, UMR Botanique et Modélisation de l'Architecture des Plantes et des végétations

#### Membres

M. Thierry CANDRESSE – Directeur de recherche, INRAE, Centre Nouvelle-Aquitaine-Bordeaux

M. Philippe CASTAGNONE – Directeur de recherche, INRAE, Centre PACA, Institut Sophia Agrobiotech

M. Nicolas DESNEUX – Directeur de recherche, INRAE, Centre PACA, Institut Sophia Agrobiotech

Mme Sandrine EVEILLARD – Chargée de recherche, INRAE, Centre Nouvelle-Aquitaine-Bordeaux

Mme Florence FONTAINE – Professeure des Universités, Université Reims-Champagne-Ardenne

M. Pascal GENTIT – Chef de l'Unité Bactériologie, Virologie, OGM, Laboratoire de la santé des végétaux, Anses

M. Martin GODEFROID – Postdoctorant, CSIC, Espagne (Madrid)

Mme Lucia GUERIN – Maître de Conférences, Bordeaux Sciences Agro, Bordeaux

M. Bruno HOSTACHY – Retraité, Anses

M. Hervé JACTEL – Directeur de recherche, INRAE, Centre Nouvelle-Aquitaine-Bordeaux, UMR Biodiversité, Gènes & Communautés

Mme Eleni KAZAKOU – Professeure, SupAgro Montpellier

M. Christophe Le MAY – Maître de Conférences, Agrocampus Ouest, Rennes

M. Eric LOMBAERT – Ingénieur de recherche, INRAE, Centre PACA, Institut Sophia Agrobiotech

M. David MAKOWSKI – Directeur de recherche, INRAE, Centre Ile-de-France-Versailles, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, UMR MIA

M. Charles MANCEAU – Retraité, INRAE

M. Benoît MARCAIS - Directeur de recherche, INRAE, Centre Grand Est - Nancy

M. Arnaud MONTY – Enseignant-chercheur, Université de Liège - Département Biodiversité et Paysage

Mme Maria NAVAJAS – Directrice de recherche, INRAE, Centre Occitanie-Montpellier, UMR CBGP Centre de biologie pour la gestion des populations

Mme Cécile ROBIN – Directrice de recherche, INRAE, Centre Nouvelle-Aquitaine-Bordeaux

M. Aurélien SALLE – Maître de Conférences, Université d'Orléans

M. Frédéric SUFFERT – Ingénieur de recherche, INRAE, Campus Agro Paris-Saclay

M. Stéphan STEYER – Attaché scientifique, Centre wallon de Recherches Agronomiques, Département Sciences du Vivant, Responsable Virologie Végétale

M. Pierre-Yves TEYCHENEY – Directeur de recherche, Cirad, La Réunion

M. Éric VERDIN – Ingénieur de recherche, INRAE, Centre PACA Avignon, Unité de pathologie végétale

M. François VERHEGGEN – Enseignant-chercheur, Université de Liège - Unité Entomologie fonctionnelle et évolutive

.....

---

## **PARTICIPATION ANSES**

---

### **Coordination scientifique**

M. Emmanuel GACHET – Coordinateur scientifique d'expertise – Anses

### **Contribution scientifique**

Mme Juliette PAUTAS – Chargée de projet scientifique – Anses

.....

### **Secrétariat administratif**

Mme Séverine BOIX – Anses



## AUDITION DE PERSONNALITÉS EXTÉRIEURES

---

### **Université de Lleida – Agrotecnio – Espagne (Weed Science and Plant Ecology Research Group)**

M. Jordi RECASENS – Ecologue, Malherbologue

.....

### **ACTA – Les Instituts Techniques Agricoles**

M. Alain RODRIGUEZ – Ingénieur spécialiste flore adventice

.....

### **Terres Univia – L'interprofession des huiles et protéines végétales**

Mme Françoise LABALETTE – Directrice Adjointe, Responsable du pôle Economie et Filières

.....

## SOMMAIRE

<b>Présentation des intervenants .....</b>	<b>3</b>
<b>Expertise collective : synthèse de l'argumentaire et conclusions .....</b>	<b>8</b>
<b>Sigles et abréviations.....</b>	<b>10</b>
<b>Liste des tableaux .....</b>	<b>11</b>
<b>Liste des figures.....</b>	<b>12</b>
<b>1 Contexte, objet et modalités de réalisation de l'expertise.....</b>	<b>13</b>
1.1 Contexte .....	13
1.2 Objet de la saisine .....	14
1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation.....	15
1.4 Prévention des risques de conflits d'intérêts .....	15
<b>2 Évaluation du risque phytosanitaire simplifiée pour la France métropolitaine...16</b>	
2.1 Etape 1. Initiation .....	16
2.1.1 Motif ayant conduit à réaliser l'Analyse de risque phytosanitaire .....	16
2.1.2 Zone ARP .....	16
2.2 Etape 2. Evaluation du risque phytosanitaire .....	16
2.2.1 Taxonomie .....	16
2.2.2 Vue d'ensemble de l'organisme nuisible.....	18
2.2.3 L'organisme nuisible est-il un vecteur ?.....	29
2.2.4 Un vecteur est-il nécessaire pour l'introduction ou la dispersion de l'organisme nuisible ? .....	29
2.2.5 Statut réglementaire de l'organisme nuisible .....	29
2.2.6 Distribution géographique .....	30
2.2.7 Habitats et leur distribution dans la zone ARP .....	33
2.2.8 Filières d'entrée.....	34
2.2.9 Probabilité d'établissement à l'extérieur dans la zone ARP .....	41
2.2.10 Probabilité d'établissement en conditions protégées dans la zone ARP .....	43
2.2.11 Dissémination dans la zone ARP .....	43
2.2.12 Impact d' <i>Amaranthus palmeri</i> dans son aire de distribution actuelle.....	44
2.2.13 Impact potentiel dans la zone ARP.....	49
2.2.14 Identification des zones les plus menacées.....	51
2.2.15 Evaluation globale du risque phytosanitaire .....	51
2.3 Etape 3. Gestion du risque lié à <i>Amaranthus palmeri</i> .....	51
2.3.1 Prévention des introductions .....	52
2.3.2 Communication et information .....	52
2.3.3 Surveillance et détection précoce.....	53
2.3.4 Lutte.....	55

2.3.5	Consignes de nettoyage du matériel agricole après utilisation dans une zone contaminée.....	55
2.3.6	Retours d'expériences de plans de surveillance, d'information et de lutte précoce	55
<b>3</b>	<b>Conclusions du groupe de travail .....</b>	<b>57</b>
<b>4</b>	<b>Bibliographie.....</b>	<b>59</b>
4.1	Publications .....	59
4.2	Normes.....	65
4.3	Législation et réglementation .....	66
	<b>Annexe 1 : Lettre d'autosaisine.....</b>	<b>67</b>
	<b>Annexe 2 : Revue de la littérature (méthodologie appliquée) .....</b>	<b>71</b>
	<b>Annexe 3 : Modélisation de la distribution potentielle d'<i>Amaranthus palmeri</i> .....</b>	<b>72</b>
	<b>Annexe 4 : Méthode utilisée pour étudier la relation entre perte de rendement de culture et densité d'<i>Amaranthus palmeri</i> .....</b>	<b>85</b>
	<b>Annexe 5 : Revue approfondie de la littérature sur les capacités d'apomixie et d'hybridation d'<i>Amaranthus palmeri</i> .....</b>	<b>86</b>

## Expertise collective : synthèse de l'argumentaire et conclusions

**Résumé<sup>1</sup>** de l'Analyse Express de Risque Phytosanitaire pour "*Amaranthus palmeri* S.Watson"

**Zone de l'ARP :** *France métropolitaine*

**Décrire la région en danger :** *France métropolitaine*

### Principales conclusions

#### Évaluation globale du risque :

*Amaranthus palmeri* est une espèce à fort potentiel envahissant ayant un impact très important sur les rendements des cultures d'été (soja, maïs, tomate, oignon, tournesol et dans une moindre mesure luzerne, vergers, vignes).

*A. palmeri* a démontré une forte capacité, d'adaptation et de colonisation, dans des régions où le climat est différent de celui de sa zone d'origine.

Les pays d'où sont importés des produits tels que le soja et le maïs pour l'alimentation du bétail (Etats-Unis, Brésil) et les pays limitrophes de la France (Espagne et Italie) présentent des populations d'*A. palmeri* résistantes à différents herbicides dont le glyphosate et les inhibiteurs de l'ALS, ce qui rend la lutte contre cette espèce très difficile.

Les produits importés tels que le soja et le maïs pour la fabrication d'aliments du bétail ne font pas l'objet d'une réglementation ni d'un contrôle particulier, et ils sont la source avérée et régulière d'introductions d'*A. palmeri* (via des lots de soja ou de maïs contaminés par des graines d'*A. palmeri*) en Espagne.

*A. palmeri* a la capacité de s'hybrider avec d'autres amarantes et à leur transmettre des gènes de résistance à de multiples herbicides.

Les régions de France métropolitaine dont le climat est évalué comme favorable au développement d'*A. palmeri* et présentant des cultures estivales susceptibles d'être colonisées et impactées par l'organisme nuisible sont principalement au sud (Corse, régions PACA et Occitanie) et dans une moindre mesure au sud-ouest de la France Métropolitaine et en Alsace.

Pour ces différentes raisons le GT a évalué le risque phytosanitaire global comme étant élevé avec une incertitude modérée. Cette incertitude tient d'une part à la disparité des régions de France métropolitaine quant à leur compatibilité climatique pour l'établissement d'*A. palmeri* et d'autre part à l'absence en France de cultures OGM tolérantes aux herbicides, associées à un non travail du sol et une utilisation massive d'herbicides non sélectifs qui favorise l'émergence de résistances à ces herbicides (situation de l'Amérique du nord et du Brésil).

Le GT recommande l'inscription d'*A. palmeri* comme organisme nuisible dans le cadre du Règlement (UE) 2016/2031 du Parlement européen et du Conseil du 26 octobre 2016 relatif aux mesures de protection contre les organismes nuisibles aux végétaux.

*Mesures phytosanitaires :*

Dans la perspective de réglementer *A. palmeri*, les principales mesures phytosanitaires à mettre en œuvre dès à présent seraient I) au niveau national, le contrôle des lots de soja et de maïs importés et destinés à l'alimentation animale (bien que soumis à un contrôle de pureté botanique à 95% selon le règlement (UE) 2022/1104) pour détecter leur éventuelle contamination par des graines d'*A. palmeri* (par des laboratoires capables de réaliser ces analyses), et II) particulièrement dans les régions de France métropolitaine favorables à l'établissement d'*A. palmeri*, la surveillance pour une détection précoce de toute présence de l'espèce .

Il convient également d'élaborer des mesures d'éradication immédiate en cas de détection, dans une démarche de tolérance zéro à l'établissement d'*A. palmeri*.

<b>Risque phytosanitaire pour la zone en danger</b> ( <i>Evaluation distincte de la probabilité d'entrée et d'établissement, et de la magnitude de la dissémination et de l'impact apportée dans le rapport</i> )	Très élevé <input type="checkbox"/>	<b>Elevé X</b>	Modéré <input type="checkbox"/>	Faible <input type="checkbox"/>	Très faible <input type="checkbox"/>
<b>Niveau d'incertitude de la décision</b> ( <i>Evaluation distincte de l'incertitude associée à la probabilité d'entrée et d'établissement, et à la magnitude de la dissémination et de l'impact apportée dans le rapport</i> )	Elevé <input type="checkbox"/>		<b>Modéré X</b>	Faible <input type="checkbox"/>	

**Autres recommandations : RAS**

## Sigles et abréviations

GBIF : Global Biodiversity Information Facility

CES : Comité d'experts spécialisé

OEPP : Organisation Européenne et Méditerranéenne pour la Protection des Plantes

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Liste des taxons du genre <i>Amaranthus</i> présents en France métropolitaine, statuts et répartition. En gras, les taxons dont la présence est considérée comme permanente (indigène et naturalisée) (Tison et de Foucault, 2014).....	17
Tableau 2 : Critères de différenciation de différentes espèces du genre <i>Amaranthus</i> .....	23
Tableau 3 : Caractéristiques d'une espèce végétale envahissante remarquable et d' <i>Amaranthus palmeri</i> .....	28
Tableau 4 : Distribution géographique d' <i>Amaranthus palmeri</i> .....	31
Tableau 5 : Habitats et cultures concernés dans l'aire actuelle de distribution d' <i>Amaranthus palmeri</i> .....	32
Tableau 6 : Habitats et cultures concernés et leur distribution dans la zone ARP .....	33
Tableau 7 : Données d'importation de maïs ou de soja en provenance du Brésil, d'Espagne et des États-Unis (Source Eurostat ; consultation le 03/06/2025). .....	35
Tableau 8 : Données d'importation de maïs ou de soja en provenance du Brésil en 2023 et en 2024 selon les postes de contrôle frontalier (Source TRACES ; communication Sivep, le 01/04/2025 et le 03/06/2025).....	36
Tableau 9 : Principales filières d'entrée potentielles identifiées .....	40
Tableau 10 : conclusion du groupe de travail sur la probabilité d'entrée d' <i>Amaranthus palmeri</i> dans la zone ARP.....	41
Tableau 11 : Evaluation de la probabilité d'établissement d' <i>Amaranthus palmeri</i> à l'extérieur dans la zone ARP.....	43
Tableau 12 : Évolution du % d'infestation par <i>Amaranthus palmeri</i> des surfaces cultivées dans deux états des États-Unis entre 2016 et 2020 : le Colorado et le Nébraska .....	44
Tableau 13 : Évaluation de la magnitude de la dissémination d' <i>A. palmeri</i> dans la zone ARP .....	44
Tableau 14 : Evaluation de la magnitude de l'impact en milieux agricoles d' <i>Amaranthus palmeri</i> dans la zone de distribution actuelle.....	49

## Liste des figures

Figure 1 : Plantule d' <i>Amaranthus palmeri</i> .....	20
Figure 2 : Jeune plante à feuilles disposées en hélice régulière, caractéristique d' <i>Amaranthus palmeri</i> .....	20
Figure 3 : Inflorescence terminale de 60 cm de long d' <i>Amaranthus palmeri</i> .....	21
Figure 4 : Inflorescence mâle et inflorescence femelle d' <i>Amaranthus palmeri</i> .....	21
Figure 5 : Graines lenticulaires brun rouge, brillantes d' <i>Amaranthus palmeri</i> de 1-1,2 mm de diamètre .....	21
Figure 6 : Planche botanique d' <i>Amaranthus palmeri</i> qui montre l'utricule déhiscent circumsessile et la fleur mâle (bas gauche) à tépales courts et la fleur femelle (bas droite) à tépales épineux longs.....	22
Figure 7 : Compatibilité du climat actuel avec le développement d' <i>A. palmeri</i> . Carte du consensus obtenu pour les trois modèles utilisés avec les données climatiques actuelles. Les couleurs représentent le nombre de modèles prédisant des conditions climatiques favorables à <i>A. palmeri</i> (bleu : 0 ; vert : 1 ; orange : 2 ; rouge 3).....	42
Figure 8 : Perte de rendements des cultures (en % par rapport à une situation sans <i>Amaranthus palmeri</i> ) en fonction du nombre d'individus par m <sup>2</sup> d' <i>Amaranthus palmeri</i> . .....	46
Figure 9 : Répartition des surfaces agricoles occupées par le maïs (inclus maïs doux et maïs fourrager), le soja et le sorgho dans la zone ARP.....	50



# 1 Contexte, objet et modalités de réalisation de l'expertise

## 1.1 Contexte

*Amaranthus palmeri* S.Watson, de la famille des Amaranthaceae, est une adventice annuelle estivale dioïque (individus mâles et individus femelles distincts) à feuilles larges qui se caractérise par une croissance rapide, une très forte production de graines (jusqu'à 600 000 graines par individu femelle), une utilisation efficace des ressources et une adaptabilité à divers environnements naturels et divers systèmes de culture. Les semences peuvent être produites par fécondation ou par apomixie<sup>2</sup> (Ribeiro *et al.*, 2014), cette apomixie facultative permettant aux pieds femelles de se reproduire indépendamment de la présence de pieds mâles. A partir des années 2000, *A. palmeri* est devenue la principale adventice des cultures OGM de maïs et soja aux États-Unis, où les populations résistantes au glyphosate sont déjà présentes dans 28 états et couvrent plusieurs centaines de milliers d'hectares. Le sex-ratio des populations est estimé à 50/50, cependant le déterminisme du sexe d'un individu demeure inconnu (génétique, environnemental, structure de population).

Les populations d'*A. palmeri* se sont étendues depuis leur aire d'origine à partir du début du 20<sup>ème</sup> siècle, au nord du Mexique et dans le sud-ouest des États-Unis, jusque dans le nord-est des États-Unis, le Canada, dans l'arc des Caraïbes (République Dominicaine, Cuba), en Amérique du Sud, en Asie (Inde, Chine) et sur le pourtour méditerranéen. Les premières introductions en Europe datent des années 1950, et à partir des années 2010, des populations permanentes de cette espèce sont signalées dans plusieurs pays européens et méditerranéens : Italie, Espagne, Grèce, Turquie, Chypre, Israël, Tunisie et tout récemment Maroc (Tanji, 2023). Des populations occasionnelles ont été observées en Belgique, en Allemagne, en Suède et en France (1962, Alsace). En Espagne, les premiers peuplements ont été localisés dans une zone de reconditionnement de semences importées (maïs, soja) puis rapidement le long des routes, et dans les champs avoisinants.

Cette espèce a fait l'objet de différentes analyses de risque phytosanitaires (ARP) pour la Chine (2013), le Canada (2018), les États-Unis (2019-2020) et la zone OEPP qui couvre le continent européen et le bassin méditerranéen (OEPP, 2020).

Elle est déjà réglementée en Espagne et au Maroc où elle fait l'objet d'une lutte obligatoire, mais à ce jour il n'existe pas de réglementation française concernant cette espèce malgré la production d'une fiche d'alerte par l'Anses en février 2013.

Les filières d'entrée identifiées concernent l'importation de semences de cultures estivales et les céréales destinées à la transformation industrielle pour l'alimentation humaine ou animale. Sa dissémination naturelle est assurée localement par barochorie<sup>3</sup> et hydrochorie<sup>4</sup> et, à longue distance, par les activités humaines (récoltes, lots de semences, matériel agricole contaminé).

<sup>2</sup> Capacité qu'ont certaines espèces végétales de former des graines contenant un embryon identique à la plante-mère, sans fécondation entre gamètes mâle et femelle.

<sup>3</sup> Mode de dispersion des graines par la gravité, en tombant.

<sup>4</sup> Mode de dispersion des graines par l'eau.

La modélisation des conditions climatiques favorables à son développement, réalisée sur l'ensemble de la zone OEPP (OEPP, 2020), montre que l'espèce peut s'établir sur l'ensemble du pourtour méditerranéen.

Des publications scientifiques récentes (Matzrafi *et al.*, 2023, Manicardi *et al.*, 2023) montrent, par ailleurs, que certaines des populations permanentes qui sont présentes dans des régions frontalières du territoire hexagonal, notamment à Lleida et Huesca, en Espagne, et dans le Piedmont et en Émilie Romagne, en Italie, sont résistantes au glyphosate ou à d'autres herbicides (de la famille des inhibiteurs de l'acétolactate synthase). De plus, il a été confirmé que le caractère de résistance à certains herbicides peut être transféré à d'autres espèces d'Amarantes présentes en France et avec lesquelles *A. palmeri* pourrait s'hybrider (Pereira & Dunning, 2023).

## 1.2 Objet de la saisine

Compte tenu qu'*A. palmeri* n'appartient pas à la liste des espèces exotiques envahissantes préoccupantes pour l'Union européenne (Règlement (UE) n°1143/2014), que les régions méridionales de la France métropolitaine et les Antilles françaises présentent des conditions climatiques potentiellement favorables à son établissement, et que des populations de cette espèce sont présentes à proximité (en Espagne et en Italie pour la France métropolitaine, à Cuba et en République Dominicaine pour les Antilles françaises), cette auto-saisine a pour objectifs de réaliser une évaluation du risque simplifiée relative à *A. palmeri* à l'échelle du territoire :

- de la France métropolitaine pour les productions agricoles estivales (maïs, soja, tournesol) et les milieux non cultivés ;
- des Antilles françaises pour les productions de banane et de canne à sucre.

Cette évaluation du risque simplifiée relative à *A. palmeri* pour la France métropolitaine et les Antilles françaises permettra :

- d'identifier les filières d'entrée et d'évaluer sa probabilité d'entrée pour les deux zones ;
- d'évaluer sa probabilité d'établissement en France métropolitaine et dans les Antilles françaises, à court et moyen termes et en tenant compte des prévisions d'évolution climatique.
- d'évaluer sa vitesse de dissémination sachant qu'une dissémination sur de longues distances par assistance humaine pourrait être assurée par la circulation d'engins agricoles, le transport de graines.

Dans la mesure où le risque lié à *A. palmeri* serait jugé fort, il s'agirait ensuite d'élaborer des recommandations :

- Pour la surveillance du territoire (dans le sud de la France métropolitaine et aux Antilles) en vue de la détection précoce de toute introduction de l'espèce ;
- De mesures de gestion pour son éradication, en cas de signalement confirmé d'un foyer.

Les conclusions de l'évaluation du risque simplifiée pour la France métropolitaine pourraient éventuellement soutenir la proposition d'inscription d'*A. palmeri* comme organisme nuisible dans le cadre du Règlement (UE) 2016/2031 du Parlement européen et du Conseil du 26 octobre 2016 relatif aux mesures de protection contre les organismes nuisibles aux végétaux. En effet, l'alinéa 2 de l'article premier du règlement prévoit que « Lorsque des

éléments mettent en évidence que des plantes non parasites, autres que celles régies par l'article 4, paragraphe 1, du règlement (UE) n° 1143/2014, présentent des risques phytosanitaires qui auraient une incidence économique, sociale ou environnementale extrêmement grave pour le territoire de l'Union, ces plantes non parasites peuvent être considérées comme des organismes nuisibles aux fins du présent règlement ».

### 1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation

L'Anses a confié au groupe de travail « *Amaranthus palmeri* », rattaché au Comité d'experts spécialisé « Risques biologiques pour la santé des végétaux » l'instruction de cette auto-saisine.

Les travaux d'expertise du groupe de travail ont été soumis régulièrement au CES et pour validation le 23 septembre 2025 (tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques). Le rapport produit par le groupe de travail tient compte des observations et éléments complémentaires transmis par les membres du CES.

Ces travaux sont ainsi issus d'un collectif d'experts aux compétences complémentaires.

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – prescriptions générales de compétence pour une expertise (janvier 2024) ».

Le plan du rapport d'expertise collective est celui du schéma d'aide à la décision pour une analyse de risque phytosanitaire express<sup>5</sup> de l'Organisation Européenne et Méditerranéenne de la Protection des Plantes (OEPP/EPPO) (EPPO Standard PM 5/5(1)) en 2012 et actualisé entre 2021 et 2024. La conduite de l'expertise a suivi les lignes directrices de ce schéma, à savoir : une étape d'initiation, puis une étape d'évaluation du risque phytosanitaire avec plus particulièrement une évaluation de la probabilité d'entrée, d'établissement, de dissémination et d'impact d'*Amaranthus palmeri* pour la zone ARP considérée. L'EPPO Standard PM 5/5(1) prévoit une graduation qualitative de la probabilité d'entrée, d'établissement, de magnitude de dissémination et d'impact à 5 niveaux (très faible, faible, modérée, élevé et très élevé) associée à une incertitude avec une graduation à trois niveaux (faible, modéré, élevée). La graduation du risque phytosanitaire pour la zone concernée a fait l'objet, dans le présent rapport, d'une adaptation avec une échelle à cinq niveaux (très faible, faible, modéré, élevé et très élevé) associée à une incertitude à trois niveaux (faible, modéré, élevé).

### 1.4 Prévention des risques de conflits d'intérêts

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise.

Les déclarations d'intérêts des experts sont publiées sur le site internet <https://dpi.sante.gouv.fr/>.

---

<sup>5</sup> Ou évaluation du risque simplifiée

## 2 Évaluation du risque phytosanitaire simplifiée pour la France métropolitaine

### 2.1 Etape 1. Initiation

#### 2.1.1 Motif ayant conduit à réaliser l'Analyse de risque phytosanitaire

Les arguments ayant conduit à réaliser une analyse de risque phytosanitaire (ARP) sont les suivants :

- Présence de populations permanentes d'*Amaranthus palmeri* à proximité immédiate de la France métropolitaine, en Espagne (Lleida et Huesca) et en Italie (Piemont et Émilie Romagne) ;
- Ces populations sont résistantes au glyphosate et à d'autres herbicides de la famille des inhibiteurs de l'acétolactate synthase.
- Il est confirmé qu'*Amaranthus palmeri* peut s'hybrider avec d'autres Amarantes et que le caractère de résistance à certains herbicides peut être transféré à d'autres espèces d'Amarante présentes en France.
- Les régions méridionales de la France métropolitaine ont été prédites par d'autres études comme présentant des conditions climatiques favorables à son établissement et différentes cultures et milieux sont susceptibles d'être infestés.
- *Amaranthus palmeri* n'appartient pas à la liste des espèces exotiques envahissantes préoccupantes pour l'Union européenne du Règlement (UE) n°1143/2014.

#### 2.1.2 Zone ARP

La zone ARP est la France métropolitaine pour le premier volet de l'auto-saisine.

### 2.2 Etape 2. Evaluation du risque phytosanitaire

#### 2.2.1 Taxonomie

La taxonomie d'*Amaranthus palmeri* est décrite ci-dessous, selon le référentiel taxonomique de GBIF (GBIF, 2024).

**Royaume** : Plantae

**Phylum** : Tracheophyta

**Ordre** : Caryophyllales

**Famille** : Amaranthaceae

**Genre** : *Amaranthus* L.

**Espèce** : *Amaranthus palmeri* S.Watson

Synonymes : *Alternanthera palmeri* (S.Watson), *Amaranthus gonzalii* Senen, *Amaranthus gonzaloii* Senen, 1927, *Amaranthus palmeri* var. *glomeratus* Uline & W.L.Bray

Noms communs (selon OEPP/EPPO, 2024) : Amaranthe de Palmer (Fr), Dioecious amaranth (En), Careless weed, Palmer amaranth, Palmer's pigweed, pigweed (En-USA), Quelite, Quelite de aguas (Sp), Palmer-Fuchsschwanz, Palmer-Amaranth (De), Bledo (Ar), Caruru, Caruru-palmeri (Br), Quintonil tropical (Mx), Tweehuizige amarant (NL), Kvarnamarant (Se).

CodeOEPP/EPPO : AMAPA

Le genre *Amaranthus* L. comprend 105 espèces au nom scientifique accepté (World Flora Online, 2024). Elles sont originaires des régions tropicales et tempérées d'Amérique, d'Afrique, d'Asie, d'Océanie et d'Europe et ont largement diffusé dans toutes les régions plus septentrionales du globe. En France métropolitaine, d'après Flora Gallica (Tison et de Foucault, 2014) et sa mise à jour à paraître, 25 taxons et 3 hybrides sont confirmés (Cf. Tableau 1). Parmi ceux-ci, on trouve une espèce indigène (*Amaranthus graecizans* subsp. *sylvestris*), 10 taxons naturalisés et un néotaxon hybridogène (taxon formé en Europe à partir de deux parents exogènes) qui ont une présence confirmée (présence permanente) ; 13 taxons ont une présence considérée comme occasionnelle (populations non permanentes). Parmi les espèces d'Amarante occasionnelles, ***Amaranthus palmeri*** est mentionnée dans une seule référence par ailleurs très ancienne (Gargominy, 2021).

**Tableau 1 : Liste des taxons du genre *Amaranthus* présents en France métropolitaine, statuts et répartition. En gras, les taxons dont la présence est considérée comme permanente (indigène et naturalisée) (Tison et de Foucault, 2014).**

Taxon	Statut en France	Répartition, période
<i>Amaranthus acutifolius</i> Uline & W.L.Bray	Occasionnelle historique <sup>6</sup>	1915
<b><i>Amaranthus albus</i> L.</b>	Naturalisé	Disséminé, surtout Midi
<b><i>Amaranthus blitoides</i> S.Watson</b>	Naturalisé	Bassin parisien, Sud-Ouest, Midi, Corse
<b><i>Amaranthus blitum</i> L. subsp. <i>blitum</i></b>	Naturalisé	Disséminé, en forte régression
<b><i>Amaranthus blitum</i> subsp. <i>emarginatus</i> (Moq. ex Uline &amp; W.L.Bray) Carretero, Muñoz Garm. &amp; Pedrol</b>	Naturalisé	Toute la France, en expansion
<i>Amaranthus capensis</i> subsp. <i>uncinatus</i> (Thell.) Brenan	Occasionnelle historique	1934
<i>Amaranthus caudatus</i> L.	Occasionnelle (cultivée)	1838-2024
<i>Amaranthus crispus</i> (Lesp. & Thevenau) N.Terracc.	Occasionnelle historique	1848-1899
<i>Amaranthus cruentus</i> L.	Occasionnelle (cultivée)	1785-2024
<b><i>Amaranthus deflexus</i> L.</b>	Naturalisée	Toute la France, plus fréquent dans le Midi
<i>Amaranthus graecizans</i> subsp. <i>graecizans</i>	Occasionnelle	1962-1999

<sup>6</sup> Occasionnelle historique : espèce introduite dont les observations locales sont anciennes et non confirmées récemment (« historique »), et qui n'a jamais constitué de population durable. Elle peut se reproduire ponctuellement, mais ne maintient pas une population autosuffisante et dépend de réintroductions pour persister.

Taxon	Statut en France	Répartition, période
<i>Amaranthus graecizans</i> L. subsp. <i>sylvestris</i> (Vill.) Brenan	Indigène	
<i>Amaranthus hybridus</i> L.	Naturalisée	Corse
<i>Amaranthus hypochondriacus</i> L.	Occasionnelle	1871-2019
<i>Amaranthus muricatus</i> (Gillies ex Moq.) Hieron.	Naturalisée	Pyrénées-Orientales, Var
<i>Amaranthus palmeri</i> S.Watson	Occasionnelle historique	1962 à Illzach (Haut-Rhin)
<i>Amaranthus polygonoides</i> L.	Occasionnelle	-
<i>Amaranthus powellii</i> subsp. <i>bouchonii</i> (Thell.) Costea & Carretero	Néotaxon hybridogène	Grande partie de la France
<i>Amaranthus powellii</i> subsp. <i>powellii</i> S.Watson	Naturalisée	Toute la France
<i>Amaranthus quitensis</i> Kunth	Occasionnelle historique	1846-1853
<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	Naturalisée	Toute la France
<i>Amaranthus spinosus</i> L.	Occasionnelle	1998
<i>Amaranthus standleyanus</i> Parodi ex Covas	Occasionnelle	-
<i>Amaranthus tricolor</i> L.	Occasionnelle historique	1893
<i>Amaranthus viridis</i> L.	Naturalisée	Corse et Languedoc, en expansion
<i>Amaranthus</i> × <i>ozanonii</i> Priszter [ <i>A. hybridus</i> × <i>A. retroflexus</i> ]	Hybride	-
<i>Amaranthus</i> × <i>ralletii</i> nothosubsp. <i>ralletii</i> Contré [ <i>A. powellii</i> subsp. <i>bouchonii</i> × <i>A. retroflexus</i> ]	Hybride	-
<i>Amaranthus</i> × <i>ralletii</i> nothosubsp. <i>soproniensis</i> (Priszter & Kárpáti) J.-M.Tison [ <i>A. powellii</i> × <i>A. retroflexus</i> ]	Hybride	-

## 2.2.2 Vue d'ensemble de l'organisme nuisible

### 2.2.2.1 Description botanique d'*Amaranthus palmeri*

#### 2.2.2.1.1 Plantule

La plantule est glabre (pétiotes, limbes et jeunes ramifications). **Le pétiole est aussi long à plus long que le limbe** (Cf. Figures 1 et 2). Les feuilles sont alternes disposées en une **hélice très régulière et symétrique**. Le limbe présente parfois à la face supérieure une large tache claire en V inversé (Horak *et al.*, 1994).

#### 2.2.2.1.2 Plante adulte

*Amaranthus palmeri* est une plante **glabre** ou presque, à tige dressée dès le stade plantule, ramifiée, généralement de (0,3-)0,5-1,5(-3) **m de hauteur** ; les rameaux secondaires sont souvent ascendants. Le système racinaire est constitué d'un pivot pouvant descendre à 1,8 m de profondeur et de racines secondaires latérales pouvant s'étendre sur 3 m de diamètre. La tige devient rapidement **sub-ligneuse** et peut avoir un **diamètre de 3 à 5 cm**.

