

N° d'ordre :



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE & POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR & DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DJILLALI LIABES DE SIDI BEL ABBES  
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE  
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT

# ***THESE***

## ***DE DOCTORAT EN SCIENCES***

Présentée par

M<sup>ME</sup>. *Benhamiche Samia*

*Spécialité : Sciences de l'Environnement*

*Option : Inventaire, Valorisation et Ecologie de la Restauration*

*Intitulé*

**Contribution à l'étude des stratégies adaptatives  
et comportementales d'une plante invasive  
(*Gleditschia triacanthos* L.) : écophysiologie  
et valorisation**

*Soutenue le*

*Devant le jury composé de :*

**Président : Mr.Pr. M. Belkhodja**

*Université ES-Sénia d'Oran*

**Examineurs:**

**Mr.Dr. M. Chafi Maître de Conférence (A)**

*Université ES-Sénia d'Oran*

**Mme. Dr. S. Mahroug Maître de Conférence (A)**

*UDL. Sidi Bel-Abbès*

**Directeur de thèse :**

**Mr. Pr. H. Benhassaini**

*UDL. Sidi Bel-Abbès*

Année universitaire 2016-2017

## ملخص

في إطار ترقية شجرة *Gleditsia triacanthos* L.، المعروفة بإستحواذها على المحيط من طرف علماء البيئة، قمنا بدراستين هامتين تتمثل الأولى في تحديد كمية الأملاح المعدنية الموجودة في الثمار ( السنفات و الحبوب) بإعتماد طريقة البلازما الطيفي ICP/MS ومن جهة أخرى دراسة تأثير المستخلص المائي للسنفات على الرخويات الأرضية من النوع *Arion rufus* L.

أظهرت النتائج المتحصل عليها أن الثمار بشطريها غنية بالأملاح المعدنية , و خصوصا البوتاسيوم ( $7.31 \pm 178.68$  مغ.كغ<sup>-1</sup> بالنسبة للحبوب و  $7.78 \pm 164.27$  مغ.كغ<sup>-1</sup> للسنفات) , الفسفور ( $4.17 \pm 75.027$  مغ.كغ<sup>-1</sup> للحبوب و  $0.16 \pm 13.06$  مغ.كغ<sup>-1</sup> للسنفات) و الكالسيوم ( $15.66 \pm 58.36$  مغ.كغ<sup>-1</sup> للحبوب و  $4.52 \pm 60.64$  مغ.كغ<sup>-1</sup> للسنفات).

كما أن تركيز الأملاح المعدنية و العناصر الثقيلة في هذه الأخيرة مرتبة كما يلي : بوتاسيوم <فسفور<كلسيوم<مغنزيوم<صوديوم <حديد<سليسيوم<زنك<منغنيز<النيوم<نحاس<كدميوم<رصاص<أرسنيك<كروم.

المعالجة الإحصائية للنتائج عن طريق تحليل التباين (أنوفا 1) و إرتباط بيرسون ذات المتغيرين. و تحليل المكونات الرئيسية و أخيرا التصنيف الهرمي المتعدد الحلقات كانت هامة جدا.

أكد حساب مؤشر الرغبة أن ثمار *Gleditsia triacanthos* L. غنية جدا بمادة السابونين ( $100 < 1000$ ). و قد أظهر إستعمال المستخلص المائي لمادة السابونين المستخلصة من السنفات و المجففة عن طريق التجفيد نتائج جد هامة, إذ تحصلنا على 75% من الوفيات بإستعمال التركيز 100% (500 مل/ل) و التي تقارب النتائج المتحصل عليها بإستعمال مضاد الرخويات الكيميائي , متبوعة ب68.75% من الوفيات بإستعمال التركيز 75% (375 مل/ل). كما بلغت نسبة الوفيات 62.5% بإستعمال التركيز 50% (250 مل/ل), و أخيرا سجلنا 56.25% من الوفيات بإستعمال التركيز 25% (125 مل/ل).

اعتمادا على هذه النتائج, تعتبر ثمار *Gleditsia triacanthos* L. مصدرا هاما للمواد المشتقة الطبيعية التي يمكن إستخدامها في ميدان الصيدلة , الزراعة و الصناعة.

□ **كلمات مفتاحية:** *Gleditsia triacanthos* L., الأملاح المعدنية, السابونين, المواد المشتقة , مضاد الرخويات

ICP/MS.

## Résumé

Afin de valoriser les substances naturelles et les coproduits du févier d'Amérique (*Gleditsia triacanthos* L.) espèce jugée envahissante par les écologues, deux études importantes ont été réalisées : la quantification des oligo-éléments et des métaux lourds du fruit (gousses et graines séparément) par la technique de spectrométrie de masse à plasma couplé par induction (ICP/MS), puis l'évaluation du pouvoir molluscicide des saponines (saponosides) issues des gousses sur le mollusque terrestre *Arion rufus* L.

Les résultats obtenus par l'ICP/MS, ont montré que les fruits (gousses et graines séparément) de *G. triacanthos* L. sont très riches en potassium ( $178,68 \pm 7,31 \text{mg.kg}^{-1}$  pour les graines et  $164,27 \pm 7,78 \text{mg.kg}^{-1}$  pour les gousses), en phosphore ( $75,027 \pm 4,17 \text{mg.kg}^{-1}$  pour les graines et  $13,06 \pm 0,16 \text{mg.kg}^{-1}$  pour les gousses) et en calcium ( $58,36 \pm 15,66 \text{mg.kg}^{-1}$  pour les graines et  $60,64 \pm 4,52 \text{mg.kg}^{-1}$  pour les gousses). Les concentrations d'oligo-éléments et de métaux lourds dans les deux parties du fruit sont classées dans l'ordre suivant: K > P > Ca > Mg > Na > Fe > Si > Zn > Mn > Al > Cu > Cd > Pb > As > Cr.

Les traitements statistiques des résultats obtenus par l'analyse de la variance à un seul facteur (ANOVA I), la corrélation bi-variée de Pearson, l'analyse des composantes principales (ACP) ainsi que le dendrogramme de classification hiérarchique (HAP) étaient très significatifs.

Le calcul de l'indice de mousse a confirmé la richesse des fruits du févier d'Amérique (*G. triacanthos* L.) en saponosides ( $I=1000 > 100$ ). L'utilisation de l'extrait aqueux lyophilisé des saponosides issues des gousses à différentes concentrations, montre des résultats probants avec 75% de mortalité par la concentration 100% (500mg/l), se rapprochant considérablement de ceux obtenues par le molluscicide chimique « Méthiocarbe », suivi de 68.75 % de mortalité par l'extrait aqueux à 75% (375mg/l). Le taux de mortalité par l'extrait aqueux à 50% (250mg/l) était de 62.5% et enfin 56.25% de mortalité a été enregistré avec l'extrait aqueux à 25% (125mg/l).

Il ressort de ces résultats que les fruits de *G. triacanthos* L. sont une source prometteuse en substances naturelles. Ce qui milite favorablement pour son utilisation dans plusieurs domaines pharmaceutiques, agricoles et industriels.

**Mots clés :** *Gleditsia triacanthos* L., ICP/MS, oligo-éléments, coproduits, saponosides, molluscicides

## *Abstract*

At the aim of valorization of natural substances and co-products of honey locust (*Gleditsia triacanthos* L.) considered by the ecologists as invading species, two important studies were carried out: the quantification of oligo-elements and heavy metals of the fruit (pods and seeds separately) using the coupled plasma mass spectrometry (ICP/MS), then the evaluation of the molluscicidal effect of saponins (saponosides) resulting from honey locust pods on terrestrial mollusk *Arion rufus* L.

The obtained results by the ICP/MS, showed that the fruits (pods and seeds separately) of *G. triacanthos* are very rich in potassium ( $178,68 \pm 7,31 \text{mg.kg}^{-1}$  for seeds and  $164,27 \pm 7,78 \text{mg.kg}^{-1}$  for the pods), phosphorus ( $75.027 \pm 4,17 \text{mg.kg}^{-1}$  for seeds and  $13,06 \pm 0,16 \text{mg.kg}^{-1}$  for the pods) and calcium ( $58,36 \pm 15,66 \text{mg.kg}^{-1}$  for seeds and  $60,64 \pm 4,52 \text{mg.kg}^{-1}$  for the pods). The concentrations of oligo-elements and heavy metals in both seeds and pods decreased in the following order: K>P>Ca>Mg>Na>Fe>Si>Zn>Mn>Al>Cu>Cd>Pb>As>Cr.

The statistical processing of the obtained results using One-Way Analysis of variance (ANOVA I), Bi-varied Pearson Correlation, Principal Components Analysis (PCA) as well as the hierarchical classification dendrogram (HAP) were very significant.

The calculated foam index value confirms the richness of honey locust (*G. triacanthos* L.) fruits on saponins or saponosides ( $I=1000 > 100$ ). The use of lyophilized saponins as aqueous extract resulting from the pods at different concentrations showed convincing results with a mortality of about 75% at the concentration 100% (500mg/l), approaching considerably the obtained results using the chemical molluscicide "Méthiocarbe", followed by 68.75 % of mortality by the aqueous extract at the concentration 75% (375mg/l). The mortality rate at the concentration 50% (250mg/l) was 62.5% and finally 56.25% of mortality was recorded with the aqueous extract at 25% (125mg/l).

It arises that the fruits of *G. triacanthos* L. are a promising source in natural substances which confer to this species a great interest for many pharmaceutical and agricultural industries.

**Key Words:** *Gleditsia triacanthos* L, ICP/MS, oligo-elements, co-products, saponosides, molluscicide.

## *Remerciements*

*A l'issue de ce travail, je tiens à remercier Dieu tout puissant de m'avoir donné la puissance et la volonté de terminer mes études.*

*Je tiens à remercier particulièrement Monsieur BENHASSAINI Hachemi, Professeur à la Faculté des Sciences université de Sidi Bel Abbés, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de m'encadrer. Je lui suis très reconnaissante pour sa disponibilité, sa bienveillance et son soutien permanent, pour ses critiques constructives et son aide aux différentes entraves rencontrées, pour sa gentillesse et ses qualités humaines.*

*Que Monsieur BELKHODJA Mouley, Professeur à l'université ES-Sénia d'Oran trouve ici toute ma gratitude et mes sincères remerciements d'avoir acceptés de présider et juger ce travail.*

*Qu'il me soit permis d'exprimer mes gratitudes et mes remerciements à Monsieur CHAFI Mohammed El Habib Docteur maitre de conférences « A » à l'université ES-Sénia d'Oran, pour avoir accepté d'être parmi le jury de cette thèse.*

*Mes sincères remerciements vont également à Mme MAHROUG Samira., Docteur maitre de conférence « A » à l'université de Sidi Bel Abbés, pour avoir accepté d'être parmi le jury.*

*Je tiens à remercier Monsieur ROMANE Abderrahmane., Professeur à l'Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc. Ainsi que Monsieur ARJOUNI Moulay Youssef Docteur maitre de conférences à l'Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc, pour leur accueil au niveau du laboratoire de chimie organique appliquée et leurs précieux conseils durant le stage effectué au niveau de leur l'établissement.*

*Je tiens à remercier particulièrement mon mari qui m'a toujours soutenu et encouragé.*

*Enfin, je tiens à remercier ma très chère sœur Chabane Kheira qui a toujours été à mes côtés ainsi que mes collègues qui mon toujours soutenus(es), ainsi que toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de se travail.*

## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mon mari*

*A mes chers parents que j'aime beaucoup*

*A ma chère grand-mère et ma belle mère*

*A mes chères sœurs Nadia et Zineb*

*A ma promotion et mes amis (es)*

*A ma famille et ma belle famille*

## *Liste des planches*

<b>Planche I :</b> Arbre de <i>Gleditsia triacanthos</i> L. (Cliché Benhamiche, 2011).....	44
<b>Planche II :</b> Feuilles composées et inflorescences de <i>Gleditsia triacanthos</i> L. (Cliché Benhamiche, 2011).....	45
<b>Planche III :</b> Fruit de <i>Gleditsia triacanthos</i> L., étapes de formation de la gousse (Cliché Benhamiche, 2011).....	46
<b>Planche IV :</b> Graines, branches et bourgeons de <i>Gleditsia triacanthos</i> L. (Cliché Benhamiche, 2011).....	48
<b>Planche V :</b> Epines et écorce de <i>Gleditsia triacanthos</i> L. (Cliché Benhamiche, 2011).....	49

## *Liste des figures*

<b>Figure n° 1:</b> Modes d'impact des essences ligneuses invasives sur les écosystèmes terrestres (Noss, 1990 ; Cronk & Fuller, 1995 ; Walker & Smith, 1997).....	07
<b>Figure n° 2:</b> Représentation schématique des différents statuts d'indigénat des espèces végétales (Cordier, 2014). .....	14
<b>Figure n° 3 :</b> Les phases du processus d'invasion biologique (Richardson <i>et al.</i> , 2000).....	16
<b>Figure n° 4 :</b> <i>Acacia mearnsii</i> De Wild. Aspect de l'arbre, feuilles, et inflorescences (Orwa <i>et al.</i> , 2009).....	27
<b>Figure n° 5:</b> Aspect de l'arbre, feuilles et fleurs du Robinier faux acacia ( <i>Robinia pseudoaccacia</i> ) (Benhamiche, 2016).....	29
<b>Figure n° 6 :</b> Constitution de la graine de <i>G. triacanthos</i> L. (Mohlenbrock, 1995). .....	51
<b>Figure n° 7 :</b> Carte de répartition de <i>Gleditsia triacanthos</i> L. en Amérique (USDA Plants Data base Horticulture, 2010) .....	52
<b>Figure n° 8 :</b> Situation géographique de Sidi Bel Abbas. ....	56
<b>Figure n° 9 :</b> Schéma ICP/MS (Tyler et Jobin-Yvon, 2003).....	57
<b>Figure n° 10 :</b> Dosage des saponosides : mesure de l'indice de mousse (Cliché Benhamiche, 2015).....	59
<b>Figure n° 11 :</b> Poudre et extrait aqueux des gousses de <i>G. triacanthos</i> L. (Cliché Benhamiche, 2015).....	60
<b>Figure n° 12 :</b> Lyophilisateur ALPHA1-4 LD plus (Cliché Benhamiche, 2015). ....	60
<b>Figure n° 13:</b> <i>Arion rufus</i> L. (Bourdeu, 2010). .....	61
<b>Figure n° 14 :</b> Dispositif expérimental (Cliché Benhamiche, 2015).....	62
<b>Figure n° 15:</b> Comparaison entre les concentrations en oligo-éléments et métaux lourds des gousses et des graines de <i>G. triacanthos</i> L.....	64
<b>Figure n° 16 :</b> ACP des oligo-éléments et des métaux lourds des gousses et des graines de <i>G. triacanthos</i> L.....	66
<b>Figure n° 17 :</b> Dendrogramme de classification ascendante hiérarchique (CAH).....	67
<b>Figure n° 18 :</b> Mousse formée par le décocté des gousses de <i>G. triacanthos</i> après agitation des tubes (après 10 min de repos).....	68
<b>Figure n° 19 :</b> Mousse formée par le décocté des graines de <i>G. triacanthos</i> après agitation des tubes (après 10 min de repos).....	68
<b>Figure n° 20:</b> Taux de mortalités en fonction de la durée de l'expérimentation.....	69