Les feuilles sont simples, alternes, **très régulièrement disposées en hélice**. Elles sont longuement pétiolées (**pétiole plus long que le limbe**) ; le limbe est obovale ou rhombique-obovale à elliptique pour les feuilles de la base, parfois lancéolé pour les feuilles du sommet, de 1,5-7 cm de long et 1-3,5 cm de large, la base est largement à étroitement cunéiforme, la marge est entière, le limbe est plan, l'apex est sub-obtus à aigu, généralement avec un mucron terminal. La face supérieure du limbe peut présenter une large tache claire en V inversé. La face supérieure et la face inférieure sont glabres et lisses. **L'inflorescence est terminale**, en épis linéaires ou panicules, généralement retombantes, parfois dressées, surtout lorsqu'elles sont jeunes, avec peu de grappes axillaires basales, ininterrompues ou interrompues dans la partie basale de l'inflorescence. L'inflorescence principale peut mesurer jusqu'à **60 cm de long**. **Les inflorescences mâles sont douces** au toucher tandis que les **inflorescences femelles sont piquantes**. Les **bractées** des fleurs femelles présentent une nervure centrale longuement excentrée, elles mesurent **4-6 mm de long, et sont plus longues que les tépales**, avec un apex acuminé ou mucronulé ; les bractées des fleurs mâles, de 4 mm de long, sont égales ou plus longues que les tépales externes, avec un apex longuement acuminé. Les fleurs femelles ont **5 tépales de 1,7-3,8 mm de long**, à apex acuminé, mucronulé ; branches du style étalées ; stigmates 2(-3). Les fleurs mâles ont 5 tépales inégaux, de 2-4 mm de long, à apex aigu ; les tépales internes ont une nervure médiane proéminente excurrente comme une épine rigide, apex longuement acuminé ou mucronulé ; étamines 5.

Le fruit est un utricule fauve à brun, parfois brun rougeâtre, obovoïde à sub-globuleux, de 1,5-2 mm de long, plus court que les tépales, à paroi mince à maturité, presque lisse ou indistinctement rugueuse. Il est **déhiscent**, généralement **circumsessile à l'équateur** du fruit. Chaque utricule contient une graine. Les graines sont lenticulaires, brun rougeâtre foncé à brunes, de 1 à 1,2 mm de diamètre, brillantes (Flora of North America, 2024 b).

A la récolte des graines matures, les **sépales sont deux fois plus longs que le fruit**. **L'utricule est déhiscent et s'ouvre à l'équateur** en deux coupes similaires. Il contient une graine.

*Amaranthus palmeri* présente une grande diversité phénotypique, ce qui rend parfois les descriptions botaniques confuses (Berger *et al.*, 2016).

#### 2.2.2.1.3 Critères d'identification et de différenciation avec d'autres *Amarantes* proches (d'après Flora of North America, 2024 a)

- Tige sans épine nodale ;
- Feuilles de forme variable à marge entière ou légèrement ondulée, avec un pétiole plus long que le limbe (Cf. Figure 2) ;
- Feuilles disposées en hélice très régulière (Cf. Figure 2) ;
- Espèce dioïque (pieds mâles et pieds femelles distincts) (Cf. Figure 4) à inflorescence terminale en longs épis, thyrses ou panicules (Cf. Figure 3) ;
- Bractées des fleurs femelles ovales à étroitement lancéolées, à extrémité épineuse, à marge entière, n'enveloppant pas complètement la fleur, de 4 à 6 mm de long (plus longues que les tépales) ;
- Fleurs femelles à 5 tépales (généralement), les tépales externes de plus de 2 mm de long acuminés ou aigus-acuminés au sommet (Cf. Figure 6) ;
- Utricule déhiscent généralement circumsessile à l'équateur (Cf. Figure 6).





**Figure 1 : Plantule d'*Amaranthus palmeri***  
(Photo Bruce Ackley & Alyssa Identifying Noxious Weed of Ohio)



**Figure 2 : Jeune plante à feuilles disposées en hélice régulière, caractéristique d'*Amaranthus palmeri***  
(Photo Ferreira da Silva in Gazziero & Ferreira da Silva, 2017)





Figure 3 : Inflorescence terminale de 60 cm de long d'*Amaranthus palmeri*  
(photo Gazziero in Gazziero & Ferreira da Silva, 2017)

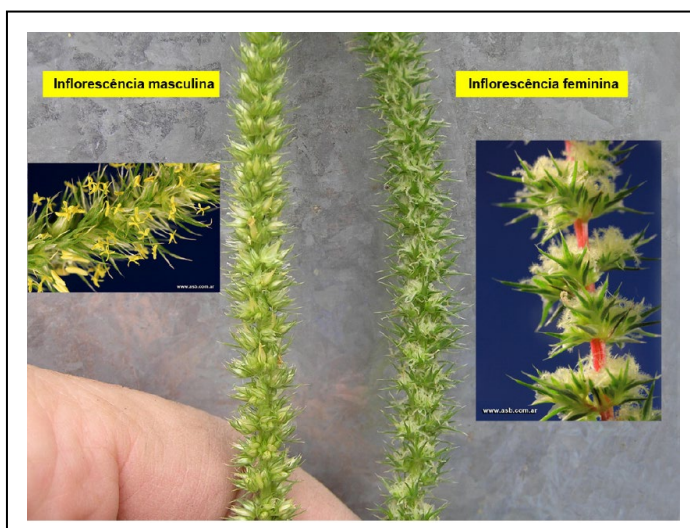


Figure 4 : Inflorescence mâle et inflorescence femelle d'*Amaranthus palmeri*  
(photo Daniel Tuesca in Gazziero & Ferreira da Silva, 2017)

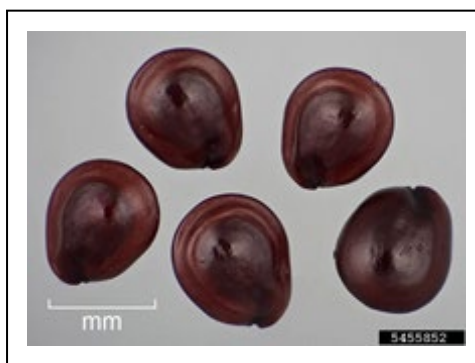


Figure 5 : Graines lenticulaires brun rouge, brillantes d'*Amaranthus palmeri* de 1-1,2 mm de diamètre  
(photo D. Walters & C. Southwick - USDA)



Figure 6 : Plaque botanique d'*Amaranthus palmeri* qui montre l'utricule déhiscent circumsessile et la fleur mâle (bas gauche) à tépales courts et la fleur femelle (bas droite) à tépales épineux longs.  
(Source : NL & A Brown - USDA NRCS Plants Database Britton)

A noter que les graines d'*A. palmeri* (Cf. Figure 5) ne peuvent pas être distinguées de celles des autres espèces d'amarante même par des spécialistes (Yu *et al.*, 2021). Il n'est donc pas possible d'effectuer le contrôle visuel des lots de semences ou graines importés par rapport à la présence spécifique d'*A. palmeri*.

#### 2.2.2.2 Espèces semblables à distinguer

Certaines espèces d'amarante peuvent être facilement confondues avec *Amaranthus palmeri*, notamment à un stade végétatif jeune (Cf. Tableau 2). Ce problème est mentionné régulièrement dans de nombreux pays comme en Argentine (Morichetti *et al.*, 2013) ou au Brésil (Gazziero & Ferreira da Silva, 2017), et dans l'ensemble de la région méditerranéenne (Matzrafi *et al.*, 2023).

A titre d'exemple de difficultés rencontrées pour identifier ces espèces, le GT a relevé qu'un certain nombre de signalements d'*A. palmeri* faits sur la plateforme iNaturalist en 2024 et 2025 étaient mal identifiés

([https://www.inaturalist.org/observations?order\\_by=observed\\_on&subview=table&taxon\\_id=75397](https://www.inaturalist.org/observations?order_by=observed_on&subview=table&taxon_id=75397)).

*A. Palmeri* peut être confondu avec :

- *Amaranthus powellii* S.Watson, présente en France métropolitaine, Europe ;
- *Amaranthus hybridus* L., présente en Corse, Europe ;
- *A. retroflexus* L., largement présente en France métropolitaine, Europe ;
- *A. tuberculatus* (Moq.) J.D.Sauer, présente en Italie, Espagne, Portugal, Allemagne... mais pas en France métropolitaine ;
- *A. spinosus* L., occasionnelle en France métropolitaine, Italie, Allemagne, Antilles ;
- *A. dubius* Mart., présente en France métropolitaine, Allemagne, Antilles ;
- *A. viridis* L., présente en France, Europe de l'ouest, Antilles.

Tableau 2 : Critères de différenciation de différentes espèces du genre *Amaranthus*  
(d'après Gazziero & Ferreira da Silva, 2017, Kissman & Groth, 1992, WFO 2024, Le Bourgeois *et al.*, 2018, Flora of North America, 2024)

Espèce	Taille adulte	Port plantule	Pilosité jeunes rameaux	Epines stipulaires	Longueur pétiole (P) / limbe (L)	Inflorescence	Longueur épi principal	Forme inflorescence	Longueur bractées	Tépales fleurs femelles	Utricule
<i>A. palmeri</i>	0,5-2 (3) m	dressée	glabre	absentes	P > L, P=L	dioïque	20-60 cm	Epi terminal dressé ou retombant	4-6 mm	5	déhiscent
<i>A. tuberculatus</i>	0,5-2 (3) m	dressée	pubescent	absentes	P < L	dioïque		Epi terminal ou interrompu en glomérules	1-2 mm	0 (1-2)	indéhiscent /déhiscent
<i>A. spinosus</i>	0,3-1,2 (2) m	dressée	glabre	présentes	P > L	monoïque	8-20 cm	Épi terminal et axillaires	1-1,5 mm	5	déhiscent
<i>A. retroflexus</i>	0,2-1 (1,5) m	dressée	pubescent	absentes	P < L	monoïque	5-20 cm	épi terminal et axillaire dressé ou recourbé ramifié	2,5-5 mm	5	déhiscent
<i>A. dubius</i>	0,3- 1 (1,5) m	dressée	pubescent	absentes	P > L	monoïque	3-15 cm	Epi terminal et axillaires	1,5-2 mm	5	déhiscent
<i>A. deflexus</i>	0,1-0,5 (1) m	dressée	pubescent	absentes	P < L	monoïque	2-10 cm	Panicule pyramidale	0,5-1 mm	2-3	indéhiscent
<i>A. hybridus</i>	0,5-2 (3) m	dressée	pubescent	absentes	P < L, P=L	monoïque	10-45 cm	épi terminal souple et ramifications étalées	2-3,5 mm	5	déhiscent
<i>A. powellii</i>	0,5-1,5 (2) m	dressée	pubescent	absentes	P=L, P>L	monoïque	10-45 cm	épi terminal rigide et ramifications dressées	4-7 mm	3-5	déhiscent

Il ressort de ce tableau que les éléments de distinction des différentes espèces d'amarantes portent principalement sur les pièces florales et que les possibilités de confusion portent surtout sur le stade végétatif. A défaut de plantes adultes fleuries, une analyse génétique s'avère nécessaire pour confirmer définitivement la présence d'individus d'*A. palmeri* dans un pays ou une parcelle ou la présence de graines de cette espèce dans un lot de semences ou sur du matériel agricole.

### 2.2.2.3 Autres méthodes d'identification / détection

Des méthodes moléculaires ont été mises au point pour identifier *A. palmeri* à partir de graines ou de fragments d'organes végétatifs :

- En 2017, une première méthode de séquençage de l'Internal Transcribed Spacer (ITS) a permis d'identifier l'amarante de Palmer à partir uniquement de graines. Cette méthode amplifie et séquence la région ITS (ADN ribosomique nucléaire 18S-26S). L'ADN des graines est extrait et la région ITS est alors amplifiée par PCR, puis la région amplifiée est séquencée (Price R., 2016).
- Les méthodes PCR sont avantageuses car elles permettent de tester des graines de plusieurs espèces en mélange, ce qui accroît l'efficacité et réduit le coût par échantillon (Murphy *et al.*, 2017).
- En 2018, un projet de recherche collaboratif à l'UMN (University of Minnesota) a conduit au développement d'un test moléculaire basé sur de nouveaux polymorphismes mononucléotidiques (SNP) spécifiques à l'espèce, à partir de données de génotypage par séquençage. Il est alors possible d'identifier l'amarante de Palmer seule ou dans un mélange d'*Amaranthus* spp., ce test s'appliquant à la fois aux tissus foliaires et aux mélanges de graines (Brusa *et al.*, 2021).

Récemment de nouvelles méthodes ont été développées permettant de distinguer automatiquement *A. palmeri* d'une culture pour du traitement dirigé (chimique, mécanique ou électrique), combinant imagerie hyper-spectrale et apprentissage machine (Pavia *et al.*, 2014).

De telles méthodes permettent de repérer les mauvaises herbes à un stade précoce pour une gestion opportune et précise (Zhang *et al.*, 2012).

Les outils développés permettent de distinguer l'amarante du soja avec une fiabilité de 87 %. Cependant, si on arrive correctement à distinguer *A. palmeri* de la culture, on est encore loin de distinguer les différentes espèces d'amarante les unes des autres (Ram *et al.*, 2023).

### 2.2.2.4 Physiologie

*A. palmeri* est une plante en C4 à fort potentiel photosynthétique (Ehleringer, 1983). Elle germe plus tôt, pousse plus haut et accumule plus de biomasse que les autres espèces adventices du genre *Amaranthus* (Sellers *et al.*, 2003). Au Brésil, une croissance de 4 à 6 cm par jour a été enregistrée (Gazziero & Ferreira da Silva, 2017). Horak et Loughin (2000) ont montré que *A. palmeri* présente des paramètres de croissance supérieurs à ceux d'autres espèces d'amarantes.

### 2.2.2.5 Reproduction

*A. palmeri* est une espèce annuelle. Elle se reproduit uniquement par graines. Cependant, il est important de noter que durant toute la période de l'année favorable à croissance de la plante, un individu coupé à quelques centimètres au-dessus de la surface du

sol (par fauche ou gyrobroyage) émet au niveau du collet des bourgeons de remplacement à partir desquels se développent de nouvelles tiges (J. Recasens, comm. pers.).

*A. palmeri* est une espèce dioïque (pieds à fleurs mâles et pieds à fleurs femelles distincts) (*i.e.* à pollinisation croisée). La fécondation est allogame par pollinisation anémophile (par le vent), avec une production de pollen abondante et une dispersion du pollen pouvant aller jusqu'à plusieurs dizaines de kilomètres (Sosnoskie et al., 2011). Les plantes femelles produisent d'importantes quantités de graines en fonction de la période de développement. Les plantes ayant germé au printemps (mars à juin) produisent entre 200 000 et 600 000 graines par individu. Les plantes ayant germé entre juillet et octobre produisent moins de 80 000 graines par individu. Le degré de compétition avec d'autres espèces influe également sur le niveau de production de graines (Jha et al., 2008). En Espagne, la moyenne de production de graines par individu est de 560 000 graines pour des plantes de 1,7 m de hauteur (J. Recasens, comm. pers.). Au Texas, la pluie de graines provenant d'individus développés en fin de cycle de culture cotonnière est estimée entre 2,4 et 13,9 millions de graines par ha pour des densités d'*A. palmeri* variant entre 405 et 757 pieds par ha (Werner et al., 2020). Les graines ne présentent pas de mécanisme de dispersion spécialisé, mais sont potentiellement dispersées sur de longues distances en cas de vents puissants (Menges, 1987) ou de ruissellement.

Des cas d'apomixie facultative ont été mentionnés (*i.e.* capacité des plantes femelles à produire des graines sans pollinisation, ou après pollinisation par *A. tuberculatus*) dans trois références bibliographiques (Cf. revue approfondie de la littérature, Annexes 2 et 4). Les pieds femelles isolés de tout pied mâle peuvent produire 1000 à 6000 graines dont le sex ratio est 1:1 (Ribeiro et al., 2014 ; Trucco et al., 2007). Cependant, cette reproduction par apomixie demeure douteuse du fait de la non répétabilité des résultats lors d'isolement total de pieds femelles (Brackenridge et al., 2024) et/ou du doute quant à la présence signalée de quelques fleurs mâles sur des inflorescences d'individus femelles hybrides *A. palmeri* x *A. tuberculatus* (Steinau et al., 2003) et d'un individu femelle d'*A. tuberculatus* (Franssen et al., 2001) permettant ainsi une autopolinisation.

Une majorité des graines (75 à 85 %) produites disparaissent par prédation ou meurent du fait des basses températures hivernales (Barber et al., 2015).

Les graines viables germent à 90% dès la saison suivante (n+1) et 10 % au cours des années 2 à 4 après la production (Barber et al., 2015). Les graines peuvent rester viables dans le sol jusqu'à 12 ans, bien que plus de 50 % des graines perdent leur viabilité au bout de 18 mois (EPPO, 2019).

#### 2.2.2.6 Diversité génétique

Les travaux de Chandi et al. (2013) réalisés sur différentes populations de Géorgie et de Caroline du nord montrent que la diversité génétique d'*A. palmeri* est modérée entre différentes populations mais importante au sein des populations. De plus, le niveau de diversité est similaire au sein des populations résistantes au glyphosate et au sein des populations sensibles au glyphosate. Ce niveau de diversité génétique intra et inter populations pourrait s'expliquer par la pollinisation anémophile et la capacité du pollen à parcourir de très grandes distances, jusqu'à 700 km d'après Sosnoskie et al. (2007).



### 2.2.2.7 Hybridation

*Amaranthus palmeri* est une espèce dioïque donc dépendante de la présence d'individus des deux sexes pour se reproduire et de nombreuses sources rapportent que l'espèce peut s'hybrider avec d'autres espèces d'amarantes. Une synthèse bibliographique sur les cas d'hybridation entre *A. palmeri* et d'autres espèces du genre *Amaranthus* a été réalisée.

L'analyse des 12 références bibliographiques sélectionnées (Cf. revue approfondie de la littérature, Annexe 2) confirme d'une part des événements d'hybridation en conditions naturelles d'*A. palmeri* avec *A. tuberculatus* (Nie *et al.*, 2019) et *A. spinosus* (Nandula *et al.*, 2014 ; Molin *et al.*, 2016 ; Molin et Nandula, 2017 ; Koo *et al.*, 2023) et d'autre part, des hybridations en conditions contrôlées avec *A. tuberculatus*, *A. spinosus* et *A. hybridus* (Wetzel *et al.*, 1999 ; Trucco *et al.*, 2007 ; Oliveira *et al.*, 2018). Les hybridations observées en conditions naturelles sont confirmées par comparaison de séquences de gènes liés à plusieurs mécanismes de résistance aux herbicides : ALS (Molin *et al.*, 2016), EPSPS (Nandula *et al.*, 2014 ; Molin et Nandula, 2017 ; Koo *et al.*, 2023) et PPO (Nie *et al.*, 2019). Les séquences présentes chez les hybrides suspectés proviennent bien du génome d'*A. palmeri* et confirment donc un événement antérieur d'hybridation naturelle entre *A. palmeri* et les espèces *A. spinosus* ou *A. tuberculatus*.

Les tests d'hybridation en conditions contrôlées confirment un transfert de mécanisme de résistance à différents herbicides d'*A. palmeri* vers d'autres espèces d'amarantes (Franssen *et al.*, 2001a ; Steinau *et al.*, 2003 ; Koo *et al.*, 2023 ; Gaines *et al.*, 2012). En conditions contrôlées, une fréquence d'hybridation peut être calculée<sup>7</sup>.

La fréquence d'hybridation entre *A. palmeri* et *A. tuberculatus* oscille entre une valeur inférieure à 0,009 (Franssen *et al.*, 2001) et 0,029 (Trucco *et al.*, 2007) en conditions d'expérimentation sous serre, et entre 0,0005 et 0,001 au champ (respectivement Gaines *et al.*, 2012 et Oliveira *et al.*, 2018). La fréquence d'hybridation entre *A. palmeri* et *A. spinosus* est évaluée entre 0,003 (au champ) et 0,04 (sous serre) (Gaines *et al.*, 2012). Enfin, une occurrence d'hybridation entre *A. palmeri* et *A. hybridus* donne une fréquence d'hybridation de 0,00001 au champ (Gaines *et al.* 2012).

*A. palmeri* est donc capable de s'hybrider avec des espèces monoïques ou dioïques. Les hybrides obtenus lors des croisements peuvent être monoïques, bien qu'issus de deux parents dioïques (*A. palmeri* et *A. tuberculatus*) (Steinau *et al.*, 2003, Franssen *et al.*, 2001a).

L'analyse des 12 références bibliographiques met également en évidence le transfert de gènes de résistance d'*A. palmeri* vers d'autres espèces d'amarantes. Ainsi, le mécanisme lié à l'amplification du gène EPSPS a été transmis à *A. hybridus* (Gaines *et al.*, 2012), *A. tuberculatus* (Gaines *et al.*, 2012 ; Nandula *et al.* 2014 ; Koo *et al.*, 2023) et *A. spinosus* (Gaines *et al.*, 2012 ; Molin et Nandula, 2017 ; Koo *et al.*, 2023). Le mécanisme impliquant une mutation du gène ALS a été transmis à *A. tuberculatus* (Franssen *et al.*, 2001) et *A. spinosus* (Molin *et al.*, 2016). Enfin, le mécanisme impliquant une mutation du gène PPX2, conférant une résistance aux herbicides inhibiteurs de PPO, a été transmis à *A. tuberculatus* (Nie *et al.*, 2019). Ces études montrent également qu'un mécanisme de résistance peut se transmettre lors d'un unique phénomène d'hybridation (références concernant des tests d'hybridation en conditions contrôlées). De plus l'hybridation est possible à partir de pied mâle ou de pied femelle d'*A. palmeri*, montrant que les gènes de résistance aux herbicides sont transmis aussi bien par l'ovaire que par le pollen.

<sup>7</sup> plante hybride apte à se reproduire sur le nombre total de graines viables produites

L'ensemble des résultats issus de ces études montre qu'en plus du transfert des mécanismes de résistance, les hybrides peuvent présenter des caractéristiques morphologiques propices à leur établissement : structure (croissance rapide, feuilles larges...), épines (l'apparition d'épines peut limiter le contrôle par les espèces herbivores), mode de reproduction (les individus monoïques sont moins dépendant de la présence de l'autre sexe à proximité que les individus dioïques). L'hybridation entre *A. palmeri* et les autres espèces du genre *Amaranthus*, met également en évidence la capacité de cette espèce à acquérir de nouveaux caractères par hybridation avec d'autres espèces d'amarante, ce qui peut lui conférer une plus grande capacité d'adaptation aux conditions agroécologiques locales (Loureiro *et al.*, 2024) et favoriser sa capacité à coloniser de nouveaux milieux.

#### 2.2.2.8 Cycle de vie

*A. palmeri* est une plante annuelle. La germination a lieu tout au long de la saison favorable de croissance avec une température de base de 16,6°C (Steinmaus *et al.*, 2000). En Caroline du Sud les germinations ont été observées de début mai à fin octobre avec un pic de germination de mi-mai à mi-juillet. Même les individus issus de germinations tardives produisent des graines (Werner *et al.*, 2020). En Espagne, les germinations peuvent avoir lieu jusqu'en octobre. Les plants issus de ces germinations tardives sont peu développés mais produisent tout de même des graines viables (J. Recasens, comm. pers.). Seules les graines présentes à la surface du sol ou dans les deux premiers centimètres peuvent germer. Les graines enfouies par un labour profond ne peuvent pas germer, sauf si elles sont remontées en surface par des travaux du sol ultérieurs (Ward *et al.*, 2013).

La période de développement végétatif s'étend généralement du début du printemps jusqu'à la fin de l'été en climat tempéré (Sauer, 1955 ; Ward *et al.*, 2013). La floraison débute généralement au milieu du printemps et se poursuit durant l'été (Keeley *et al.*, 1987).

Spaunhorst (2016) et Steinmauss *et al.* (2000) montrent que le cycle de développement d'*A. palmeri* dépend de la période de germination et des conditions climatiques, notamment de la température. Une germination en mai ou juin se traduit par une fructification en 68 à 82 jours, une germination en juillet se traduit par une fructification en 50 jours et une germination en août se traduit par une fructification en 42 jours.

#### 2.2.2.9 Ecologie

*A. palmeri* a une germination opportuniste et une croissance rapide selon la disponibilité en eau dans les environnements xériques (Ward *et al.*, 2013). La germination augmente avec la température, avec 8 % d'émergence à 5 °C et 71 % à 35 °C (Steckel *et al.*, 2004). La germination est rapide (environ 24h à 30°C) par rapport aux autres espèces d'amarante (environ 3 à 8 jours) (Steckel *et al.*, 2004). *A. palmeri* a un métabolisme en C4, particulièrement adapté aux climats arides et secs, ainsi qu'aux températures élevées. Son activité photosynthétique atteint un maximum entre 36 et 46 °C alors qu'elle est de moins de 50 % en dessous de 25 °C, ce qui peut limiter son aire de répartition et sa compétitivité avec d'autres plantes dans les régions plus fraîches. La disposition des premières feuilles selon une hélice très régulière optimise la surface foliaire recevant la lumière et favorise une croissance très rapide dès les premiers stades de développement. Elle présente un héliotropisme et une forte capacité photosynthétique par rapport à d'autres espèces évoluant dans des milieux similaires, ce qui lui permet un cycle de vie court et opportuniste en fonction des conditions environnementales (Ward *et al.*, 2013). *A. palmeri* est peu tolérante à l'ombre, bien qu'elle ait pu développer des acclimations morphologiques (Jha *et al.*, 2008). Elle peut pousser dans

presque tous les types de sols (acides, neutres et basiques), mais préfère les sols bien drainés. Elle présente une certaine tolérance à la sécheresse, mais préfère les sols humides (PFAF, 2019). Dans les milieux agricoles, *A. palmeri* est une espèce opportuniste dont le développement est grandement favorisé par l'absence de travail du sol (Price *et al.*, 2011).

*A. palmeri* est présente sur les berges de rivières ainsi que dans de nombreux habitats perturbés d'origine anthropique (Flora of North America) : cultures, terrains en friche, bords de route, voies ferrées. Son habitat primaire semble inclure les lits de cours d'eau temporaires qui s'assèchent en dehors des périodes de pluie (*washes* ou *arroyos*) et les zones ripariennes (Flora of the Southeastern United States, 2025).

#### 2.2.2.10 Résistance aux herbicides

*Amaranthus palmeri* a une grande capacité à acquérir des résistances aux herbicides. En 2013, des résistances à 5 modes d'action d'herbicides étaient recensées (Ward *et al.*, 2013). La première résistance est apparue au Texas en 1989 par rapport à la trifluraline, puis en 1993 au Texas pour les triazines, en 1994 pour les inhibiteurs de l'ALS dans tout le sud des États-Unis et en 2004, pour le glyphosate en Géorgie. En 2012, apparaissent les premières populations à résistances multiples (notamment ALS/glyphosate) et en 2020, il a été recensé des résistances à 8 modes d'action d'herbicides de la part d'*A. palmeri* (EPPO, 2020). La diffusion rapide de résistances aux herbicides est favorisée par la pollinisation anémophile pouvant intervenir sur de grandes distances entre des populations distinctes (Ward *et al.*, 2013).

Une population est considérée comme résistante lorsque plus de 50 % des individus survivent à l'application de l'herbicide à la dose recommandée. L'étude de Garetson *et al.* (2019) réalisée sur 161 populations d'*A. palmeri* au Texas montre que selon la région et l'herbicide concerné la résistance touche 13 à 62 % des individus des populations pour le glyphosate, et 16 à 90 % pour l'atrazine. Dans le cas du pyrithiobac, la résistance peut concerner jusqu'à 99 % des individus au sein de certaines populations. Ces données illustrent bien le risque que représenterait l'installation de populations déjà résistantes dans une nouvelle région.

#### 2.2.2.11 Synthèse sur l'organisme nuisible

Le tableau 3 présente les caractères idéaux d'une « mauvaise herbe » remarquable selon Baker (1974) et les caractères correspondants d'*A. palmeri*.

**Tableau 3 : Caractéristiques d'une espèce végétale envahissante remarquable et d'*Amaranthus palmeri***

Caractères de performance d'une adventice (Baker, 1974)	Caractères d' <i>Amaranthus palmeri</i>
Les conditions de germination sont remplies dans de nombreux environnements	Germination dès 10°C à la surface du sol ou faible profondeur dans tout type de milieu (bord de rivière, bord de route, parcelle agricole) et tout type de sol
Germination discontinue (contrôle interne) et grande longévité des graines	La germination débute à la fin du printemps en fonction de la température et peut se prolonger jusqu'en octobre. La longévité des graines est modérée (jusqu'à 12 ans, et majoritairement entre 1 et 4 ans).



Caractères de performance d'une adventice (Baker, 1974)	Caractères d' <i>Amaranthus palmeri</i>
Croissance rapide de la phase végétative à la floraison	De 80 jours (germination en mai) à 42 jours (germination en août)
Production continue de graines durant la période favorable	La fructification dure aussi longtemps que les températures restent favorables au développement de la plante
Fécondation auto-compatible mais pas complètement autogame ou apomictique	Pollinisation croisée, apomixie peut être possible
Si allogamie, pollinisation non spécialisée ou anémophile	Pollen anémophile produit en très grande quantité
Très grand nombre de graines produites si conditions favorables	80 000 à 600 000 graines par plante en fonction de la période de développement et des conditions environnementales
Produit des graines dans une large gamme de conditions environnementales, tolérante et plastique	Grande plasticité phénotypique et d'une grande amplitude écologique (tout type de sol, pH, climat))
Adaptation pour dispersion des graines à courte et longue distance	Graines très petites, barochores, transportées à moyenne distance par vents fort et eaux de ruissellement et à longue distance par le matériel agricole, foin, fumier, récoltes
Si vivace, forte reproduction végétative	Annuelle mais forte capacité de bourgeonnement au collet après coupe durant la saison de croissance
Si pérenne ou vivace, fragile mais souche difficile à extraire du sol	Annuelle à fort pivot racinaire difficile à extraire du sol
Habileté à la compétition interspécifique par des moyens spécifiques (rosette, allélopathie, croissance brutale)	Feuilles disposées en hélice optimisant l'interception du rayonnement lumineux, croissance végétative très forte et rapide, production de substances allélopathiques

*Amaranthus palmeri* présente un grand nombre de caractères qui, associés à une forte diversité génétique, lui confèrent une qualité de « mauvaise herbe » très performante.

### 2.2.3 L'organisme nuisible est-il un vecteur ?

Oui ☐ Non ☒

### 2.2.4 Un vecteur est-il nécessaire pour l'introduction ou la dispersion de l'organisme nuisible ?

Oui ☐ Non ☒

### 2.2.5 Statut réglementaire de l'organisme nuisible

L'OEPP a ajouté *Amaranthus palmeri* dans sa liste A2 des organismes nuisibles recommandés pour une réglementation en tant qu'organisme de quarantaine en 2020. Dans la région de l'OEPP, le Maroc avait déjà classé la plante avec le statut d'organisme nuisible de quarantaine dès 2018 (Arrêté 593-17 du Ministère de l'agriculture, de la pêche maritime, du développement rural et des eaux et forêts. BO n°6680 du 07/06/2018, page 1281).

Aux États-Unis, *A. palmeri* n'est pas réglementé au niveau fédéral, mais est considéré comme une mauvaise herbe nuisible dans plusieurs États (Hensleigh & Pokorny, 2017 ; USDA, 2019, Maryland Dep. Agr., 2020) :

- Géorgie (*Amaranthus* spp.) : adventice nuisible à autorisation restreinte<sup>8</sup> ;
- Indiana (*Amaranthus* spp.) : adventice nuisible à autorisation restreinte ;
- Montana (*A. palmeri*) : adventice nuisible à autorisation restreinte ;
- Iowa (*A. palmeri*) : adventice nuisible interdite ;
- Minnesota (*A. palmeri*) : adventice nuisible interdite<sup>9</sup> ;
- Tennessee (*A. palmeri*) : adventice nuisible interdite ;
- Washington (*A. palmeri*) : adventice nuisible interdite ;
- Wisconsin (*A. palmeri*) : adventice nuisible interdite ;
- Delaware (*A. palmeri*) : adventice nuisible interdite.
- Dakota du Nord (*A. palmeri*) : adventice nuisible interdite ;
- Ohio (*A. palmeri*) : adventice nuisible interdite ;
- Dakota du Sud (*A. palmeri*) : adventice nuisible interdite ;
- Pennsylvania (*A. palmeri*) : adventice nuisible interdite ;
- Maryland (*A. palmeri*) : adventice nuisible interdite.

Au Canada, *A. palmeri* n'est pas réglementé au niveau fédéral mais est classé comme une mauvaise herbe nuisible dans la province du Manitoba (Règlement 42/2017 du 13 avril 2017, Loi sur la destruction des mauvaises herbes (c. N110 de la C.P.L.M.).

Au Brésil, *A. palmeri* est réglementé à l'importation pour plusieurs semences et grains provenant de diverses régions. Ces produits doivent être exempts d'*A. palmeri*, ce qui peut être démontré par une production dans une zone exempte de la plante, une inspection phytosanitaire sur le lieu de production ou des tests en laboratoire (OMC, 2018 : notification de l'OMC G/SPS/N/BRA/1369 ; Décret d'éradication dans l'état du Mato Grosso Law n° 8.589/2006 and Decree n° 1.524/20084 ; Guide pour l'éradication INDEAMT n 086/2015).

En Australie, *A. palmeri* est une espèce de quarantaine interdite d'entrée (Pheloung *et al.*, 1999 ; Moniodis, 2014 ; BICON, 2019 ; cité dans USDA, 2019).

## 2.2.6 Distribution géographique

*A. palmeri* est une espèce originaire du désert de Sonora au sud-ouest des États-Unis et au nord du Mexique où elle occupe les lits de cours d'eau temporaires (washes ou arroyos) et les zones ripariennes (Sauer, 1957). Cependant, cette espèce a montré une grande capacité d'adaptation à des climats plus froids et/ou plus humides. Dès 1915, on pense qu'*A. palmeri* s'est disséminée aussi loin à l'est des États-Unis que la Virginie (Ward *et al.*, 2013).