## *Liste des tableaux*

<b>Tableau n°1 :</b> Liste noire des espèces exotiques envahissantes en France méditerranéenne continentale (Weber & Gut, 2004).....	18
<b>Tableau n° 2 :</b> Classement des pays Nord-Africain par rapport au nombre d'espèces exotiques par unité de surface (Kazi Tani <i>et al.</i> , 2012).....	22
<b>Tableau n° 3 :</b> Filières d'introduction de plantes exotiques envahissantes et causes d'introduction (Terrin <i>et al.</i> , 2014).....	24
<b>Tableau n° 4 :</b> Espèces et variétés de féviers d'Amérique (Elkan, 1997) .....	40
<b>Tableau n° 5 :</b> Classification pré-phylogénétique et phylogénétique de <i>Gleditsia triacanthos</i> L. selon le système de Cronquist (1988) et APG II (2003).....	42
<b>Tableau n° 6 :</b> Concentration totale des oligo-éléments et des métaux lourds des fruits de <i>G. triacanthos</i> L. par Spectrométrie de Masse à Plasma couplé par induction (ICP/MS), comparées aux normes chez les plantes citées par différents auteurs.....	63
<b>Tableau n° 7 :</b> Corrélation bi-variée de Pearson entre les oligo-éléments et les métaux lourds des gousses et des graines de <i>G. triacanthos</i> L.....	65
<b>Tableau n° 8 :</b> Coordonnées des variables .....	66
<b>Tableau n° 9 :</b> Valeurs de l'indice de mousse ( $M \pm D.s$ ).....	69

## Table des matières

Résumés	
Introduction .....	1

### Partie I : Etude bibliographique

#### Chapitre I : Les espèces introduites : menaces contre la biodiversité ?

I. 1. Aperçu historique.....	4
I.2. Qu'est ce qu'une espèce exotique envahissante ? .....	4
I.3. Caractérisation des espèces invasives.....	6
I.4. Notion d'espèces autochtone et allochtone.....	11
I.5. Processus d'invasion.....	14
I.5.1. Les différentes étapes.....	14
I.5.2. Le succès d'une invasion biologique.....	16
I. 6. Exemples d'espèces invasives .....	17
I.7. Espèces invasives en Afrique du Nord.....	21

#### Chapitre II : Usages et valorisations des espèces introduites : Cas des légumineuses arborées

II.1. Aperçu historique.....	23
II.2. Pourquoi introduire les espèces exotiques envahissantes? .....	23
II.3. Usages et valorisations des espèces introduites.....	24
II.4. Cas des légumineuses arborées.....	25
II.4.1. <i>Acacia mearnsii</i> De Wild.....	26
II.4.2. <i>Robinia pseudoaccacia</i> .....	27
II.4.3. <i>Gleditsia triacanthos</i> L.....	29
II.5. Valorisation des substances et molécules bioactives.....	31
II.5.1. Les éléments minéraux.....	31
II.5.2. les composés phénoliques.....	31
II.5.2.1. Les acides phénoliques.....	32
II.5.2.2. Les flavonoïdes.....	32
II.5.2.3. Les tanins.....	32
II.5.2.4. Les stilbènes.....	33
II.5.2.5. Les lignanes.....	33
II.5.2.6. Les Phytostérols et les phytostanols.....	33
II.5.2.7. Les saponines.....	34
II.5.3. Les composés terpéniques.....	34
II.5.4. Les alcaloïdes.....	35

#### Chapitre III : Description botanique de l'espèce et écologie

I. 1. présentation de l'espèce.....	37
I. 2. Noms communs.....	37

I. 3. Classification systématique.....	38
I. 3. 1. Présentation de la famille des Fabaceae.....	38
I. 3. 2. Présentation du genre <i>Gleditsia</i> .....	38
I. 3. 3. Habitus .....	42
I. 4. Notions de polymorphisme .....	50
I. 5. Procédés de régénération .....	50
I. 6. Ecologie de l'espèce.....	51
I. 6. 1. Etendue de la gamme indigène .....	51
I. 6. 2. Climat.....	52
I. 6. 3. Sols et topographie.....	53
I. 6. 4. Cortège floristique.....	54
III.8. <i>G. triacanthos</i> en Algérie.....	54

**Partie II : Etude expérimentale**  
**Chapitre IV : Matériels et méthodes**

IV.1. Matériel végétal .....	56
IV.2. Quantification des oligo-éléments et des métaux lourds des fruits (gousses et graines séparément) du févier d'Amérique par Spectrométrie de Masse à Plasma couplé par induction (ICP/MS) .....	57
IV.3. Évaluation de l'effet ou du pouvoir molluscicide des saponines (saponosides) issues des gousses et des graines de <i>G. triacanthos</i> sur le mollusque terrestre <i>Arion rufus</i> L.....	58
IV.3.1. Mesure de l'indice de mousse.....	59
IV.3.2. Préparation de l'extrait aqueux.....	59
IV.3.3. Matériel animal .....	61
IV.3.4. Mode opératoire .....	62

**Chapitre V : Résultats**

V.1. Résultats .....	63
V.1.1. Quantification des oligo-éléments et des métaux lourds des fruits (gousses et graines séparément) du févier d'Amérique par Spectrométrie de Masse à Plasma couplé par induction (ICP/MS).....	63
V.1.2. Résultats des traitements statistiques.....	64
V.1.3. Mesure de l'indice de mousse.....	68
V.1.4. Test molluscicide.....	69
V.1.5. Résultats des traitements statistiques.....	70

**Chapitre VI : Discussions**

V.1. Discussions.....	71
-----------------------	----

**Conclusion et perspectives**

Conclusion et perspectives.....	80
Références bibliographiques .....	83

## *Introduction*

La région méditerranéenne abrite une diversité biologique de première importance (Abdelguerfi & Laouar, 1999 ; Ohba & Amirouche, 2003) considérée comme étant un « hotspot » régional des plus importants (Vela & Benhouhou, 2007).

De par son aire géographique et sa diversité bioclimatique, l'Algérie présente d'importantes potentialités en matière de biodiversité floristique répartie à l'échelle nationale sous différentes formes de végétations (arbres, arbustes, arbrisseaux, herbes) (Ozenda, 1982). Cette diversité est actuellement un enjeu majeur de la recherche en écologie, à la fois par son rôle dans les écosystèmes, son déterminisme et sa valorisation dans le domaine de la préservation de l'environnement (Alard *et al.*, 1998).

Elle constitue un ensemble écologique et biologique peu propice, au moins dans ses biotopes non ou peu perturbés, à l'implantation d'espèces non autochtones à l'exception de quelques-unes (Quézel *et al.*, 1990) et offre des opportunités exceptionnelles pour l'évaluation et la compréhension des mécanismes impliqués dans la diversification et l'adaptation des plantes en relation avec l'évolution de leur environnement. (Médail & Quézel, 1997 ; Quézel & Médail, 2003 ; Vela & Benhouhou, 2007). Au fil des années elle s'enrichit accidentellement par l'introduction de nouvelles espèces, dont la compétition prend très fréquemment l'aspect d'une lutte directe entre les végétaux autochtones et allochtones.

En effet, les espèces les mieux adaptées aux facteurs écologiques d'une station, celles qui présentent une croissance rapide et une aptitude à donner des peuplements denses sont favorisées par rapport aux autres (Ozenda, 1982). Ces espèces peuvent poser de sérieux problèmes de concurrence et nuisent par conséquent la biodiversité locale par leurs actions colonisatrice du milieu. Parmi ces espèces on cite le févier d'Amérique, de nom scientifique : (*Gleditsia triacanthos* L.).

Le févier d'Amérique (*G. triacanthos* L.) est une espèce ligneuse du genre *Gleditsia*, famille des Légumineuses, originaire d'Amérique du Nord. Cette espèce peut tolérer une large gamme de conditions climatiques et édaphiques (Blair, 1990). Elle est répartie en Amérique, en Europe centrale et en méditerranée (Üner & Altinkurt, 2004). Cet arbre épineux a été introduit en Algérie en 1949 par les colons (Putod, 1982) pour des raisons ornementales car résistant à la sécheresse et de croissance rapide (Danso *et al.*, 1995). De nombreux auteurs le considère comme espèce envahissante (Vitousek & Walker, 1989 ; Burton & Bazzaz, 1991 ;

Higgins *et al.*, 1996 ; Rejmánek & Richardson, 1996 ; Reichard & Hamilton, 1997 ; Speroni & De Viana, 2001).

Bien que *G. triacanthos* peut être compétitive pour les espèces indigènes et présente un danger écologique pour qui les écologues préconisent de la détruire systématiquement, cette même espèce peut avoir des atouts importants en matière de valorisation de ses produits et coproduits.

Les espèces du genre *Gleditsia* sont utilisées dans la médecine traditionnelle (traitement des maladies de la peau, traitement de l'asthme et de l'apoplexie) (Konoshima & Sawada, 1982 a,b) et sont depuis longtemps connues dans la médecine orientale comme diurétique et comme expectorant (Miyase *et al.*, 2010). Elles sont aussi connues pour être utilisées dans l'alimentation du bétail (Blair, 1990 ; Gold, 1997 ; Papanastasis *et al.*, 2008). Les travaux antérieurs sur les espèces du genre *Gleditsia* montrent qu'elles sont très riches en sucres, en protéines (Blair, 1990) en galactomannanes (Bourbon *et al.*, 2010 ; Miguel *et al.*, 2010 ; Pollard *et al.*, 2010) et en saponosides (Zhang *et al.*, 1999 ; Teng *et al.*, 2002 ; Gao *et al.*, 2008 ; Crebassa *et al.*, 2011 et González-Cruz & San Martín, 2013).

De nos jours, la composition en éléments minéraux et les produits à base de plantes présentent un intérêt de plus en plus grandissant. Vue leurs importances dans la nutrition, l'agriculture et la santé humaine (Sanchez-Castillo, 1998). La composition en éléments organiques et inorganiques de plusieurs espèces est aujourd'hui déterminée par différentes techniques analytiques très avancées.

Dans le but de comprendre d'une part le comportement et les stratégies adaptatives de cette espèce présente dans notre région qui est jugée envahissante par les écologues et de tirer profit de ses coproduits d'autre part. La présente étude s'articule sur deux parties :

- Une rétrospective bibliographique relative aux espèces introduites et les menaces qu'elles présentent sur la biodiversité, ainsi que l'usage et la valorisation de ces espèces introduites (cas des légumineuses arborées) en se focalisant surtout sur le févier d'Amérique (*G. triacanthos* L.) en particulier la description botanique et écologique.
- Une partie expérimentale qui traite de la valorisation des coproduits du févier d'Amérique par la quantification des oligo-éléments et des métaux lourds de ses fruits (gousses et graines séparément) par la méthode dite de spectrométrie de

masse à plasma couplé par induction (ICP/MS) puis l'évaluation du pouvoir molluscicide des saponines (saponosides) issues des gousses sur le mollusque terrestre *Arion rufus* L.

## I. 1. Aperçu historique

Suite à l'accroissement des échanges commerciaux et de la circulation des biens à travers le monde, de plus en plus d'espèces sont introduites en dehors de leur aire de distribution naturelle. Si la plupart d'entre elles persistent difficilement, quelques-unes peuvent adopter un comportement beaucoup plus dynamique. Elles développent alors des populations importantes, se dispersent au travers des paysages et peuvent en outre entrer en compétition avec les espèces indigènes ou autochtones et altérer le fonctionnement des écosystèmes. On les appelle espèces exotiques envahissantes ou encore espèces invasives.

La notion d'invasion biologique a été définie par Williamson (1996) comme, sur une période identifiable à l'échelle des temps géologiques ou paléontologique, une « *invasion* » caractérisée par l'accroissement durable de l'aire de répartition d'un taxon (qu'il s'agisse d'une ou de plusieurs populations, et que cette invasion soit naturelle ou d'origine anthropique). Depuis les années 80, la prise de conscience du phénomène des invasions biologiques connaît un véritable essor international. Les espèces exotiques envahissantes sont actuellement au cœur des préoccupations en raison de la menace qu'elles constituent pour la biodiversité et l'intégrité des écosystèmes (perte de biodiversité, modification des écosystèmes) (Mooney & Drake, 1986). Les risques sont d'autant plus importants en région méditerranéenne que le patrimoine naturel y est remarquable et sensible à bien des égards car formant un hot spot (Pradali & Blot, 2003).

Les invasions biologiques sont désormais considérées, à l'échelle mondiale, comme la deuxième cause d'extinction d'espèces et d'appauvrissement de la diversité biologique, juste après la destruction des habitats naturels (IUCN<sup>1</sup>, 2000).

## I.2. Qu'est ce qu'une espèce exotique envahissante ?

Définir l'invasion biologique a toujours été une tâche difficile, due en partie à la prolifération des termes qui décrivent ce concept employés par différents auteurs (Richardson *et al.*, 2000 ; Meyer, 2006).

Selon Richardson *et al.* (2000), une espèce invasive est une espèce exotique qui, ayant franchi les barrières successives qui limitaient sa reproduction, sa naturalisation et sa dispersion, connaît une phase importante d'expansion dans sa nouvelle aire d'introduction.

---

<sup>1</sup> IUCN : international union for conservation of nature

Certains auteurs notent pourtant qu'il peut y avoir une confusion engendrée par le terme même d'*espèce* invasive : une espèce ne peut jamais être invasive en soi, ce n'est qu'une *population* d'une espèce, dans un lieu donné et à un moment donné, qui est invasive (Colautti & MacIsaac, 2004). Cela veut dire qu'une population d'une espèce peut être invasive et avoir des impacts négatifs dans un endroit donné alors qu'une autre population de la même espèce peut avoir un usage procurant des bénéfices dans un autre endroit, sans présenter de risques (DeWit *et al.*, 2001 ; Rouget *et al.*, 2002 ; Tassin, 2008). Pour certaines plantes réputées invasives, il peut également exister une incertitude, à une échelle locale, sur le statut d'indigénat d'une espèce ou sous-espèce (Beisel & Lévêque, 2009), car les données historiques nécessaires à la définition de ce statut font parfois défaut (Jauzein, 2001). De plus, la définition même d'espèce indigène peut varier selon les auteurs (Sax *et al.*, 2007 ; Warren, 2007 ; Valéry *et al.*, 2008) : certains s'appuient sur la notion d'indigénat administratif (Webb, 1985), alors que les frontières politiques ne correspondent pas aux barrières biologiques et écologiques qui délimitent l'aire potentielle d'une espèce (Pascal *et al.*, 2006 ; Lambdon *et al.*, 2008), surtout dans la région méditerranéenne avec son histoire complexe de brassage et de migration des espèces végétales (Blondel *et al.*, 2010). Ainsi, la notion d'espèce exotique, bien qu'essentielle pour définir les plantes invasives, prête parfois à confusion, la période temporelle et le domaine géographique considérés pour délimiter l'indigénat différant selon les auteurs (Pascal *et al.*, 2009). Ces points de vue divergents ne facilitent pas la concertation avec le monde horticole pour définir quelles sont les plantes invasives à éviter lors des plantations.

Les espèces invasives peuvent être définies comme étant des espèces exogènes (espèces importées) dont l'introduction, et la prolifération qui en découle, provoquent ou susceptibles de provoquer des nuisances à l'environnement ou à la santé humaine (Mack *et al.*, 2000 ; Costa, 2005).

Selon Dajoz (2008), les espèces sont considérées comme envahissantes (ou espèces invasives) dans un territoire, quand leur prolifération dans des milieux naturels ou semi-naturels, y produisent des changements significatifs de composition, de structure et/ou de fonctionnement des écosystèmes. Ces espèces peuvent soit devenir nuisibles pour l'agriculture (lorsqu'il s'agit de plantes, elles sont souvent qualifiées de "pestes végétales"), soit modifier le milieu d'une façon défavorable pour les activités humaines, soit réduire considérablement la



biodiversité en réduisant l'abondance numérique des espèces autochtones, ou même en les éliminant totalement (Nel *et al.*, 2004).

### I.3. Caractérisation des espèces invasives

Il est encore difficile, dans l'état actuel de nos connaissances, de préciser les caractéristiques générales des espèces invasives (Joly, 2000). Ces espèces ont des caractéristiques démographiques qui leur permettent de s'installer rapidement dans des sites où la compétition est affaiblie, par exemple sous l'effet de perturbations. C'est ce qui explique la colonisation des vallées fluviales ou des milieux ouverts (Dajoz, 2008).

Il n'existe pas de "profil type" pour les plantes envahissantes. Celles-ci présentent des traits biologiques très variés (Pradali & Blot, 2003). Elles ont souvent une croissance rapide, des modes de reproduction sexués ou végétatifs très actifs (Williamson, 1996 ; D'Antonio *et al.*, 1999 ; Lonsdale, 2000 ; Lockwood *et al.*, 2007). Elles sont, par ailleurs, très compétitives et résistantes. Souvent, leur caractère envahissant ne se révèle qu'à la suite d'une phase de latence de plusieurs dizaines d'années après leur introduction (Pradali & Blot, 2003).

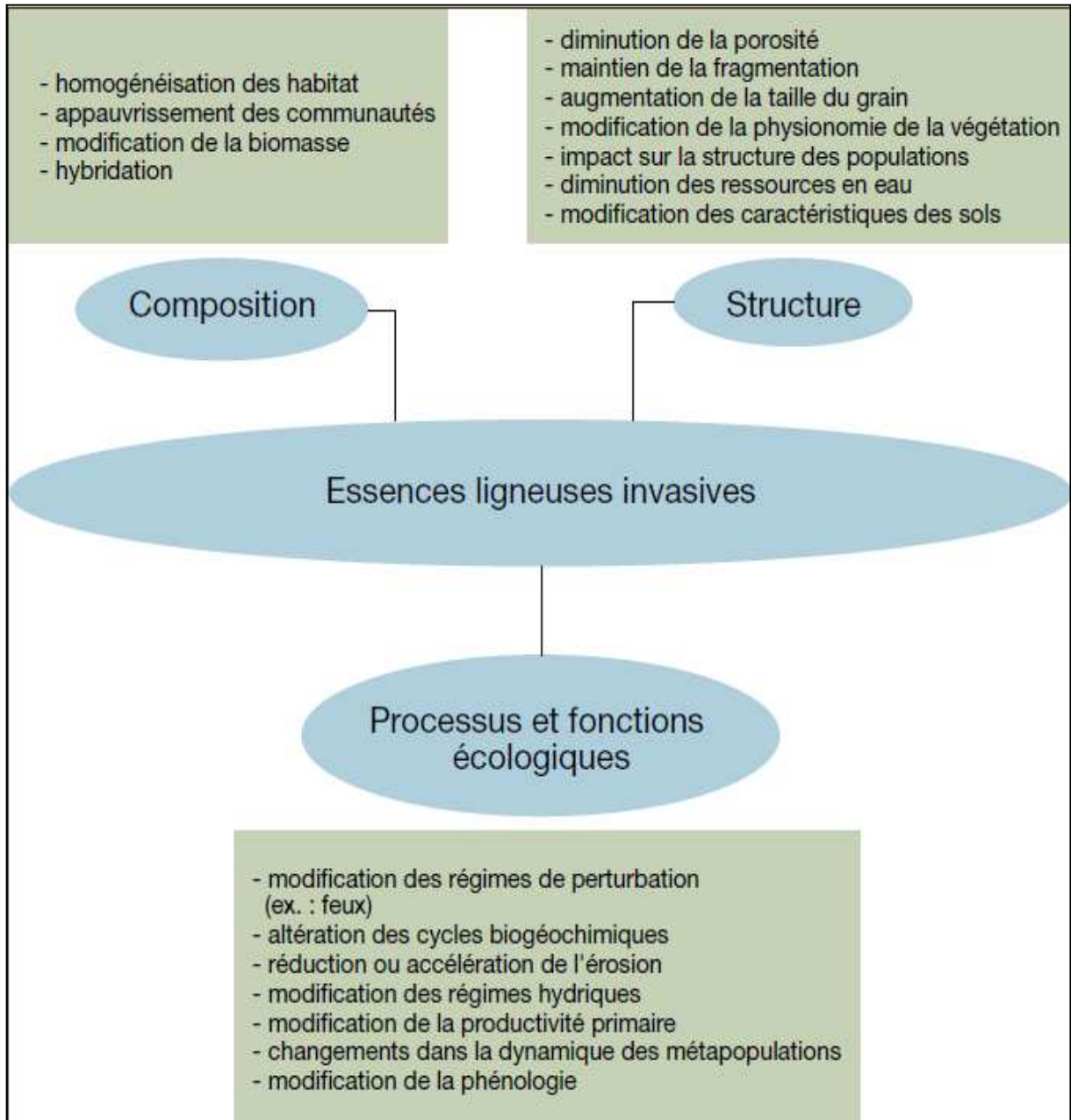
Selon l'UNEP/CBD<sup>2</sup>(2002), les plantes envahissantes se caractérisent par les nuisances qu'elles génèrent sur l'environnement, sur les activités humaines, sur la santé ou encore sur les paysages (Fig. n°1). Elles entrent en compétition avec les espèces autochtones et peuvent concurrencer ou menacer des espèces rares, protégées ou à forte valeur patrimoniale (Hobbs & Huenneke, 1992 ; McIntyre & Lavorel, 1994). Par leur prolifération, elles modifient également les écosystèmes et peuvent, en conséquence, perturber la faune sauvage (Alpert *et al.*, 2000 ; Grime, 2001). Les modifications du milieu qu'elles entraînent peuvent avoir des répercussions sur le pastoralisme en diminuant la valeur fourragère des pâtures, ou sur la circulation de l'eau en milieu humide. Elles peuvent également devenir des pestes pour les cultures et diminuer ainsi les rendements agricoles. Quelques espèces posent des problèmes de santé publique, qu'elles soient allergisantes, urticantes ou encore photosensibilisantes (Pradali & Blot, 2003).

Les espèces envahissantes dormantes (sleeper weed) citées par Grice & Ainsworth (2003), ou espèces en phase de latence (lag phase) citées par Ewel (1986), sont des plantes qui ne manifestent pas de caractère envahissant à l'heure actuelle, mais qui pourraient le devenir

---

<sup>2</sup> UNEP/CBD: United Nations Environmental Program for the Convention of Biological Diversity.

dans un futur proche car elles sont reconnues comme étant des plantes particulièrement envahissantes ailleurs dans le monde, dans des conditions écologiques et climatiques comparables. Ces espèces peuvent donc manifester une explosion démographique dans un futur proche et constituent de véritables bombes à retardement (Meyer *et al.*, 2006).



**Figure n°1 :** Modes d'impact des essences ligneuses invasives sur les écosystèmes terrestres (Noss, 1990 ; Cronk & Fuller, 1995 ; Walker & Smith, 1997).

Bien qu'aucun outil ne soit encore internationalement reconnu pour évaluer l'impact négatif des plantes invasives sur la biodiversité et les écosystèmes, plusieurs approches ont été proposées depuis quelques années (Vitousek *et al.*, 1987 ; Hulme *et al.*, 2007 ; ISEIA, 2007).

Citons par exemple le *Weed Risk Assessment* (WRA) traduit en « Évaluation du risque invasif des plantes exotiques », et l'analyse du risque phytosanitaire (ARP), une méthode développée en Australie (Pheloung, 1995) qui vise à accepter ou refuser des espèces proposées pour l'importation. Elle comprend quarante-neuf questions portant sur la biogéographie et l'histoire d'utilisation de l'espèce (naturalisation et invasion au-delà de son aire d'origine), sa biologie et son écologie. Le système analyse notamment si l'espèce :

- a. possède des traits indésirables (allélopathie, toxicité, maladies, etc.) ;
- b. est capable de former des populations denses ;
- c. présente des mécanismes particuliers de reproduction (auto-fertilisation, multiplication ou propagation végétative, etc.) ;
- d. possède des mécanismes particuliers de dispersion (propagules adaptés à la dispersion par le vent, les animaux ou l'homme) ;
- e. présente des mécanismes de persistance (banque de graines, résistance aux herbicides, résistance aux feux, etc.).

Chaque question rapporte des points, entre -3 et +5 suivant la réponse. Le score final, correspondant à la somme de tous les points obtenus, conduit à trois possibilités : l'espèce est acceptée pour l'importation, elle ne présente donc pas de risque important sur l'environnement, la santé, ou l'économie (score < 1) ; l'espèce nécessite une évaluation plus approfondie (1 < score < 6) ; l'espèce est rejetée (score < 6).

Ce système est fiable à 90% pour les espèces invasives et à 70% pour les espèces non invasives. Il existe depuis d'autres protocoles issus de la méthode WRA, comme celui de Reichard & Hamilton (1997) ou de Weber & Gut (2004).

L'ARP a été développé à l'échelle européenne par l'Organisation Européenne et Méditerranéenne de Protection des Plantes (OEPP). Par rapport au WRA, il s'agit d'une méthode plus globale qui peut s'appliquer à tout type d'organismes : plantes, insectes, virus, bactéries. Il n'y a pas de système de notation pour chaque question, mais un arbre de décision basé sur une évaluation qualitative généralement à cinq niveaux (risque très faible, faible, modéré, élevé, très élevé). Cette méthode permet ainsi d'évaluer le risque posé par une espèce

mais aussi de déterminer quelles sont les mesures phytosanitaires les plus appropriées. En fonction des objectifs recherchés, une méthode sera donc préconisée plutôt qu'une autre. L'ARP est plus coûteuse en temps mais, étant reconnue mondialement (par l'Organisation Mondiale du Commerce), elle pourra s'appliquer à l'échelle régionale, nationale ou internationale. Quant au WRA, il permet de fournir des listes plus adaptées à la gestion régionale des espèces envahissantes.

Ou encore, le protocole belge de mesure d'impact des plantes invasives (ISEIA, 2007) qui établit un système de notation permettant d'évaluer l'impact relatif de différentes espèces en comparant leur « score » d'impact. Le score d'impact dépend de quatre paramètres :

- a. le potentiel de dispersion de l'espèce,
- b. la valeur de conservation des milieux qui risquent d'être envahis,
- c. l'impact sur la diversité des espèces autochtones
- d. l'impact sur le fonctionnement des écosystèmes.

Chacun de ces quatre paramètres est évalué par une note allant de 1 à 3, correspondant à des niveaux d'impact faible, moyen ou élevé. Le cumul des notes pour les quatre paramètres permet d'obtenir le score total d'impact, exprimé sur une échelle allant de 4 à 12. Le protocole ISEIA propose de classer les espèces selon le barème suivant : impact faible (score 4-8), moyen (score 9-10) ou élevé (score 11-12).

D'après Filippi & Aronson (2010), pour considérer qu'une espèce a un impact faible, il faut que le score total d'impact soit inférieur ou égal à 6 avec au moins trois des quatre paramètres ayant un impact faible.