Aujourd'hui cette espèce est présente dans 39 états des États-Unis et jusqu'au sud du Canada (Briscoe Runquist *et al.*, 2019). Depuis le début du 20<sup>ème</sup> siècle, elle s'est répandue dans le monde entier à partir de sa zone d'origine (Europe en 1950, Amérique du sud en 1984, Chine en 1985, Espagne en 2007, Afrique du Sud en 2017, Maroc en 2023) (Cf. Tableau 4), principalement par la dispersion accidentelle de graines liée aux activités agricoles, l'exportation de produits de récolte contaminés (maïs, soja) et l'exportation de matériel agricole

<sup>8</sup> Autorisation restreinte : les lots de graines contenant plus de 2 % d'*A. palmeri* ne peuvent pas être importés ni vendus.

<sup>9</sup> Interdite : les lots de graines contenant des graines d'*A. palmeri* ne peuvent pas être importés ni vendus.

d'occasion ayant préalablement été utilisé dans des zones contaminées (Ward *et al.*, 2013 ; OEPP, 2019).

**Tableau 4 : Distribution géographique d'*Amaranthus palmeri***

Continent	Distribution (Liste des pays ou régions Indiquer le statut de l'organisme dans les pays concerné exemple : répandu, originaire, introduit...)
Afrique	<b>Afrique du Sud</b> : <i>introduite en 2017 (Croplife, 2019)</i> <b>Botswana</b> : <i>présente</i> <b>Égypte</b> : <i>naturalisée (Iamónico, 2015)</i> <b>Éthiopie</b> : <i>introduite</i> <b>Maroc</b> : <i>occasionnelle (Tanji, 2023)</i> <b>Sénégal</b> : <i>introduite (Encyclopedia of life, 2019)</i> <b>Tunisie</b> : <i>introduite (POWO, 2014)</i>
Amérique du Nord	<b>Etats-Unis</b> (Arizona, sud de la Californie, sud du Nevada, Nouveau Mexique, Oklahoma, Texas) : <i>indigène</i> <b>Mexique</b> (Mexique Central, Mexique Golfe, Mexique Nord-Est, Mexique Nord-Ouest, Mexique Sud-Ouest) : <i>indigène</i>
Amérique du Nord	<b>Canada (Ontario)</b> : <i>occasionnelle</i> <b>Cuba</b> : <i>introduite (Acevedo-Rodriguez &amp; Strong 2012)</i> <b>Etats-Unis</b> (Alabama, Arkansas, Caroline du Nord, Caroline du Sud, Colorado, Floride, Géorgie, Illinois, Kansas, Kentucky, Louisiane, Maryland, Massachusetts, Minnesota, Mississippi, Missouri, Nebraska, New Jersey, New York, Ohio, Pennsylvanie, Tennessee, Utah, Virginie, Virginie-Occidentale, Wisconsin) : <i>introduite, naturalisée à invasive</i> <b>Hispaniola (Haïti et Rep. Dominicaine)</b> : <i>introduite (Acevedo-Rodriguez &amp; Strong 2012)</i> <b>Mexique</b> (Mexique Pacifique Is, Mexique Sud-Est) : <i>introduite (USDA-ARS, 2019)</i> <b>République Dominicaine</b> : <i>introduite (Missouri Botanical Garden, 2019)</i>
Amérique du Sud	<b>Argentine</b> (Nord-Est, Nord-Ouest) : <i>introduite dans la région de La Pampa en 1984</i> <b>Brésil</b> (Matto Grosso) : <i>Introduite en 2011</i> <b>Uruguay</b> : <i>Introduite entre 2012 et 2015 (Gazziero et al., 2023 ; Gaines et al., 2021)</i>
Asie	<b>Chine</b> (Sud-Est) : <i>introduite en 1985 et envahissante (Zhang et al. 2019, Zhang et al. 2022, Zhang et al. 2022 a et b)</i> <b>Corée</b> : <i>introduite (GRIS, 2019)</i> <b>Inde</b> : <i>introduite (POWO, 2024)</i> <b>Israël/Palestine</b> : <i>naturalisée (Iamónico, 2015)</i> <b>Japon</b> : <i>présente (EPPO, 2023)</i> <b>Jordanie</b> : <i>introduite (Encyclopedia of life, 2019)</i> <b>Russie occasionnelle</b> (Iacomino, 2015) <b>Syrie</b> : <i>introduite (Iamónico, 2015)</i> <b>Turquie</b> : <i>naturalisée (Iamónico, 2015)</i>
Europe	<b>Allemagne</b> : <i>occasionnelle (Iamónico, 2015)</i> <b>Autriche</b> : <i>occasionnelle (Iamónico, 2015)</i> <b>Belgique</b> : <i>occasionnelle (Iamónico, 2015 ; Verloove, 2024)</i> <b>Biélorussie</b> : <i>naturalisée (Iamónico, 2015)</i> <b>Chypre</b> : <i>introduite (POWO, 2024)</i> <b>Crète</b> : <i>introduite (POWO, 2024)</i> <b>Danemark</b> : <i>occasionnelle (Iamónico, 2015)</i> <b>Espagne</b> : <i>introduite en 2007 et naturalisée (Iamónico, 2015)</i>

Continent	Distribution (Liste des pays ou régions Indiquer le statut de l'organisme dans les pays concerné exemple : répandu, originaire, introduit...)
	<b>Finlande</b> : <i>occasionnelle</i> (Iamónico, 2015) <b>France</b> : <i>occasionnelle</i> - 1962 (Iamónico, 2015 ; Tison & de Foucault, 2014) <b>Grande-Bretagne</b> : <i>occasionnelle</i> (Iamónico, 2015) <b>Grèce</b> : <i>naturalisée</i> (Iamónico, 2015) <b>Italie</b> : <i>naturalisée</i> (Iamónico, 2015) <b>Lettonie</b> : <i>occasionnelle</i> (Iamónico, 2015) <b>Lituanie</b> : <i>naturalisée</i> (Iamónico, 2015) (considérée par le GT comme occasionnelle) <b>Madère</b> : <i>introduite</i> (Iamónico, 2015) <b>Moldavie</b> : <i>occasionnelle</i> (Iamónico, 2015) <b>Norvège</b> : <i>occasionnelle</i> (Iamónico, 2015) <b>Pologne</b> : <i>occasionnelle</i> (Iamónico, 2015) <b>République Tchèque</b> : <i>occasionnelle</i> (Iamónico, 2015) <b>Roumanie</b> : <i>introduite</i> (Iamónico, 2015) <b>Russie</b> : <i>occasionnelle</i> (Iamónico, 2015) <b>Slovaquie</b> : <i>occasionnelle</i> (Iamónico, 2015) <b>Suède</b> : <i>naturalisée</i> (Iamónico, 2015) (considérée par le GT comme occasionnelle) <b>Ukraine</b> : <i>occasionnelle</i> (Iamónico, 2015)
Océanie	<b>Australie</b> : <i>introduite</i>

Sources d'information générale : CABI 2024, EPPO 2023, Iamónico (2015), Tanji (2023), POWO (2024), USDA-ARS-NPGS (2024)

Le Tableau 5 présente les habitats et cultures dans lesquels *A. palmeri* a été recensé en fonction des différents pays où cette espèce est actuellement présente.

**Tableau 5 : Habitats et cultures concernés dans l'aire actuelle de distribution d'*Amaranthus palmeri***

Pays	Habitat* ou culture	Références
<i>Afrique du Sud</i>	<b>Cultures (I1*)</b> : cotonnier, luzerne, maïs	(CropLife, 2019)
<i>Argentine</i>	<b>Végétations herbacées anthropiques (E5.1.)</b> : bords de route <b>Cultures (I1)</b> : cotonnier, maïs, soja, sorgho	Gaines et al. 2021
<i>Brésil</i>	<b>Cultures (I1)</b> : cotonnier, soja	Gaines et al. 2021 Gazziero et al. 2023
<i>Espagne</i>	<b>Végétations herbacées anthropiques (E5.1.)</b> : bords de route <b>Berges périodiquement inondées à végétation pionnière et éphémère (C3.5)</b> : berges de cours d'eau <b>Cultures (I1)</b> : luzerne, maïs, vergers	(J. Recasens c.p. 2025)
<i>Tunisie</i>	<b>Végétations herbacées anthropiques (E5.1.)</b> : milieux rudéraux, bords de route <b>Zones cultivées des jardins et des parcs (I2)</b> : jardins publics	Iamónico et El Mokni, 2017
<i>Uruguay</i>	<b>Cultures (I1)</b> : maïs, soja	Gaines et al. 2021
<i>Etats-Unis</i>	<b>Berges périodiquement inondées à végétation pionnière et éphémère (C3.5)</b> : berges de cours d'eau <b>Végétations herbacées anthropiques (E5.1)</b> : habitats perturbés, en particulier les voies ferrées, les terrains en friche, les bords de route	Gaines et al. 2021 Flora of North America Ernzvan et al. 2025

Pays	Habitat* ou culture	Références
	Cultures (I1) : arachide, betterave sucrière, cotonnier, maïs, pastèque, patate douce, soja, sorgho, vigne	

\* Nous suivons ici la classification des habitats EUNIS 2012 résumé par des codes alphanumériques

## 2.2.7 Habitats et leur distribution dans la zone ARP

Le Tableau 6 recense les différents habitats et les différentes cultures qu'*A. palmeri* serait susceptible de coloniser une fois introduit dans la zone ARP.

**Tableau 6 : Habitats et cultures concernés et leur distribution dans la zone ARP**

Habitats*	Présence dans la zone ARP (Oui/Non)	Commentaires (e.g. superficie totale, culture majeure/mineure dans la zone ARP, habitats majeurs/mineurs*)	Référence
Cultures (I1), notamment monocultures intensives (I1.1)	Oui	Habitat majeur	
Soja	Oui	Culture mineure (0,149 M ha)	Agreste, 2024
Maïs	Oui	Culture majeure (3 M ha)	Agreste, 2024
Cotonnier	Oui	Culture mineure (1 exploitation dans le Gers)	
Sorgho	Oui	Culture mineure (0,069 M ha)	Agreste, 2024
Betterave sucrière	Oui	Culture majeure (0,449 M ha)	Agreste, 2021
Luzerne	Oui	Culture majeure (0,300 M ha)	Agreste, 2021
Tournesol	Oui	Culture majeure (0,698 M ha)	Agreste, 2021
Vigne	Oui	Culture majeure (0,741 M ha)	Agreste, 2021
Tomate	Oui	Culture mineure (0,004 M ha)	Agreste, 2021
Oignons	Oui	Culture mineure (0,019 M ha)	Agreste, 2021
Oliviers	Oui	Culture mineure (0,017 M ha)	Agreste, 2021
Agrumes	Oui	Culture mineure (0,002 M ha)	Agreste, 2021
Patate douce	Oui	Culture mineure	
Zones cultivées des jardins et des parcs (I2)	Oui	inclut jardins publics"	
Végétations herbacées anthropiques (E5.1.)	Oui	Habitat majeur (inclut les bords de routes, les bords de voies ferrées, les terrains en friche, et autres milieux rudéraux)	
C3.5 - Berges périodiquement inondées à végétation pionnière et éphémère	Oui	Habitat majeur	

\* Nous suivons ici la classification des habitats EUNIS 2012. La distinction entre culture majeure et culture mineure repose sur la surface de la culture.

### 2.2.8 Filières d'entrée

Nous reprenons et actualisons ici les filières d'entrée identifiées par l'analyse de risque conduite par l'OEPP (2020). L'actualisation inclut notamment les données issues de l'audition de Jordi Recasens (à propos de l'introduction d'*A. palmeri* en Espagne) et des données sur les volumes d'importations de marchandises à risque spécifiquement pour la France (Cf. Tableaux 7 et 8).

Il ressort de l'ARP de l'OEPP (2020) que la filière la plus à risque concerne les grains importés de régions ou pays infestés et destinés à la fabrication d'aliments pour animaux, l'alimentation humaine et la transformation. Les semences et les machines agricoles présentent un risque plus faible mais non-négligeable. Près d'une dizaine d'autres voies d'introduction ont été identifiées mais avec une probabilité extrêmement faible.

Les semences et les grains (en tant que marchandises) doivent être compris dans cette analyse du risque phytosanitaire (ARP) conformément aux définitions de la NIMP 5 (CIPV, 2019) :

- Semences : semences (au sens agronomique) destinées à la plantation [FAO, 1990 ; révisé ICPM, 2001 ; CPM, 2016]
- Grains : semences (au sens botanique) destinées à la transformation ou à la consommation, mais non à la plantation [FAO, 1990 ; révisé ICPM, 2001 ; CPM, 2016].

L'ensemble des filières d'entrée est détaillé ci-dessous.

#### • Grains destinés aux aliments pour animaux

##### Grains destinés à l'alimentation du bétail

L'infestation d'*Amaranthus palmeri* dans les États de l'Indiana, du Michigan et du Wisconsin pourrait avoir débuté lorsque des bovins ont été nourris avec des grains provenant de champs infestés d'amarante dans le sud des États-Unis (MacDonald & Reitmeier, 2017). En Australie, Pheloung *et al.* (2014) répertorient *A. palmeri* comme une espèce adventice associée au maïs importé des États-Unis, et non encore signalée comme présente en Australie.

En Belgique, *A. palmeri* a été introduite en tant que contaminant de grains (Verloove, 2006). Selon le *Manual of the Alien Plants of Belgium* (2019), l'espèce est « presque toujours associée à l'importation de grains. Depuis 1992, elle a été observée presque chaque année dans les environs des minoteries situées dans les zones portuaires d'Anvers et de Gand, souvent en abondance » (Robbrecht & Jongepier 1986 ; Verloove & Vandenberghe 1993).

Dans la région de Lérida (nord-est de l'Espagne), l'infestation semble avoir commencé autour d'une usine de fabrication d'aliments pour animaux, où des graines de *A. palmeri* auraient probablement été déversées lors du déchargement d'un camion de maïs ou de soja (Alicia Cirujeda Ranzemberger, comm. pers., 2020 ; Recasens, comm. pers., 2025). En 2012, des malherbologues ayant visité l'usine ont observé plusieurs plants d'*A. palmeri* poussant autour des installations, certains ayant même franchi la route et colonisé les bordures des champs avoisinants. En Andalousie, *A. palmeri* a été observée dans le port de Séville et à

Palos de la Frontera (province de Huelva), à proximité d'installations industrielles où sont traités des grains et autres produits végétaux.

Ces observations sont confirmées par Jordi Recasens, qui rapporte que les introductions d'*A. palmeri* en Espagne sont répétées et continues, parfois à un rythme mensuel. Il explique que de grandes quantités de maïs et de soja sont importées chaque année pour la fabrication d'aliments pour le bétail, notamment dans les régions de Lleida et d'Aragon, où l'élevage porcin et bovin est particulièrement dense. Ces importations transitent par le port de Tarragone (Catalogne), puis sont acheminées par camions vers les usines de production de farine pour animaux. Il est intéressant de noter que des plants d'*A. palmeri* ont été observés dans les virages des routes empruntées par ces camions, ce qui atteste de la dispersion par perte de marchandises depuis les camions. Bien qu'*A. palmeri* soit originaire des États-Unis, les importations actuelles en Espagne proviennent principalement du Brésil (probablement de l'État du Mato Grosso) et d'Argentine, une origine confirmée par les services de protection des végétaux de Catalogne à travers l'analyse d'échantillons. Les lots contaminés concernent exclusivement les grains destinés à l'alimentation animale. Les techniciens des services régionaux ont confirmé la présence de semences d'amarante dans plusieurs lots de maïs et de soja importés à cette fin (des tests ont montré jusqu'à 136 graines d'*A. palmeri* par kg de grain). Les semences pour la culture étant soumises à des contrôles qualité rigoureux.

La France importe moins de grains pour le bétail que l'Espagne, mais les volumes restent importants (Cf. Tableaux 7 et 8), bien que les données provenant d'Eurostat et de Traces ne soient pas concordantes. Les importations, essentiellement de soja, en provenance principalement du Brésil et des États-Unis arrivent aux ports de Brest et de Saint-Nazaire. Les volumes importés en 2023 et 2024 sont données dans le Tableau 8.

Par ailleurs, les principales usines de trituration produisant des tourteaux destinés à l'alimentation animale à partir de soja importé pour partie se situent dans la zone Ouest de la France (Finistère (29), Landes (40), Lot-et-Garonne (47), Maine-et-Loire (49), Mayenne (53), Hautes-Pyrénées (65), et Deux-Sèvres (79) ; Source : Terres Univia, données de novembre 2024).

Tableau 7 : Données d'importation de maïs ou de soja en provenance du Brésil, d'Espagne et des États-Unis (Source Eurostat ; consultation le 03/06/2025).

		Brésil		Espagne		Etats-Unis	
		Année		Année		Année	
		2023	2024	2023	2024	2023	2024
Produit	Code (NC8)	Qté (tonne)	Qté (tonne)	Qté (tonne)	Qté (tonne)	Qté (tonne)	Qté (tonne)
Maïs (exclusion semences)	10059000	2049	71	41645	1450	2072	53
Fèves de soja entières ou non (exclusion des semences)	12019000	259358	369857	2352	3436	59383	198294



**Tableau 8 : Données d'importation de maïs ou de soja en provenance du Brésil en 2023 et en 2024 selon les postes de contrôle frontalier (Source TRACES ; communication Sivep, le 01/04/2025 et le 03/06/2025)**

		2023	2024	
		Poste de contrôle frontalier	Poste de contrôle frontalier	
		Brest (FRBES1)	Brest (FRBES1)	Nantes-St Nazaire (FRNTE1)
Produit	Code (NC8)	Qté (tonne)	Qté (tonne)	Qté (tonne)
Maïs (Autre)	10059000	nd	nd	nd
Fèves de soja (exclusion des semences)	12019000	276 019	513 805	215

### Graines pour oiseaux

Par ailleurs, *A. palmeri* a été identifiée dans des mélanges de graines pour oiseaux vendus dans des commerces de détail (Progressive Farmer, 2020). Oseland *et al.* (2017) ont analysé des graines pour oiseaux provenant de neuf entreprises différentes. Les résultats montrent que des espèces du genre *Amaranthus* étaient présentes dans les 12 sacs de graines pour oiseaux examinés, et plus précisément, *A. palmeri* a été retrouvé dans trois des 17 mélanges pour oiseaux étudiés (Splendid Blend, Birdsnack et Economy Wild Bird Feed). Dans une étude ultérieure, Oseland *et al.* (2020) ont analysé 98 mélanges de graines pour oiseaux disponibles dans le commerce en Amérique du Nord. *A. palmeri* a été détectée dans 27 de ces 98 mélanges. En Sardaigne (Italie), des espèces d'*Amaranthus* ont également été identifiées comme contaminants de grains utilisés dans des mélanges commerciaux d'aliments pour animaux de compagnie, provenant de différentes origines (Cossu *et al.*, 2019).

### • Semences

La probabilité que des graines d'*A. palmeri* soient présentes dans les lots de semences dépend en grande partie de l'espèce cultivée, de la région d'origine du produit importé, ainsi que du niveau d'infestation de cette zone par l'espèce. Le moment de la récolte peut également influencer la présence ou non de graines d'*A. palmeri* en tant que contaminant. C'est pourquoi, le risque associé à cette filière concerne essentiellement les semences certifiées et non certifiées des espèces suivantes : *Glycine max* (soja), *Gossypium hirsutum* (cotonnier), *Helianthus annuus* (tournesol), *Oryza sativa* (riz), *Sorghum bicolor* (sorgho) et *Zea mays* (maïs). Ces espèces sont cultivées en France de façon plus ou moins importante (surface très limitée pour le cotonnier). Ces cultures sont infestées par *A. palmeri* dans plusieurs pays. Leur cycle est compatible avec la récolte accidentelle de graines d'*A. palmeri*.

Aux États-Unis, *A. palmeri* infeste plusieurs cultures dont les semences sont exportées vers la région de l'OEPP à des fins de plantation (notamment le maïs et le soja). Des études ont montré que dans les champs de maïs et de soja américains, la production de graines d'*A. palmeri* peut dépasser 100 000 graines par mètre carré (Ward *et al.*, 2013), ce qui favorise leur présence comme impuretés dans les récoltes et leur dispersion vers d'autres zones. D'autres cultures estivales récoltées à grande échelle pourraient également devoir être prises en compte à l'avenir, si des preuves indiquent une association avec *A. palmeri*.

Le risque d'association au point d'origine est fortement conditionné par l'efficacité des pratiques agricoles mises en œuvre lors de la culture, ainsi que par les procédures de tri et de nettoyage appliquées à la récolte et avant l'exportation. Par exemple, les semences certifiées



sont généralement issues de champs bien gérés et font l'objet de procédures de sélection rigoureuses, ce qui diminue ce risque.

Après la récolte, les semences peuvent être triées et soumises à des critères de qualité, notamment lorsqu'il s'agit de semences certifiées, conformément aux directives européennes sur la commercialisation et aux normes de l'OCDE. Les graines d'*A. palmeri*, de petite taille (entre 1 et 2 mm), sont plus faciles à éliminer par tri mécanique, surtout lorsqu'il s'agit de cultures comme le maïs ou le soja dont les semences sont beaucoup plus grosses.

Toutefois, lorsqu'ils sont effectués, les contrôles physiques peuvent ne pas suffire à détecter la présence de graines d'*A. palmeri* dans un lot, en raison de leur petite taille et de la difficulté à les distinguer visuellement.

Ainsi, *A. palmeri* a été détectée dans des lots de semences certifiées de soja en Louisiane (EPPO, 2020). Par ailleurs, en Sardaigne, des semences commerciales non certifiées provenant d'Australie, des États-Unis et d'Europe – notamment certaines semences de fourrage innovantes – ont révélé la présence de graines indésirables, dont plusieurs appartenant à la famille des *Amaranthaceae* (Cossu *et al.*, 2019).

À l'échelle de l'Union européenne, il existe des exigences d'importation de semences qui peuvent là encore limiter le risque d'introduction. Ces exigences figurent notamment dans les Directives sur la commercialisation des semences (Cf. [https://food.ec.europa.eu/plants/plant-reproductive-material/legislation/eu-marketing-requirements\\_en?prefLang=fr&etrans=fr](https://food.ec.europa.eu/plants/plant-reproductive-material/legislation/eu-marketing-requirements_en?prefLang=fr&etrans=fr)). Par exemple, les semences de céréales (comme *Oryza sativa*, *Sorghum bicolor* et *Zea mays*, à l'exception du maïs soufflé et du maïs doux) ainsi que celles de plantes oléagineuses et à fibres (*Glycine max*, *Gossypium* spp., *Helianthus annuus*) ne peuvent être importées dans l'UE depuis des pays tiers que si leurs conditions de production sont reconnues comme équivalentes à celles de l'Union européenne. La commercialisation des semences certifiées est encadrée par des exigences strictes en matière de pureté.

Les seuils de tolérance fixés sont précisés ci-dessous :

- *Zea mays* (maïs) : les échantillons de semences doivent être exempts de toute autre espèce végétale. Le contrôle est réalisé sur 250 g de semences de base pour les lignées pures, ou sur 1 kg pour les autres types de semences de base ou certifiées. (Directive 66/402/CEE du Conseil du 14 juin 1966).
- *Oryza sativa* (riz) : l'examen des semences de base (destinées à la multiplication) doit garantir moins de 4 graines étrangères dans 500 g. Pour les semences certifiées de catégorie 1, la limite est fixée à 10 graines étrangères dans 500 g. (Directive 66/402/CEE).
- *Sorghum bicolor* (sorgho) : pour les semences de base (destinées à la multiplication), le seuil est de moins de 4 graines d'autres espèces dans 500 g. Pour les semences certifiées (catégories 1 et 2), il est de 10 graines étrangères dans 500 g. (Directive 66/402/CEE).
- *Glycine max* (soja) et *Helianthus annuus* (tournesol) : la tolérance maximale est de 5 graines étrangères dans 1 kg de semences. (Directive 2002/57/CE).
- *Gossypium* spp. (cotonnier) : un maximum de 15 graines d'autres espèces végétales est autorisé dans 1 kg de semences. (Directive 2002/57/CE).

En outre, il existe un contrôle phytosanitaire. Les semences de *Sorghum* spp. et de *Glycine max* en provenance de pays tiers doivent obligatoirement être accompagnées d'un certificat phytosanitaire lors de leur entrée dans l'Union européenne. De même, les semences de *Gossypium*, *Helianthus annuus*, *Oryza* spp. et *Zea mays* importées de pays tiers (à

l'exception de la Suisse) sont soumises à cette obligation. En plus de ce certificat, ces lots de semences doivent faire l'objet d'un contrôle phytosanitaire à leur arrivée dans un poste de contrôle frontalier de l'UE, conformément au Règlement 2019/2072. Ces contrôles officiels comprennent des vérifications physiques, dont la fréquence est définie en fonction du niveau de risque, comme précisé à l'article 49 du Règlement 2017/625 relatif aux contrôles officiels.

Théoriquement, le risque d'introduction via des semences certifiées est donc faible. Cependant, il n'y a pas de recherche spécifique de graines d'*A. palmeri* et la fréquence des contrôles n'est pas optimisée pour gérer ce risque.

Le transfert via cette filière vers un habitat favorable est très probable. En effet, les semences destinées aux cultures, lorsqu'elles sont contaminées par des graines d'*A. palmeri*, sont généralement directement semées dans des champs cultivés, qui constituent l'habitat de prédilection pour *A. palmeri*.

#### • Mélanges de semences et semences indigènes

Aux États-Unis, des graines d'*A. palmeri* ont été trouvées comme contaminants dans des mélanges de semences utilisées dans le domaine de la conservation, pour la restauration d'habitats, pour les pollinisateurs ou pour favoriser le gibier. Ces mélanges peuvent être semés dans des milieux naturels ou agricoles favorables à l'établissement de l'espèce. En France, l'importation de ces semences est en principe soumise à un certificat phytosanitaire indiquant les espèces incluses (règlement UE 2016/2031). Cependant la composition réelle des mélanges est souvent incertaine, tout comme leur origine et quantité respective.

#### • Machines et équipements agricoles usagés

Au Brésil, les premières observations d'*A. palmeri* en 2011/2012 ont lieu dans le Mato Grosso en parcelle de cotonnier et sont consécutives à l'importation de matériel de récolte du coton déjà utilisé et en provenance des États-Unis (Géorgie), détection officielle en juin 2015 (Gazziero *et al.*, 2023). L'origine de ces populations en provenance des États-Unis est confirmée par l'étude génétique faite par Gaines *et al.* en 2021 par comparaison génétique de populations du Brésil, d'Argentine, d'Uruguay et des États-Unis. Gazziero *et al.* (2023) insistent sur l'importation et la circulation d'une région à l'autre des machines agricoles déjà utilisées dans des zones contaminées, mal nettoyées et mal inspectées malgré la réglementation en vigueur.

Concernant les transferts depuis l'Espagne, *A. palmeri* pourrait cependant être dispersée accidentellement par les engins assurant le fauchage des bords de routes comme cela est observé pour de nombreuses plantes exotiques envahissantes. Une arrivée par cette voie ne peut être exclue mais elle nécessiterait de franchir les cols pyrénéens où le climat n'est pas favorable, en revanche cela est tout à fait possible via Port-Bou-Cerbère (Pyrénées orientales) à proximité de la Catalogne où est présente *A. palmeri*.

Les filières suivantes présentent une probabilité d'entrée très faible :

#### • Dispersion naturelle

Dans la région de Lleida, *A. palmeri* est présente le long des routes. L'espèce n'a pas de moyen de dispersion naturelle efficace (barochorie et hydrochorie par ruissellement). L'arrivée dans la zone ARP par dispersion naturelle depuis l'Espagne semble très peu probable, aucune rivière ne coule en France depuis l'Espagne.

### • Foin

L'USDA (2019a) et l'Agence canadienne d'inspection des aliments (2018) décrivent tous deux le potentiel de dissémination des semences de *A. palmeri* en tant que contaminant du foin aux États-Unis et au Canada, respectivement. Toutefois, *A. palmeri* ne se développe pas particulièrement dans les pâturages ou dans les cultures fourragères mis à part la luzerne, comme cela a été mentionné en Espagne (J. Recasens, comm. pers.). Il se trouve que du foin d'origine espagnole est régulièrement importé en France (A. Rodriguez, comm. pers.), mais il n'a pas été possible d'en connaître le tonnage annuel et les zones d'origine exactes.

### • Fumier

Le fumier est identifié aux États-Unis (Minnesota) comme une source de dissémination (Yu *et al.*, 2021). Les excréments frais de bétail ayant consommé des résidus de cultures ou des aliments contaminés ou du foin contaminé (jusqu'à 555 graines pour 1 kg de produit) sont les plus à risques. Un compost ayant passé 3 jours à 60°C avec un minimum de 35 % d'humidité détruit toutes les graines d'*A. palmeri* (Larney et Blackshaw, 2003), mais il y a toujours des risques de zones à plus faible température dans lesquelles toutes les graines ne sont pas détruites. L'USDA (2019a) (citant NDSU 2014/15) indique qu'*A. palmeri* a été introduit dans l'État du Michigan (États-Unis) par le biais du fumier de vaches laitières nourries avec des sous-produits du dégossypage du coton. Jordi Recasens a aussi mentionné le fumier comme source de contamination de nouvelles parcelles.

**Cette filière explique surtout la dissémination au sein d'une zone déjà envahie, la probabilité de transfert de fumier des pays envahis par *A. palmeri* vers la France est considérée comme extrêmement faible.**

### • Voyageurs et leur équipement

Les graines d'*A. palmeri* peuvent être des contaminants transportés par les voyageurs (par exemple : chaussures, vêtements et équipements de loisirs tels que tentes, sacs, etc.). Cependant, *A. palmeri* étant principalement associé aux zones de grandes cultures agricoles, les touristes se trouveront rarement en contact avec les graines. La dissémination d'*A. palmeri* n'étant pas assurée par des animaux, l'association ne peut se faire que sur de la terre contaminée accrochée aux chaussures ou aux vêtements. Les données disponibles sont insuffisantes pour évaluer pleinement cette voie d'introduction mais elle paraît avoir un rôle très faible.

### • Sous-produits issus du coton

Les sous-produits du coton sont utilisés comme fourrage grossier pour le bétail en Amérique du Nord. Norsworthy *et al.* (2009) indiquent que ces sous-produits peuvent contenir des graines d'espèces adventices, y compris *A. palmeri*. Dans une étude analysant des échantillons de sous-produits provenant de l'Arkansas, de l'ouest du Tennessee et de l'ouest du Mississippi, des graines viables d'*A. palmeri* ont été trouvées dans 4,2 % des échantillons. Bien que cette voie puisse être pertinente pour la dissémination à l'intérieur des États-Unis, aucune preuve n'indique que les sous-produits du coton soient importés en France.

### • Importation intentionnelle d'*A. palmeri*

Il n'existe aucune preuve qu'*A. palmeri* soit cultivé, ni que ses graines soient disponibles à la vente. *A. palmeri* pourrait toutefois être importé à des fins de recherche.

### • Sols et autres substrats de culture (seuls ou associés à des plantes destinées à la plantation, autres que les semences)

L'importation de sol, et de substrats en tant que tels, est interdite dans l'UE, et elle est réglementée lorsqu'ils sont associés à des plantes (Règlement (UE) 2019/2072), ce qui implique une probabilité d'introduction très faible en tant que contaminant par cette voie.

### • Produits en laine

Les produits en laine pourraient, en théorie, être contaminés par des graines d'*A. palmeri*, car les animaux peuvent pâturer sur des champs infestés après récolte. Toutefois, la laine est généralement transformée localement et les déchets de laine ne sont pas destinés à l'exportation. Le risque d'introduction par cette voie est donc très faible.

### • Patate douce

*A. palmeri* est suffisamment présent dans les champs de patate douce pour réduire les rendements de cette culture en Amérique du Nord. L'importation de patate douce associée à de la terre contaminée de graines pourrait présenter un risque. Le GT est en accord avec les conclusions du groupe d'experts de l'OEPP (2020) qui a estimé que le risque d'introduction par cette voie était très faible, car les graines présentes dans le sol sont généralement éliminées avec la terre retirée lors de la récolte des racines et tubercules.

**Tableau 9 : Principales filières d'entrée potentielles identifiées**

Filières d'entrée potentielles	Courte description expliquant pourquoi cette filière est considérée comme filière d'entrée	Filière interdite dans la zone ARP ? Oui/Non	ON déjà intercepté sur cette filière d'entrée ? Oui/Non
Grains destinés à la fabrication d'aliments pour animaux, à la consommation humaine et à la transformation	Ces grains (principalement soja et maïs) importés ne font pas l'objet d'une réglementation ni d'une surveillance et sont la principale voie d'introduction d' <i>A. palmeri</i> en Espagne	Non	Oui (en Espagne)
Produits destinés à l'alimentation du bétail	Les graines d' <i>A. palmeri</i> sont trop petites pour être écrasées lors de la fabrication d'aliments du bétail. Elles peuvent être ingérées par les animaux et se retrouver dans les fumiers sans perte de viabilité	Non	Oui (en Espagne)
Matériels agricoles (occasion ou entreprises de travaux)	La contamination du Brésil est due à des récolteuses de coton d'occasion importées des Etats Unis (Géorgie) et provenant de zones infestées. Du matériel usagé venant d'Espagne pourrait être une source de contamination	Non	Oui (au Brésil)
Fourrage (luzerne)	Des parcelles de luzerne contaminées par <i>A. palmeri</i> sont connues en Espagne. L'importation de foin de luzerne d'Espagne pourrait être une source de contamination, comme cela a été le cas entre différents états des États-Unis.	Non	Oui (aux États-Unis)

Le GT considère la probabilité d'entrée d'*A. palmeri* très élevée compte tenu des données suivantes : 1) du soja destiné à l'alimentation animale est importé régulièrement en France depuis le Brésil (pays où *A. palmeri* est également présente de façon pérenne) bien que de façon moins importante que pour l'Espagne) 2) des échanges commerciaux (aliments

pour bétail) et de matériels agricoles existent entre l'Espagne et la France, et 3) des populations permanentes de l'espèce sont observées en Espagne et en Italie. L'incertitude est jugée modérée car les importations en provenance du Brésil sont régulières, sans que leur taux de contamination soit connu. En revanche, les données concernant les échanges entre l'Espagne et la France, sont non exhaustives ou indisponibles (exemples : mouvements de matériels agricoles transfrontaliers entre l'Espagne et le Sud-Ouest de la France par exemple ou le volume d'aliments pour bétail en provenance d'Espagne, et achetées par des agriculteurs français).

**Tableau 10 : conclusion du groupe de travail sur la probabilité d'entrée d'*Amaranthus palmeri* dans la zone ARP**

Probabilité d'entrée	Très faible □	Faible □	Modérée □	Elevée □	Très élevée X
Niveau d'incertitude			Faible □	Modéré X	Elevé □

## 2.2.9 Probabilité d'établissement à l'extérieur dans la zone ARP

Plusieurs études ont été publiées sur la distribution potentielle d'*A. palmeri*. Zhang *et al.* (2022) et Jiao *et al.* (2023) se concentrent sur la Chine, tandis que Briscoe Runquist *et al.* (2019) s'intéressent à l'Amérique du Nord. Ces travaux n'apportent pas d'éléments directement exploitables dans le cadre de la présente analyse de risque. Ferreira *et al.* (2023), utilisant le modèle CLIMEX, concluent qu'une large partie de l'Europe présente des conditions favorables à l'établissement d'*A. palmeri*. Toutefois, la méthodologie employée soulève certaines réserves, notamment en raison de l'utilisation de populations transitoires pour l'ajustement du modèle (voir Figure 1 dans Ferreira *et al.*, 2023).

L'analyse de risque publiée par l'OEPP (2020) propose également une modélisation de la distribution potentielle de l'espèce, indiquant une compatibilité climatique pour une partie de l'Europe de l'Ouest, en particulier le sud-est de la France. Depuis la réalisation de ces travaux, la progression d'*A. palmeri* s'est poursuivie et de nouvelles observations ont été réalisées, enrichissant les bases de données d'occurrence.

Dans ce contexte, nous avons entrepris une nouvelle modélisation de l'aire de distribution potentielle d'*A. palmeri*, en nous appuyant sur les données les plus récentes (Cf. Annexe 3 - Modélisation). Nous avons employé trois modèles différents : Boosted regression Trees (Elith *et al.*, 2008), Maxent (Elith *et al.*, 2011) et Random Forest (Valavi *et al.*, 2021), avec un ensemble de variables décrivant le climat. Les modèles ont été calibrés avec les données climatiques actuelles et projetés en utilisant des estimations des conditions climatiques pour la période 2041-2060. Dans ce cas, nous avons utilisé les estimations de 11 modèles de circulation globale selon 4 scénarios d'émission de gaz à effet de serre (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 et SSP5-8.5 ; voir Annexe 3 relative à la Modélisation).

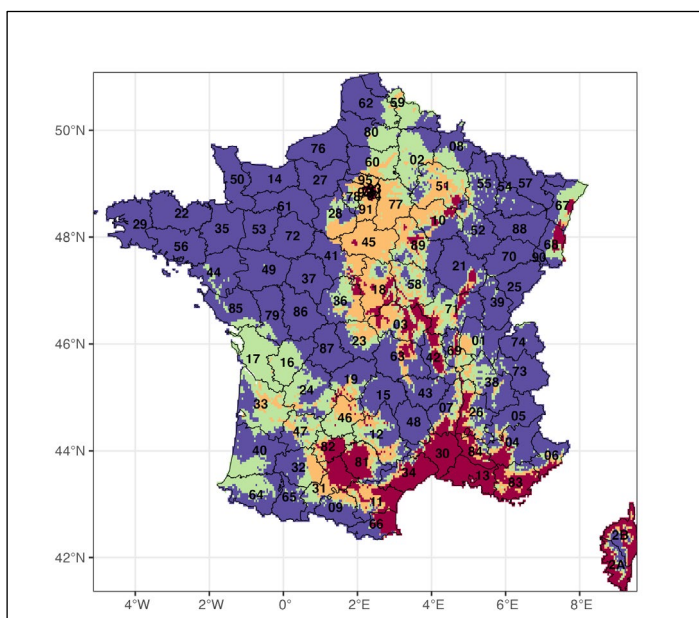
Les résultats obtenus pour les conditions climatiques actuelles sont représentés Figure 3 de l'Annexe 3 (Modélisation). En France, les zones climatiquement favorables selon les 3 modèles (représentées en rouge sur la Figure 7) sont situées dans le sud du pays, notamment sur les côtes méditerranéennes (Occitanie, Provence-Alpes-Côte d'Azur, Corse) ainsi que

dans le Tarn et le Tarn et Garonne. D'autres zones favorables, plus localisées, se rencontrent dans les régions Centre-Val de Loire et Bourgogne Franche-Comté. De larges zones considérées comme climatiquement favorables par un ou deux modèles (Figure 7, couleur orange ou vert) sont présentes en Nouvelle-Aquitaine, Centre-Val de Loire et Ile de France. Les résultats obtenus dans ces zones doivent être considérés avec prudence car les projections des 3 modèles divergent ce qui traduit une certaine incertitude sur la compatibilité climatique de ces régions et donc autour du risque d'établissement.

À l'échelle européenne, plusieurs pays voisins de la France tels que l'Italie et l'Espagne, ainsi que des États des Balkans et d'Afrique du Nord, présentent de vastes zones associées à une compatibilité climatique élevée (Figure 2, Annexe 3 - Modélisation).

L'analyse des projections climatiques selon différents scénarios d'évolution du climat (SSP<sup>10</sup>1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 et SSP5-8.5 ; voir Figure 4 annexe 3 Modélisation) indique une augmentation globale de la compatibilité climatique pour la période 2041–2060, quel que soit le scénario envisagé. Ces projections suggèrent qu'avec le changement climatique, les zones climatiquement favorables s'étendront vers le nord de l'Europe, cette tendance étant d'autant plus marquée que les scénarios supposent des niveaux d'émissions de gaz à effet de serre plus élevés.

En France, les zones favorables s'élargissent notamment vers l'Aquitaine, à l'ouest du pays, un résultat observé dans une large proportion des projections. Bien qu'un certain niveau d'incertitude demeure, ces résultats suggèrent que le changement climatique pourrait créer des conditions plus propices à l'établissement d'*A. palmeri* dans cette région.



**Figure 7 : Compatibilité du climat actuel avec le développement d'*A. palmeri*. Carte du consensus obtenu pour les trois modèles utilisés avec les données climatiques actuelles. Les couleurs représentent le nombre de modèles prédisant des conditions climatiques favorables à *A. palmeri* (bleu : 0 ; vert : 1 ; orange : 2 ; rouge 3).**

<sup>10</sup> SSP : Shared Socioeconomic Pathways (Giec) ; voir Annexe 3 pour les détails sur les 4 scénarios



*A. palmeri* a démontré de très fortes capacités d'adaptation à de nouvelles conditions climatiques depuis le début du 20<sup>ème</sup> siècle, lors de son expansion spectaculaire hors de son aire de distribution native à travers l'Amérique du nord (Briscoe Runquist *et al.*, 2019). Il n'est donc pas exclu que cette espèce puisse s'adapter à des climats que nous considérons actuellement comme peu favorables à l'issue de ce travail ou pour lesquels nos analyses révèlent un niveau d'incertitude élevé.

Sur la base des résultats de modélisation, le GT juge élevée la probabilité d'établissement d'*A. palmeri* à l'extérieur dans la zone ARP avec une incertitude faible. La probabilité n'a pas été jugée « très élevée » car les zones considérées favorables demeurent limitées à l'échelle du territoire métropolitain.

**Tableau 11 : Evaluation de la probabilité d'établissement d'*Amaranthus palmeri* à l'extérieur dans la zone ARP**

Probabilité d'établissement à l'extérieur	Très faible <input type="checkbox"/>	Faible <input type="checkbox"/>	Modérée <input type="checkbox"/>	Elevée X	Très élevée <input type="checkbox"/>
Niveau d'incertitude			Faible X	Modéré <input type="checkbox"/>	Elevé <input type="checkbox"/>

### 2.2.10 Probabilité d'établissement en conditions protégées dans la zone ARP

*Amaranthus palmeri* n'est pas considéré comme présentant un quelconque risque en conditions protégées. La question est donc considérée sans objet.

### 2.2.11 Dissémination dans la zone ARP

Les graines d'*A. palmeri* se dispersent naturellement principalement par gravité (elles tombent près de la plante mère) et par l'eau (cf. 2.2.2.5. Reproduction). La dispersion par gravité reste très limitée, sur quelques mètres seulement. En revanche, l'eau peut transporter les graines sur des distances bien plus grandes : certaines peuvent parcourir jusqu'à 114 mètres par ruissellement selon Norsworthy *et al.* (2014). Les cours d'eau et les zones de drainage facilitent leur propagation. Comme pour d'autres espèces du genre *Amaranthus*, les graines et les fruits flottent facilement, ce qui favorise leur transport par l'eau (Costea *et al.* 2004).

Bien que la dispersion naturelle par l'eau puisse transporter les graines d'*A. palmeri* sur des distances non négligeables, c'est avant tout l'activité humaine qui contribue le plus à leur dissémination à grande échelle.

Les graines peuvent être transportées par le matériel agricole, les machines de récolte (comme les moissonneuses-batteuses), ou encore par les produits agricoles eux-mêmes (grains, semences, fourrages). Aux États-Unis, il a été démontré que des équipements agricoles déplacent facilement les graines depuis des parcelles infestées vers des zones saines (Norsworthy *et al.*, 2014 ; Barber *et al.*, 2015). D'autres vecteurs incluent le transport de compost, de fumier, des aliments pour animaux ou des semences de cultures.

Par ailleurs, l'irrigation peut jouer un rôle important : une étude de Norsworthy *et al.* (2014) a montré qu'en introduisant 20 000 graines sur 1 m<sup>2</sup> d'une parcelle, la plante a réussi à

coloniser entre 0,53 et 0,77 hectare en moins de deux ans, probablement grâce à l'eau de pluie, à l'irrigation par sillon, et au passage du matériel de récolte.

La combinaison de ces moyens de dispersion naturelle et aidée par des activités humaines conduit à une capacité de dissémination rapide d'*A. palmeri* comme en témoigne différents exemples de progression de cette espèce quantifiée aux États-Unis (Cf. Tableau 12 ; <https://parkcountyweeds.org/wp-content/uploads/2024/03/Palmer-Amaranth-Website-Packet.pdf>) et au Brésil (Gazziero *et al.*, 2023).

**Tableau 12 : Évolution du % d'infestation par *Amaranthus palmeri* des surfaces cultivées dans deux états des États-Unis entre 2016 et 2020 : le Colorado et le Nébraska**

Etat infesté	2016	2017	2018	2019	2020
Colorado	0%	4%	9%	18%	39%
Nébraska	1%	2%	7%	15%	30%

Au Brésil, dans l'état du Mato Grosso, *A. palmeri* a été détecté pour la première fois en 2011-2012 (Gazziero *et al.*, 2023). En 2015, 4 exploitations étaient infestées sur un total de 11650 ha. De 2016 à 2021, 6 nouvelles exploitations ont été infestées sur 1373 ha. Cette dissémination est attribuée à l'utilisation importante de résidus de culture cotonnière contaminés par des graines d'*A. palmeri* pour l'amendement du sol et le passage de récolteuses d'une exploitation à l'autre.

En 2023, l'état du Mato Grosso do Sul s'est également avéré colonisé avec 1 660 ha contaminés.

Dans la zone ARP, les régions présentant des conditions climatiques favorables à l'établissement d'*A. palmeri* sont actuellement limitées au sud du pays et dans une moindre mesure au sud-ouest. Dans les départements concernés (Cf. Partie 2.2.9) la vitesse de dispersion pourrait être assez rapide sur de petites distances par le transfert de matériel agricole d'une parcelle à l'autre.

En conclusion, le GT considère la magnitude de dissémination élevée avec une incertitude faible, du fait de sa dissémination par assistance humaine qui permet un transport des graines d'*A. palmeri* sur de grandes distances (les graines pouvant être transportées par du matériel agricole ou des produits agricoles contaminés (aliments du bétail, foin, fumier)).

**Tableau 13 : Évaluation de la magnitude de la dissémination d'*A. palmeri* dans la zone ARP**

Magnitude de la dissémination	Très faible <input type="checkbox"/>	Faible <input type="checkbox"/>	Modérée <input type="checkbox"/>	Elevée X	Très élevée <input type="checkbox"/>
Niveau d'incertitude				Faible X	Modéré <input type="checkbox"/> Elevé <input type="checkbox"/>

### 2.2.12 Impact d'*Amaranthus palmeri* dans son aire de distribution actuelle

L'impact d'*Amaranthus palmeri* porte sur différentes composantes décrites dans les paragraphes ci-dessous. L'évaluation de l'impact repose sur des données issues de références bibliographiques sélectionnées dans le cadre d'une revue de la littérature conduite selon des



lignes directrices définies par l'Anses (Cf. Annexe 2). Le GT a souhaité porter une attention particulière à cette question étant donné le caractère envahissant remarquable d'*A. palmeri* et sa capacité d'acquisition de multirésistances à diverses familles de substances actives herbicides.

#### 2.2.12.1 Compétition par rapport à l'eau

Avec un système racinaire d'une profondeur de 1,8 m et jusqu'à 3 m de diamètre, *Amaranthus palmeri* a une surface d'extraction de l'humidité du sol de 3,34 m<sup>2</sup> par individu (Davis, 2015).

#### 2.2.12.2 Compétition par rapport à la lumière

Les plantes d'*A. palmeri* poussant à des densités élevées ont un port plus dressé et peu ramifié. À l'inverse, lorsque la densité des plantes est faible, l'amarante se ramifie latéralement, maximisant ainsi l'interception de la lumière (Massinga *et al.*, 2003).

#### 2.2.12.3 Impact sur le rendement des cultures

Aux États-Unis, en cas de compétition avec *A. palmeri* durant tout le cycle cultural, les pertes de rendement enregistrées sont de l'ordre de 91 % en maïs, 79 % en soja et 77 % en cotonnier, de plus, la récolte mécanique est rendue impossible (Gazziero & Ferreira da Silva, 2017, Massinga *et al.*, 2001, Bensch *et al.*, 2003, Fast *et al.*, 2009).

Des études ont montré qu'*A. palmeri* réduit les rendements du maïs de 11 % à 91 % quand la densité d'*A. palmeri* varie de 0,5 à 8 plantes par m<sup>2</sup> (Massinga *et al.*, 2001 ; Massinga et Currie, 2002) et ceux du soja de 17 % à 68 % pour des densités de l'adventice variant de 0,33 à 10 plantes par m<sup>2</sup> (Klingaman & Oliver, 1994).

Une revue de la littérature concernant l'impact d'*A. palmeri* sur le rendement des cultures a été conduite (Cf. Annexe 2 pour la requête lexicale sur l'impact d'*A. palmeri*).

Au total, 146 articles ont été identifiés comme potentiellement éligibles sur la base du titre et du résumé comprenant les notions d'impact, d'interférence, de perte de rendement et citant une ou plusieurs cultures.

Parmi ces 146 articles, seuls 20 ont permis d'extraire 45 observations reliant une densité d'*A. palmeri* (nombre d'individus par m<sup>2</sup>) à une perte de rendement pour 8 cultures : cotonnier, n=12, patate douce, n=10, soja, n=9, maïs, n=8, pastèque, n=3, sorgho, n=2, arachide, n=1, et tomate, n=1 (Figure 8).

La méthode d'analyse de l'impact sur le rendement en fonction de la densité d'*A. palmeri* est présentée en Annexe 4.

D'un point de vue biologique, on constate qu'un faible nombre d'individus d'*A. palmeri* par m<sup>2</sup> (< 2,5) suffit à engendrer une baisse conséquente du rendement (~25 %). La sensibilité des différentes cultures varie à ce stade avec des pertes plus élevées pour la patate douce et bien plus faible pour le maïs. À partir d'une densité d'environ 4 et 8 amarantes par m<sup>2</sup> les pertes de rendements s'élèvent en moyenne à 50 % et 70 %, respectivement. Ces données sur patate douce, soja, maïs, pastèque, sorgho, et arachide, sont issues d'essais expérimentaux conduits aux États-Unis (Cf. Figure 8). L'effet lié à la culture n'apparaît pas significatif dans cette analyse.

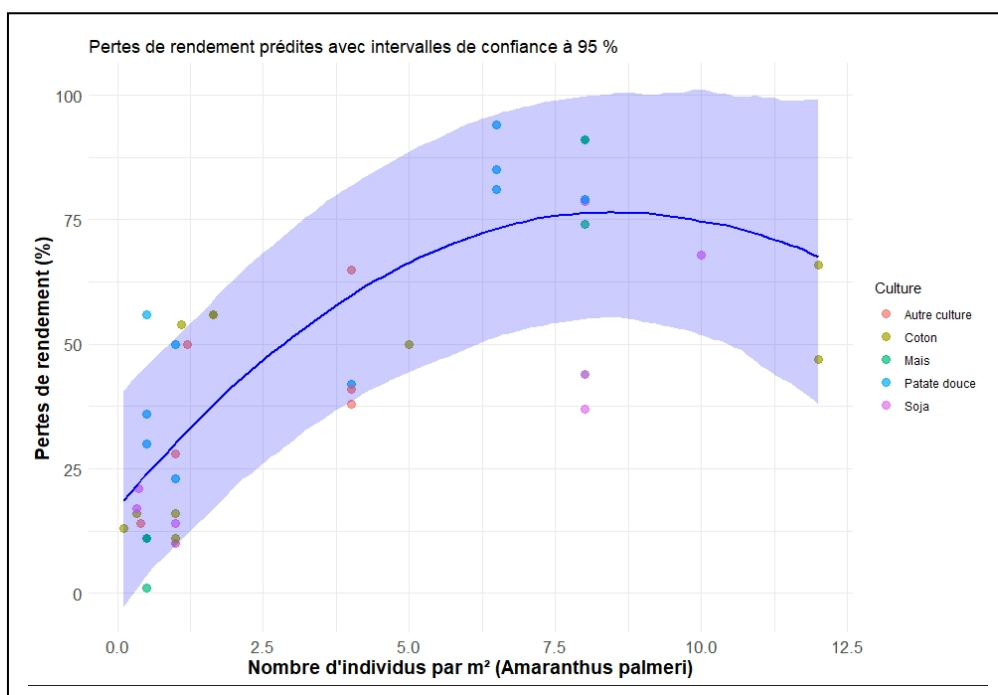


Figure 8 : Perte de rendements des cultures (en % par rapport à une situation sans *Amaranthus palmeri*) en fonction du nombre d'individus par m<sup>2</sup> d'*Amaranthus palmeri*.

#### 2.2.12.4 Effet allélopathique

La présence de résidus d'*A. palmeri* (tige, inflorescence, feuilles) dans les sols présente des effets allélopathiques qui se traduisent par une diminution du rendement des carottes et des oignons et réduit la germination et l'établissement de ces cultures (Bradow & Connick, 1987 ; Menges 1987b).

#### 2.2.12.5 Hôte de maladies et de ravageurs des cultures

##### Champignons

En Arizona, *A. palmeri* est hôte de *Macrophomina phaseolina* responsable de la pourriture noire qui attaque de nombreuses plantes (Young & Alcorn, 1984).

##### Virus

Le virus de l'enroulement du cotonnier (CLRDV) est un agent pathogène grave pour la production de coton et est transmis par le puceron du cotonnier et du melon, *Aphis gossypii*. Le CLRDV peut être transmis expérimentalement par puceron à *A. palmeri* (Panday *et al.*, 2022) qui est donc un réservoir potentiel de ce virus et susceptible de jouer un rôle dans son épidémiologie.

##### Nématodes

Les tests réalisés par Schwarz *et al.* (2024) en Caroline du Nord montrent qu'*A. palmeri* est sensible et permet la multiplication des deux espèces de nématodes *Meloidogyne enterolobii* et *M. incognita* race 4 qui provoquent des galles racinaires chez de nombreuses cultures. *M. incognita* a également été détecté, provoquant des galles sur les racines d'*A. palmeri* en Uruguay (Kaspary *et al.*, 2021). En revanche, *A. palmeri* apparaît comme un hôte très limité pour *Pratylenchus neglectus* et *P. thornei* (Smiley *et al.*, 2014). *A. palmeri* est un hôte limité de *Meloidogyne arenaria* race 2 et *M. incognita* race 3 en Caroline du Sud (Tedford & Fortnum, 1988).

## Acariens

En Arkansas, *A. palmeri*, apparaît comme l'hôte le plus important en début de saison pour héberger les acariens ravageurs du cotonnier (Steinkraus & Zawislak, 2000).

### 2.2.12.6 Toxicité pour le bétail

*A. palmeri* présente des concentrations élevées en nitrates, potentiellement toxiques pour le bétail, (Schmutz *et al.*, 1974) et en oxalates (Saunders & Becker, 1984).

### 2.2.12.7 Impact écologique, économique et agronomique lié à l'acquisition de résistance aux herbicides

Le développement de populations d'adventices résistantes aux herbicides peut avoir un effet immédiat comme à long terme sur le coût, la mise en œuvre et l'efficacité des programmes de lutte contre ces populations. Au Kansas, la résistance aux herbicides à base de triazine a été confirmée dans les populations d'*A. palmeri*, de même que la résistance aux herbicides inhibiteurs de l'acétolactate synthase (ALS). Les producteurs qui rencontrent des problèmes de résistance aux herbicides adaptent leur programme de lutte contre les mauvaises herbes en conséquence. Les producteurs qui n'ont pas rencontré de problème de résistance aux herbicides ont tendance à poursuivre un programme herbicide efficace jusqu'à ce qu'il échoue.

Les stratégies de gestion recommandées pour les populations d'adventices résistantes aux herbicides comprennent un système intégré de rotation des cultures, une alternance des herbicides en fonction de leur mode d'action, des mélanges en cuve d'herbicides ayant des modes d'action différents.

Le coût direct le plus élevé pour le producteur survient au cours de la première année de mauvais contrôle des adventices. La première réaction à l'échec d'un herbicide est souvent de réappliquer le même herbicide qui avait bien fonctionné jusqu'alors. Lorsque le producteur se rend compte que le traitement ne fonctionne plus, il est généralement trop tard pour prendre d'autres mesures correctives. Par conséquent, l'agriculteur voit sa production diminuer en raison de la concurrence des adventices non détruites par le traitement herbicide, il subit les coûts élevés des herbicides et la banque de semences d'adventices s'accroît considérablement. L'augmentation de la banque de semences d'adventices peut coûter le plus cher à l'agriculteur à long terme, car la pression accrue de celles-ci nécessite souvent un programme de contrôle intensifié pendant plusieurs années (Peterson, 1999).

Le labour de conservation réduit le travail physique du sol au minimum nécessaire à l'établissement et à la production des cultures. Cette pratique s'est grandement développée grâce à l'utilisation conjointe d'herbicides totaux tels que le glyphosate. Elle est aujourd'hui menacée aux États-Unis par l'émergence et la propagation rapide des populations d'*A. palmeri* résistantes au glyphosate (Price *et al.*, 2011).

### 2.2.12.8 Impact sur le commerce international

La présence d'*A. palmeri* dans une culture a un impact secondaire d'ordre commercial, du fait que la production ne peut plus être exportée vers des pays qui font l'objet d'une réglementation par rapport à cette espèce comme l'Australie (Moniodis, 2014 ; BICON, 2019), le Brésil (WTO, 2018) ou le Maroc (Arrêté 593-17 du Ministère de l'agriculture, de la pêche maritime, du développement rural et des eaux et forêts. BO n°6680 du 07/06/2018, page 1281).

### 2.2.12.9 Impact sur les milieux non agricoles

Nous n'avons pas trouvé de publications mesurant explicitement l'impact d'*Amaranthus palmeri* sur les communautés de plantes sauvages de milieu semi-naturel ce qui peut s'expliquer par la faible présence de cette amarante en dehors des milieux cultivés. Seule une série de trois publications s'est intéressée à l'effet de l'amarante de Palmer sur les propriétés physico-chimiques du sol et les communautés de bactéries. Les études réalisées par Zhang *et al.* (2022a) montrent que les sols infestés ont des taux de C, de N-NH<sub>4</sub> et un C/N significativement inférieur à ceux en végétation naturelle. Cette étude montre que l'invasion par *A. palmeri* est associée à une activité enzymatique d'absorption de C et de N plus élevée dans le sol et à une activité enzymatique d'absorption de P plus faible que celle observée dans le sol de la végétation indigène. *A. palmeri* enrichit de manière sélective les sols en bactéries bénéfiques (par exemple, *Sphingomonas* sp. et *Novosphingobium*), mais réduit l'abondance de certaines bactéries pathogènes (principalement *Enterobacteriaceae*). Parmi les facteurs édaphiques sélectionnés, le carbone total et le pH ont été les principaux facteurs déterminant la communauté bactérienne du sol et la composition du sol de la rhizosphère. L'azote total et l'ammonium étaient les facteurs environnementaux critiques affectant la communauté bactérienne dans le sol non rhizosphérique et le sol nu, respectivement. L'analyse du réseau de cooccurrence a indiqué une communauté bactérienne plus stable dans la rhizosphère d'*A. palmeri*, ce qui peut améliorer sa résistance aux perturbations environnementales (Zhang *et al.*, 2022b). De même, concernant les champignons, dans le sol de la rhizosphère d'*A. palmeri*, les Basidiomycota sont significativement plus nombreux, tandis que les Ascomycota et les Glomeromycota sont significativement réduits par rapport aux rhizosphères des plantes indigènes. Au niveau du genre, l'invasion d'*A. palmeri* augmente considérablement l'abondance des champignons bénéfiques et des antagonistes potentiels tels que *Dioszegia*, *Tilletiopsis*, *Colacogloeae* et *Chaetomium*, tout en diminuant de manière significative l'abondance des champignons pathogènes tels qu'*Alternaria* et *Phaeosphaeria* (Zhang *et al.*, 2023). Ces changements de composition du microbiote rhizosphérique induit par *A. palmeri* renforceraient sa propre compétitivité tout en diminuant la pression pathogène (Zhang *et al.*, 2023).

### 2.2.12.10 Impact sur la santé humaine

Le pollen d'*A. palmeri* est reconnu comme fortement allergénique (Bedolla-Barjas *et al.*, 2012). Parmi ses protéines allergéniques identifiées, il existe une profiline (Landa-Pineda *et al.*, 2016) et une calmoduline (Gomez-Esquivel *et al.*, 2021).

Sur la base de l'ensemble des données disponibles, le GT considère que la magnitude de l'impact d'*A. palmeri* dans la zone de distribution actuelle est très élevée en milieux agricoles (pour les cultures estivales) avec une incertitude faible. En revanche, la magnitude de l'impact d'*A. palmeri* sur les milieux naturels est faible avec une incertitude faible.

Tableau 14 : Evaluation de la magnitude de l'impact en milieux agricoles d'*Amaranthus palmeri* dans la zone de distribution actuelle

Magnitude de l'impact	Très faible <input type="checkbox"/>	Faible <input type="checkbox"/>	Modérée <input type="checkbox"/>	Elevée <input type="checkbox"/>	Très élevée X
Niveau d'incertitude			Faible X	Modéré <input type="checkbox"/>	Elevé <input type="checkbox"/>

2.2.13 Impact potentiel dans la zone ARP

Les impacts envisagés seront-ils similaires à ceux actuellement connus dans la zone de présence actuelle ? **Non**

Le GT considère que des impacts moindres pourraient être observées dans la zone ARP en raison des pratiques culturales différentes en France métropolitaine et moins favorables que celles pratiquées dans la zone d'origine (pas d'OGM tolérant aux herbicides non sélectifs, faible surface en non-labour). Par ailleurs, les cultures de maïs notamment, qui pourraient être infestées par *A. palmeri* ne se situent pas toutes dans des zones climatiquement favorables à l'amarante.

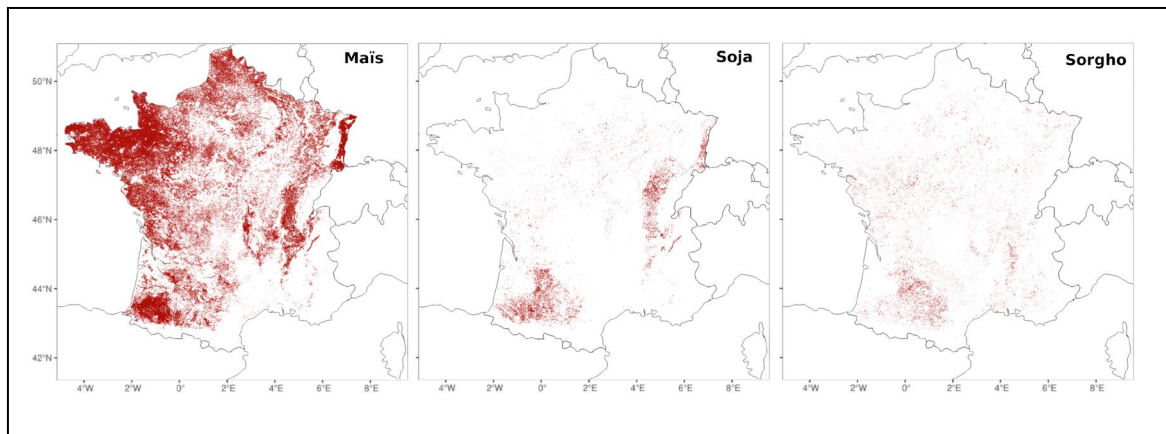
Si Non

Magnitude de l'impact potentiel dans la zone ARP	Très faible <input type="checkbox"/>	Faible <input type="checkbox"/>	Modérée <input type="checkbox"/>	Elevée X	Très élevée <input type="checkbox"/>
Niveau d'incertitude			Faible <input type="checkbox"/>	Modéré X	Elevé <input type="checkbox"/>

Les impacts potentiels d'*A. palmeri* dans la zone ARP concernent principalement les milieux agricoles. En effet, les impacts observés dans la zone de distribution actuelle indiquent que le développement de populations de cette espèce au sein de certaines cultures présentes dans la zone ARP peut être très rapide et engendrer une forte compétition avec les plantes cultivées, entraînant des pertes importantes sur les rendements. Notamment, la présence de quelques individus par mètre carré est susceptible de réduire fortement le rendement des cultures de maïs, de sorgho et de soja, avec des pertes mesurées dans la zone de distribution actuelle allant de 6 % à plus de 90 % pour le maïs, 50 % pour le sorgho et jusqu'à 65 % pour le soja (USDA, 2019). Pour ces cultures dans la zone ARP, les impacts d'*A. palmeri* sont susceptibles d'être similaires à ceux observés dans la zone de distribution actuelle.

Cependant, compte tenu de la différence de pratiques agricoles en France métropolitaine par rapport aux États-Unis et au Brésil (notamment l'usage d'OGM, l'absence de travail du sol et l'utilisation massive d'herbicides non sélectifs) la magnitude de l'impact potentiel d'*A. palmeri* à l'échelle de la zone ARP (France métropolitaine) est considérée élevée. L'impact économique potentiel résultant est dépendant du niveau d'infestation des cultures concernées. Ces trois grandes cultures représentent des surfaces significatives dans la zone ARP. Le maïs représente une filière importante dans la zone ARP, avec près de 3 millions d'hectares cultivés en 2024, soit environ 10 % de la surface agricole utile (Cf. Figure 9) et une tendance à la hausse (Agreste, 2024), notamment dans des zones géographiquement exposées à un risque d'invasion de l'espèce (proximité des pays dans lesquels l'espèce est déjà présente) et/ou aux conditions climatiques susceptibles de

permettre le développement de populations viables, notamment la Nouvelle-Aquitaine et l'Occitanie, ainsi que la vallée du Rhône et l'Alsace. La surface occupée par les cultures de soja dans la zone ARP en 2024 est estimée à 149 000 ha et celle occupée par le sorgho à 69 000 ha, soit environ 0,5 % et 0,2 % de la surface agricole utile, une proportion importante de ces surfaces étant également situées dans les régions dont les conditions climatiques sont potentiellement propices à l'installation de l'espèce (Cf. Figure 9).



**Figure 9 : Répartition des surfaces agricoles occupées par le maïs (inclus maïs doux et maïs fourrager), le soja et le sorgho dans la zone ARP**  
(Données issues du registre parcellaire géographique national français, <https://geoservices.ign.fr>, 2023)

La diminution des rendements de ces trois cultures entraînerait donc des impacts économiques élevés pour les agriculteurs ainsi qu'une diminution de l'excédent de production français, associés à une baisse des exportations (en particulier pour le maïs). La production de maïs dans la zone ARP en 2024 représentait plus de 30 millions de tonnes, celle de soja représentait 400 000 tonnes, celle de sorgho 551 000 tonnes (Agreste, 2024).