Les plantes invasives qui n'ont qu'un impact environnemental faible pourront être cultivées sans restriction particulière mais resteront sur une liste d'observation. Leur statut peut en effet changer dans le temps, notamment en région méditerranéenne où l'on peut prévoir une amplification du problème des plantes invasives liée à l'accroissement des perturbations d'origine anthropique ou dues aux changements climatiques (Thuiller *et al.*, 2005 ; McLachlan *et al.*, 2006 ; Bradley *et al.*, 2009). Les plantes invasives qui ont un impact négatif moyen ou élevé (score ISEIA de 7 à 12) peuvent pourtant, pour certaines d'entre elles, avoir des aspects positifs dans les jardins et les espaces verts.

Le Conservatoire Botanique National Méditerranéen CBNMED (2012), offre une méthode uniforme de classement des espèces végétales exotiques, facile à mettre en œuvre avec des critères souples adaptables au territoire étudié. L'analyse de risque utilisée ici est basée sur douze questions portant sur la distribution de l'espèce à l'échelle internationale, sur sa reconnaissance internationale en tant qu'invasive, sur sa biologie et son écologie, sur sa capacité à proliférer et la multiplicité des moyens qu'elle peut mettre en œuvre pour y arriver et sur sa distribution sur le territoire d'agrément du CBNMED. A la suite du questionnaire, un score est établi pour l'espèce en fonction des réponses aux questions. L'espèce est ainsi classée selon trois niveaux de risque définis :

- a. risque faible (score de 3 à 20 points – liste blanche) ;
- b. risque intermédiaire (score de 21 à 27 points – liste d'observation) ;
- c. risque élevé (score de 28 à 38 points – liste noire).

Ainsi, les espèces de la liste *blanche* sont celles dont la présence constitue un risque faible pour l'environnement. Les espèces de la liste *d'observation* sont celles qui présentent un risque intermédiaire pour l'environnement. Celles de la liste *noire* présentent des effets sur la santé animale ou végétale, et donc un risque fort pour l'environnement. Enfin, les espèces de la liste *grise* sont celles dont le risque ne peut pas être déterminé de façon définitive par manque de données.

Les différentes listes établies par le CBNMED ne sont cependant pas exhaustives : « Les espèces qui n'ont pas été évaluées ne peuvent pas être considérées comme inoffensives.

Il est à noter d'ailleurs que les espèces dites de la « liste grise » ont de fortes chances de passer en liste noire si l'évaluation est menée à bien. La méthode a été testée mais cela reste un outil d'aide à la décision. Elle n'est pas fiable à 100% essentiellement car les espèces n'ont pas les mêmes comportements dans tous les habitats. C'est pourquoi elle est parfois modérée par les retours d'expérience et avis d'experts. Les espèces listées ne répondent pas forcément à la définition d'espèce « invasive avérée » dans la mesure où certaines sont présentes sur des surfaces très restreintes et devraient plutôt être qualifiées d'espèces émergentes c'est-à-dire dont la dangerosité a été considérée comme importante mais qui n'exercent pas encore des impacts très visibles ».

#### I.4. Notion d'espèces autochtone et allochtone

Une espèce est dite autochtone d'une entité géographique donnée et pour une période donnée quand elle est représentée sur cette entité par des populations pérennes au début de cette période considérée (Pascal *et al.*, 2006).

Tandis qu'une espèce allochtone d'une entité biogéographique donnée et pour une période de temps donnée est une espèce qui, absente de cette entité au début de la période considérée, l'a par la suite "colonisé" et y a constitué des populations pérennes. Autrement dit, l'espèce vit dans une entité extérieure à sa propre aire de répartition naturelle (Fig. 2). Le terme de pérenne implique l'autonomie de reproduction de la population (naturalisation) (Pascal *et al.*, 2006 ; Golani *et al.*, 2002).

Les introductions d'espèces dans une région donnée, suite au franchissement d'une barrière géographique (océan, montagne...) se produisent naturellement et constituent un des moteurs de l'évolution. Lyell (1837), De Candolle (1855) et Darwin (1859) reconnaissent déjà l'importance des transports de plantes par les vents, les courants marins, sur les blocs de glace mobiles, par les oiseaux (endo- ou exo-zoochorie) et autres animaux migrateurs. On sait par exemple aujourd'hui que les oiseaux migrateurs ont été et sont toujours d'importants vecteurs dans le transport des plantes de milieux humides, en particulier entre l'Europe et l'Afrique (Mummenhoff & Franzke, 2007 ; Brochet *et al.*, 2009). Cependant, le rythme de ces introductions, assurées par des mécanismes naturels indépendants des activités humaines, est toujours resté lent et aléatoire (1 établissement d'espèce tous les 10 ans pour une distance de 415 km selon Nathan (2006)). L'expansion démographique des populations humaines, leurs déplacements, la domestication des espèces et le développement de l'agriculture ont singulièrement accéléré le rythme des introductions dans un premier temps (Di Castri, 1989 ; Vitousek *et al.*, 1996 ; Hodkinson & Thompson, 1997 ; Ricciardi, 2007). Les démarches d'exploration et les progrès technologiques ont ensuite stimulé les échanges commerciaux, les activités touristiques et industrielles, favorisant ainsi les échanges, volontaires ou non, d'espèces entre des régions toujours plus éloignées. Les espèces allochtones potentielles pour un territoire géographiquement isolé sont, de manière cumulative, plus nombreuses que les espèces autochtones de ce territoire.

Parallèlement, en raison de l'éloignement génétique qui découle de l'isolement géographique et par adaptation à des contraintes climatiques variées, la distribution des taxons

et de leurs traits biologiques parmi ces territoires n'est pas uniforme (Thorne, 1972). Ces constats impliquent que l'ensemble des espèces exogènes pour une région est toujours plus large et plus diversifié, génétiquement et écologiquement, que l'ensemble des espèces autochtones que cette région contient.

Au sein de la diversité des espèces allochtones possibles pour une région donnée, les espèces transportées involontairement par l'homme depuis leurs aires d'origine vers leurs aires d'accueil ne sont pas soumises à un processus de sélection direct. Cependant, statistiquement, ces espèces, se retrouvent en abondance importante là où les activités humaines sont les plus intenses (Thompson *et al.*, 1995 ; Alpert, 2006). Par ailleurs, elles possèdent statistiquement des traits biologiques favorisant leur dispersion par l'Homme (*e.g.* fécondité élevée, formes de fruits facilitant l'épizoochorie) (Thompson *et al.*, 1995 ; Alpert, 2006).

Bien qu'il existe peu d'études comparant les espèces introduites et les espèces autochtones - celles-ci étant habituellement centrées sur les espèces envahissantes -, les espèces liées aux activités humaines sont en général de type rudéral, c'est-à-dire tolérantes aux perturbations et avec une grande capacité de dispersion (Prach *et al.*, 2001; Lososová *et al.*, 2006).

Les espèces végétales transportées volontairement pour l'agriculture font l'objet, consciemment ou non, d'une importante sélection aboutissant à la prédominance d'espèces et de variétés caractérisées par une importante productivité végétative et/ou reproductive (Glemin & Bataillon, 2009), une faible dispersion des graines et une augmentation de leur taille (Fuller, 2007), ainsi que par une fertilité et un pouvoir germinatif des graines élevés (Zohary, 2004). À l'ensemble de ces traits biologiques regroupés sous le concept de « syndrome de domestication » (Harlan, 1992) peut s'ajouter une relative résistance aux pathogènes et aux phytophages (Punja, 2001; Pifanelli *et al.*, 2004). Enfin, les espèces importées pour l'ornement ont en général une croissance rapide, des fleurs plus grandes et plus colorées que leur ancêtre sauvage (Teixera da Silva, 2004 ; Chandler & Lu, 2005) et une résistance au stress et à la pollution élevée (Sæbø *et al.*, 2005).

Ainsi, l'introduction par le biais des activités humaines peut constituer un filtre à travers lequel sont sélectionnées les espèces et les variétés dont les caractéristiques de rudérales, colonisatrices et/ou compétitrices sont exacerbées.

Les implications écologiques d'une absence d'histoire évolutive commune entre les espèces introduites et les espèces autochtones sont variées. Elles découlent de deux principes :

- une espèce est rarement introduite avec son cortège d'organismes associés (prédateurs, symbiotes, pathogènes, compétiteurs...);
- les organismes du milieu d'accueil sont moins adaptés aux traits biologiques d'une nouvelle espèce qu'à ceux des espèces avec lesquelles ils ont co-évolué.

Chaque espèce, lors de son introduction, intègre donc l'impossibilité de rétablir les interactions biologiques entretenues dans son aire d'origine, qui peuvent être facultatives (mutualisme) ou obligatoires (symbiose, parasitisme), et positives (mutualisme, symbiose, commensalisme) ou négatives (prédation, parasitisme, compétition) pour sa survie et son développement (Mitchell *et al.*, 2006). En parallèle, si l'espèce introduite parvient à s'implanter dans les milieux naturels de son aire d'accueil, même de manière éphémère, elle développe, avec les organismes présents, de nouvelles interactions qui peuvent être de nature et/ou d'amplitude différentes (Richardson *et al.*, 2000 ; Parker & Gilbert, 2007 ; Pringle *et al.*, 2009). Catford *et al.* (2008) ont synthétisé et discuté l'ensemble des hypothèses relatives aux interactions biologiques, dans le cadre des introductions d'espèces. Ils regroupent ces hypothèses en cinq catégories : interaction(s) avec des « ennemis », compétition(s), mutualisme(s), commensalisme(s) et interaction(s) au sein de cascades trophiques. Dans le contexte d'une absence de coévolution entre les organismes concernés, ces interactions sont le principal argument utilisé pour distinguer les espèces autochtones des espèces introduites (Wilson *et al.*, 2009).

L'ensemble de ces particularités – une diversité plus grande à l'origine, une relative sélection (volontaire ou non) par l'Homme et une absence de coévolution avec les organismes du milieu d'accueil – conduit à distinguer, au moins partiellement, les espèces introduites des espèces autochtones. L'identification du rôle de ces particularités dans le processus d'invasion pourrait alors permettre de déterminer à quels niveaux et dans quelles mesures une invasion par une espèce introduite se différencie d'une invasion par une espèce autochtone.



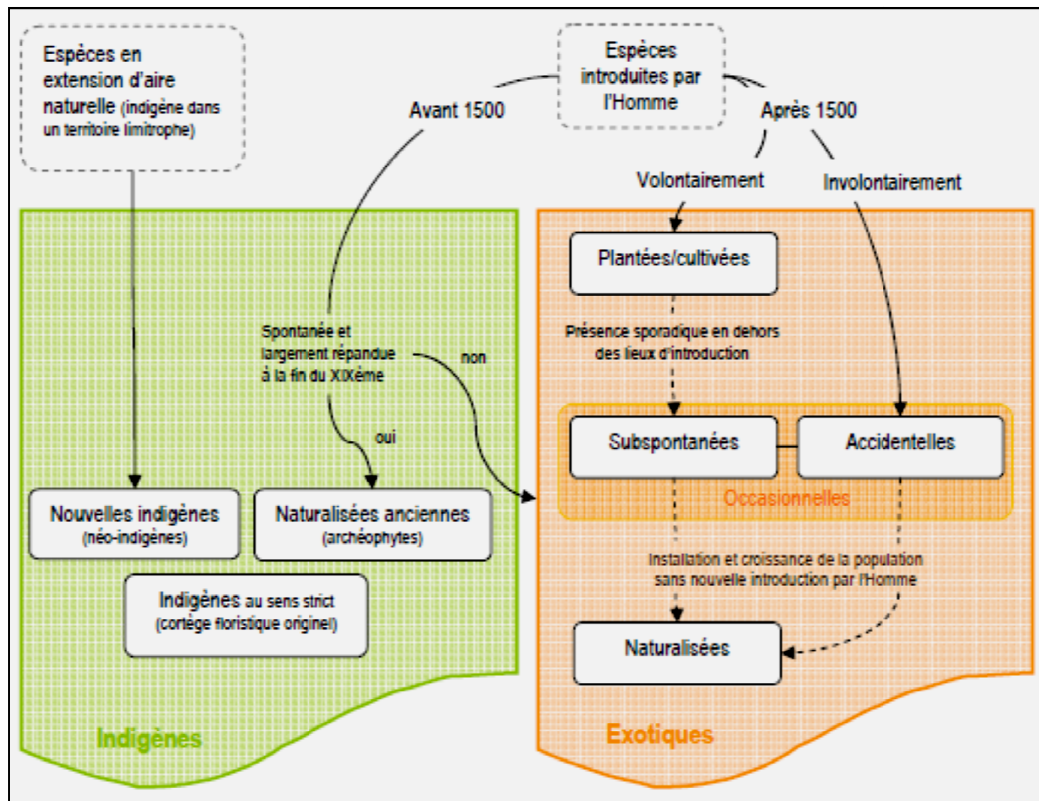


Figure n°2 : Représentation schématique des différents statuts d'indigénat des espèces végétales (Cordier, 2014).

## I.5. Processus d'invasion

### I.5.1. Les différentes étapes

Le processus d'invasion est souvent décrit comme une succession de phases durant laquelle la plante doit franchir des barrières (géographiques, écologiques et biologiques) avant de pouvoir s'implanter durablement dans l'aire d'introduction et devenir invasive (Fig.3) (Richardson *et al.*, 2000).

- a. **L'introduction** : correspond au franchissement de la barrière géographique par une forme viable de la plante (semences, propagules ou plants) sous l'action direct ou indirect de l'Homme.
- b. **La phase d'établissement** : correspond à la période durant laquelle la plante se développe jusqu'au stade adulte en s'acclimatant aux conditions biotiques et abiotiques de son lieu d'introduction. A ce stade, certaines plantes appelées occasionnelles peuvent se reproduire localement mais ne persistent que peu de temps dans leurs stations. Leur persistance dépend de leur introduction répétitive par l'Homme.

- c. **La naturalisation** : survient lorsque la plante est capable de se reproduire durablement par voie végétative ou sexuée. Elle aboutit à la formation de populations viables capable de se propager sans assistance humaine.
- d. **La phase de prolifération** : dernière phase du processus d'invasion, est caractérisée par une explosion démographique des populations naturalisées, mais aussi par une expansion géographique souvent très rapide. Les espèces en extension colonisent préférentiellement les habitats perturbés suivis ou non par les milieux naturels.
- e. **La phase d'expansion** est fréquemment précédée d'une phase de latence de quelques dizaines voire quelques centaines d'années au cours desquelles la plante est présente à l'état latent sans présenter de tendance à l'invasion.

Cependant, toutes les espèces nouvellement introduites dans un milieu ne deviennent pas envahissantes. A chacune de ces phases, le processus d'invasion peut être interrompu, la plupart des espèces introduites dans un nouvel environnement disparaissent sans avoir proliféré. Car en réalité il existe plusieurs barrières (biotiques, abiotiques, physiologiques, etc.) qui limitent et contrôlent les invasions biologiques (MacArthur, 1972 ; Menges, 2000 ; Mack, 2000).

Pour les espèces végétales, la théorie « *Ten's rule* » fondée par Williamson en 1996 stipule que, sur 1000 espèces introduites, 100 s'acclimatent à leur nouvel environnement, 10 se naturalisent et 1 seule devient invasive. En d'autres termes, 0,1% des introductions végétales deviennent invasives. Pour les espèces animales, ce taux est compris entre 15 et 50% (Jeschke & Strayer, 2005).

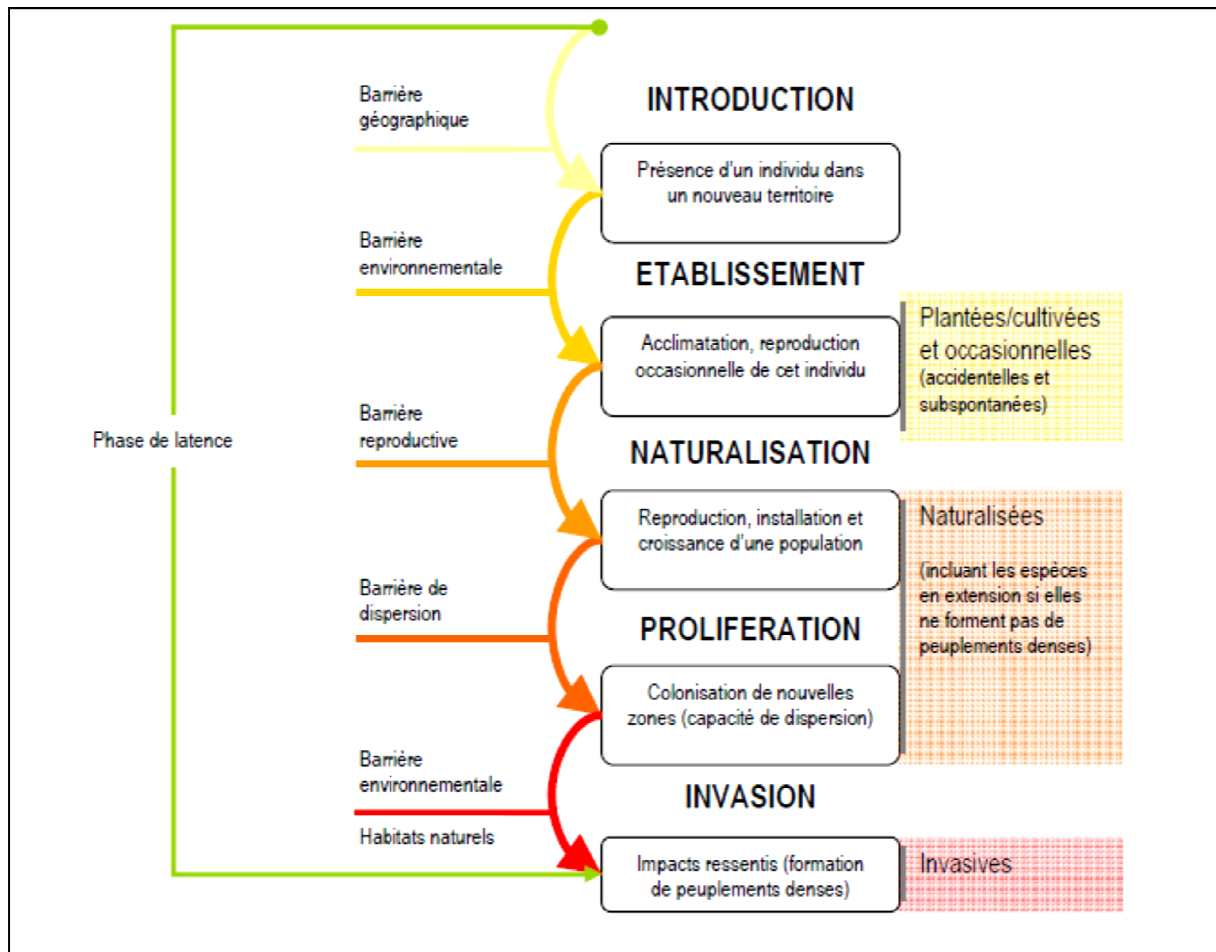


Figure n°3 : Les phases du processus d'invasion biologique (Richardson *et al.*, 2000).

### I.5.2. Le succès d'une invasion biologique

La vulnérabilité d'un milieu aux invasions biologiques dépend de différents facteurs, d'où l'existence d'un temps de latence plus ou moins long entre le moment de l'introduction et la phase de prolifération (Rejmanék *et al.*, 2000).

Dans un premier temps, il s'agit des caractéristiques intrinsèques à l'espèce exotique, incluant aussi bien les facteurs phénotypiques que génétiques. Les facteurs phénotypiques regroupent :

- a. la plasticité morphologique, c'est-à-dire la capacité d'adapter son phénotype à un environnement par compétition ou par dominance ;
- b. la colonisation rapide de l'espace par le biais d'une croissance rapide ou d'un fort taux de reproduction, etc.

Les facteurs génétiques regroupent :

- a. le mode de reproduction (autofécondation, reproduction par clonage, etc.) ;
- b. la polyplœdie, c'est-à-dire la possession de plus de deux jeux de chromosomes, ce qui permet l'augmentation de l'expression des gènes, une diversité allélique supérieure et une dissimulation des allèles délétères ;
- c. l'hybridation, qui correspond au croisement entre deux espèces ou deux sous-espèces, optimisant ainsi la capacité d'adaptation à un environnement.

Dans un second temps, il s'agit des caractéristiques environnementales propres au milieu considéré. Elles correspondent au nombre de niches écologiques vacantes, à la présence ou l'absence de prédateurs potentiels, à la présence ou l'absence d'équivalents biologiques parmi les espèces natives et à la complexité des réseaux trophiques du milieu. Les invasions ont généralement besoin que les conditions du nouvel habitat soient comparables à celles de la source, spécialement au niveau des conditions climatiques (Lonsdale, 2000).

## I. 6. Exemples d'espèces invasives

La propagation des plantes invasives dans leur nouvel habitat se fait souvent d'une façon spectaculaire (Dajoz, 2008). Parmi les espèces citées par Meyer *et al.* (2006), appartenant à la catégorie des « transformateurs d'écosystèmes » ayant un impact écologique et socio-économique important on cite :

- Les plantes aquatiques tropicales et subtropicales (*Eichhornia* spp., *Salvinia molesta*, *Egeria densa*) capables d'envahir les lacs, mares et rivières, de provoquer une baisse d'oxygénation des eaux et de la lumière, d'augmenter la turbidité et la sédimentation, l'assèchement ou l'eutrophisation des cours d'eau, et d'obstruer les canaux d'irrigation.
- Les graminées dites pyrophytes (*Andropogon* spp., *Melinis* spp., *Pennisetum* spp.) qui forment des touffes denses hautement inflammables, augmentant l'intensité et la fréquence des feux, et qui sont capables de se régénérer après incendie.
- Les arbres sur-consommateurs d'eau (*Acacia mearnsii*, *Tamarix* spp., *Prosopis* spp.) qui épuisent cette ressource limitée en zone sèche.
- Les légumineuses (*Acacia* spp., *Paraserianthes falcataria* et *Myrica faya*) qui enrichissent le sol en azote et perturbent la succession secondaire naturelle.

- Les lianes grimpantes (*Thunbergia* spp., *Passiflora* spp.) capables de recouvrir complètement les canopées.

Les plantes ornementales introduites dans les parcs et jardins deviennent souvent invasives. Pour la plupart, ces espèces ont été sélectionnées pour leurs faibles exigences, leur production florale abondante et la rapidité de leur croissance. Elles peuvent se multiplier et se propager aisément aux dépens des espèces déjà en place. C'est le cas en Polynésie française de *Passiflora suberosa* et à La Réunion de *Hedychium gardnerianum* qui est la principale menace pour les forêts tropicales de montagne (Dajoz, 2008).

Certaines plantes invasives sont aussi nuisibles pour l'homme. Le contact avec l'ombellifère (*Heracleum mantegazzianum*) provoque de fortes dermatites. Une plante originaire d'Amérique du Nord, l'ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia*), est arrivée en Europe occidentale vers 1860. Elle est connue d'Italie et, en France, surtout de la vallée du Rhône et des environs de Lyon. Elle fleurit en été. Son pollen est très allergisant puisqu'il suffit de quelques grains par m<sup>3</sup> d'air pour provoquer une réaction. Le roseau des pampas (*Cortaderia selloana*) est une plante hautement invasive, qui envahit la végétation naturelle et produit de grandes quantités de matériaux inflammables, ce qui augmente les risques d'incendie (Ramade, 2008).

**Tableau n° 1** : Liste noire des espèces exotiques envahissantes en France méditerranéenne continentale (Weber & Gut, 2004).

Nom latin	Nom français	Liste	Score méditerranée	Type d'habitat	Niveau de risque	Date d'actualisation
<i>Acacia dealbata</i> Link	Mimosa d'hiver	liste noire	31	Terrestre	Risque fort	2003
<i>Acer negundo</i> L.	Erable negundo	liste noire	34	Berges	Risque fort	2007
<i>Agave americana</i> L.	Agave	liste noire	29	Terrestre	Risque fort	2007
<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle	Ailante glanduleux ou Faux-vernis du Japon	liste noire	36	Terrestre	Risque fort	2003
<i>Akebia quinata</i> Decne.	Liane chocolat	liste noire	30		Risque fort	2009
<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L.	Ambrosie à feuilles d'armoise	liste noire	30	Terrestre Berges	Risque fort	2003
<i>Ambrosia coronopifolia</i> Torr. & A. Gray	Ambrosie vivace	liste noire	31	Terrestre	Risque fort	2012
<i>Amorpha fruticosa</i> L.	Faux-indigo	liste noire	31	Terrestre Berges	Risque fort	2003
<i>Araujia sericifera</i>	Faux kapok	liste	31	Terrestre	Risque fort	2007

Brot.		noire				
<i>Artemisia verlotiorum</i> Lamotte	Armoise des frères Verlot	liste noire	35	Terrestre	Risque fort	2007
<i>Arundo donax</i> L.	Canne de Provence	liste noire	34	Terrestre Berges	Risque fort	2007
<i>Aster lanceolatus</i> Wild.	Aster à feuilles lancéolées	liste noire	38		Evaluation en cours	2012
<i>Aster novi belgii</i> gr.	Aster d'Automne / Aster des jardins	liste noire	35	Terrestre Berges	Risque fort	2007
<i>Azolla filiculoides</i> Lam.	Azolla fausse fougère / Azolla fougère d'eau	liste noire	36	Aquatique	Risque fort	2012
<i>Baccharis halimifolia</i> L.	Séneçon en arbre	liste noire	35	Terrestre	Risque fort	2003
<i>Buddleja davidii</i> Franchet	Arbre aux papillons / Buddleia du père David	liste noire	36	Terrestre	Risque fort	2003
<i>Carpobrotus acinaciformis</i> (L.) L. Bolus	Griffes de sorcières	liste noire	31	Terrestre	Risque fort	2003
<i>Carpobrotus edulis</i> (L.) N.E. Br.	Griffes de sorcières	liste noire	31	Terrestre	Risque fort	2003
<i>Cortaderia selloana</i> (Schultes & Schultes fil.) Ascherson	Herbe de la Pampa	liste noire	34	Terrestre Berges	Risque fort	2003
<i>Egeria densa</i> Planchon	Elodée dense	liste noire	34	Aquatique	Risque fort	2012
<i>Elaeagnus angustifolia</i> L.	Olivier de Bohème	liste noire	28	Terrestre	Risque fort	2007
<i>Elide asparagoides</i> (L.) Kerguelen		liste noire	35	Terrestre	Risque fort	2012
<i>Elodea canadensis</i> Michaux	Elodée du Canada	liste noire	34	Aquatique	Risque fort	2012
<i>Elodea nuttallii</i> (Planchon) St. John	Elodée à feuilles étroites / Elodée de Nuttall	liste noire	34	Aquatique	Risque fort	2012
<i>Erigeron karvinskianus</i> D.C.	Vergerette mucronée	liste noire	34	Terrestre	Risque fort	2012
<i>Fallopia baldschuanica</i> (Regel) Holub	Renouée du Turkestan	liste noire	30	Berges	Risque fort	2012
<b><i>Gleditsia triacanthos</i> L.</b>	<b>Févier d'Amérique</b>	<b>liste noire</b>	<b>31</b>	<b>Berges</b>	<b>Risque fort</b>	<b>2012</b>
<i>Hakea sericea</i> Schrader & H. Wendland	Hakea soyeux	liste noire	34	Terrestre	Risque fort	2009
<i>Helianthus tuberosus</i> L.	Topinambour	liste noire	33	Berges	Risque fort	2007
<i>Heracleum mantegazzianum</i>	Berce du Caucase	liste noire	30	Berges	Risque fort	2009