De plus, dans la zone de distribution actuelle, *A. palmeri* peut impacter négativement le rendement des cultures maraîchères telles que la tomate (diminution du rendement allant jusqu'à 49 % pour certaines variétés (Garvey *et al.*, 2013), culture représentant 475 500 tonnes de production par an dans la zone ARP (Agreste, 2024). En Espagne, *A. palmeri* infeste également vergers et luzernes (Recasens comm. pers.) et en Californie elle commence à représenter une menace dans les jeunes vignes (Frnzyan *et al.* 2025). Vergers, luzerne et vigne sont des cultures très importantes dans la zone ARP et leur infestation par *A. palmeri* pourrait occasionner des pertes de rendement importantes. Le développement de populations d'*A. palmeri* dans la zone ARP serait donc susceptible de réduire le rendement de ces cultures de façon importante.

L'espèce étant potentiellement résistante à des herbicides d'utilisation courante, les coûts de gestion des populations installées pourront nécessiter des méthodes alternatives potentiellement plus onéreuses que les méthodes conventionnelles (herbicides alternatifs, lutte mécanique, lutte biologique).

Le développement de populations d'*A. palmeri* dans la zone ARP risque également d'entraîner des allergies chez les populations humaines, comme l'on montré les études réalisées dans la zone actuellement occupée par l'espèce (Cf. § 2.2.12.10).

L'impact de populations d'*A. palmeri* sur les milieux naturels (berges de cours d'eau) ou non cultivés (bords de route, jardins publics...) est considéré comme mineur.



## 2.2.14 Identification des zones les plus menacées

Sur la base des résultats de modélisation de la distribution potentielle d'*A. palmeri* en fonction du climat en France métropolitaine, les zones les plus menacées en France métropolitaine (Cf. Figure 7) sont situées :

- dans le sud du pays : les côtes méditerranéennes (Occitanie, Provence-Alpes-Côte d'Azur, Corse) ainsi que dans le Tarn et Garonne ;
- d'autres zones favorables, plus localisées, se rencontrent dans les régions Centre-Val de Loire, Bourgogne Franche-Comté et Alsace ;
- de larges zones considérées comme climatiquement favorables avec plus d'incertitude sont identifiées en Nouvelle-Aquitaine, en Centre-Val de Loire et en Île de France.

## 2.2.15 Evaluation globale du risque phytosanitaire

*Amaranthus palmeri* est une espèce à fort potentiel envahissant ayant un impact très important sur les rendements de nombreuses cultures d'été (soja, maïs, tomate, oignon, tournesol et dans une moindre mesure luzerne, vergers, vignes).

*A. palmeri* a démontré une capacité importante d'adaptation et de colonisation de régions dont le climat est différent de celui de sa zone d'origine.

Les pays d'où sont importés des produits tels que le soja et le maïs pour l'alimentation du bétail (États-Unis, Brésil) et les pays limitrophes de la France (Espagne et Italie) présentent des populations d'*A. palmeri* résistantes à différents herbicides dont le glyphosate et les inhibiteurs de l'ALS, ce qui rend la lutte contre cette espèce très difficile.

Les produits importés tels que le soja et le maïs pour la fabrication d'aliments du bétail ne font pas l'objet d'une réglementation ni d'un contrôle particulier, et ils sont la source avérée et régulière de l'introduction d'*A. palmeri* (via des lots de soja ou de maïs contaminés par des graines d'*A. palmeri*) en Espagne.

*A. palmeri* a la capacité de s'hybrider avec d'autres amarantes et de leur transmettre les gènes de résistance à de multiples herbicides.

Les régions de France métropolitaine dont le climat est favorable au développement d'*A. palmeri* et présentant des cultures estivales susceptibles d'être colonisées et impactées par l'organisme nuisible sont limitées au sud (et plus particulièrement dans le sud-est) et en Alsace, et dans une moindre mesure au sud-ouest de la France Métropolitaine.

Pour ces différentes raisons le GT a évalué le risque phytosanitaire global élevé avec une incertitude modérée du fait de la disparité des régions de France métropolitaine quant à leur compatibilité climatique pour l'établissement d'*A. palmeri*.

## 2.3 Etape 3. Gestion du risque lié à *Amaranthus palmeri*

Les recommandations de gestion d'*Amaranthus palmeri* en France métropolitaine s'appuient sur la compilation de plusieurs démarches mises en œuvre dans différents pays

comme le Brésil (Guide d'éradication d'*Amaranthus palmeri* au Mato Grosso 2015<sup>11</sup>), l'Afrique du Sud (CropLife, 1999), l'État du Minnesota aux États-Unis (Yu *et al.*, 2021), ainsi que les recommandations de gestion intégrée à l'échelle des pays méditerranéens (Matzrafi *et al.*, 2023).

Ce processus de prévention, de surveillance et de lutte rapide s'inscrit dans une démarche de tolérance zéro à l'installation d'*A. palmeri* et à sa production de graines.

### 2.3.1 Prévention des introductions

La prévention des introductions d'*A. palmeri* apparaît importante dans un contexte de populations résistantes à plusieurs herbicides dans de nombreux pays, notamment des pays très proches de la France comme l'Espagne et l'Italie ou des pays desquels proviennent d'importantes importations (États-Unis, Brésil).

Cette prévention passerait en premier lieu par la réglementation et donc la nécessité d'interdire réglementairement l'importation de lots semences (maïs, soja), de produits de récolte (maïs, soja) à destination de l'industrie ou encore de foin pour bétail contaminés par des graines d'*A. palmeri* ou en provenance de régions et/ou de pays contaminés.

Des contrôles de ces importations devraient être mis en place aux frontières en s'appuyant sur un laboratoire (GEVES) susceptible de réaliser les analyses génétiques nécessaires (Brusa *et al.*, 2021) pour identifier avec certitude les graines d'*A. palmeri*, par rapport aux graines d'autres espèces d'amarante qui ne peuvent être distinguées visuellement.

Les importateurs de matériel agricole d'occasion devraient être incités à ne pas acheter de matériel en provenance des régions contaminées (Espagne, Italie) ou, a minima, de faire effectuer un nettoyage très soigneux avant le départ de la zone d'origine.

### 2.3.2 Communication et information

Il conviendrait d'alerter, informer et sensibiliser les professionnels du monde agricole, par voie de presse, internet, coopératives agricoles et organisme de développement sur le risque que représente *A. palmeri* pour les cultures estivales des régions sud-ouest et sud-est de la France.

Le GT recommande également de sensibiliser les importateurs de matériel agricole d'occasion en provenance de pays contaminés (Espagne, Italie) à la nécessité de s'assurer que le matériel n'est pas porteur de semences d'*A. palmeri*.

### 2.3.3 Surveillance et détection précoce

La détection précoce et l'intervention rapide sont des éléments critiques pour limiter l'impact et l'infestation d'une espèce nouvellement introduite (Tataridas *et al.*, 2022). Il conviendrait de mettre en place un plan et un réseau de surveillance dans les régions les plus susceptibles d'être contaminées et de permettre l'établissement d'*A. palmeri*, et en portant une attention particulière aux ports de Saint Nazaire et de Brest où arrivent les principales

<sup>11</sup> Mato Grosso. Diário Oficial Eletrônico do Estado de Mato Grosso. Law n° 8.589/2006 and Decree n° 1.524/2008. Available from: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=133142>> Portuguese.



importations de maïs et de soja destinées à l'alimentation du bétail et des usines de fabrication d'aliment pour bétail et les zones environnantes.

Le GT recommande que des fiches d'alerte et d'aide à l'identification, soient préparées et largement diffusées auprès des acteurs agricoles et environnementaux dans la mesure où les premières infestations ont généralement lieu en bordure de route ou de cours d'eau, avant de pénétrer dans les parcelles agricoles.

Pour éviter les risques d'erreur d'identification, le signalement d'*A. palmeri* devrait porter sur des plantes au stade floraison (Cf. Tableau 2).

Tout signalement devrait faire l'objet d'une vérification et d'une validation par une structure possédant les compétences botaniques pour confirmer l'identification.

### 2.3.4 Lutte

La mise en œuvre d'un programme d'éradication suite à un signalement pourrait être réalisée sur 3 à 5 années successives pour atteindre une bonne efficacité.

#### Année n de signalement :

Suite à un signalement confirmé, tous les pieds d'*A. palmeri* présents dans la zone du signalement doivent impérativement être détruits avant la fructification, par arrachage et destruction par broyage fin, si les individus sont peu nombreux (moins de 50 individus), ou par lutte chimique localisée, avec un herbicide de post-levée autorisé, si les individus sont nombreux.

- La zone contaminée sera géoréférencée pour un suivi pendant 3 à 5 années.
- Si la zone contaminée se trouve en parcelle agricole, et qu'il demeure des individus en fructification, ne pas récolter la zone contaminée. Après récolte de la zone non contaminée, et après toute intervention de matériel agricole sur la parcelle contaminée, nettoyer de façon extrêmement minutieuse et efficace le matériel agricole ayant pénétré dans la parcelle.
- En cas de récolte d'une zone faiblement contaminée, ne pas utiliser la récolte pour de la semence, ne pas exporter les pailles ou foin ou tout autres résidus végétaux sur d'autres parcelles ou exploitations.

#### Année n +1 :

*Zone contaminée en année n, en milieu non agricole :*

- Surveiller dès la fin du printemps toute apparition de nouveaux individus et les détruire par arrache/broyage ou traitement chimique dès le développement végétatif, même en cas de risque de confusion avec une autre espèce d'Amarante.
- Surveiller les zones alentour et éliminer tout individu du genre *Amaranthus*.

*Zone contaminée en année n, en parcelle agricole :*

- Effectuer un labour profond (30 cm) pour enfouir les éventuelles graines produites en année n. La durée de survie des graines dans le sol en profondeur est de 2 à 3 ans.
- Ne pas installer en année n+1 une culture estivale favorable au développement d'*A. palmeri*, telle que le maïs, le soja, le tournesol ou la tomate.

- Choisir de préférence des cultures d'hiver ou éventuellement des cultures estivales à semis très précoce et à haute densité afin de favoriser le développement de la culture avant la germination des graines d'*A. palmeri*. Le tournesol en semis précoce à haute densité est une culture rapidement couvrante qui empêche efficacement le développement d'*A. palmeri* (Rawat *et al.*, 2017)
- L'utilisation de plantes de couverture en inter-rang de la culture peut contribuer à réduire le développement d'*A. palmeri* (Kanas *et al.*, 2021).
- Surveiller de la fin du printemps jusqu'à la fin de l'automne (même après récolte d'une céréale d'hiver ou de printemps) toute apparition de nouveaux individus d'*A. palmeri* et les détruire par arrache/broyage ou traitement chimique dès le développement végétatif, même en cas de risque de confusion avec une autre espèce d'Amarante.
- Répéter la destruction de tout individu d'*Amaranthus* sp., jusqu'à la fin de l'automne, pour empêcher toute fructification.

L'utilisation des herbicides faisant l'objet de résistance d'*A. palmeri* sont à proscrire sur ses populations dans la mesure où tous les pays contaminés présentent des populations résistantes à ces types d'herbicides. Les herbicides de préémergence utilisables même pour des populations résistantes à plusieurs herbicides sont le S-metolachlor et le fluometuron et les herbicides utilisables en post émergence sont les HRAC<sup>12</sup> Groupe 27 et les HRAC Groupe 4. (Aminopyralid, 2,4-D ou dicamba sont des herbicides efficaces) (CropLife, 1999).

- Surveiller les zones non cultivées autour de la parcelle, dès le printemps et détruire tout individu d'*Amaranthus* sp..

*Zone contaminée en année n, en parcelle fourragère pâturée :*

- Ne pas faire pâturer le bétail en présence d'individus en floraison/fructification
- Ne pas récolter le foin en présence d'individus en floraison/fructification
- Surveiller du printemps à la fin de l'automne l'apparition d'individus d'*Amaranthus* sp. Les arracher, les détruire par le feu ou par broyage fin (si individus peu nombreux) ou par traitement herbicide localisé (si individus nombreux).

## **Année n+2 :**

*Zone contaminée en parcelle agricole :*

- Ne pas renouveler un labour profond qui aura pour effet de faire remonter en surface les graines enfouies en année n+1 et de permettre leur germination.
- La viabilité des graines étant assez courte, sans renouvellement du stock semencier la population peut disparaître en 2 à 3 années.

*Tout type de parcelle non agricole, agricole, fourragère :*

- Poursuivre la surveillance du printemps à la fin de l'automne et la destruction systématique par arrachage/broyage, ou traitement chimique de post levée jusqu'à disparition totale des individus d'*A. palmeri* de la zone contaminée.
- Surveiller les zones alentours.
- Une zone contaminée est considérée comme ayant été éradiquée quand aucune nouvelle observation d'*A. palmeri* n'est réalisée durant 5 années consécutives.

<sup>12</sup> HRAC : Herbicide Resistance Action Committee

### 2.3.5 Consignes de nettoyage du matériel agricole après utilisation dans une zone contaminée

Afin de mettre en quarantaine les semences sur les sites où l'amarante est présente, les mesures suivantes sont préconisées pour empêcher la dispersion des semences :

- Déplacer ces outils sur une surface dure (de préférence en béton).
- Utiliser un aspirateur de qualité industrielle et passer l'aspirateur dans les parties cachées des outils afin d'éliminer tout résidu végétal.
- Une fois l'opération terminée, brûler le matériel aspiré.
- Arroser les outils à l'aide d'un tuyau d'arrosage et recueillir l'eau de rinçage.
- Filtrer l'eau de rinçage et brûler toute matière résiduelle.
- Ne pas utiliser dans les zones exemptes d'*A. palmeri* des outils qui ont été utilisés dans des zones infestées, à moins que ce matériel ne soit entièrement désinfecté.

Les véhicules ordinaires doivent être empêchés de pénétrer dans les zones infestées. Les véhicules qui ont pénétré dans les zones infestées doivent être nettoyés (lavage sous pression et précis avec évaporation ou filtration des boues, puis destruction des résidus) avant de quitter l'exploitation.

Les ouvriers agricoles qui ont travaillé dans les zones infestées doivent nettoyer avec précaution leurs chaussures et leurs vêtements avant de quitter ces zones.

### 2.3.6 Retours d'expériences de plans de surveillance, d'information et de lutte précoce

Dans l'état brésilien du Mato Grosso, les infestations ont démarré dans 4 exploitations sur 11650 ha en 2015 auxquelles se sont ajoutées 8 exploitations sur 1373 ha jusqu'en 2021. Une prise de décision gouvernementale rapide et efficace, conforme aux mesures phytosanitaires, ainsi que l'engagement des cultivateurs et des institutions publiques et privées ont contribué à l'endiguement et à la réduction de 98 % dans les premières zones infestées qui sont progressivement passées de 14 % d'infestation en novembre 2017, 14,3 % en mars 2018, 7,3 % en décembre 2018, 1,7% en décembre 2019 et finalement, à 0 % d'infestation en 2020 (Gazziero *et al.*, 2023).

Dans le Minnesota (États-Unis), la détection précoce et la réaction rapide aux infestations d'*A. palmeri* ont été d'une importance capitale pour empêcher sa propagation dans l'État. Le Minnesota Department of Agriculture (MDA) et l'Université du Minnesota (UMN Extension) ont déployé beaucoup d'efforts pour informer les propriétaires terriens et le public sur la menace et l'identification d'*A. palmeri*. Les conseillers agricoles et les organisations de producteurs ont contribué de manière significative à cet effort.

En conséquence, le nombre de rapports soumis au MDA et à l'UMN Extension par des propriétaires terriens inquiets a considérablement augmenté. Le MDA a également permis aux habitants du Minnesota de signaler facilement les espèces envahissantes suspectes, telles qu'*A. palmeri*, par le biais du programme Arrest the Pest du MDA. Le MDA a assuré le suivi de tous les signalements soupçonnés d'être d'*A. palmeri*. Après confirmation visuelle de la présence de plantes l'*A. palmeri* sur un site donné, des échantillons de toutes les plantes suspectes ont été soumis à des tests génétiques pour la détermination de l'espèce. Le MDA et l'UMN ont immédiatement travaillé avec les propriétaires terriens, les conseillers agricoles

et les inspecteurs agricoles des comtés pour étudier les sites où la présence d'*A. palmeri* avait été confirmée, ainsi que les zones environnantes sur une circonférence d'environ 8 km. Les activités de gestion sur tous les sites comprenaient des brûlages dirigés de mauvaises herbes (très efficace pour tuer les plantes au stade fructification et les graines tombées au sol), des pulvérisations d'herbicides foliaires (aminopyralide étant le plus recommandé car efficace et plus sélectif vis-à-vis d'autres dicotylédones), des arrachages manuels ou une combinaison de ces méthodes de lutte, ainsi que la vérification des lots de semences utilisés sur les parcelles contaminées accompagnés de tests chez le fournisseur de semences. Vérification du foin produit, des excréments du bétail présent sur la parcelle et du matériel agricole ayant travaillé sur la parcelle.

Tout site contaminé fait l'objet de deux visites dans l'année pour vérifier l'évolution du taux d'infestation et la mise en œuvre des pratiques d'éradication. L'éradication est considérée comme effective si aucune nouvelle observation d'*A. palmeri* n'est faite durant 3 années consécutives.

En 2019, un survol a été effectué avec des drones équipés de caméras multispectrales et analyse des images pour détection de la signature multispectrale de l'amarante. En 2020, la majorité des parcelles contaminées en 2016 sont redevenues indemnes, bien que de nouvelles infestations aient été observées sur d'autres sites. La difficulté de la gestion d'*A. palmeri* réside dans la cohérence des efforts au sein d'un état mais aussi avec les états voisins (Yu *et al.*, 2021).

### 3 Conclusions du groupe de travail

Cette analyse de risque phytosanitaire d'*Amaranthus palmeri* pour la France métropolitaine, fait suite à l'ARP de l'EPPO en 2020 pour l'Europe. Elle apporte une analyse fine par rapport au contexte climatique et agricole de la France métropolitaine et bénéficie des nombreuses études et publications réalisées depuis 2020 sur cette espèce. Entre 2020 et 2025, 837 publications portant sur *A. palmeri* sont recensées dans Web of Science. De plus, elle bénéficie de l'expérience récente de l'Espagne qui fait actuellement face à une forte infestation de populations d'*A. palmeri* résistantes à différents herbicides et ayant un fort impact sur les cultures estivales et certaines cultures pérennes comme vergers, vigne et luzerne.

Le GT considère que :

- La probabilité d'entrée d'*A. palmeri* en France métropolitaine est jugée très élevée avec une incertitude modérée pour les raisons suivantes :
  - des importations régulières de soja et maïs sont réalisées en provenance de pays infestés tels que les États-Unis et le Brésil ;
  - ces produits ne font pas l'objet de réglementation interdisant la présence de graines d'*A. palmeri* et donc ne font pas l'objet de contrôle ;
  - des populations d'*A. palmeri* en fort développement sont présentes en Italie et en Espagne et des échanges (aliments pour bétail, foin...) existent entre l'Espagne et le sud de la France.
- La probabilité d'établissement d'*A. palmeri* en France métropolitaine est considérée comme élevée avec une incertitude faible pour les raisons suivantes :
  - Différentes régions de France métropolitaine présentent un climat favorable à son développement ;
  - Dans ces régions, différentes cultures estivales (notamment maïs, soja, sorgho) permettant son développement sont communes.
- Le potentiel de dissémination est jugé élevé (du fait de la dissémination à longue distance par assistance humaine) avec une incertitude faible (sur la base des observations faites en Espagne).
- La magnitude de l'impact d'*A. palmeri* sur la production agricole globale dans la zone de distribution actuelle est jugée très élevée pour les cultures estivales (telles que le maïs, le soja, ou le sorgho) avec une incertitude faible. La magnitude de l'impact est jugée modérée en vergers ou en cultures pérennes et faible en milieu naturel avec une incertitude faible.
- Compte tenu de la différence de pratiques agricoles en France métropolitaine par rapport aux États-Unis et au Brésil, la magnitude de l'impact potentiel d'*A. palmeri* dans la zone ARP (France métropolitaine) est jugée élevée avec une incertitude modérée, particulièrement pour les cultures annuelles estivales et dans les régions dont le climat est particulièrement favorable à son développement (sud-est et sud-ouest), notamment du fait de la proximité de populations d'*A. palmeri* en Italie et en Espagne et des caractères de résistances à différents herbicides tels que le glyphosate et les inhibiteurs de l'ALS déjà acquis.

Pour ces différentes raisons le GT a évalué que le risque phytosanitaire global est élevé avec un niveau d'incertitude modéré du fait de la disparité des régions de la France

métropolitaine quant à leur compatibilité climatique pour l'établissement d'*A. palmeri* et la répartition des cultures estivales favorables à son développement.

Le GT recommande l'inscription d'*A. palmeri* comme organisme nuisible dans le cadre du Règlement (UE) 2016/2031 du Parlement européen et du Conseil du 26 octobre 2016 relatif aux mesures de protection contre les organismes nuisibles aux végétaux.

Pour faire face à ce risque, le GT recommande I) le contrôle des lots de soja et de maïs importés et destinés à l'alimentation animale (bien que soumis à un contrôle de pureté botanique à 95 % selon le Règlement (UE) 2022/1104) pour détecter leur éventuelle contamination par des graines d'*A. palmeri* (par des laboratoires capables de réaliser ces analyses), dès lors que *A. palmeri* sera inscrite comme organisme nuisible dans le cadre du règlement (UE) 2016/2031 ; et II) une surveillance des territoires notamment dans les régions favorables à l'établissement d'*A. palmeri* pour une détection précoce et la mise en œuvre d'une démarche d'éradication en cas d'observation confirmée de l'espèce dans les régions favorables à son établissement.

**Date de validation du rapport d'expertise collective par le groupe de travail et par le comité d'experts spécialisé : 23/09/2025**

## 4 Bibliographie

### 4.1 Publications

- Acevedo-Rodríguez P., Strong, M. T. (2012). Catalogue of the Seed Plants of the West Indies. Washington, DC, USA: Smithsonian Institution. 1192 pp. <http://botany.si.edu/Antilles/WestIndies/catalog.htm>.
- Baker H.G. (1974). The evolution of weeds. Annual Review of Ecology and Systematics, Vol. 5 (1974), pp. 1-24.
- Agreste (2024). La statistique, l'évaluation et la prospective du ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire. <https://www.agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/>.
- Barber L.T., Smith K.L., Scott R.C., Norsworthy J.K., Vanglider A.M. (2015). Zero tolerance: a community-based program for glyphosate-resistant Palmer amaranth management. Report FSA2177-PD-3-2015N. Fayetteville, Arkansas, USA: University of Arkansas Cooperative Extension Service. <https://www.uaex.edu/publications/pdf/FSA2177.pdf>.
- Basinger N.T., Hestir E.L., Jennings K.M., Monks D.W., Everman W.J., Jordan D.L. (2022). Detection of Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) and large crabgrass (*Digitaria sanguinalis*) with in situ hyperspectral remote sensing. I. Effects of weed density and soybean presence. Weed Science, 70 (2) 198-202.
- Bedolla-Barajas M., Morales-Romero J., Hernández-Colín D.D., Arévalo-Cruz D. (2012). Prevalencias de sensibilización a alérgenos más comunes en adultos mayores del Occidente de México. Revista Alergia México; vol. 59 (3):131-138.
- Bensch C.N., Horak M.J., Peterson D. (2003). Interference of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*), palmer amaranth (*A. palmeri*), and common waterhemp (*A. rudis*) in soybean. Weed Science, v. 51, p. 73-43.
- Berger S., Madeira, P.T., Ferrell J., Morichetti S., Cantero J.J., Ninez C. (2016). Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) Identification and Documentation of ALS-Resistance in Argentina. Weed Science 64, 312-320.
- BICON (2019). Australian Biosecurity Import Conditions. Australia Department of Agriculture and Water Resources. <https://bicon.agriculture.gov.au/BiconWeb4.0>.
- Bradow, J.M. and W.J. Connick (1987). Allelochemicals from Palmer amaranth, *Amaranthus palmeri* S. Wats. J. Chem. Ecol. 13:185–202.
- Brackenridge H.L., Konstantinov N.H.L.H., Yakimowski S.B. (2024). Investigating Sexual and Asexual Modes of Reproduction in Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*). Weed Science, 72(4): 375-386. <https://doi.org/10.1017/wsc.2024.28>.
- Briscoe Runquist R.D., Lake T., Tiffin P., Moeller D.A. (2019). Species distribution models throughout the invasion history of Palmer amaranth predict regions at risk of future invasion and reveal challenges with modeling rapidly shifting geographic ranges. Sci Rep 9, 2426. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-38054-9>.
- Brusa A., Patterson E.L., Gaines T.A., Dorn K., Westra P., Sparks C.D., Wyse D. (2021). A needle in a seedstack: an improved method for detection of rare alleles in bulk seed testing through KASP. Pest Manag Sci 77:2477–2484.
- Chandi A., Milla-Lewis S.R., Jordan D.L., York A.C., Burton J.D., Zuleta M.C., Whitaker J.R. & Culpepper A.S. (2013). Use of AFLP markers to assess genetic diversity in Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) populations from North Carolina and Georgia. Weed Science 61(1): 136-145.
- Cossu T.A., Lozano V., Stuppy W., Brundu G. (2019). Seed contaminants: an overlooked pathway for the introduction of non-native plants in Sardinia (Italy), Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology, DOI: 10.1080/11263504.2019.1701123.
- Costea M., Sanders A., Waines G. (2001). Preliminary results towards a revision of the *Amaranthus hybridus* species complex (Amaranthaceae), Contributions to Botany, 19, 931-974.
- Ehleringer J. (1983). Ecophysiology of *Amaranthus palmeri*, a Sonoran desert summer annual. Oecologia 57:107–112.



- CABI (2024). *Amaranthus palmeri* (Palmer amaranth). <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.1079/cabicompendium.4649> (visited 11/12/2024).
- CropLife (2019). Plan for eradication of the Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) in the Republic of South Africa. Centurion, South Africa: CropLife. 17 pp. <https://www.grainsa.co.za/upload/Plan-for-eradication-of-the-Palmer-Amaranth-in-SA.pdf>.
- Davis H.R. (2015). Emergence pattern of *Amaranthus* spp. and impact on growth and reproduction. Master of Science Thesis. Faculty of the Graduate School. University of Missouri. 156 p.
- Fast B.J., Murdock S.W., Farris R.L., Willis J.B., Murray, D.S. (2009). Critical timing of Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) removal in second generation glyphosate-resistant cotton. *Journal of Cotton Science*, v. 13, p. 32-36.
- Davis H.R. (2015). Emergence pattern of *Amaranthus* spp. and impact on growth and reproduction. MS Thesis. University of Missouri, USA. 156 p.
- Elith J., Leathwick J.R., Hastie T. (2008). A working guide to boosted regression trees. *J. Anim. Ecol.* 77, 802–813. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2008.01390.x>.
- Elith J., Phillips S.J., Hastie T., Dudík M., Chee Y.E., Yates C.J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions* 17, 43–57.
- Farooq A., Hu J., Jia X. (2019). Analysis of Spectral Bands and Spatial Resolutions for Weed Classification Via Deep Convolutional Neural Network. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 16, 183-187.
- Fast B.J., Murdock S.W., Farris R.L., Willis J.B., Murray D.S. (2009). Critical timing of Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) removal in second generation glyphosate-resistant cotton. *Journal of Cotton Science*, v. 13, p. 32-36.
- Ferreira S.R., da Silva A.F., da Silveira O.R., dos Santos J.C.B., Batista A.C., Araujo F.H.V., dos Santos J.B., da Silva R.S. (2023). Potential distribution of *Amaranthus palmeri* under current and future climatic conditions in Brasil and the world. *ADVANCES IN WEED SCIENCE* 41. <https://doi.org/10.51694/AdvWeedSci/2023;41:00017>.
- Flora-of-North-America (2024). "www.eFlora.org, Flora of North America Vol.4, page 405, 406, 410." accessed 17/10/2024. [http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora\\_id=1&taxon\\_id=101257](http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=1&taxon_id=101257).
- Flora-of-North-America (2024 a). "*Amaranthus* L. www.eFlora.org, Flora of North America Vol.4, page 405, 406, 410." accessed 17/10/2024. [http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora\\_id=1&taxon\\_id=101257](http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=1&taxon_id=101257).
- Flora-of-North-America (2024 b). "*Amaranthus palmeri* S.Watson. www.eFlora.org, Flora of North America Vol.4, page 405, 406, 418." accessed 17/10/2024. [http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora\\_id=1&taxon\\_id=101257](http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=1&taxon_id=101257).
- Flora of the Southeastern United States (2025). <https://fsus.ncbg.unc.edu/main.php?pg=show-taxon-detail.php&lsid=urn:lsid:ncbg.unc.edu:taxon:{55E28B2B-4EA1-4E09-9183-5CF36893CC1D}>.
- Franssen A.S., Skinner D.Z., Al-Khatib K., Horak M.J., Kulakow P.A. (2001). Interspecific hybridization and gene flow of ALS resistance in *Amaranthus* species. *Weed Science* 49:598–606.
- FranceAgrimer (2024). <https://www.franceagrimer.fr/>.
- Frnzyan T., Waselkov K., Shrestha A. (2025). Germination ecology, herbicide resistance status, and competitive ability of Palmer amaranth. *Journal of crop improvement* Vol 39 (2): 117-145. DOI 10.1080/15427528.2025.2458801.
- Gaines T.A., Ward S.W., Bekun B., Preston C., Leach J.E. & Westra P. (2012). Interspecific hybridization transfers a previously unknown glyphosate resistance mechanism in *Amaranthus* species. *Evolutionary Applications* 5 ,29–38.
- Gaines T.A., Slavov G.T., Hugues D., Küpopoer A., Sparks C.D., Oliva J., Vila-Aiub M.M., Garcia M.A., Merotto Jr A., Neve P. (2021). Investigating the origins and evolution of a glyphosate-resistant weed invasion in South America. *Molecular Ecology*; 30: 5360-5372. DOI: 10.1111/mec.16221.
- Garetson R., Singh V, Singh S. Dotray P, Bagavathianan M. (2019). Distribution of herbicide-resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) in row crop production systems in Texas. *Weed Technology* , Volume 33 , Issue 2 , April 2019 , pp. 355 – 365. DOI: <https://doi.org/10.1017/wet.2019.14>
- Gargominy O (2021). TAXREF. Version 4.7. UMS PatriNat (OFB-CNRS-MNHN), Paris. Checklist dataset <https://doi.org/10.15468/vqueam> accessed via GBIF.org on 2021-06-28.
- Garvey P.V., Meyers S.L., Monks D.W., Coble H.D. (2013). Influence of Palmer Amaranth (*Amaranthus*

- palmeri*) on the Critical Period for Weed Control in Plasticulture-Grown Tomato. *Weed Technology*, Volume 27 (1), pp. 165 - 170. DOI: <https://doi.org/10.1614/WT-D-12-00028.1>.
- Gazziero D.L.P., Ferreira da Silva A. (2017). Caracterização e manejo de *Amaranthus palmeri*. Documentos 384. Embrapa, Brazil. 40p.
- Gazziero D.L.P., Silva A.F., Silveira O.R., Cerdeira L.C. (2023). Introduction and management of *Amaranthus palmeri* in Brazil. *Adv Weed Sci.* 41:e020220076. <https://doi.org/10.51694/AdvWeedSci/2023;41:00010>.
- GBIF (2024): Global Biodiversity Information Facility. Universitetsparken 15 DK-2100 Copenhagen Ø Denmark. <https://www.gbif.org/species/5384393>. (Internet access 15/10/2024).
- Gómez-Esquivel M.L., Guidos-Fogelbach G.A., Rojo-Gutiérrez MI, Mellado-Abrego J, Bermejo-Guevara MA, Castillo-Narváez G, Velázquez-Sámano G, Velasco-Medina AA, Moya-Almonte MG, Vallejos-Pereira CM, López-Hidalgo M, Godínez-Victoria M, Reyes-López CA. (2021). Identification of an allergenic calmodulin from *Amaranthus palmeri* pollen. *Mol Immunol.* Apr;132:150-156. doi: 10.1016/j.molimm.2021.01.031. Epub 2021 Feb 13. PMID: 33592570.
- GRIIS (2019). Global Register of Introduced and Invasive Species. <http://www.griis.org/>.
- Horak M. J., Loughin T.M. (2000). Growth analysis of four *Amaranthus* species. *Weed Science*, 48, 347-355, 9.
- Hensleigh P., Pokorny M. (2017). Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*). Agronomy technical note MT-92. USDA, Natural Resources Conservation Service. March 2017.
- Horak M.J., Peterson D.E., Chessman D.J., Wax L.M. (1994). EC94-138 Pigweed identification : A pictorial guide to the common Pigweeds of the Great Plains. Historical Materials from University of Nebraska-Lincoln Extension. 1846. <https://digitalcommons.unl.edu/extensionhist/1846>.
- Iamónico D. (2015): *Amaranthaceae*. – In: Euro+Med Plantbase - the information resource for Euro-Mediterranean plant diversity. [https://europlusmed.org/cdm\\_dataportal/taxon/0ce3ca82-2a51-4436-8912-ea01b471a390](https://europlusmed.org/cdm_dataportal/taxon/0ce3ca82-2a51-4436-8912-ea01b471a390)
- Iamónico D., El Mokni R. (2017). *Amaranthus palmeri*, a second record for Africa and notes on *A. sonoriensis* nom. nov., *Bothalia* 47(1), a2100. <https://doi.org/10.4102/abc.v47i1.2100>.
- Jha P., Norsworthy J.K., Bridges W., Riley M.B. (2008). Influence of glyphosate timing and row width on Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) and pusley (*Richardia* spp.) demographics in glyphosate-resistant soybean. *Weed Sci* 56:408–415.
- Jiao X., Long M., Li J., Yang Q., Liu Z. (2023). Reconstructing the Invasive History and Potential Distribution Prediction of *Amaranthus palmeri* in China. *Agronomy* 13, 2498. <https://doi.org/10.3390/agronomy13102498>.
- Kanatas P., Antonopoulos N., Gazoulis I., Travlos I.S. (2021). Screening glyphosate-alternative weed control options in important perennial crops. *Weed Science*, 69(6), 704–718.
- Kaspary T.E., García M.A., Bellé C. (2021). The weed *Amaranthus palmeri* is a host of *Meloidogyne incognita* in Uruguay, *Rhizosphere*, Vol. 19, <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100400>.
- Klingaman T.E., Oliver L.R. (1994). Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*) Interference in Soybeans (*Glycine max*). *Weed Science*, Oct. - Dec., 1994, Vol. 42, No. 4: 523-527
- Kissmann K.G., Groth D. (1992). Plantas Infestantes e Nocivas. Edited by BASF. 3 vols. Vol. II. Sao Paulo.
- Kistner E.J., Hatfield J.L. (2018). Potential Geographic Distribution of Palmer Amaranth under Current and Future Climates. *AGRICULTURAL & ENVIRONMENTAL LETTERS* 3. <https://doi.org/10.2134/ael2017.12.0044>.
- Koo D.-H. et al. (2023). 'Extrachromosomal circular DNA-mediated spread of herbicide resistance in interspecific hybrids of pigweed', *Plant Physiology*, 193(1), pp. 229–233. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiad281>.
- Landa-Pineda C.M., Arroyo-Becerra A., Rosas-Alvarado A., Terán L.M., Garcia-Cruz M.L., Marchat L.A., Reyes-López C.A. (2015). Major allergen from *Amaranthus palmeri* pollen is a profilin: Isolation, partial characterisation and IgE recognition. *Allergol Immunopathol (Madr)*. 2016 Mar-Apr;44(2):160-6. doi: 10.1016/j.aller.2015.05.002. Epub 2015 Aug 24. PMID: 26316420.
- Larney F., Blackshaw R. (2003). Weed seed viability in composted beef cattle feedlot manure. *J. Environ. Qual.* 32:1105–1113.