Sommier & Levier <i>Humulus scandens</i> (Lour.) Merr.	Houblon japonais	liste noire	28	Terrestre Berges	Risque fort	2012
<i>Impatiens glandulifera</i> Royle	Balsamine de l'himalaya / Balsamine géante	liste noire	31	Berges	Risque fort	2003
<i>Lagarosiphon major</i> (Ridley) Moss	Lagarosiphon	liste noire	34	Aquatique	Risque fort	2012
<i>Lemna minuta</i> Kunth	Lentille d'eau minuscule	liste noire	30	Aquatique	Risque fort	2012
<i>Lonicera japonica</i> Thunberg	Chèvrefeuille du Japon	liste noire	34	Terrestre	Risque fort	2007
<i>Ludwigia grandiflora</i> (Michaux) Greuter & Burdet	Jussie à grandes fleurs	liste noire	30	Aquatique	Risque fort	2003
<i>Ludwigia peploides</i> (Kunth) P. H. Raven	Jussie rampante	liste noire	30	Aquatique	Risque fort	2003
<i>Myriophyllum aquaticum</i> (Velloso) Verdcourt	Myriophylle du Brésil	liste noire	31		Risque fort	2012
<i>Nicotiana glauca</i> R.C. Graham	Tabac glauque / Tabac arborescent	liste noire	29	Terrestre	Risque fort	2012
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller	Figuier de Barbarie	liste noire	34	Terrestre	Risque fort	2007
<i>Opuntia rosea</i> DC.	Oponce	liste noire	28	Terrestre	Risque fort	2012
<i>Opuntia stricta</i> (Haworth) Haworth	Figuier de barbarie	liste noire	34	Terrestre	Risque fort	2007
<i>Paspalum dilatatum</i> Poir.	Paspale dilaté / Herbe de Dariss	liste noire	34	Berges	Risque fort	2012
<i>Paspalum distichum</i> L.	Paspale à deux épis	liste noire	36	Berges	Risque fort	2012
<i>Passiflora caerulea</i> L.	Passiflore bleue / Fleur de la Passion	liste noire	28	Terrestre	Risque fort	2009
<i>Pennisetum setaceum</i> (Forsskael) Chiov.	Herbe aux écouvillons	liste noire	33	Terrestre	Risque fort	2012
<i>Pennisetum villosum</i> R. Br. ex Fresen	Herbe aux écouvillons	liste noire	33	Terrestre	Risque fort	2012
<i>Periploca graeca</i> L.	Bourreau des arbres	liste noire	30	Berges	Risque fort	2010
<i>Phyla filiformis</i> (Schreider) Meikle	Lippia	liste noire	34	Terrestre	Risque fort	2003
<i>Reynoutria japonica</i> Houtt.	Renouée du Japon	liste noire	34	Berges	Risque fort	2003

<i>Reynoutria x-bohemica</i> Chrtrek & Chrtkova	Renouée hybride	liste noire	32	Terrestre Berges	Risque fort	2012
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	Robinier faux-acacia	liste noire	34	Terrestre Berges	Risque fort	2003
<i>Saccharum spontaneum</i> L.		liste noire	36	Terrestre	Risque fort	2012
<i>Senecio inaequidens</i> DC.	Séneçon du Cap	liste noire	30	Terrestre	Risque fort	2003
<i>Solanum elaeagnifolium</i> Cav.	Morelle jaune	liste noire	31	Terrestre	Risque fort	2013
<i>Tamarix ramosissima</i> Ledeb.	Tamaris d'été	liste noire	34	Terrestre	Risque fort	2009
<i>Yucca gloriosa</i> L.	Yucca	liste noire	31	Littoral	Risque fort	2012

### I.7. Espèces invasives en Afrique du Nord

La région méditerranéenne constitue un ensemble écologique et biologique peu propice, au moins dans ses biotopes non ou peu perturbés, à l'implantation d'espèces non autochtones (Quézel *et al.*, 1990), mais ici la distinction doit être faite entre les espèces étrangères à notre région méditerranéenne, et celles provenant d'une autre partie du monde circumméditerranéen (Quézel, 1999).

Les espèces étrangères, le plus souvent originaires des autres régions méditerranéennes du monde, ont été introduites en très grand nombre, en particulier à des fins horticoles, mais aussi par les reboiseurs (*Eucalyptus*, *Acacia*, *Casuarina*). Mais il ne semble pas que ces espèces soient susceptibles de devenir envahissantes, dans les décennies prochaines tout au moins. Leur régénération par graines reste rare voire exceptionnelle, et la majorité d'entre elles disparaîtraient si elles cessaient d'être cultivées ou au moins entretenues par l'homme. Seuls, les phénomènes de reproduction végétative sont efficaces, très localement, pour quelques espèces, et les cas du robinier (*Robinia pseudoacacia*), de l'ailante (*Ailanthus altissima*) ou encore du mimosa des fleuristes (*Acacia dealbata*) sur la Côte d'Azur non calcaire sont bien connus, mais les risques de diffusion massive paraissent pour l'instant extrêmement limités (Quézel, 1999).

D'après Blondel & Aronson (1999) et Quézel (2002), seulement 1% de la flore du bassin méditerranéen est considérée comme espèces exotiques et très peu ont connu l'expansion



spectaculaire. Ce qui contraste avec les autres pays du monde ayant un climat méditerranéen : 20% pour la Californie, 54% pour le Sud-ouest de l'Australie, et 57% pour l'Afrique du Sud.

Selon Meggaro *et al.* (1998), de tous les pays d'Afrique du Nord, l'Algérie présente le plus grand nombre d'espèces exotiques par unité de surface. Toutefois, selon les données les plus récentes de Dobignard & Chatelain (2011) elle est classée au second rang après le Maroc, bien que l'Algérie abrite plus de 234 espèces exotiques et que le Maroc abrite seulement 228 espèces exotiques (Tab. 2).

**Tableau n° 2** : Classement des pays Nord-Africain par rapport au nombre d'espèces exotiques par unité de surface (Kazi Tani *et al.*, 2012).

Pays	Surface (km <sup>2</sup> )	Nombre total d'espèces exotiques	Espèces exotiques/log surface
Maroc	458,730	228	17.47
Algérie	2, 300,980	234	15.97
Egypte	997,739	168	12.15
Tunisie	154,530	121	10.11
Lybie	1, 760,000	116	8.06

En Algérie, outre les espèces exotiques introduites accidentellement ou intentionnellement par l'homme préhistorique et les civilisations anciennes (phénicienne ou romaine), les introductions les plus importantes ont eu lieu pendant la colonisation française (1830-1962) (Kazi Tani *et al.*, 2012). Bien que le jardin botanique d'El Hamma (Alger), a été créé depuis 1844 afin d'acclimater des plantes exotiques, la majeure partie des introductions a eu lieu au cours de la période 1930-1960 caractérisée par le développement de l'irrigation (grandes directions hydrauliques), la propagation du maraîchage (pommes de terre, les tomates, le maïs, la betterave, riz, etc.) et les vergers (agrumes, vigne), et la mécanisation agricole poussée (Khiati, 2008).

Sans vouloir minimiser les risques liés aux caractères invasif ou écologiquement négatif, il convient d'enrichir le débat en considérant la bonne gestion des espèces introduites utiles comme une des alternatives à la dégradation et à l'érosion de la biodiversité autochtone. À travers une revue bibliographique sur les espèces introduites et notamment les légumineuses arborées, la dualité de leurs usages et de leurs effets pervers sera abordée.

## **II.1. Aperçu historique**

Depuis les grandes expéditions, les échanges de marchandises et les flux de personnes n'ont cessé d'augmenter à l'échelle planétaire. Des plantes d'origine lointaine ont ainsi été vendues ou échangées, et parfois involontairement introduites dans de nouvelles contrées (Pradali & Blot, 2003). Les échanges globaux ont permis la libre circulation et l'installation de nombreuses espèces dans le monde, apportant ainsi aux sociétés modernes une panoplie de choix améliorant, de manière considérable, leur cadre de vie. Agriculture, foresterie, pêche, commerce d'animaux de compagnie et de nombreuses industries consommatrices de matières premières dépendent d'espèces qui viennent de l'autre bout du monde (McNeely *et al.*, 2001).

## **II.2. Pourquoi introduire les espèces exotiques envahissantes?**

À l'échelle des temps géologiques, la modification de l'aire de distribution des espèces est un phénomène naturel jouant un rôle important dans l'histoire du peuplement des milieux. Depuis le développement de l'agriculture et de l'élevage au Néolithique, l'Homme a accéléré et amplifié cette dynamique en introduisant de nouvelles espèces dans son milieu de vie ou en emportant avec lui des espèces domestiques (mouton, chèvre) ou sauvages (renard) lors de la colonisation de nouvelles aires géographiques (îles de la Méditerranée telles que Chypre vers 10000 ans avant Jésus-Christ ou la Corse) (Goudard, 2007).

La plupart des plantes exotiques envahissantes, 80% en Europe selon Hulme *et al.* (2009), ont été introduites volontairement pour l'ornementation ou pour l'agriculture. En région méditerranéenne, plusieurs espèces végétales exotiques envahissantes ont initialement été introduites dans des jardins botaniques puis se sont échappées en milieu naturel avant de se propager sur ce territoire.

D'autres secteurs professionnels sont également à l'origine de l'introduction volontaire de certaines plantes exotiques envahissantes ou en tirent des avantages (Terrin *et al.*, 2014). Le Tableau ci-dessous (Tab.3) répertorie les principales filières concernées et les causes d'introduction de nouvelles plantes exotiques.

**Tableau n°3** : Filières d'introduction de plantes exotiques envahissantes et causes d'introduction (Terrin *et al.*, 2014).

Filières d'introduction d'EVEE	Causes d'introduction volontaire
<b>Horticole et Aquacole</b>	Ornementation (aspects esthétiques, plantes odorantes) et bienfaits culturels et sociaux (ex : le mimosa d'hiver est très apprécié du grand public car il fleurit en hiver et émet une odeur très agréable).
<b>Agricole</b>	Pour l'alimentation humaine (ex : introduction en France au XVIIème siècle du topinambour ( <i>Helianthus tuberosus</i> L.)) et les agro-carburants (exemple de la jacinthe d'eau ( <i>Eichornia crassipes</i> (Mart.) Solms) qui est valorisée en gel éthanol en Afrique)).
<b>Paysagère</b>	Pour les jachères fleuries dans les milieux urbains et périurbains. Ces initiatives permettant de créer des espaces de couleurs dans ces milieux peuvent favoriser la disparition par la faune locale. Néanmoins les graines de ces jachères peuvent parfois contenir des semences de plantes exotiques envahissantes, mais l'introduction de ces espèces n'est pas volontaire. Pour stabiliser les sols (exemple du faux-indigo ( <i>Amorpha fruticosa</i> L.) et des griffes de sorcière ( <i>Carpobrotus</i> spp.)) qui ont été utilisés comme stabilisateurs de dunes ou de berges. Pour améliorer la composition du sol (exemple du robinier faux-acacia ( <i>Robinia pseudoacacia</i> L.) qui enrichit le sol en azote).
<b>Foresterie</b>	Pour les usages et les intérêts économiques mais également pour la fixation des sols et la qualité paysagère. Par exemple, le robinier faux-acacia ( <i>Robinia pseudoacacia</i> ) est utilisé pour les piquets de vigne et indirectement, de part sa présence sur une grande partie du territoire, pour ses qualités mellifères. Le pin noir d'Autriche ( <i>Pinus nigra</i> subsp. <i>nigra</i> Arn.) a été largement planté pour restaurer les terrains en montagne au cours du XXème siècle. Le cèdre de l'Atlas ( <i>Cedrus atlantica</i> (Manetti ex Endl.) Carrière) est également utilisé depuis plusieurs années puisqu'il semble être une essence forestière capable de résister au changement climatique.
<b>Chasse et pêche</b>	Dans le cadre de mesures incitatives ou d'actions censées favoriser la faune (ex : les cultures cynégétiques favorisant les animaux qui sont chassés ou l'introduction dans les étangs de pêche de plantes exotiques envahissantes pouvant servir de frayères aux poissons (ex : <i>Lagarosiphon major</i> (Ridl.) Moss., <i>Elodea nuttallii</i> . Planch., H.St.John).
<b>Industrie pharmaceutique et cosmétique</b>	Usage médical et ressources génétiques intéressantes de certaines plantes exotiques (aucune plante exotique envahissante connue en France n'a encore été introduite par cette filière).
<b>Unités de Recherche</b>	Des espèces végétales exotiques peuvent être introduites pour des recherches scientifiques (aucune plante exotique envahissante connue en France n'a été encore introduite par cette filière).
<b>Autres</b>	Par exemple pour les agro-carburants en sélectionnant des génotypes très résistants (conditions climatiques, parasites) et très compétitifs (ex : <i>Miscanthus</i> spp. qui est envahissante aux États-Unis).

### II.3. Usages et valorisations des espèces introduites

L'éradication, ou le contrôle des espèces invasives à un niveau acceptable, représente des défis très coûteux et à long terme. Une autre approche consiste à vérifier si une telle biomasse, disponible en grande quantité et renouvelable, ne contiendrait pas des substances de grand intérêt économique potentiel, des molécules à haute valeur ajoutée. Si cela était avéré, cette considérable biomasse pourrait alors devenir un gisement à exploiter (Barnathan, 2015).

De manière similaire, il est trompeur de ne porter le regard que sur les aspects « négatifs » d'une invasion biologique, et d'en ignorer les conséquences « positives ». Les publications scientifiques faisant état d'effets « positifs » des espèces invasives restent rares, d'une part parce qu'elles relèvent d'études difficiles à financer, d'autre part parce que les relecteurs, le plus souvent, n'aiment guère que l'on dise du bien d'espèces dont ils pensent le plus grand mal... Ainsi, les publications faisant état d'effets « positifs » des espèces invasives sont 40 fois moins fréquentes que celles qui décrivent ou reportent des effets « négatifs ». Ce dont on ne saurait en déduire, bien entendu, que les effets « négatifs » des espèces invasives sont 40 fois plus élevés que leurs effets « positifs » (Tassin, 2015). Et pourtant, de grands spécialistes des invasions biologiques ne craignent pas d'entretenir ce type de confusion (Simberloff *et al.*, 2012). En réalité, les exemples de tels effets « positifs » abondent, et certaines plantes invasives que l'on combattait encore récemment sont aujourd'hui laissées en place lorsque les gestionnaires réalisent combien elles concourent à la sauvegarde d'espèces en danger. Dans le Queensland australien, l'arbuste *Lantana camara* est aujourd'hui considéré comme une espèce clef-de-voûte dans certains habitats où la survie de certains oiseaux frugivores dépend désormais du devenir de cette plante invasive qui produit des baies en abondance et sur une grande partie de l'année (Tassin, 2015).