- Le Bourgeois T., Grard P., Andrianaivo A.P., Gaungoo A., Yahaya I., Randriamampianina J.A., Balasubramanian D., Marnotte P., Blanford V., Vattakaven T., Rajagopal P. (2018). WIKTROP - Weed Identification and Knowledge in tropical and mediterranean areas - Web 2.0 participatory portal. Cirad, IFP, MCIA/MSIRI, FOFIFA, CNDRS European Union programme ACP S&T II eds. Published on the Internet. <https://portal.wiktrop.org>. Accessed on: 27 Nov 2024'.
- Loureiro Escorial M.C., Arias-martín M., Torra J., Recasens J. (2024). Hibridación entre *Amaranthus palmeri* S. Watson y otras especies del género *Amaranthus*. *Vida Rural* 556: 35-39.
- MacDonald R., Reitmeier C. (2017). Chapter 8- sustainability of the food system. In: *Understanding Food Systems Agriculture, Food Science, and Nutrition in the United States*. Pp: 287-338.
- Manicardi A., Scarabel L., Llenes J.M., Montull J.M., Osuna M.D., Farré J.T., Milani A. (2023). Genetic basis and origin of resistance to acetolactate synthase inhibitors in *Amaranthus palmeri* from Spain and Italy. *Pest Management Science*. DOI 10.1002/ps.7690.
- Maryland Department of Agriculture, (2020). [https://mda.maryland.gov/plants-pests/Pages/noxious\\_weeds\\_in\\_md.aspx](https://mda.maryland.gov/plants-pests/Pages/noxious_weeds_in_md.aspx)
- Massinga R.A., Currie R.S., Horak M.J. Boyer J.R. (2001). Interference of palmer amaranth in corn. *Weed Science*, v. 49, p. 202-208, 2001.
- Massinga R.A., Currie R.S. (2002). Impact of Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*) on Corn (*Zea mays*) Grain Yield and Yield and Quality of Forage. *Weed Technology*. Volume 16:532–536.
- Massinga R.A., Currie R.S., Trooien T.P. (2003). Water use and light interception under Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) and corn competition. *Weed Sci* 51:523-531.
- Matzrafi M., Scarabel L., Milani A., Iamonico D., Torra J., Recassens J., Montull J.M., Llenes J.M., Gazoulis I., Tataridas A., Rubin B., Pardo G., Cirujeda A., Mari A.I., Mennan H., Kanatas P., Dogan M.N., Beffa R., Travlos I. (2023). *Amaranthus palmeri* S.Watson: A new threat to agriculture in Europe and the Mediterranean region. *Weed Research*: 1-16. DOI: 10.1111/wre.12596.
- Matzrafi, M., Mennan, H., Scarabel, L., Torra, J., Travlos, I. and Ulber, L. (2025). Mitigating agricultural impacts of *Amaranthus palmeri*: A call for comprehensive management strategies to limit further spread across Europe and the Mediterranean region. *Weed Research*, 65: e12675. <https://doi.org/10.1111/wre.12675>.
- Menges R.M. (1987). Weed seed population dynamics during six years of weed management systems in crop rotations on irrigated soil. *Weed Science* 35, 328–332.
- Menges RM (1987b). Allelopathic effects of Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) and other plant residues in soil. *Weed Sci.* 35:339–347
- Missouri Botanical Garden (2019). Tropicos database. In: *Tropicos database*. St. Louis, Missouri, USA: Missouri Botanical Garden. <http://www.tropicos.org/>
- Molin W.T. et al. (2016). 'Transfer and Expression of ALS Inhibitor Resistance from Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*) to an *A. spinosus* × *A. palmeri* Hybrid', *Weed Science*, 64(2), pp. 240–247. <https://doi.org/10.1614/WS-D-15-00172.1>.
- Molin W.T., Nandula V.K. (2017). « Morphological Characterization of *Amaranthus Palmeri* × *A. Spinosus* Hybrids. » *American Journal of Plant Sciences* 8, n° 6: 1499-1510. <https://doi.org/10.4236/ajps.2017.86103>.
- Moniodis J. (2014). Submission on Import Risk Analysis, September 12, 2014. Western Australia Farmers Federation, Burswood, Australia. 6 pp.
- Morichetti S., Cantero J.J., Nunez C., Barboza G.E., Espinar L.A., Amuchastegui A., Ferrell J. (2013). Sobre la presencia de *Amaranthus palmeri* (Amaranthaceae) en Argentina. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 48 (2): 347-354.
- Murphy B.P., Plewa D.E., Phillippi E., Bissonnette S.M., Tranel P.J. (2017). A quantitative assay for *Amaranthus palmeri* identification. *Pest Manag. Sci.* 73:2221–2224.
- Nandula V.K. et al. (2014). 'EPSPS amplification in glyphosate-resistant spiny amaranth (*Amaranthus spinosus*): A case of gene transfer via interspecific hybridization from glyphosate-resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*)', *Pest Management Science*, 70(12), pp. 1902–1909. <https://doi.org/10.1002/ps.3754>.

- Nie H. *et al.* (2019). 'Investigating target-site resistance mechanism to the PPO-inhibiting herbicide fomesafen in waterhemp and interspecific hybridization of *Amaranthus* species using next generation sequencing', *Pest Management Science*, 75(12), pp. 3235–3244. <https://doi.org/10.1002/ps.5445>.
- Norsworthy J. K., Griffith G., Griffin T., Bagavathiannan M., Gbur E. E. (2014). In-field movement of glyphosate resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) and its impact on cotton lint yield: evidence supporting a zero-threshold strategy. *Weed Sci*, 62:237-249.
- OEPP/EPPO (2019). EPPO Global database. In: EPPO Global database. Paris, France: EPPO. <https://gd.eppo.int/>
- OEPP/EPPO (2020). Pest Risk Analysis for *Amaranthus palmeri*. 20-25806.
- OEPP/EPPO (2024). EPPO Global Database. <https://gd.eppo.int/taxon/AMAPA> (Internet access 15/10/2024).
- Oliveira M.C. *et al.* (2018). 'Interspecific and intraspecific transference of metabolism-based mesotrione resistance in dioecious weedy *Amaranthus*', *Plant Journal*, 96(5), pp. 1051–1063. <https://doi.org/10.1111/tpj.14089>.
- Oseland E., Biggs M., Bish M., Bradlet K. (2017). Examining commercial seed mixtures for the presence of weed species. In WSSA Abstracts.
- Oseland E., Bish M., Spinka C., Bradley K. (2020). Examination of commercially available bird feed for weed seed contaminants. *Invasive Plant Sci. Manag* 13:14–22. doi: 10.1017/inp.2020.2.
- Pandey S., Bag S., Roberts P., Conner K., Balkcom K.S., Price A.J., Jacobson A.L., Srinivasan R. (2022). Prospective Alternate Hosts of an Emerging Polerovirus in Cotton Landscapes in the Southeastern United States. *Viruses*. Vol 14 (10). DOI 10.3390/v14102249.
- Pavia D.L., Lampman G.M., Kriz G.S., Vyvyan J.A. (2014). Introduction to spectroscopy, Cengagelearning.
- Pereira L., Dunning L.T. (2023). Extrachromosomal circular DNA as a vehicle to gene transfer in plants. *Plant Physiology*, 193: 172–173. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiad380>.
- Peterson D.E. (1999). The impact of herbicide-resistant weeds on Kansas agriculture. *Weed Technology* Vol 13 (3) DOI 10.1017/s0890037x00046315.
- PFAF (2019). Plants For A Future Database. In: Plants For A Future Database. Dawlish, UK: Plants For A Future. <http://www.pfaf.org/USER/Default.aspx>.
- Pheloung P.C., Williams P.A. & Halloy S.R. (1999). "A weed risk assessment model for use as a biosecurity tool evaluating plant introductions." *Journal of Environmental Management*, 57: 239-251.
- Pheloung A, Swarbrick J, Roberts B (2014). Weed risk analysis of a proposed importation of bulk maize (*Zea mays*) from the USA.
- Plants Of the World Online (2024). *Amaranthus palmeri* S. Watson. <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:327376-2>.
- Price A.J., Balkcom K.S., Culpepper S.A., Kelton J.A., Nichols R.L. Schomberg H. (2011). Glyphosate-resistant Palmer amaranth: A threat to conservation tillage. *Journal of Soil and Water Conservation*. Vol 66 ( 4 ) p.265-271. DOI 10.2489/jswc.66.4.265.
- Price R. (2016). Seed identification from ITS DNA sequencing. *Seed Sci Technol* 37:197.
- Progressive Farmer (2020). The birds, the bees and pigweed. <https://www.dtnpf.com/agriculture/web/ag/blogs/production-blog/blog-post/2017/07/28/birds-bees-pigweed>.
- Ram B.G., Zhang Y., Costa C., Ahmed M.R., Peters T., Jhala A., Howatt K., Sun X. (2023). Palmer amaranth Identification using Hyperspectral Imaging and Machine Learning Technologies in Soybean Field. *Science Direct*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169923008323>.
- Rawat L.S., Maikhuri R.K., Bahuguna Y.M., Jha N.K., Phondani P.C. (2017). Sunflower allelopathy for weed control in agriculture systems. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 20(1), 45–60.
- Ribeiro D.N., Pan Z., Duke S.O., Nadula V.K., Baldwin B.S., Shaw D.R., Dayan F.E. (2014). Involvement of facultative apomixis in inheritance of EPSPS gene amplification in glyphosate-resistant *Amaranthus palmeri*. *Planta* 239:199–212. DOI 10.1007/s00425-013-1972-3
- Robbrecht E., Jongepier J.W. (1986) Floristische waarnemingen in de kanaalzone Gent-Terneuzen (België, Oost-Vlaanderen en Nederland, Zeeuws-Vlaanderen), vooral van 1981 tot 1985 - Dumortiera36, 1986 - alienplantsbelgium.myspecies.info.
- Sauer J. (1955). Revision of the dioecious *Amaranthus* Madrono 13, 5–46.



- Sauer J. (1957). Recent Migration and Evolution of the Dioecious Amaranths. *Evolution*, Vol. 11(1) (Mar., 1957), pp. 11-31.
- Saunders R.M., Becker R. (1984). *Amaranthus*: A potential food and feed resource. pp. 357–397 in Y. Pomeranz (ed.). *Advances in cereal science and technology*. Volume 6. Manhattan, KS: U.S. Department of Agriculture–Agricultural Research Service, U.S. Grain Marketing Research Laboratory
- Schmutz E.M., Freeman B.N., Reed R.E. (1974). *Livestock-poisoning plants of Arizona*. Tucson: The University of Arizona Press.
- Schwarz T., Jennings C.K., Gorny A. (2024). Evaluation of Weed Species for Host Status to the Root-Knot Nematodes. *Journal of Nematology*, Vol 56. DOI: 10.2478/jofnem-2024-0017.
- Sellers B.A., Smeda R.J., Johnson W.G., Kendig J.A., Ellersieck M.R. (2003). Comparative growth of six *Amaranthus* species in Missouri. *Weed Sci*, 51:329–333.
- Smiley R. W., Yan G. P., Gourlie J. A. (2014). Selected Pacific Northwest rangeland and weed plants as hosts of *Pratylenchus neglectus* and *P. thornei*. *Plant Dis.*, 98:1333-1340.
- Sosnoskie L. M., Webster T. M., Kichler J. M., Macrae A. W., Culpepper A. S. (2007). An estimation of pollen flight time and dispersal distance for glyphosate-resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*). *Proc. South. Weed Sci. Soc.* 60:229.
- Sosnoskie LM, Culpepper AS, Webster TM (2011). Palmer amaranth seed mortality in response to burial depth and time. Beltwide Cotton Conferences, Atlanta, Georgia, January 4-7 2011.
- Spaunhorst D.J. (2016) The biology and management of Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri* S. Wats) in Indiana. Open Access Dissertations. 1003. [https://docs.lib.purdue.edu/open\\_access\\_dissertations/1003](https://docs.lib.purdue.edu/open_access_dissertations/1003).
- Steckel L.E., Sprague C.L., Stoller, E.W., Wax L.M. (2004). Temperature effects on germination of nine *Amaranthus* species. *Weed Science*, 52(2): 217-221. <https://doi.org/10.1614/WS-03-012R>.
- Steinau A.N., Skinner D.Z., Steinau M. (2003). Mechanism of extreme genetic recombination in weedy *Amaranthus* hybrids. *Weed Science* 51:696–701.
- Steinkrauss D., Zawislak J. (2000). Spider mites on Arkansas cotton: wild hosts plants and chemical control. in Dugger P., Richter D. Ed. 2000. *Proceedings Beltwide Cotton Conferences*, San Antonio, USA, 4-8 January, 2000: Volume 2., 2000, 1255-1257 ref. 10. University of Arkansas, Fayetteville, AR, USA.
- Steinmaus S.J., Prather T.S., Holt J.S. (2000). Estimation of base temperatures for nine weed species. *J. Exp. Bot.* 51:275–286.
- Tanji A. (2023). Two new annual weeds in Morocco: *Amaranthus palmeri* and *Chenopodium ficifolium* subsp. *ficifolium* (Amaranthaceae). *Flora Mediterranea*, 33: 91-99.
- Tataridas A., Jabran K., Kanatas P., Oliveira R.S., Freitas H., Travlos I. (2022). Early detection, herbicide resistance screening, and integrated management of invasive plant species: a review. *Pest Management Science*, 78(10), 3957–3972.
- Tedford E.C., Fortnum B.A. (1988). Weed Hosts of *Meloidogyne arenaria* and *M. incognita* Common in Tobacco Fields in South Carolina. *J. Nematol.*, Oct;20(Annals 2):102-5. PMID: 19290313; PMCID: PMC2618868.
- Tela Botanica. (2020-2024). "Base de données des trachéophytes de France métropolitaine et régions avoisinantes (Mise à jour du 25 septembre 2024)." Tela Botanica, accessed 17/10/2024. [http://referentiels.tela-botanica.org/referentiel/index.php?ref=bdtfx&module=FicheTaxon&num\\_nom=85850](http://referentiels.tela-botanica.org/referentiel/index.php?ref=bdtfx&module=FicheTaxon&num_nom=85850).
- Trucco F., Jeschke M.R., Rayburn A.L., Tranel P.J. (2005a). *Amaranthus hybridus* can be pollinated frequently by *A. tuberculatus* under field conditions. *Heredity* 94:64–70.
- Trucco F., Zheng D., Woodyard A.J., Walter J.R., Tatum T.C., Rayburn A.L., Tranel P.J. (2007). « Nonhybrid progeny from crosses of dioecious amaranths: Implications for gene-flow research ». *Weed Science*, 55, n° 2: 119-22. <https://doi.org/10.1614/WS-06-132.1>.
- USDA (2019). State Noxious-Weed Seed Requirements Recognized in the Administration of the Federal Seed Act. [www.ams.usda.gov/rules-regulations/fsa](http://www.ams.usda.gov/rules-regulations/fsa).
- USDA (2024). Agricultural Research Service, National Plant Germplasm System. 2024. Germplasm Resources Information Network (GRIN Taxonomy). National Germplasm Resources Laboratory, Beltsville, Maryland. URL: <https://npgsweb.ars-grin.gov/gringlobal/taxon/taxonomydetail?id=101541>. Accessed 6 November 2024.

- Valavi R., Elith J., Lahoz-Monfort J.J., Guillera-Aroita G. (2021). Modelling species presence-only data with random forests. *ECOGRAPHY* 44, 1731–1742. <https://doi.org/10.1111/ecog.05615>.
- Verloove F. (2024). [*Amaranthus palmeri*]. On: Manual of the Alien Plants of Belgium. Botanic Garden Meise, Belgium. At: [alienplantsbelgium.be](http://alienplantsbelgium.be), accessed 06/11/2024.
- Verloove F. (2006). Catalogue of neophytes in Belgium (1800-2005). Meise National Botanical Garden (Belgium).
- Verloove F. (2026). The North American weed *Amaranthus tuberculatus* (Amaranthaceae) new to Portugal: previously overlooked or spreading rapidly? *Acta Botanica Croatica*, DOI: 10.37427/botcro-2026-010.
- Verloove F., Vandenberghe C. (1993). Nieuwe en interessante graanadventieven voor de Noordvlaamse en Noordfranse flora, hoofdzakelijk in 1992 - Dumortiera, 1993.
- Ward S.M., Webster T.M., Steckel L.E., (2013). Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*): a review. *Weed Technology*, 27(1):12-27.
- Werner K., Sarangi D., Nolte S., Dotra, P., Bagavathiannan M. (2020). Late-season surveys to document seed rain potential of Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) and waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*) in Texas cotton. *PloS one*, 15(6), e0226054.
- Wetzel D. K., Horak M.J., Skinner D.Z., Kulakow P.A. (1999). Transferal of herbicide resistance traits from *Amaranthus palmeri* to *Amaranthus rudis*. *Weed Science*, 47:538–543.
- WFO (2024). World Flora Online. Published on the Internet, <http://www.worldfloraonline.org>. <https://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-4000001466> (Accessed on: 27 Nov 2024).
- WTO (2018). Sanitary and Phytosanitary Information Management System. World Trade Organization. <http://spsims.wto.org/en/RegularNotifications/View/140521?FromAllNotifications=True>.
- Yu E., Blair S., Hardel M., Chandler M., Thiede D., Cortilet A. et al. (2021). Timeline of palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) invasion and eradication in Minnesota. *Weed Tech.*, 35(5):802-10. Available from: <https://doi.org/10.1017/wet.2021.32>.
- Young D.J., Alcorn S.M. (1984). Latent infection of *Euphorbia lathyris* and weeds by *Macrophomina phaseolina* and propagule populations in Arizona field soil. *Plant Disease*, 68:587-589.
- Zhang Y., Staab E.S., Slaughter D.C., Giles D.K., Downey D. (2012). Automated weed control in organic row crops using hyperspectral species identification and thermal micro-dosing. *Crop Protection*, 41, 96-105.
- Zhang M., Ma K., Liu T., Tang L., Abdullah Khan A., Yang T., Zheng P., Wang T., Han J., Shi F. (2019). Responses in Phenotypic Plasticity of *Amaranthus palmeri* and *Polygonum orientale* to Soil Factors Under Different Habitats. *CLEAN - Soil Air Water*. 48. 1900203. 10.1002/clen.201900203.
- Zhang M., Li X., Qiu Z. et al. (2022a). Effects of *Amaranthus palmeri* Invasion on Soil Extracellular Enzyme Activities and Enzymatic Stoichiometry. *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, 22, 5183–5194. <https://doi.org/10.1007/s42729-022-00994-7>.
- Zhang M., Li X., Shi C. et al. (2022b). Driving Factors, Co-occurrence Networks, and Metabolic Profiles of Soil Bacterial Communities Within the Root Proximity of *Amaranthus palmeri*. *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, 22, 1928–1941. <https://doi.org/10.1007/s42729-022-00783-2>.
- Zhang X., Zhao J., Wang M., Li Z., Lin S., Chen H. (2022). Potential distribution prediction of *Amaranthus palmeri* S.Watson in China under current and future climate scenarios. *Ecology and Evolution*, 12, e9505. <https://doi.org/10.1002/ece3.9505>.
- Zhang M., Wang K., Shi C., Li X., Qiu Z., Shi F. (2023). Responses of Fungal Assembly and Co-Occurrence Network of Rhizosphere Soil to *Amaranthus palmeri* Invasion in Northern China. *Journal of Fungi*, 9, no. 5: 509. <https://doi.org/10.3390/jof9050509>.

## 4.2 Normes

AFNOR. 2003. NF X 50-110 *Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise*. AFNOR (indice de classement X 50-110).

### 4.3 Législation et réglementation

Règlement (UE) n°1143/2014 relatif à la prévention et à la gestion de l'introduction et de la propagation des espèces exotiques envahissantes.

Règlement (UE) 2016/2031 du Parlement européen et du Conseil du 26 octobre 2016 relatif aux mesures de protection contre les organismes nuisibles aux végétaux.



---

# ANNEXES

---

## Annexe 1 : Lettre d'autosaisine



Décision n°2024-079

### AUTOSAISINE

Le directeur général de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses),

Vu le code de la santé publique, et notamment son article L. 1313-3 conférant à l'Anses la prérogative de se saisir de toute question en vue de l'accomplissement de ses missions,

Décide :

**Article 1<sup>er</sup>** : L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail se saisit afin de réaliser une expertise dont les caractéristiques sont listées ci-dessous.

#### 1.1 Thématiques et objectifs de l'expertise

L'Anses se saisit afin d'évaluer le risque d'introduction et dissémination en France métropolitaine et dans les Antilles françaises d'une espèce exotique envahissante, *Amaranthus palmeri* S. Watson, qui a développé des résistances vis-à-vis de divers herbicides.

#### 1.2 Contexte de l'autosaisine

*Amaranthus palmeri* S. Watson, de la famille des Amaranthaceae, est une adventice annuelle estivale dioïque (individus mâles et individus femelles distincts) à feuilles larges qui se caractérise par une croissance rapide, une très forte production de graines (jusqu'à 600 000 graines par individu femelle), une utilisation efficace des ressources et une adaptabilité à divers environnements naturels et divers systèmes de culture. Les semences peuvent être produites par fécondation ou par apomixie<sup>1</sup> (Ribeiro et al., 2014), cette apomixie facultative permettant aux pieds femelles de se reproduire indépendamment de la présence de pieds mâles et de diffuser largement dans l'environnement les gènes de résistance aux herbicides. *A. palmeri* est devenue l'une des principales adventices des cultures OGM de maïs et soja aux Etats-Unis, où les populations résistantes au glyphosate sont déjà présentes dans 28 Etats et couvrent plusieurs centaines de milliers d'hectares. Le sex-ratio des populations est estimé à 50/50, cependant le déterminisme du sexe d'un individu demeure inconnu (génétique, environnemental, structure de population).

Les populations de *A. palmeri* se sont étendues depuis leur aire d'origine, dans le sud-ouest des États-Unis, jusque dans le nord-est des États-Unis, le Canada, dans l'arc des Caraïbes (République Dominicaine, Cuba), en Amérique du Sud, en Asie (Inde, Chine) et sur le pourtour méditerranéen. Cette espèce est signalée sous forme de populations établies dans plusieurs pays européens et méditerranéens : Italie, Espagne, Grèce, Turquie, Chypre, Israël, Tunisie et tout récemment au Maroc (Tanji, 2023) et sous forme de signalements de populations non permanentes en Belgique, en Allemagne et en France (1950). En Espagne, les premiers peuplements ont été localisés

<sup>1</sup> Capacité qu'ont certaines espèces végétales de former des graines contenant un embryon identique à la plante-mère, sans fécondation entre gamètes mâle et femelle.



dans une zone de reconditionnement de semences importées (maïs, soja) puis rapidement le long des routes, et dans les champs agricoles avoisinants.

Cette espèce a fait l'objet de différentes analyses de risque phytosanitaires (ARP) pour la Chine (2013), le Canada (2018), les États-Unis (2019-2020) et la zone OEPP qui couvre le continent européen (OEPP<sup>2</sup>, 2020).

Elle est déjà réglementée en Espagne et au Maroc où elle fait l'objet d'une lutte obligatoire, mais à ce jour il n'existe pas de réglementation française concernant cette espèce malgré la production d'une fiche d'alerte SALSA de l'Anses en février 2013.

Les filières d'entrée identifiées concernent l'importation de semences de cultures estivales et les céréales destinées à la transformation industrielle pour l'alimentation humaine ou animale. Sa dissémination naturelle est assurée localement par barochorie<sup>3</sup> et hydrochorie<sup>4</sup> et à longue distance, du fait des activités humaines (récoltes, lots de semences, matériel agricole contaminé).

La modélisation des conditions climatiques favorables à son développement, réalisée sur l'ensemble de la zone OEPP (OEPP, 2020), montre que l'espèce peut s'établir sur l'ensemble du pourtour méditerranéen.

Des publications scientifiques récentes (Matzrafi et al., 2023, Manicardi et al., 2023) montrent, par ailleurs, que certaines des populations permanentes qui sont présentes à proximité immédiate du territoire hexagonal, notamment à Lleida et Huesca, en Espagne, et dans le Piedmont et en Emilie Romagne, en Italie, sont résistantes au glyphosate (inhibiteur de la 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase) ou à d'autres herbicides, issus de la famille des inhibiteurs de l'acétolactate synthase. De plus, il a été confirmé que le caractère de résistance à certains herbicides peut être transféré à d'autres espèces d'Amaranthes présentes en France et que *A. palmeri* peut s'hybrider avec d'autres espèces du même genre (Pereira & Dunning, 2023).

### 1.3 Questions sur lesquelles portent les travaux d'expertise à mener

Compte tenu que *A. palmeri* n'appartient pas à la liste des espèces exotiques envahissantes préoccupantes pour l'Union européenne (Règlement (UE) n°1143/2014), que les régions méridionales de la France métropolitaine et les Antilles françaises présentent des conditions climatiques favorables à son établissement, et que des populations de cette espèce sont présentes à proximité (en Espagne et en Italie, pour la France hexagonale, et à Cuba et en République Dominicaine, pour les Antilles françaises), cette auto-saisine a pour objectifs de réaliser une évaluation du risque simplifiée relative à *A. palmeri* à l'échelle du territoire :

- de la France métropolitaine pour les productions agricoles estivales (maïs, soja, tournesol) et les milieux non cultivés ;
- des Antilles française pour les productions de banane et de canne à sucre.

Cette évaluation du risque simplifiée relative à *A. palmeri* pour la France métropolitaine et les Antilles françaises permettrait de :

- identifier les filières d'entrées et évaluer sa probabilité d'entrée pour les deux zones ;
- évaluer sa probabilité d'établissement en France hexagonale et dans les Antilles françaises, à court et moyen termes et en tenant compte des prévisions d'évolution climatique.
- évaluer sa vitesse de dissémination sachant qu'une dissémination sur de longues distances par assistance humaine pourrait être assurée par les engins agricoles ou le transport de graines ou l'importation de lots de semences contaminées.

<sup>2</sup> OEPP : Organisation européenne et méditerranéenne pour la protection des plantes

<sup>3</sup> Mode de dispersion des graines par la gravité, en tombant.

<sup>4</sup> Mode de dispersion des graines par l'eau.



Dans la mesure où le risque lié à *A. palmeri* serait jugé inacceptable, il s'agirait ensuite d'élaborer des recommandations :

- pour la surveillance du territoire (dans le sud de la France métropolitaine et aux Antilles) en vue de la détection précoce de toute introduction de l'espèce ;
- de mesures de gestion pour son éradication, en cas de signalement confirmé d'un foyer récent.

Les conclusions de l'évaluation du risque simplifiée pour la France métropolitaine pourraient soutenir la proposition d'inscription de *A. palmeri* à la liste des espèces exotiques envahissantes préoccupantes pour l'Union européenne (Règlement (UE) n°1143/2014 relatif à la prévention et à la gestion de l'introduction et de la propagation des espèces exotiques envahissantes).

#### 1.4 Durée prévisionnelle de l'expertise

La réalisation de l'expertise est prévue sur une durée de 12 mois pour l'évaluation du risque pour la France métropolitaine et de 18 mois pour les Antilles françaises.

**Article 2.-** Un avis sera émis et publié par l'Agence à l'issue des travaux pour chaque zone de l'analyse de risque phytosanitaire étudiée.

Fait à Maisons-Alfort, le

29 MAI 2024



Pr Benoit VALLET  
Directeur général

## Annexe 2 : Revue de la littérature (méthodologie appliquée)

Trois questions ont fait l'objet d'une démarche particulière en termes de recherche bibliographique :

- la capacité d'apomixie d'*Amaranthus palmeri* (revue approfondie de la littérature selon les recommandations de l'Anses dans le cadre des méthodologies appliquées à l'évaluation du risque : revue bibliographie qualifiée de méthode de référence ; Cf. Annexe 4) ;
- la capacité d'hybridation d'*Amaranthus palmeri* (revue approfondie de la littérature selon les recommandations de l'Anses dans le cadre des méthodologies appliquées à l'évaluation du risque ; Cf. Annexe 5) ;
- l'impact d'*Amaranthus palmeri* sur les cultures et les milieux naturels (revue de la littérature).

Ces trois recherches bibliographiques se sont appuyées sur la démarche suivante :

- la démarche en PECO (P : population cible de la recherche bibliographique ; E : exposition : agent auquel est exposée la population cible ; C : comparateur entre une situation sans agent perturbateur et une situation avec agent perturbateur ; O : output/résultat observable ou mesurable) qui permet de définir le périmètre de la recherche bibliographique en définissant les mots-clés qui vont structurer la requête lexicale.
- la construction de l'équation de mots-clés.
- la consultation d'au moins 2 bases de données bibliographiques dans le cadre de la méthode de référence au moyen de l'équation de mots-clés : les bases de données consultées sont Scopus et CAB Abstract.
- les différentes étapes de sélection au sens large des références bibliographiques en fonction de leur pertinence au regard de la question de recherche bibliographique posée, repose sur une étape 1) d'identification (avec suppression des références bibliographiques trouvées en doublon), 2) de sélection (tri des références bibliographiques sur le titre et le résumé sur la base de critères d'exclusion pré-définis), 3) d'éligibilité (tri des références bibliographiques par l'analyse du texte intégral sur la base de critères d'inclusion pré-définis) et 4) de sélection au sens strict (sur la base de la pertinence et de la qualité des études).
- une synthèse de la démarche suivie avec une métrique du nombre de références bibliographiques retenues et éliminées à chaque étape de la sélection est représentée par un schéma PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses).

Les équations de mots-clés utilisées pour les 3 questions identifiées par le groupe de travail sont les suivantes :

- Capacité d'apomixie : **(Amaranthus palmeri OR palmer amaranth) AND (apomi\* OR agamospermy OR clon\* OR \*sex\*)** ;
- Capacité d'hybridation : **(Amaranthus palmeri OR palmer amaranth) AND (hybrid\* OR (gene flow) OR transfer OR interspeci\* OR pollinat\*) AND NOT (management OR control)** ;
- Impact d'*Amaranthus palmeri* sur les cultures et les milieux naturels : **(Amaranthus palmeri OR palmer amaranth) AND (Impact OR Interference OR Yield loss\* OR Crop\* OR Agric\* OR Environment OR Habitat OR Invas\* OR Threat OR Control OR Manag\* OR Review Spread OR Dissem\* OR Distrib\* OR Adapt\*)**.

## Annexe 3 : Modélisation de la distribution potentielle d'*Amaranthus palmeri*

### 1 Méthodologie

#### 1.1 Données utilisées

Le travail de modélisation des relations climat-distribution d'*A. palmeri* a été réalisé sur la base des données d'occurrences extraites de la base de données GBIF (GBIF Occurrence Download, 2025) complétées par des données trouvées dans la littérature (Iamónico & El Mokni, 2017, Kanatas *et al.*, 2021, Reinhardt *et al.*, 2022, Sukhorukov *et al.*, 2021, Tanji, 2023, Zhang *et al.*, 2022).

Les points d'occurrence contenus dans la base de données GBIF ont été examinés afin d'éliminer les points douteux. Nous nous sommes basés sur la variable « issues » de la base de données et nous avons éliminé les points associés aux labels COORDINATE\_INVALID, ZERO\_COORDINATE, IDENTIFIED\_DATE\_INVALID, RECORDED\_DATE\_INVALID, ainsi que tous les points sans date d'observation. Les points situés dans des pays pour lesquels la présence de l'espèce n'était pas signalée dans la littérature scientifique ont donné lieu à des vérifications supplémentaires par le groupe de travail. Par exemple, les occurrences disponibles dans GBIF (via Inaturalist) pour le Nigeria et le Cambodge reposent sur des photographies accessibles dans la base de données. Elles ont été examinées par le groupe de travail et écartées des analyses car manifestement invalides. Les points positionnés en Éthiopie ont été vérifiés de la même manière et ont été conservés dans la suite du travail.