Les espèces végétales exotiques envahissantes peuvent également apporter des bénéfices à l'économie et la société humaine par leurs commercialisation et utilisation en horticulture, aquariophilie (qualités ornementales), agriculture (qualités alimentaires), sylviculture (exploitations forestières, anciennes campagnes de restauration des terrains de montagne dans les Hautes-Alpes par l'ONF, construction d'arboretums dans les départements du Var et des Alpes-Maritimes), apiculture (plantes mellifères), pharmacopée et cosmétique (ex : les produits à base de figuier de barbarie)...etc. (Terrin *et al.*, 2013)

#### **II.4. Cas des légumineuses arborées**

La famille des légumineuses est très diverse avec ses 3 sous familles: Mimosoideae, Caesalpinioideae, et Papilionoideae (Doyle & Luckow, 2003). Elle compte environ 20.000 espèces (Gepts *et al.*, 2005). Les légumineuses sont cultivées principalement comme source de protéines pour la consommation humaine (haricot, pois, fève,...) ou l'alimentation animale (soja, luzerne,...) grâce à la fixation symbiotique de l'azote. Elles sont aussi une source importante d'huiles végétales (arachide) et de bois de qualité (bois de rose, ébène).

Les légumineuses à graines constituent toujours une part importante de l'alimentation du monde, particulièrement dans les Pays en Développement où elles sont la principale source de protéines pour l'homme. Citons le Haricot (*Phaseolus vulgaris*) en Amérique Latine, le Pois Chiche (*Cicer arietinum*), la lentille (*Lens culinaris*) et la Fève (*Vicia faba*) dans le bassin méditerranéen, le Soja (*Glycine max*) en Asie sans oublier l'Arachide (*Arachis hypogea*) et le Pois (*Pisum sativum*) dans le monde entier (Lazrek - Ben friha, 2008).

Les légumineuses ou les fabales sont connues pour leurs propriétés nutritives, elles sont d'un grand intérêt économique, agricole et médical (ou paramédical). Elles fournissent de nombreuses substances alimentaires, des substances médicales, des bois magnifiques pour la construction et les arts, des substances tinctoriales, des gommés et des résines, etc.

Dans cette partie nous décrivons trois exemples de légumineuses arborées introduites.

#### **II.4.1. *Acacia mearnsii* De Wild.**

L'acacia noir (*Acacia mearnsii*) est un arbre à croissance rapide de la famille des légumineuses, originaire d'Australie (Nouvelle-Galles du Sud, Queensland, Victoria et Tasmanie) (Orwa *et al.*, 2009). L'arbre a été introduit dans plusieurs régions à travers le monde (Amérique du Nord, Amérique du Sud, Asie, Europe, Pacifique et les îles de l'océan Indien, en Afrique et en Nouvelle-Zélande ...etc) (Griffin *et al.*, 2011). *Acacia mearnsii* est souvent utilisé comme source de tannins dans un but commercial ou comme source de bois de chauffage par les communautés locales (Searle, 1997). Il se situe parmi les légumineuses australiennes ayant un potentiel invasif le plus élevé (Richardson & Rejmánek, 2011). Ce dernier a été introduit en Algérie en 1970 dans le Parc National d'El Kala (PNEK), au Nord-est du pays (Boudiaf *et al.*, 2014).

L'acacia noir est principalement cultivé pour la production de tannins et de bois. C'est la principale source mondiale d'écorce à tanin ; l'écorce contient jusqu'à 40% d'un excellent tannin, particulièrement adapté à l'utilisation dans la fabrication de gros objets en cuir (Brown & Ho, 1997 ; Orwa *et al.*, 2009). En outre, l'extrait d'écorce en poudre est utilisé pour préparer des colles de tanin formaldéhyde pour le bois contreplaqué pour l'extérieur, le bois aggloméré et le bois stratifié (Griffin *et al.*, 2011). Le bois de cet arbre est largement utilisé comme bois de feu pour les usages domestiques et dans l'artisanat villageois, ou pour la production de charbon de bois (par ex. au Kenya, en Afrique du Sud et au Brésil). Le bois

peut aussi être utilisé comme matériau de construction local, outils en bois, ouvrages de menuiserie, parquets et panneaux. Les troncs minces et souples sont utilisés pour créer le cadre des huttes traditionnelles enduites d'argile de nombreux peuples africains (Griffin *et al.*, 2011). Le bois est utilisé en combinaison avec d'autres bois pour produire de la pâte à papier et de la pâte visqueuse (à dissoudre), matière primaire qui sert à produire des fibres synthétiques comme la rayonne. Durant ces dernières années, l'utilisation du bois d'acacia noir dans l'industrie de la pâte et du papier a augmenté de manière appréciable partout dans le monde. Le Japon en particulier est un grand importateur de copeaux d'acacia noir d'Afrique du Sud (Griffin *et al.*, 2011). L'acacia noir est aussi planté pour contrôler l'érosion et pour améliorer les sols (fixation d'Azote), comme brise-vent ou pare-feu, comme arbre d'ombrage dans les plantations, en ornemental et comme arbre mellifère (MacDicken, 1994 ; Poynton, 2009 ; Carruthers *et al.*, 2011). Les feuilles sont parfois utilisées comme fourrage (15% de protéines), mais sont relativement indigestes et doivent de préférence être mélangées avec d'autres aliments (Orwa *et al.*, 2009 ; Griffin *et al.*, 2011). L'*Acacia mearnsii* est connu aussi pour ses propriétés anti-oxydantes, antimicrobiennes et toxicologiques (Olufunmiso *et al.*, 2012).



**Figure n°4:** *Acacia mearnsii* De Wild. Aspect de l'arbre, feuilles, et inflorescences (Orwa *et al.*, 2009).

#### II.4.2. *Robinia pseudoaccacia*

Le robinier faux acacia (*Robinia pseudoaccacia*) fait partie de la famille des légumineuses, sous familles des papilionacées (Spichiger *et al.*, 2004). Cet arbre a été introduit d'Amérique du Nord (Est des Etats-Unis) au début du XVIe siècle par l'arboriste d'Henri IV, Jean Robin. Appelé d'abord improprement acacia, pour sa ressemblance aux arbres de ce genre ; elle sera ensuite renommé Robinier par Linée en hommage à son importateur (Hillairet, 1985).

Cette essence héliophile, à haute flexibilité d'adaptation face aux conditions édaphiques, est néanmoins très sensible à la compaction du sol et à son manque d'aération (Pollet *et al.*, 2012). Le robinier est extrêmement tolérant à la sécheresse, par contre il supporte mal les gelées précoces et demande suffisamment de chaleur en été. L'essence est largement plantée dans les régions tempérées à travers le monde. En termes de surface, il est la troisième essence feuillue à croissance rapide la plus plantée dans le monde, après l'eucalyptus et les peupliers hybrides (Pollet *et al.*, 2012).

Le robinier est souvent introduit comme arbre d'ornement et d'alignement. Il est l'une des meilleures espèces mellifères. Les fleurs sont riches en nectar, elles sont très recherchées des abeilles. Ses fleurs odorantes sont à la source de l'un des miels de printemps les plus réputés (le miel d'acacia) (Lorgue *et al.*, 1987).

Malgré sa toxicité, le feuillage est très apprécié par le bétail et forme un excellent fourrage (Benabid, 2000). D'après Lorgue *et al.* (1987), l'écorce, les feuilles et les graines sont toxiques. La toxicité de l'écorce est maximale à l'automne (Bruton, 1996).

Le robinier contient des toxalbumines (robine, robitine et phazine) ayant des propriétés hémagglutinantes, antigéniques et cytotoxiques (pouvoir mitogène) et entraînant une perturbation du taux de glycogène des cellules hépatiques et musculaires ainsi qu'une inhibition des synthèses protéiques (Beasley, 1999).

Le bois de robinier présente un aubier très fin (3-4 cernes) et son bois de cœur est de couleur brun-doré à l'état sec. C'est un bois à zones poreuses avec de larges vaisseaux présents dans le bois de printemps associés à de nombreuses thylles et entourés d'un parenchyme axial important. Le robinier est généralement reconnu pour produire un bois dur et lourd, ces caractéristiques tendent à s'accroître avec la vitesse de croissance. Il est encore qualifié de fissile et nerveux à très nerveux, ce qui limite son usage. Cette dernière caractéristique est néanmoins étroitement liée à une mauvaise morphologie de l'arbre en absence de traitement sylvicole adéquat (Jourez, 1998). En ce qui concerne la durabilité naturelle à l'encontre des champignons lignivores, les recherches menées en Amérique du Nord et en Europe de l'Est montrent que le duramen du bois de robinier peut être qualifié de « durable » à « très durable » (Scheffer & Morrell, 1998 ; Peszlen *et al.*, 2000 )

Il s'agit du seul bois feuillu classé comme tel selon la norme EN 350-2 (1994). Le chêne pédonculé (*Quercus robur*) et le châtaignier (*Castanea sativa*) sont tous deux classés comme « durable ». Pour ces raisons, le bois de robinier est généralement destiné à des usages extérieurs, comme les piquets de clôtures, ou de vigne ou encore comme pièce d'usage.

Sa croissance rapide, sa capacité de multiplication végétative importante (rejets de souche et drageonnage), sa production abondante de graines toxiques, sa capacité à fixer l'azote atmosphérique et la toxicité de son bois et de ses feuilles en font une espèce pionnière compétitive capable de modifier profondément les phytocénoses locales (Muller, 2004). Cette espèce est généralement considérée comme très envahissante (Wieseler, 2005 ; USDA, 2009).



**Figure n°5:** Aspect de l'arbre, feuilles et fleurs du Robinier faux acacia (*Robinia pseudoaccacia*) (Cliché Benhamiche, 2016).

#### **II.4.3. *Gleditsia triacanthos* L.**

Le févier d'Amérique (*G. triacanthos* L.) fait partie de la famille des légumineuses, sous familles des césalpinioïdées, il est largement planté comme arbre d'ornement, il est robuste et présente une croissance rapide. Il est employé souvent dans les zones de stress urbain, telles que les extrémités des parkings, au bord des routes, contrôle d'érosion, brise-vent et pour adoucir le paysage (Nessom, 2003).

Le févier d'Amérique forme un excellent fourrage (Shadow, 2003). Ses fruits sont très appréciés par le bétail. Les graines sont très riches en protéines (pas moins de 12 à 13 %), les gousses contiennent jusqu'à 42 % de glucides. Les feuilles sont une excellente source de fourrage avec 20% de protéines brutes et un faible taux de lignines (Blair, 1990).

Les fleurs de cette espèce sont incroyablement attractives aux insectes pollinisateurs (Shadow, 2003). Le févier d'Amérique est une source de pollen et de nectar pour les abeilles (Sullivan, 1994).

Le bois du févier d'Amérique possède beaucoup de qualités désirables, mais il est peu utilisé en raison de sa pénurie. L'aubier est généralement large et jaunâtre contrairement au duramen brun-rougeâtre, fournissant un grain attractant. Le bois est dense, très lourd, très dur,



fort, raide, résistants au choc, et est durable en contact avec le sol (Farrar, 1996). Il est utilisé localement pour fabriquer des poteaux de frontière de sécurité, et également comme bois de charpente pour des palettes, la mise en caisse, et la construction générale (Blair, 1990).

Dans la pharmacopée africaine, la pulpe du fruit est utilisée pour traiter certaines maladies pulmonaires. Son utilisation pour le traitement du rhume, de la dyspepsie, de la rougeole, de la coqueluche et de certains troubles sanguins a également été reportée (Fiorentino & Leclere, 2008). Selon Fiorentino & Leclere (2008), l'extrait de *Gleditsia* (Triacanthine) est utilisé en concentrations appropriées, pour la préparation de médicament et de compositions cosmétiques et pharmaceutiques, destinées au traitement et à la prévention des surcharges adipeuses et de la cellulite.

Rakmanberdyeva *et al.* (2003), ont montré que les graines de *Gleditsia triacanthos* L. contiennent des galactomannanes, et Yamamoto *et al.* (2000), ont montré que des mélanges de galactomannanes et de gomme xanthane peuvent avoir un effet hypolipidimique chez le rat. Les galactomannanes extraits montrent des caractéristiques adéquates pour être utilisés en industrie alimentaire (Cerqueira *et al.*, 2009).

Les galactomannanes de *G. triacanthos* et *Sophora japonica* représentent une solution de rechange intéressante à la gomme du guar et la gomme du caroubier généralement utilisées, leurs mélanges avec le xanthane ou le k-carraghénane peut être employé pour fournir différentes caractéristiques rhéologiques aux produits alimentaires (Pinheiro *et al.*, 2010).

En industrie laitière, Cerquiera *et al.* (2009) et Martins *et al.* (2010), ont démontré que le Chitosane, galactomannane produit par *G. triacanthos* L. et l'agar produit par *Glacilaria birdiae* avec l'ajout de plastifiants ou d'huile de maïs, constituent un enrobage de fromage, permettant la diminution des taux de respiration, de la perte de poids relative et de la croissance des moisissures. Ils constituent une alternative aux enrobages synthétiques.

Dans certaines zones, le févier d'Amérique peut devenir envahissant (Sullivan, 1994). Selon Burton & Bazzaz (1991) et Schnabel & Hamrick (1995), le févier d'Amérique est un envahisseur fréquent des champs abandonnés. L'espèce peut se reproduire d'une façon végétative aussi bien que sexuelle (Schnabel & Hamrick, 1995). *G. triacanthos* L. est une espèce à croissance rapide, et à reproduction précoce. Cette espèce envahissante, produit un nombre important de graines qui sont dispersées à de grandes distances, et constituent ainsi une large banque de graines qui permet sa reproduction (Marco & Páez, 2000).

L'histoire de vie du févier d'Amérique présente plusieurs traits qui lui confère un potentiel invasif très élevé (Vitousek & Walker, 1989 ; Burton & Bazzaz, 1991, Higgins *et al.*, 1996 ; Rejmánek & Richardson, 1996 ; Reichard & Hamilton, 1997) mais, aucun de ces traits n'a été universellement reconnu comme une garantie de succès d'invasion (Lodge, 1993).