Les données issues de la littérature n'ont soulevé aucune question particulière hormis Zhang *et al.* (2022) dont le jeu de données est constitué d'un mélange de données issues de GBIF, et de différentes bases de données chinoises. Les points situés en Asie (Chine, Corée du Sud, Japon, Russie (Est) et Taiwan) dans le jeu de données de Zhang *et al.* (2022) ont été utilisés pour compléter notre jeu de données. Les autres points ont été écartés car redondant par rapport aux données GBIF.

Les occurrences ont ensuite été réparties en deux groupes correspondant à des populations établies et des population transitoires ou à des interceptions. C'est le cas des points dans les pays suivants : Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Norvège, Pays bas, République Tchèque, Royaume Uni, Russie (Ouest), Suède et Ukraine (EPPO, 2020). Un point a été signalé en France en 1962 dans le Haut-Rhin. Ce signalement isolé a été attribué à une population transitoire. Seules les populations établies ont été utilisées dans la suite du travail.

#### 1.2 Prétraitements des données brutes

Les points d'occurrences associés à des populations établies ont été soumis aux traitements suivants :

- Élimination des points dupliqués (il y en a dans la base de données GBIF)
- Identification des points situés dans un même pixel de résolution 2,5 minutes (la résolution des données climatiques utilisées dans ce travail, voir plus bas). Pour chaque pixel, on ne garde ensuite qu'un seul point de façon à éviter la duplication de l'information climatique dans les analyses.
- Élimination des points mal positionnés situés dans la mer.
- Raréfaction spatiale (« spatial thinning ») avec un seuil arbitraire de 100 km afin de prendre en compte le biais d'observation qui peut entraîner une surreprésentation des conditions climatiques associées aux régions les plus représentées dans l'échantillonnage.

Ces différentes opérations nous ont conduit à passer d'un jeu de données initial de 8352 points (populations établies uniquement) à un jeu de données final utilisé pour la calibration des modèles de 348 points (4,16 %).



### 1.3 Choix des modèles utilisés

Ce travail repose sur l'utilisation méthodes de machine learning et plus précisément sur trois modèles. Le premier est le modèle Maxent (Elith *et al.*, 2011) dont le principe est de contraster les conditions environnementales des points de présence avec celles d'un grand nombre de points de fond distribués dans l'ensemble de la zone accessible à l'espèce étudiée. Le nombre de points de présence est 348 et le nombre de points de fond est fixé à 10000 suivant les recommandations de Phillips & Dudík (2008) (voir détails plus bas). Les deux autres modèles sont des méthodes basées sur des arbres de classification (BRT et RF). BRT (« Boosted Regression Trees ») est moins fréquemment utilisé que Maxent mais fonctionne bien dans une situation où le nombre de points de présences et de points de fond est déséquilibré ce qui est notre cas (Elith *et al.*, 2006 ; Valavi *et al.*, 2022). Le troisième modèle utilisé ici est Random Forest (RF). Nous avons employé une version de RF (« Balanced Random Forest ») adaptée pour tenir compte du déséquilibre entre le nombre de points de présence et le nombre de points de fond proposée par Valavi *et al.* (2022).

### 1.4 Données climatiques

Les données climatiques utilisées proviennent de la base de données worldclim2 (Fick et Hijmans, 2017). Deux périodes ont été considérées : de 1971 à 2000 et de 2001 à 2018. Chaque point d'occurrence a été associé aux données climatiques de la période correspondant à la date d'observation. Les occurrences antérieures à 1970 ont été exclues des analyses.

Les modèles ont été utilisés pour réaliser des estimations suivant des scénarios de changement climatique pour la période 2041-2060. Les données climatiques utilisées proviennent de la base de données worldclim2 (Fick et Hijmans, 2017). Nous avons considéré 4 scénarios d'évolution du climat produit par le GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat) sur la base de différentes trajectoires socio-économiques de référence (ou « shared socioeconomic pathways », SSP) (Tableau 1). Pour chaque SSP, nous avons considéré les estimations du climat selon 11 modèles de circulation globale disponibles dans la base de données worldclim2 (Tableau 2). La résolution spatiale de ces données est de 2,5 minutes.



Tableau 1. Scénarios du GIEC utilisés pour la modélisation de l'aire de la distribution potentielle d'*A. palmeri*. Chaque scénario représente l'évolution possible des émissions de gaz à effet de serre, et correspond en une augmentation des températures moyennes à la fin du XXI<sup>e</sup> siècle par rapport à la période référence 1850-1900. GES : gaz à effet de serre. GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.

Scénario	Émissions de GES	Augmentation de la température de surface
SSP1-2.6	Émissions réduites à zéro d'ici 2075	de 1,3 à 2,4°C
SSP2-4.5	Réduction des émissions mais sans atteindre zéro en 2100	de 2,1 à 3,5°C
SSP3-7.0	Augmentation des émissions qui doublent d'ici 2100	de 2,8 à 4,6°C
SSP5-8.5	Augmentation des émissions qui triplent d'ici 2075	de 3,3 à 5,7°C

**Tableau 2. Liste des modèles de circulation globale utilisés pour modéliser l'aire de distribution d'*Amaranthus palmeri*. Les données sont disponibles dans la base de données worldclim2 (<https://worldclim.org/>).**

Global Circulation Models (GCM)	Référence
<b>ACCESS-CM2</b>	Bi, D. et al. 2020. Configuration and spin-up of ACCESS-CM2, the new generation Australian Community Climate and Earth System Simulator Coupled Model. <i>J. South. Hemisph. Earth Syst. Sci.</i> 70, 225–251.
<b>BCC-CSM2-MR</b>	Wu, T., 2019. The Beijing Climate Center Climate System Model (BCC-CSM): the main progress from CMIP5 to CMIP6. <i>Geosci. Model Dev.</i> 12, 1573–1600.
<b>CMCC-ESM2</b>	Lovato, T. et al. 2022. CMIP6 Simulations With the CMCC Earth System Model (CMCC-ESM2). <i>J. Adv. Model Earth. Syst.</i> 14, e2021MS002814.
<b>EC-Earth3-Veg</b>	Döscher, R. et al. 2022. The EC-Earth3 Earth system model for the Coupled Model Intercomparison Project 6. <i>Geosci. Model Dev.</i> 15, 2973–3020.
<b>GISS-E2-1-G</b>	Nazarenko, L.S. et al. 2022. Future Climate Change Under SSP Emission Scenarios With GISS-E2.1. <i>J. Adv. Model Earth. Syst.</i> 14, e2021MS002871.
<b>INM-CM5-0</b>	Volodin, E.M., Gritsun, A.S., 2020. Simulation of Possible Future Climate Changes in the 21st Century in the INM- CM5 Climate Model. <i>Izv. Atmos. Ocean. Phys.</i> 56, 218–228.
<b>IPSL-CM6A-LR</b>	Cheruy, F. et al. 2020. Improved Near-Surface Continental Climate in IPSL-CM6A-LR by Combined Evolutions of Atmospheric and Land Surface Physics. <i>J. Adv. Model. Earth Syst.</i> 12, e2019MS002005.
<b>MIROC6</b>	Tatebe, H. et al. 2019. Description and basic evaluation of simulated mean state, internal variability, and climate sensitivity in MIROC6. <i>Geosci. Model Dev.</i> 12, 2727–2765.
<b>MPI-ESM1-2-HR</b>	Müller, W.A. et al. 2018. A Higher-resolution Version of the Max Planck Institute Earth System Model (MPI-ESM1.2- HR). <i>J. Adv. Model Earth. Syst.</i> 10, 1383–1413.
<b>MRI-ESM2-0</b>	Yukimoto, S. 2019. The Meteorological Research Institute Earth System Model Version 2.0, MRI-ESM2.0: Description and Basic Evaluation of the Physical Component. <i>J. Meteorol. Soc. Jpn.</i> 97, 931–965.
<b>UKESM1-0-LL</b>	Sellar, A.A. et al. 2019. UKESM1: Description and Evaluation of the U.K. Earth System Model. <i>J. Adv. Model Earth. Syst.</i> 11, 4513–4558.

## 1.5 Calibration

Un ensemble de 10000 points de fond a été généré aléatoirement dans un espace correspondant à l'aire de distribution Nord-Américaine d'*Amaranthus palmeri*. Le modèle Maxent a été calibré avec le package R MIAMaxent (Vollering *et al.*, 2019), BRT avec le package R dismo et RF avec le package randomForest (Liaw and Wiener, 2002).

La sélection des variables climatiques incluses dans le modèle joue un rôle fondamental dans le résultat des modèles d'aire de distribution. Nous avons utilisé un ensemble de variables représentant différents aspects du climat disponibles (Tableau 3). La variable GDD10 (accumulation de degrés-jours au-dessus d'une température minimale de 10 degrés) a été calculée à partir des températures minimum et maximum disponibles dans la base de données wodclim2.

Un premier examen des variables climatiques a consisté à calculer les FOPs (« frequency of observed presences ») à l'aide du package MIAMaxent. Cette méthode représente graphiquement les taux d'occurrence observés en fonction d'intervalles des variables climatiques. Il permet d'évaluer la fréquence d'occurrence de l'espèce le long du gradient de chaque variable climatique. Afin de garantir la production de courbes de réponse écologiquement réalistes et interprétables, les variables associées à des FOP fortement bruités ou présentant une distribution bimodale peuvent être exclues des analyses ultérieures (Vollering *et al.*, 2019). La procédure a conduit à l'élimination des variables suivantes : bio9, bio14, bio17, bio18 et bio19.

Les variables restantes (bio1, bio5, bio6, bio8, bio10, bio11, bio12, bio13, bio16, gdd10) ont été soumises à un processus de sélection afin de ne retenir que celles qui contribuent significativement au modèle. Pour Maxent, il s'agit d'une procédure step-wise détaillée dans Vollering *et al.*, 2019. Pour BRT nous avons utilisé la fonction gbm.simplify du package dismo et pour RF, la méthode Boruta (Miron *et al.*, 2010). Les hyperparamètres du modèle Maxent ont été optimisés avec le package MIAMaxent. Les outils et procédures utilisés pour BRT et RF sont détaillées dans Rossi *et al.* (2025).

Afin de garantir la robustesse et l'interprétabilité écologique du modèle, nous avons examiné les courbes de réponse de chaque variable climatique. Certaines variables ont montré des relations non réalistes ou incohérentes avec l'écologie de l'espèce (ex. formes de réponse en "U"). Ces patterns suggèrent des artefacts statistiques et par conséquent, ces variables ont été exclues et le modèle recalibré.

**Tableau 3. Liste des variables climatiques utilisées pour calibrer les modèles d'aire de distribution d'*A. palmeri*.**

Abbréviation	Nom	unités
BIO1	Température moyenne annuelle	degré
BIO5	Température maximum du mois le plus chaud	degré
BIO6	Température minimum du mois le plus froid	degré
BIO8	Température Moyenne du trimestre le plus humide	degré
BIO9	Température Moyenne du trimestre le plus sec	degré
BIO10	Température Moyenne du trimestre le plus chaud	degré
BIO11	Température Moyenne du trimestre le plus froid	degré
BIO12	Précipitations annuelles	mm
BIO13	Précipitations du mois le plus humide	mm
BIO14	Précipitations du mois le plus sec	mm

Abbréviation	Nom	unités
BIO16	Précipitations du trimestre le plus humide	mm
BIO17	Précipitations du trimestre le plus sec	mm
BIO18	Précipitations du trimestre le plus chaud	mm
BIO19	Précipitations du trimestre le plus froid	mm
GDD10	Degré jour de croissance en base 10	degré/jour

## 1.6 Évaluation

L'évaluation des modèles a été réalisée à l'aide des points d'occurrence valides écartés lors de l'opération de raréfaction spatiale (n=1807) ainsi qu'avec un ensemble de points de fond générés selon la même méthode que précédemment. Les 1807 points ont été eux-mêmes soumis à une raréfaction spatiale (100 km) produisant 219 points valides non utilisés pour la calibration et séparés par au moins 100 km. Trois métriques ont été calculées : l'AUC (Fielding & Bell, 1997), le TSS (Allouche *et al.*, 2006) et l'indice de Boyce (Hirzel *et al.*, 2006).

## 1.7 Projections

Les modèles, une fois calibrés, ont été utilisés pour estimer la compatibilité climatique (« climate suitability ») à la fois pour la période contemporaine (2001–2018) et pour les projections correspondant aux différents scénarios climatiques (4 SSP) et aux 11 modèles de circulation globale (GCM).

## 1.8 Consensus

La comparaison directe des projections produites par différents modèles étant délicate (Guisan *et al.*, 2017), nous avons converti chaque projection en une carte binaire (favorable/défavorable) en utilisant le seuil maximisant la somme spécificité + sensibilité.

Les distributions binaires 0/1 résultantes ont ensuite été moyennées pour produire une carte de consensus, exprimée en pourcentage. Cette méthode, connue sous le nom de *committee averaging* (Guisan *et al.*, 2017), permet d'identifier :

- Les régions **favorables** selon une forte proportion de modèles (valeurs tendant vers 100 %),
- Les régions **défavorables** selon une forte proportion de modèles (valeurs tendant vers 0 %),
- Les zones de désaccord entre modèles indiquant de l'**incertitude** (valeurs intermédiaires).

Dans le cas des projections climatiques futures, cette méthode a été appliquée en regroupant, pour un SSP donné, l'ensemble des projections obtenues à partir des 11 GCM.

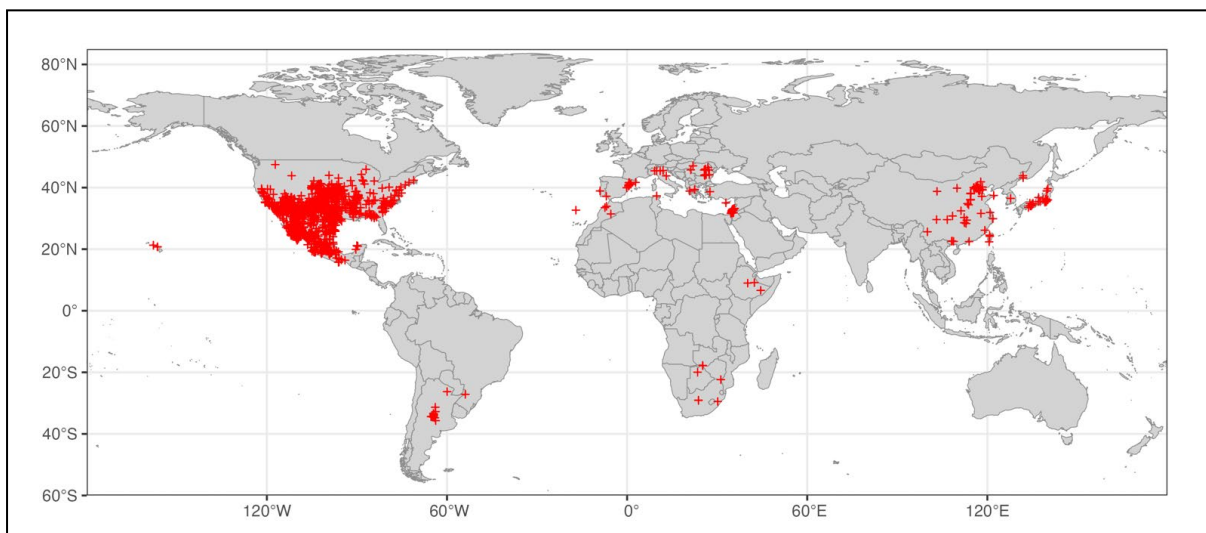
## 1.9 Problèmes d'extrapolation des modèles

L'indice MESS (« Multivariate Environmental Similarity Surface », Elith *et al.*, 2010) a été utilisé pour déterminer si les conditions climatiques en Europe demeurent dans l'espace environnemental couvert lors de la calibration des modèles. Cette vérification garantit la validité des projections, en limitant les risques d'extrapolation hors des conditions connues. L'indice a été calculé en prenant en compte l'ensemble des variables retenues pour calibrer les différents modèles.

## 2 Résultats

### 2.1 Carte des points d'occurrence disponibles pour la modélisation de l'aire de distribution d'*A. palmeri*.

Les données valides disponibles pour la calibration des modèles sont représentées sur la Figure 1.



**Figure 1. Carte des points d'occurrence valides utilisés dans l'analyse de risque relative à *Amaranthus palmeri*. Les points proviennent de la raréfaction spatiale des données brutes avec un seuil de 100 km.**

### 2.2 Variables retenues pour la calibration des modèles

Comme indiqué précédemment, les variables bio1, bio5, bio6, bio8, bio10, bio11, bio12, bio13, bio16 et GDD10 ont été soumises à une procédure de sélection spécifique à chaque modèle. Pour le modèle BRT, la sélection a retenu les variables bio6, bio8, bio10, bio11 et bio12. Dans le cas du modèle Maxent, les variables bio1, bio8 et bio12 ont été sélectionnées. Enfin, pour le modèle Random Forest (RF), la procédure de sélection a retenu bio1, bio5, bio8, bio11 et GDD10.

### 2.3 Performance des modèles

Les trois modèles présentent des performances très proches et satisfaisantes. Les métriques calculées pour le modèle BRT sont AUC=0,83, TSS=0,54, indice de Boyce=0,99. Les métriques calculées pour le modèle Maxent sont : AUC=0,81, TSS=0,52, indice de Boyce=0,92. Les métriques calculées pour le modèle RF sont : AUC=0,82, TSS=0,53, indice de Boyce=0,99.

### 2.4 Projections avec les conditions climatiques actuelles

La Figure 2 présente les résultats issus des trois modèles utilisés dans cette étude. Les panels A, B et C illustrent la compatibilité climatique estimée par chaque modèle. Les valeurs produites par le modèle BRT sont globalement plus faibles et ces différences d'amplitude reflètent les particularités des fonctions d'estimation et des échelles internes propres à chaque algorithme, sans pour autant altérer la cohérence spatiale globale des projections.

Les cartes binaires (panels D, E et F) mettent en évidence les zones identifiées comme favorables par chaque modèle. Le consensus présenté en panel G synthétise les régions où les trois modèles

s'accordent, ainsi que celles où leurs prédictions divergent, offrant ainsi une représentation explicite de l'incertitude associée aux résultats de l'étude.

⚠ En France, les zones climatiquement favorables selon les 3 modèles (représentées en rouge sur la Figure 2G et la Figure 3) sont situées dans le sud du pays, notamment sur les côtes méditerranéennes (Occitanie, Provence-Alpes-Côte d'Azur, Corse) ainsi que dans le Tarn et Tarn et Garonne. D'autres zones favorables, plus localisées, se rencontrent dans la région Centre-Val de Loire et Bourgogne Franche-Comté. De larges zones considérées comme climatiquement favorables par un ou deux modèles (couleur orange ou vert) sont présentes en Nouvelle-Aquitaine, Centre-Val de Loire et Ile de France. Les résultats obtenus dans ces zones doivent être considérés avec prudence car les projections des 3 modèles divergent.

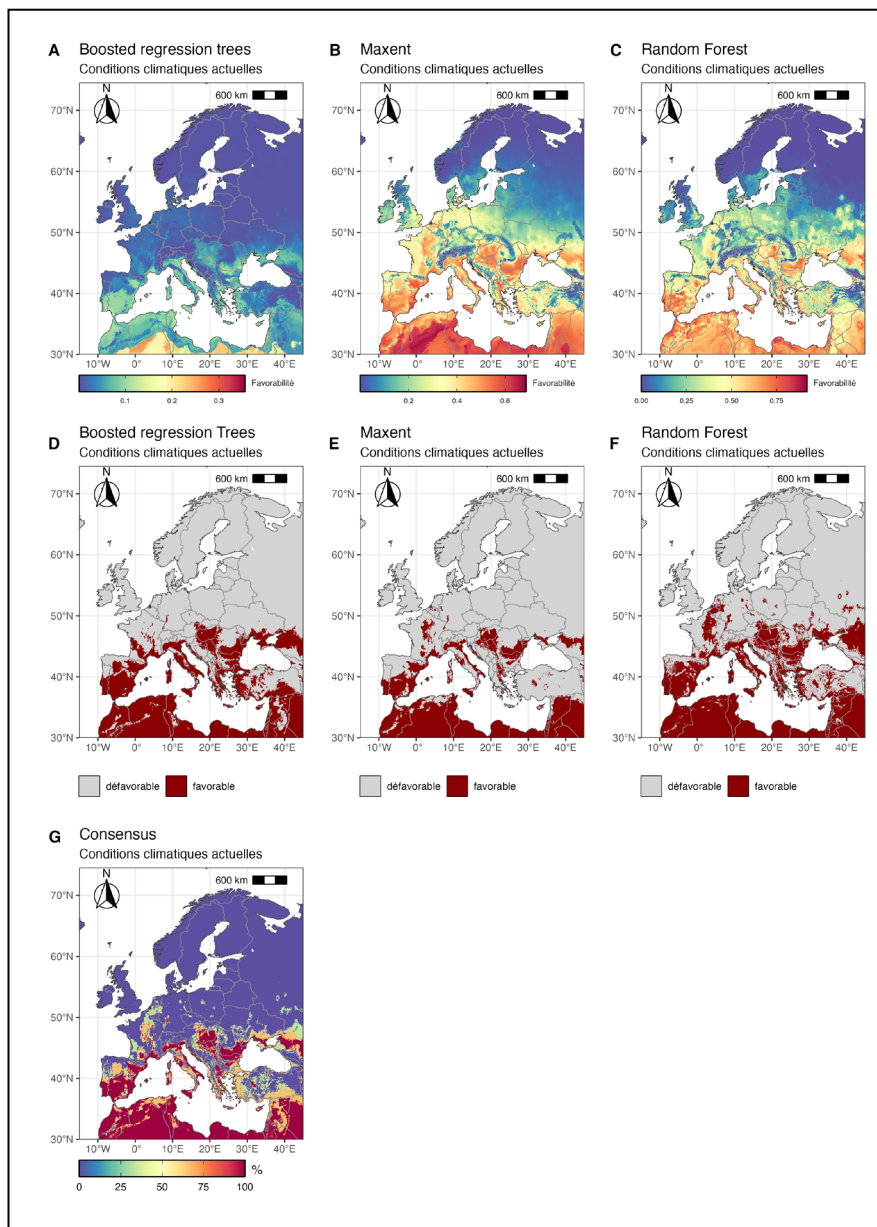
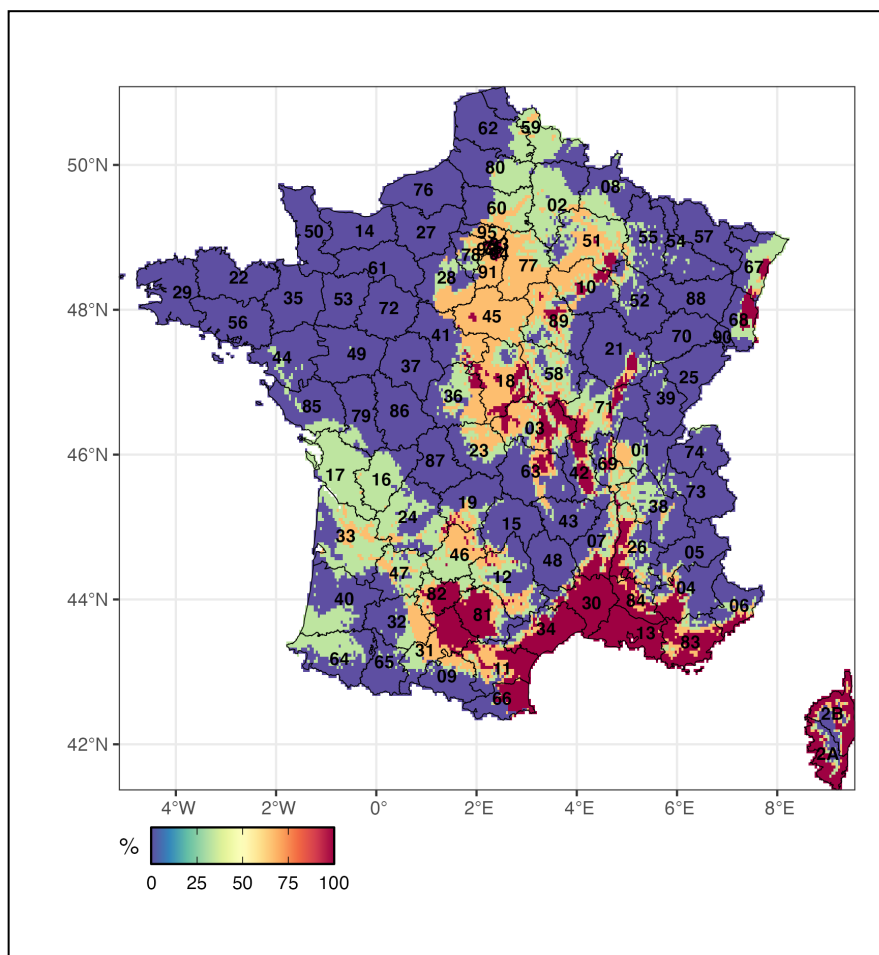


Figure 2. Compatibilité de l'Europe et l'Afrique du nord vis-à-vis d'*Amaranthus palmeri* en fonction du climat actuel. A. Compatibilité estimée par le modèle BRT, B. Compatibilité estimée par le modèle Maxent, C. Compatibilité estimée par le modèle RF, D. Zones favorables et défavorables estimées à partir du seuil maximisant la somme sensibilité + spécificité pour le modèle BRT, E. Zones favorables et défavorables estimées à partir du seuil maximisant la somme sensibilité + spécificité pour le modèle Maxent, F. Zones favorables et défavorables estimées à partir du seuil maximisant la somme sensibilité + spécificité pour le modèle RF, G Consensus obtenu par combinaison cartes binaires (D,F,G) des trois modèles.



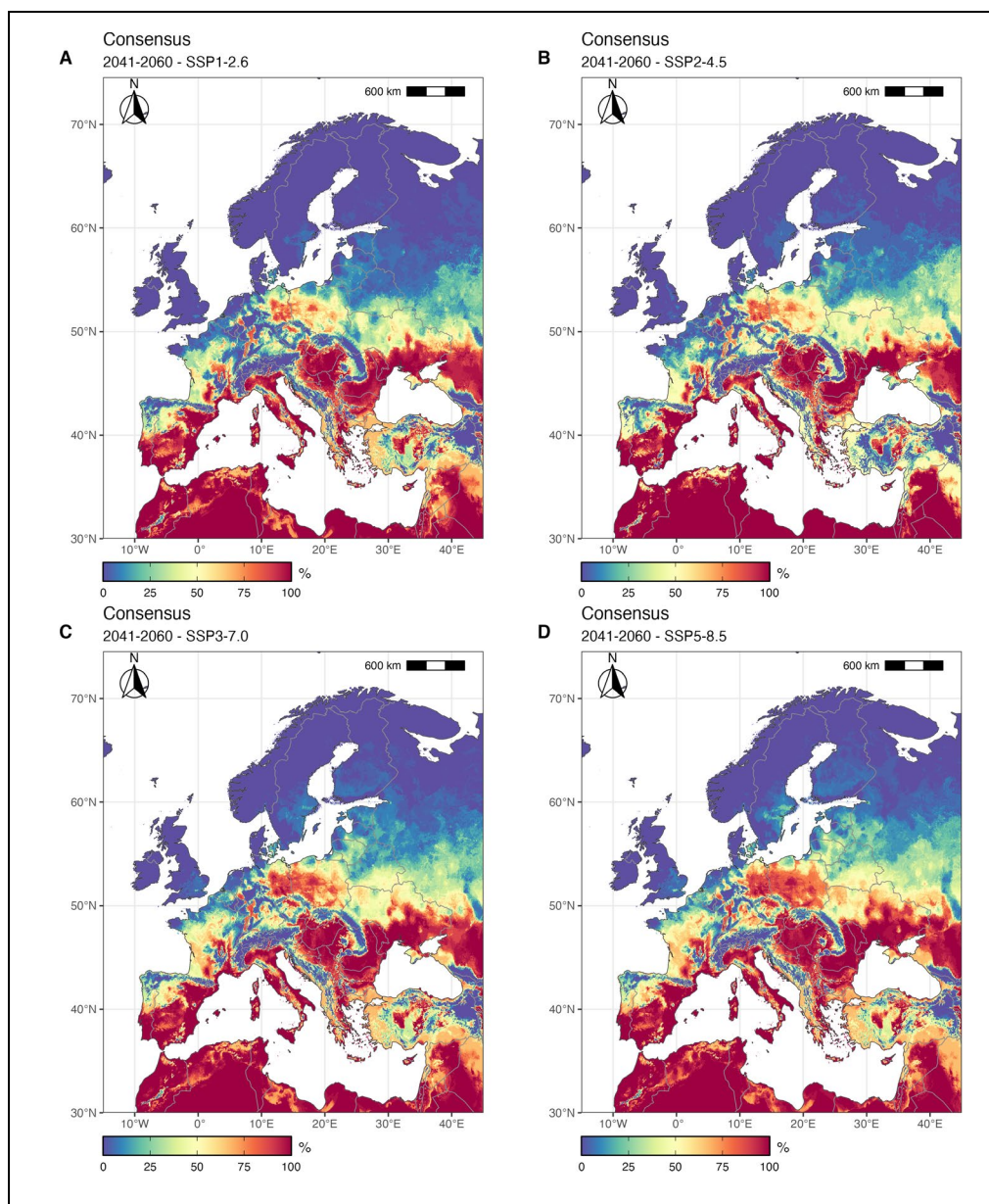
**Figure 3. Carte du consensus obtenu par combinaison des trois modèles utilisés avec les données climatiques actuelles. Les valeurs représentées correspondent à la proportion (%) de modèles indiquant des conditions climatiques favorables à *A. palmeri*.**

## 2.5 Projections avec les estimations des conditions climatiques futures

La Figure 4 présente les consensus obtenus en projetant les modèles selon les données climatiques de la période 2041–2060, pour les scénarios SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 et SSP5-8.5. Ces projections suggèrent qu'avec le changement climatique, les zones climatiquement favorables s'étendront vers le nord de l'Europe, cette tendance étant d'autant plus marquée que les scénarios supposent des niveaux d'émissions de gaz à effet de serre plus élevés.

En France, les zones favorables s'élargissent notamment vers l'Aquitaine, à l'ouest du pays, un résultat observé dans une large proportion des projections. Bien qu'un certain niveau d'incertitude demeure, ces résultats suggèrent que le changement climatique pourrait créer des conditions propices à l'établissement d'*A. palmeri* dans cette région.

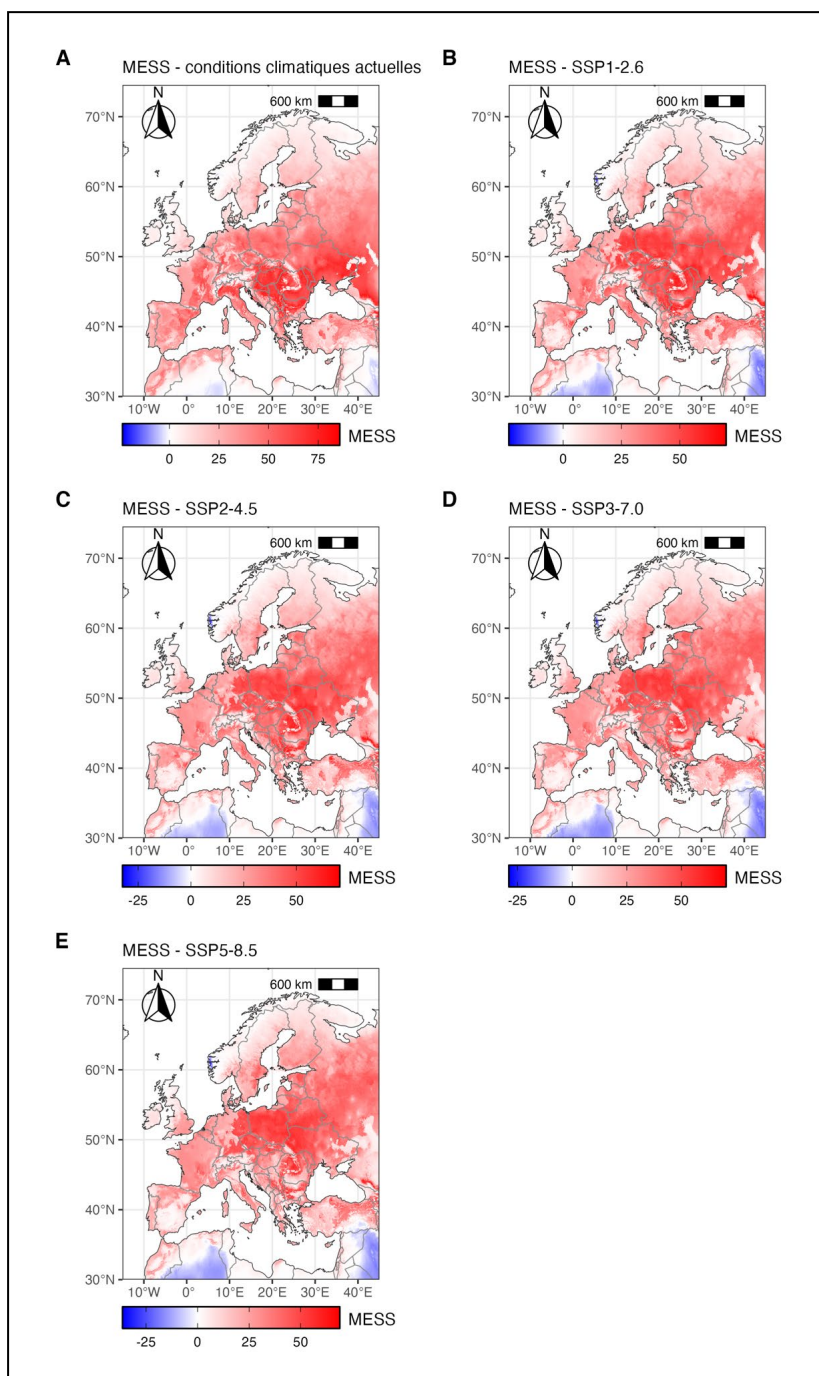




**Figure 4. Compatibilité de l'Europe et de l'Afrique du nord, vis-à-vis d'*Amaranthus palmeri* en fonction du climat pour la période 2041-2060. Les cartes représentent le consensus obtenu par combinaison des trois modèles utilisés avec les données climatiques issues de 11 modèles de circulation globale selon 4 scénarios socioéconomiques. A. SSP1-2.6, B. SSP2-4.5, C. SSP3-7.0 et D. SSP5-8.5.**

## 2.6 Extrapolation des modèles

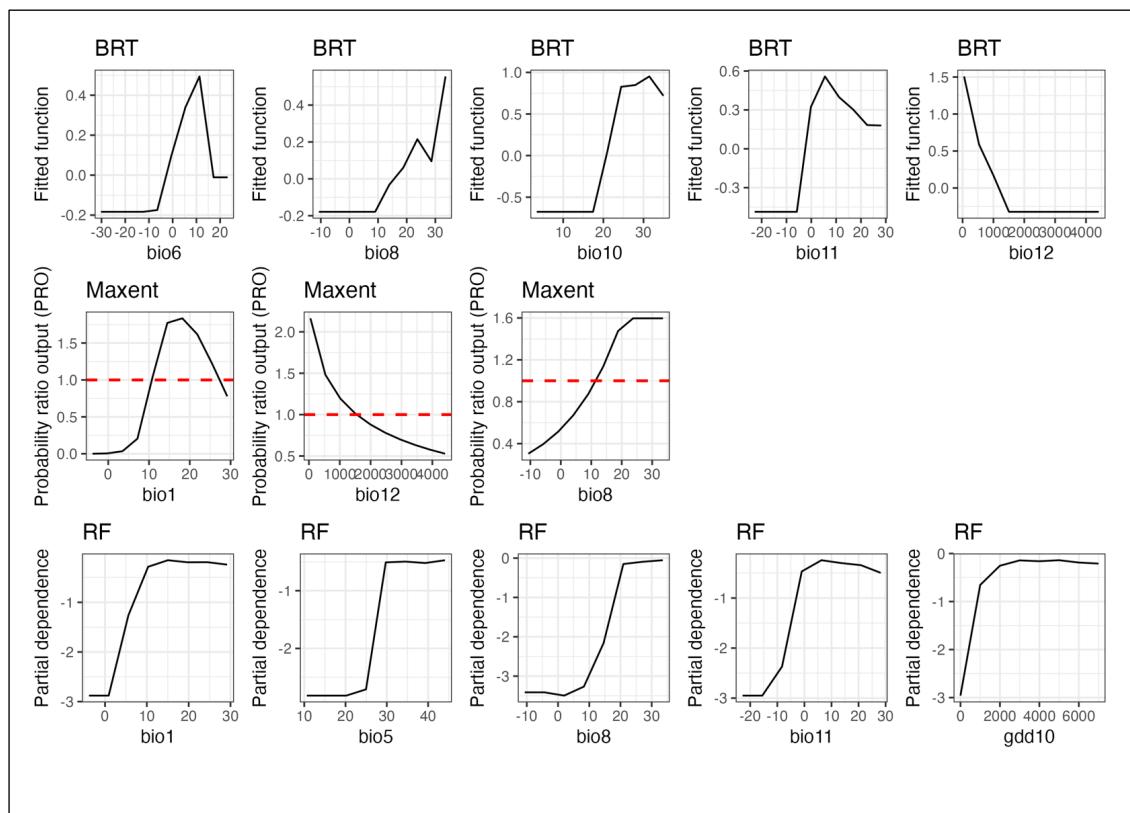
La Figure 5 présente les résultats du calcul de l'indice MESS pour les conditions climatiques actuelles et pour la période 2041-2060 selon les 4 scénarios considérés (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 et SSP5-8.5). Dans tous les cas, les valeurs négatives, indicatrices d'un problème d'extrapolation, sont limitées à des zones désertiques situées hors de la zone ARP.



**Figure 5. Indice MESS A. Conditions climatiques actuelles, B. Période 2041-2060 et SSP1-2.6, C. Période 2041-2060 et SSP2-4.5, D. Période 2041-2060 et SSP3-7.0, E. Période 2041-2060 et SSP5-8.5.**

## 2.7 Courbes de réponse des modèles

La Figure 6 présente les courbes de réponse marginales pour les variables retenues dans les 3 modèles.



**Figure 6. Courbes de réponse marginales pour les variables retenues dans les trois modèles utilisés pour évaluer l'aire de distribution potentielle d'*Amaranthus palmeri*. BRT : Boosted Regression Trees ; RF : Random Forest. Les courbes de réponse ont été générées avec les fonctions `gbm.plot()` du package `dismo` pour le modèle BRT, `plotResp2()` du package `MIAMaxent` pour le modèle Maxent, et `partialPlot()` du package `randomForest` pour le modèle Random Forest.**

## 3 Références

Allouche, O., Tsoar, A., Kadmon, R., 2006. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS): Assessing the accuracy of distribution models. *Journal of Applied Ecology* 43, 1223–1232. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01214.x>.

[EPPO PRA for \*Amaranthus palmeri\* \[EPPO, 2020-09-30\]](#)

Aiello-Lammens, M.E., Boria, R.A., Radosavljevic, A., Vilela, B., Anderson, R.P., 2015. *spThin*: an R package for spatial thinning of species occurrence records for use in ecological niche models. *Ecography* 38, 541–545. <https://doi.org/10.1111/ecog.01132>.

Briscoe Runquist, R.D., Lake, T., Tiffin, P., Moeller, D.A. (2019). Species distribution models throughout the invasion history of Palmer amaranth predict regions at risk of future invasion and reveal challenges with modeling rapidly shifting geographic ranges. *Sci Rep* 9, 2426. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-38054-9>.

Elith, J., H. Graham, C., P. Anderson, R., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., J. Hijmans, R., Huettmann, F., R. Leathwick, J., Lehmann, A., Li, J., G. Lohmann, L., A. Loiselle, B., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., McC. M. Overton, J., Townsend Peterson, A., J. Phillips, S., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., E. Schapire, R., Soberón, J., Williams, S., S. Wisz, M., E. Zimmermann, N. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x>.

- Elith, J., Kearney, M., Phillips, S. (2010). The art of modelling range-shifting species. *Methods in Ecology and Evolution* 1, 330–342. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2010.00036.x>.
- Elith, J., Phillips, S.J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y.E., Yates, C.J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions* 17, 43–57.
- Fick, S.E., Hijmans, R.J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol* 37, 4302–4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>.
- GBIF Occurrence Download (2025). <https://doi.org/10.15468/dl.xfwhj7> Accessed from R via rgbif (<https://github.com/ropensci/rgbif>) on 2025-03-21.
- Fielding, A.H., Bell, J.F., 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation* 24, 38–49.
- Godefroid, M., Rocha, S., Santos, H., Paiva, M.-R., Burban, C., Kerdelhué, C., Branco, M., Rasplus, J.-Y., Rossi, J.-P. (2016). Climate constrains range expansion of an allochronic population of the pine processionary moth. *Diversity Distrib.* 22, 1288–1300. <https://doi.org/10.1111/ddi.12494>.
- Guisan, A., Thuiller, W., Zimmermann, N.E. (2017). *Habitat suitability and distribution models with applications in R, Ecology, biodiversity and conservation*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom; New York, NY.
- Hijmans, R.J., Phillips, S., Leathwick, J., Elith, J. (2023). Dismo: species distribution modeling. R package version 1, 3–14. <https://CRAN.R-project.org/package=dismo>.
- Hirzel, A.H., Le Lay, G., Helfer, V., Randin, C., Guisan, A., 2006. Evaluating the ability of habitat suitability models to predict species presences. *Ecological Modelling* 199, 142–152. [<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.05.017>](<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.05.017>).
- Iamónico, D., El Mokni, R. (2017). *Amaranthus palmeri*, a second record for Africa and notes on *A. sonoriensis* nom. nov. *Bothalia* 47. <https://doi.org/10.4102/abc.v47i1.2100>.
- Kanatas, P., Tataridas, A., Dellaportas, V., Travlos, I. (2021). First Report of *Amaranthus palmeri* S. Wats. in Cotton, Maize and Sorghum in Greece and Problems with Its Management. *Agronomy* 11, 1721. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091721>.
- Liaw, A., Wiener, M. (2002). Classification and regression by randomForest. *R News* 2, 18–22.
- Miron B. Kursa, Witold R. Rudnicki (2010). Feature Selection with the Boruta Package. *Journal of Statistical Software*, 36(11), p. 1-13. URL: [doi:10.18637/jss.v036.i11](https://doi.org/10.18637/jss.v036.i11).
- Phillips, S.J., Dudík, M., 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31, 161–175. [<https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x>](<https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x>).
- Reinhardt, C., Vorster, J., Küpper, A., Peter, F., Simelane, A., Friis, S., Magson, J., Aradhya, C. (2022). A nonnative Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) population in the Republic of South Africa is resistant to herbicides with different sites of action. *Weed Sci* 70, 183–197. <https://doi.org/10.1017/wsc.2022.9>.
- Rossi, J.-P., Battisti, A., Avtzis, D.N., Burban, C., Rahim, N., Rousselet, J., Kerdelhué, C., İpekdağ, K. (2025). Warmer and brighter winters than before: Ecological and public health challenges from the expansion of the pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa*). *Science of The Total Environment* 978, 179470. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179470>.
- Sukhorukov, A., Kushunina, M., Reinhardt, C., Bezuidenhout, H., Vorster, B. (2021). First records of *Amaranthus palmeri*, a new emerging weed in southern Africa with further notes on other poorly known alien amaranths in the continent. *BIR* 10, 1–9. <https://doi.org/10.3391/bir.2021.10.1.01>.
- Tanji, A. (2023). Two new annual weeds in Morocco: *Amaranthus palmeri* and *Chenopodium ficifolium* subsp. *ficifolium* (Amaranthaceae). *Fl. Medit.* 33. <https://doi.org/10.7320/FIMedit33.091>.
- Valavi, R., Guillera-Aroita, G., Lahoz-Monfort, J.J., Elith, J. (2022). Predictive performance of presence-only species distribution models: a benchmark study with reproducible code. *Ecological Monographs* 92, e01486. <https://doi.org/10.1002/ecm.1486>.
- Warren, D.L., Glor, R.E., Turelli, M. (2008). Environmental niche equivalency versus conservatism: quantitative approaches to niche evolution. *Evolution* 62, 2868–2883. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.2008.00482.x>.
- Zhang, X., Zhao, J., Wang, M., Li, Z., Lin, S., Chen, H. (2022). Potential distribution prediction of *Amaranthus palmeri* S. Watson in China under current and future climate scenarios. *Ecology and Evolution* 12, e9505. <https://doi.org/10.1002/ece3.9505>.



## Annexe 4 : Méthode utilisée pour étudier la relation entre perte de rendement des cultures et densité d'*Amaranthus palmeri* sur la base des données de la littérature

Trois modèles linéaires mixtes ont été ajustés afin d'expliquer les pertes de rendement en fonction de la densité d'individus ( $ind\_m^2$ ) et de la variable catégorielle *Culture*, avec un effet aléatoire associé à la publication dont sont issues les données.

- **Modèle 1 (m1)** : inclut uniquement la densité (termes linéaire et quadratique)

$$Pertes\_rendement_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \cdot ind\_m^2_{ij} + \beta_2 \cdot (ind\_m^2_{ij})^2 + u_j + \varepsilon_{ij}$$

- **Modèle 2 (m2)** : ajoute l'effet fixe de *Culture* (distinguant 5 cultures : cotonnier, patate douce, soja, maïs, et une catégorie autre culture, regroupant les données des 4 autres cultures)

$$Pertes\_rendement_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \cdot ind\_m^2_{ij} + \beta_2 \cdot (ind\_m^2_{ij})^2 + \gamma \cdot Culture_{ij} + u_j + \varepsilon_{ij}$$

- **Modèle 3 (m3)** : intègre l'interaction entre *Culture* et la densité

$$Pertes\_rendement_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \cdot ind\_m^2_{ij} + \beta_2 \cdot (ind\_m^2_{ij})^2 + \gamma \cdot Culture_{ij} + \delta \cdot (Culture_{ij} \times ind\_m^2_{ij}) + u_j + \varepsilon_{ij}$$

où  $u_j \sim N(0, \sigma_u^2)$  représente l'effet aléatoire de la publication  $\sigma_u^2$ .

Les comparaisons successives entre modèles n'ont pas montré de gain significatif associé à l'ajout de *Culture* ou de son interaction avec la densité. En particulier :

- **m1 vs m2** : l'introduction de *Culture* n'améliore pas significativement l'ajustement ( $p = 0,23$ ).
- **m2 vs m3** : l'ajout de l'interaction ne conduit pas non plus à une amélioration significative ( $p = 0,36$ ).

Par ailleurs, les critères d'information (AIC, BIC) confirment que les modèles plus complexes ne présentent pas de performances supérieures au modèle le plus simple. Compte tenu des résultats, le **modèle m1** apparaît comme le plus parcimonieux et le mieux adapté. Il permet de décrire les pertes de rendement en fonction de la densité d'individus, sans qu'il soit nécessaire d'ajouter des effets de *Culture* ou des interactions, qui ne sont pas appuyés par les données disponibles.

Le modèle 1, le plus parcimonieux, a donc été retenu. Ses résultats indiquent :

- Effets fixes : la densité a un effet significatif à la fois linéaire (Estimate = 14,13,  $p < 0,001$ ) et quadratique (Estimate = -0,84,  $p < 0,001$ ), traduisant **une relation croissante puis saturante des pertes de rendement avec la densité**.
- Effets aléatoires : variabilité notable entre publications (variance = 106,5 ; écart-type = 10,3).
- Qualité d'ajustement :  $R^2$  marginal = 0,643,  $R^2$  conditionnel = 0,778, ce qui montre que les effets fixes expliquent 64 % de la variance et que l'ensemble du modèle, incluant l'effet aléatoire, explique 78 % de la variance totale.

Ces résultats confirment que le modèle retenu décrit de manière robuste la relation entre densité et pertes de rendement, sans nécessité d'ajouter la variable *Culture* ni son interaction.

## Annexe 5 : Revue approfondie de la littérature sur les capacités d'apomixie et d'hybridation d'*Amaranthus palmeri*

Les capacités d'apomixie et d'hybridation sont des questions qui ont été identifiées par le GT *Amaranthus palmeri* pour faire l'objet d'une revue approfondie de la littérature selon la méthode de référence recommandée par l'Anses et testée dans le cadre de cette Analyse de Risque Phytosanitaire. En effet, la propriété d'apomixie pourrait contribuer à augmenter les capacités d'*A. palmeri* à coloniser de nouveaux milieux. De même, l'hybridation possible entre *A. palmeri* et d'autres espèces d'amarantes pourraient accentuer le risque de transmission de mécanisme de résistance aux herbicides à des espèces locales.

La méthode de référence de la revue de la littérature a été élaborée par le groupe de travail de l'Anses en charge de la mise en œuvre des recommandations des méthodologies portant sur l'évaluation du risque (GT ACCMER), dont l'objectif est de renforcer la traçabilité dans le choix des articles retenus dans le cadre de la réalisation d'une expertise et la robustesse des analyses et des conclusions qui sont tirées de l'examen des données issues des références bibliographiques.

La revue de la littérature approfondie est une méthode permettant d'apporter des réponses à une question scientifique sur la base de données scientifiques déjà produites. La méthode recommande d'appuyer la recherche bibliographique sur la démarche PECO qui permet de définir le périmètre de l'expertise en renseignant la population sur laquelle la question porte (P), la nature de l'exposition (agent perturbateur) (E), les modalités de comparaison d'une population non exposée à une population exposée à « l'agent perturbateur » et les critères de comparaison (C) et enfin les résultats observés qui sont notamment mesurables (O pour Output). La méthode de référence impose que la requête lexicale soit appliquée à au moins deux bases de données bibliographiques afin d'élargir le spectre de références complémentaires. La sélection des références bibliographiques identifiées se fait sur la base de critères : de critères d'exclusion d'abord puis de critères d'inclusion ensuite. Ces critères sont définis par le ou les lecteurs (au moins un lecteur est requis selon la méthode de référence) à partir de la démarche en PECO. Ils permettent de vérifier qu'une référence bibliographique, ou une partie de cette dernière, répond à la question posée pour laquelle les données scientifiques sont recherchées.

La méthode de référence de la revue de la littérature approfondie recommande l'usage de l'outil en ligne CADIMA, qui formalise les différentes présentées ci-dessus de manière synthétique dans le but de faciliter la traçabilité de la démarche. Les références bibliographiques identifiées dans les deux bases de données consultées sont importées dans l'outil CADIMA, sous format RIS, disponible directement dans les bases de données bibliographiques. Les références sont d'abord sélectionnées sur la base du titre et du résumé en s'appuyant sur les critères d'exclusion préalablement définis, puis à la lecture du texte intégral grâce aux critères d'inclusion également définis au préalable. Enfin, les articles sélectionnés sont passés au crible de la mesure des biais jugés pertinents à évaluer pour s'assurer que les données produites sont fiables (dans le cas présent, les biais de sélection, de réalisation, et de mesure ont été utilisés). L'outil CADIMA permet de réaliser cette sélection avec plusieurs lecteurs. L'enjeu de mobiliser plusieurs lecteurs est d'objectiver la sélection des articles et de confronter les points de vue en cas d'analyses divergentes sur l'éligibilité d'une référence bibliographique. L'outil CADIMA facilite la traçabilité de la démarche en automatisant une partie de l'analyse des références bibliographiques et permet notamment de présenter de manière synthétique les résultats de sélection des articles sous forme d'un schéma PRISMA (« Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses ») et de tableaux résumant les articles exclus et la raison de leur exclusion et les résultats d'intérêts, pour la recherche bibliographique, identifiés pour chaque référence.

### 1. Capacité d'apomixie d'*Amaranthus palmeri*

La population à prendre en compte est l'espèce *A. palmeri*. L'apomixie étant une faculté intrinsèque à *A. palmeri*, cette propriété qui est l'objet de l'analyse bibliographique, n'est pas considérée comme un « élément perturbateur » (Exposant). Le volet Exposant n'a pas été utilisé dans la structure

PECO. Par conséquent, le volet Comparateur n'est pas utilisé non plus, car aucune situation perturbée n'est à comparer à une situation initiale.

Tableau 1 : Décomposition de la structure PECO

<b>Population</b>	Amaranthus palmeri
<b>Exposant</b>	/
<b>Comparateur</b>	/
<b>Outcome</b>	Faculté d'apomixie, production de graines sans reproductions sexuée

Selon la démarche PECO ainsi précisée et la recherche des mots clés pertinents trouvés dans les articles déjà identifiés par le GT, des mots clés ont été sélectionnés. L'optimisation de la requête lexicale s'est faite en plusieurs étapes en évaluant la volumétrie optimale de références bibliographiques à analyser, et a permis d'aboutir à la requête lexicale suivante :

**(Amaranthus palmeri OR (palmer amaranth)) AND (apomi\* OR agamospermy OR clon\* OR \*sex\*)**

Cette requête a été appliquée aux deux bases de données bibliographiques, Scopus et CAB Abstract, comme recommandé par la méthode de référence. Le choix de ces deux bases de données se justifie par le fait que 1) ces bases de données couvrent les thématiques de phytopathologie et d'agronomie et 2) l'Anses dispose d'un abonnement pour accéder aux références bibliographiques de ces deux bases de données.

La revue de la littérature peut se résumer avec le schéma PRISMA ci-dessous.

Les 3 références bibliographiques sont les suivantes :

Brackenridge, Hayley L., Nikita Konstantinov, Lisa H. Han, et Sarah B. Yakimowski. « Investigating Sexual and Asexual Modes of Reproduction in Palmer Amaranth (*Amaranthus Palmeri*). » *Weed Science* 72, n° 4 (1 janvier 2024): 375-86.

Ribeiro, D. N., Z. Q. Pan, S. O. Duke, V. K. Nandula, B. S. Baldwin, D. R. Shaw, et F. E. Dayan. « Involvement of Facultative Apomixis in Inheritance of EPSPS Gene Amplification in Glyphosate-Resistant *Amaranthus Palmeri*. » *Planta: An International Journal of Plant Biology* 239, n° 1 (1 janvier 2014): 199-212.

Trucco, F., Zheng DanMan Zheng DanMan, A. J. Woodyard, J. R. Walter, T. C. Tatum, A. L. Rayburn, et P. J. Tranel. « Nonhybrid Progeny from Crosses of Dioecious Amaranths: Implications for Gene-Flow Research. » *Weed Science* 55, n° 2 (1 janvier 2007): 119-22.



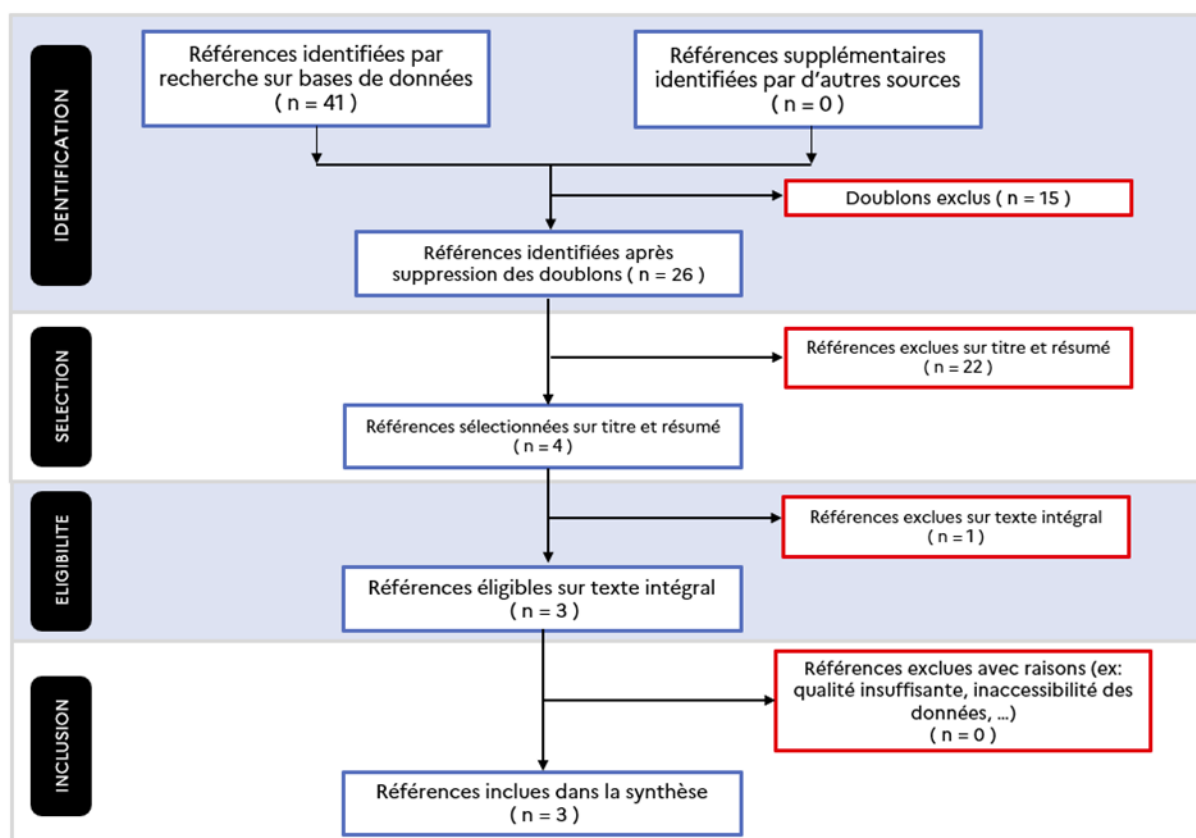


Figure 1 : Schéma PRISMA résumant les étapes de la revue approfondie de la littérature sur la capacité d'apomixie.

## 2. Capacité d'hybridation d'*Amaranthus palmeri*

La population à prendre en compte est une nouvelle fois *Amaranthus palmeri*. La faculté d'hybridation est aussi une faculté intrinsèque à *A. palmeri* : la question PECO n'est composée que des volets Population et Outcome.

Tableau 2 : Décomposition de la structure PECO

<b>Population</b>	<i>Amaranthus palmeri</i>
<b>Exposant</b>	/
<b>Comparator</b>	/
<b>Outcome</b>	Faculté d'hybridation avec d'autres espèces d'amarantes

Selon cette démarche PECO et la recherche des mots clés pertinents trouvés dans les articles déjà identifiés par le GT, des mots clés ont été sélectionnés. L'optimisation de la requête lexicale s'est faite en plusieurs étapes en évaluant la volumétrie optimale de références bibliographiques à analyser, et a permis d'aboutir à la requête lexicale suivante :

**(*Amaranthus palmeri* OR (palmer amaranth)) AND (hybrid\* OR (gene flow) OR interspeci\* OR pollinat\* OR transfer) AND NOT (management OR control)**

Cette requête a été appliquée aux deux bases de données bibliographiques, Scopus et CAB Abstract, comme recommandé par la méthode de référence.

La revue de la littérature peut se résumer avec le schéma PRISMA ci-dessous.

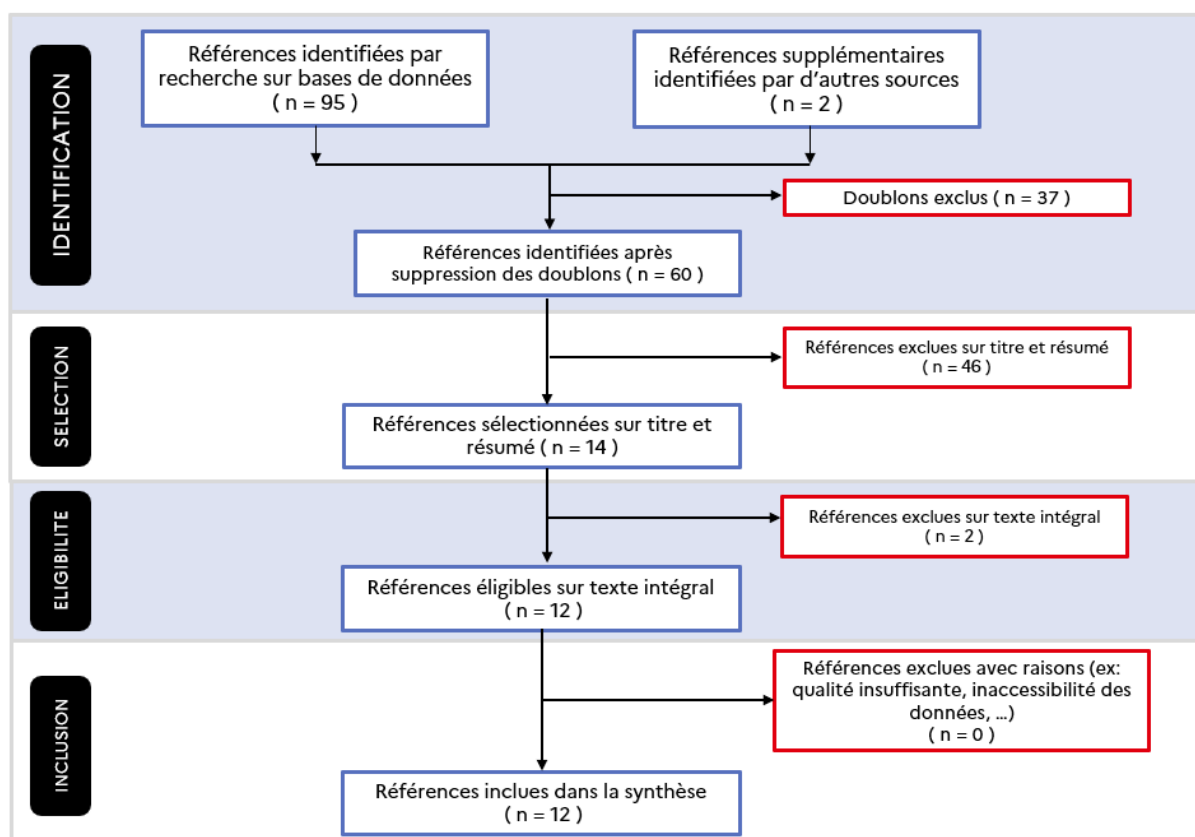


Figure 2 : Schéma PRISMA résumant les étapes de la revue approfondie de la littérature sur la capacité d'hybridation d'*A. palmeri*.

Les 12 références incluses dans la synthèse sont les suivantes :

Franssen, A.S., D.Z. Skinner, K. Al-Khatib, M.J. Horak, et P.A. Kulakow. « Interspecific hybridization and gene flow of ALS resistance in *Amaranthus* species ». *Weed Science* 49, n° 5 (2001): 598-606. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2001\)049\[0598:IHAGFO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2001)049[0598:IHAGFO]2.0.CO;2).

Franssen, A.S., D.Z. Skinner, K. Al-Khatib, et M.J. Horak. « Pollen morphological differences in *Amaranthus* species and interspecific hybrids ». *Weed Science* 49, n° 6 (2001): 732-37. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2001\)049\[0732:PMDIAS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2001)049[0732:PMDIAS]2.0.CO;2).

Gaines, T.A., S.M. Ward, B. Bukun, C. Preston, J.E. Leach, et P. Westra. « Interspecific hybridization transfers a previously unknown glyphosate resistance mechanism in *Amaranthus* species ». *Evolutionary Applications* 5, n° 1 (2012): 29-38. <https://doi.org/10.1111/j.1752-4571.2011.00204.x>.

Koo, D.-H., R. Sathishraj, S. Nakka, Y. Ju, V.K. Nandula, M. Jugulam, B. Friebe, et B.S. Gill. « Extrachromosomal circular DNA-mediated spread of herbicide resistance in interspecific hybrids of pigweed ». *Plant Physiology* 193, n° 1 (2023): 229-33. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiad281>.

Molin, W.T., V.K. Nandula, A.A. Wright, et J.A. Bond. « Transfer and Expression of ALS Inhibitor Resistance from Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*) to an *A. spinosus* × *A. palmeri* Hybrid ». *Weed Science* 64, n° 2 (2016): 240-47. <https://doi.org/10.1614/WS-D-15-00172.1>.

Molin, W. T., et V. K. Nandula. « Morphological Characterization of *Amaranthus Palmeri* × *A. Spinosus* Hybrids. » *American Journal of Plant Sciences* 8, n° 6 (1 janvier 2017): 1499-1510. <https://doi.org/10.4236/ajps.2017.86103>.

Nandula, V.K., A.A. Wright, J.A. Bond, J.D. Ray, T.W. Eubank, et W.T. Molin. « EPSPS amplification in glyphosate-resistant spiny amaranth (*Amaranthus spinosus*): A case of gene transfer via interspecific hybridization from glyphosate-resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) ». *Pest Management Science* 70, n° 12 (2014): 1902-9. <https://doi.org/10.1002/ps.3754>.

Nie, H., B.C. Mansfield, N.T. Harre, J.M. Young, N.R. Steppig, et B.G. Young. « Investigating target-site resistance mechanism to the PPO-inhibiting herbicide fomesafen in waterhemp and interspecific hybridization of *Amaranthus* species using next generation sequencing ». *Pest Management Science* 75, n° 12 (2019): 3235-44. <https://doi.org/10.1002/ps.5445>.

Oliveira, M.C., T.A. Gaines, E.L. Patterson, A.J. Jhala, S. Irmak, K. Amundsen, et S.Z. Knezevic. « Interspecific and intraspecific transference of metabolism-based mesotrione resistance in dioecious weedy *Amaranthus* ». *Plant Journal* 96, n° 5 (2018): 1051-63. <https://doi.org/10.1111/tpj.14089>.

Steinau, A.N., D.Z. Skinner, et M. Steinau. « Mechanism of extreme genetic recombination in weedy *Amaranthus* hybrids ». *Weed Science* 51, n° 5 (2003): 696-701. <https://doi.org/10.1614/P2002-159>.

Trucco, F., D. Zheng, A.J. Woodyard, J.R. Walter, T.C. Tatum, A.L. Rayburn, et P.J. Tranel. « Nonhybrid progeny from crosses of dioecious amaranths: Implications for gene-flow research ». *Weed Science* 55, n° 2 (2007): 119-22. <https://doi.org/10.1614/WS-06-132.1>.

Wetzel, Denise K., Michael J. Horak, Daniel Z. Skinner, et Peter A. Kulakow. « Transferal of herbicide resistance traits from *Amaranthus palmeri* to *Amaranthus rudis* ». *Weed Science* 47, n° 5 (1999): 538-43. <https://doi.org/10.1017/S0043174500092237>.





AGENCE NATIONALE DE SÉCURITÉ SANITAIRE  
de l'alimentation, de l'environnement et du travail  
14 rue Pierre et Marie Curie 94701 Maisons-Alfort Cedex  
[www.anses.fr](http://www.anses.fr)