## **II.5. Valorisation des substances et molécules bioactives**

Chaque espèce végétale contient un certain nombre de substances, qui procèdent de métabolisme primaire ou secondaire. Les glucides, protides, lipides, les éléments minéraux et acides nucléiques sont issue du métabolisme primaire (Macheix, 2006) et sont directement impliqués dans les grandes voies du métabolisme basal de la cellule (Bourgaud *et al.*, 2001). Les métabolites secondaires sont des produits à structure chimique souvent complexe, on recense plusieurs milliers de métabolites (au moins 30000 structures caractérisées) et sont classées selon leur appartenance chimique (Judd, 2002). Parmi ces substances on trouve les composés phénoliques, les flavonoïdes, les tanins, les saponosides, les huiles essentielles et les alcaloïdes qui ont des intérêts multiples mis à profit dans l'industrie alimentaire et pharmaceutique.

### **II.5.1. Les éléments minéraux**

La composition minérale des plantes est déterminée sur résidu sec après incinération. Mis à part les éléments considérés comme organique et qui représente en masse plus de 90% du résidu sec (C : 40 à 50%, O : 42 à 45%, H : 6 à 7%), on classe les éléments minéraux en deux classes : Les macroéléments (C, H, O, N, P, K, Mg, Ca, S, Fe, dont la concentration est supérieur à 10 mmol kg<sup>-1</sup>) et les micro-éléments ou oligoéléments (Mn, Zn, Cu, Cl, Mo, Bo, dont la concentration est inférieur à 10 mmol kg<sup>-1</sup>) (Lehner, 2014).

### **II.5.2. Les composés phénoliques**

Les composés phénoliques, ou polyphenols sont des molécules spécifiques du règne végétal. Ils forment une immense famille de plus de 8000 composés (Bahorun, 1997).

Les polyphenols jouent un rôle important dans l'interaction de la plante avec son environnement biologique et physique. Les fonctions principales attribuées à ces composés sont la protection contre les pathogènes et les herbivores ainsi que la limitation des dommages dus aux radiations UV (Bruneton, 1999). Ils sont partiellement responsables des qualités sensorielles et alimentations des aliments végétaux, et participent fortement aux critères de

qualité (couleur, amertume, astringence, etc....) qui orientent le choix de l'homme dans la consommation et l'utilisation des végétaux et des produits qui en dérivent par transformation (Macheix *et al.*, 2005). Selon Dacosta (2003), les composés phénoliques sont répartis en plusieurs classes :

#### **II.5.2.1. Les acides phénoliques**

Les acides phénoliques sont largement répandus chez les plantes. Ils dérivent principalement de l'acide benzoïque (acide hydroxybenzoïque, acide vanillique, acide syringique, acide dihydroxybenzoïque, acide gallique, acide ellagique obtenu par oxydation de l'acide gallique) ou de l'acide cinnamique (acide coumarique, acide férulique, acide sinapique, acide caféique). Les acides phénoliques, sont fortement antioxydants et anti-inflammatoires et peuvent avoir des propriétés antivirales (Eberhard *et al.*, 2005).

#### **II.5.2.2. Les flavonoïdes**

Le terme flavonoïdes désigne une très large gamme de composés naturels appartenant à la famille des polyphénols. Ils sont considérés comme des pigments quasi universels des végétaux. Ils jouent un rôle important dans la protection des plantes des herbivores et le contrôle et le transports des auxines (Macej stobiechi, 2000 ; Judd *et al.*, 2002).

Les flavonoïdes possèdent de nombreuses vertus thérapeutiques. Ils sont particulièrement actifs dans le maintien d'une bonne circulation. Certains ont aussi des propriétés anti-inflammatoire, anti-oxydante anti-enzymatique et hépato-protectrice ; ils jouent un rôle important dans le système de défense et anti-virales (Iserin, 2001).

#### **II.5.2.3. Les tanins**

Les tanins (ou tannins) sont des substances d'origine végétale, utilisées depuis les temps ancestraux pour convertir la peau des animaux en cuir grâce à l'interaction des flavonoïdes avec les fibres de collagène, protéines riches en résidus proline et hydroxyproline (Haslam, 1989 ; Codorniu-Hernandez *et al.*, 2003). Ils sont caractérisés par leurs effets astringents (sensation de dessèchement en bouche), très utiles quand il y a trop de sécrétions (les bronchites, les diarrhées, les plaies saigneuses).

On distingue habituellement, chez les végétaux supérieurs, deux groupes de tanins différents par leur structure : les tanins hydrolysables (tanins galliques, tanins ellagiques) (Ghestem *et al.*, 2001) et les tanins condensés (tannins vrais non hydrolysables), qui sont des

polymères de certains flavanols, les catéchines ou catéchols et de proanthocyanidols (Deshpande *et al.*, 1986 ; Bruneton, 1999).

#### **II.5.2.4. Les stilbènes**

Les stilbènes sont des composés phénoliques contenant au minimum deux noyaux aromatiques reliés par une double liaison. Le resvératrol et le ptérostilbène font partie de la famille des stilbènes et sont des composés synthétisés par la plante suite à un stress. Ces molécules peuvent s'oxyder sous l'action d'enzymes, la stilbène oxydase et les peroxydases (Perret, 2001) contrairement aux flavonoïdes, ces composés sont peu répandus chez les végétaux ; le raisin et le vin rouge constituent l'apport alimentaire le plus important de ceux-ci (Krisa *et al.*, 1997).

#### **II.5.2.5. Les lignanes**

Les lignanes sont des composés dont les deux noyaux phénoliques sont reliés par quatre atomes de carbone, au lieu de trois dans les flavonoïdes. Les lignanes se trouvent souvent dans le bois des Gymnospermes et dans les tissus soumis à lignification chez les Angiospermes (Krief, 2003).

Les graines de lin sont la source la plus importante de lignanes viennent ensuite : les lentilles, les haricots blancs, les graines de céréales et certains légumes (Dacosta, 2003).

#### **II.5.2.6. Les Phytostérols et les phytostanols**

Les Phytostérols sont des stérols d'origine végétale dont la constitution est voisine de celle du Cholestérol. Les principaux phytostérols sont :

- le  $\beta$ -sitostérol, qui possède à son extrémité un radical éthyle en position 24.
- Le campestérol, qui possède à son extrémité un radical méthyle en position 24.
- Le stigmastérol, dont la seule différence avec le  $\beta$ -sitostérol est une double liaison entre les positions 22 et 23.

Les phytostérols sont des composés naturellement présents dans les plantes. Ils ne sont synthétisés ni par l'homme ni par les animaux. Ils sont présents dans le régime alimentaire sous plusieurs formes, mais les deux formes les plus abondantes sont représentées par le  $\beta$ -sitostérol et le campestérol (Lagnika, 2005).

Parmi les phytostanols, les plus importants sont le sitostanol et le campestanol : ils se distinguent respectivement du sitostérol et du campestérol par la suppression d'une double liaison entre les positions 5 et 6 (Dacosta, 2003).

### II.5.2.7. Les saponines

Les saponines ou saponosides sont des métabolites secondaires hétérosidiques présents dans de nombreuses plantes et quelques organismes marins où ils jouent un rôle de défense contre les agents pathogènes extérieurs (champignons, bactéries, insectes) (Chwalek, 2004).

On désigne sous ce nom une vaste famille de glycosides triterpéniques ou stéroïdiens composés de deux parties :

- Une partie hydrophile, formée d'un ou de plusieurs sucres, eux-mêmes de nature variée ;
- Une partie aglycone et lipophile (dite sapogénine), qui est soit un résidu de triterpène, soit un résidu de stéroïde.

Les saponosides ont une activité expectorante, ils rendent un peu moussant la muqueuse des bronches inflammatoires et facilitent l'expectoration. De plus, ils sont de puissants hémolysants, ils possèdent également des propriétés édulcorantes, largement utilisées dans l'industrie agro-alimentaire (Bruneton, 1999). Les plantes riches en saponosides tel que la saponaire (*Saponaria officinalis*) ou le bois de Panama (*Quillaja saponaria*), ont été utilisées pendant de nombreuses années comme savon d'où le nom donné à cette classe de métabolites secondaires (saponosides du latin *sapo* (savon)) (Chwalek, 2004).

Les saponines possèdent une grande variété d'activités biologiques telles que : antipyrétique, antalgique, immuno-modulatrice, anti-inflammatoire, anticoagulante. Ces molécules sont connues depuis longtemps pour leur propriété tensioactive, leur pouvoir hémolytique ou encore leur toxicité vis-à-vis des animaux à sang froid (ichtyotoxicité) (Chwalek, 2004) et sont utilisées dans des domaines variés tels que l'industrie, la pharmacie et la cosmétologie (Grenby, 1991).

### II.5.3. Les composés terpéniques

Les terpènes, ou isoprénoïdes, ou terpenoïdes sont l'une des classes les plus diverses de métabolites. Il a été répertorié plus de 30 000 composés dont la très grande majorité est spécifique du règne végétal et qui englobe les arômes et parfums, les antibiotiques, les hormones végétales et animales, les lipides des membranes (Goldstein *et al.*, 1990 ; Colby *et al.*, 1993).

Les terpènes sont des constituants habituels des cellules végétales, impliqués ou non dans des fonctions métaboliques essentielles. Leur particularité structurale la plus importante est la présence dans leur squelette d'une unité isoprénique à 5 atomes de carbone (C<sub>5</sub>H<sub>8</sub>) reconnue

par Wallach dès (1887). Les divers squelettes terpéniques sont classés par le nombre de chaînons isopréniques qui les composent :

- Monoterpènes C10
- Sesquiterpènes C15
- Diterpènes C20
- Triterpènes C30
- Tetraterpènes C40
- Polyterpènes

Les monoterpènes sont les plus simples constituants des terpènes dont la majorité est rencontrée dans les huiles essentielles (90%) (Padua *et al.*, 1999).

#### **II.5.4. Les alcaloïdes**

Les alcaloïdes figurent parmi les principes actifs les plus importants en pharmacologie et en médecine (Guignard, 2000). Ce sont des substances organiques azotées, à propriétés basiques ou amers et ayant des propriétés thérapeutiques ou toxiques (Dellile, 2007). Ils ont des structures très diverses et dérivent de différents acides aminés ou de l'acide mévalonique en passant par différentes voies biosynthétiques (Judd *et al.*, 2002). De nombreux poisons dangereux comme l'atropine par exemple, est extraite de la belladone mortellement toxique (*Atropa belladonna*) et qui peut cependant être utilisée à faible dose dans une optique thérapeutique (Hans, 2007). On retrouve aussi des molécules comme la quinine, des drogues (cocaïne), des anticancéreux (la vincristine et le taxol), des molécules utilisées comme poisons (strychnine) et des stimulants (caféine). Cette famille de métabolites secondaires a été particulièrement étudiée du fait des enjeux économiques qui y sont associés. Leurs actions biologiques les place également au cœur de phénomènes d'interactions de défense face aux pressions biotiques (herbivores, microorganismes). Les alcaloïdes sont utilisées comme anti cancer, sédatifs et pour leur effet sur les troubles nerveux (maladie de Parkinson) (Iserin *et al.*, 2007).

Ces plantes, modèles de productivité, d'adaptation et de résistance, sont souvent vendues dans le commerce. Elles présentent d'indéniables qualités ornementales, médicinales et fourragères. Elles servent parfois à végétaliser talus, bords de routes et autres lieux (Pradali & Blot, 2003). Mais, vue les perturbations causées par les espèces invasives, et les coûts importants que nécessite leur éradication, l'identification des risques et des avantages

des espèces avant leurs introductions est exigée, pour mettre une stratégie de gestion qui permet de réduire les coûts sociaux, économiques et environnementaux (Heywood, 2005).

Se retrouvant dans d'autres contrées, le févier d'Amérique (*G. triacanthos* L.) est considéré comme une espèce allochtone invasive, qui s'est parfaitement familiarisée avec son nouveau milieu. De ce fait, une étude approfondie s'impose pour connaître et voir son comportement.

### III.1. Présentation de l'espèce

Le févier d'Amérique (*Gleditsia triacanthos* L.) est bien connu comme arbre d'ornement et il a été largement préconisé comme aliment du bétail au début du 20<sup>ème</sup> siècle. Le développement de cultivars sylvo-pastoral a commencé dans les années 1930 à la vallée de Tennessee aux états unis d'Amérique, parce qu'il peut fournir une source de fourrage, de protéine et d'énergie métabolique et peut être utilisé pour la lutte contre l'érosion. *Gleditsia* est actuellement testé dans les régions tempérées, la méditerranée et les régions tropicales (Gold, 1997).

L'arbre a été introduit en Europe en 1700 où il est devenu courant dans les régions occidentales, centrales et méridionales (Lieutaghi, 2004), et a été introduit par les colons dans notre pays l'Algérie en 1949 (Putod, 1982).

Etymologiquement, le nom *Gleditsia* a été donné en l'honneur d'un ancien directeur du jardin botanique de Berlin : **Johann. Gottlieb Gleditsch (1714-1786)**, botaniste allemand du XXIII siècle. *Triacanthos* : de l'ancien grec, signifie « à trois épines » (Lieutaghi, 2004).

### III.2. Noms communs

**Français** : Févier d'Amérique, févier à trois épines, carouge à miel, févier épineux, épine du Christ (Léger, 2007).

**Anglais**: Common honey-locust, Honey-shucks Locust, Honey Locust, Honeylocust, Sweet Locust, Three torded-acacia, Thorn tree, Thorny Locust, Sweet-bean (Shadow, 2003).

**Espagnol** : Acacia de tres espinas, Acacia negra, Acacia de tres espinas, Acacia de tres punxes (Léger, 2007).

**Italien** : Acacia spinosa, Spinacristi, Spino di Cristo, Spino di Giuda. (Léger, 2007).

**Allemand**: Amerikanische Gleditchie, Bohnenbaum, Falscher Christudorn, Lederhulsenbaum (Léger, 2007).



### III.3. Classification systématique

Le févier d'Amérique (*Gleditsia triacanthos* L.) est un grand arbre épineux à feuilles caduques originaire de l'est de l'Amérique du nord, appartenant au genre *Gleditsia* et à la famille des Fabacées, ou Légumineuses (Sous-famille des *Caesalpinioideae*) (Spichiger *et al.*, 2004).

#### III.3.1. Présentation de la famille des *Fabaceae*

La famille des légumineuses est très diverse et comprend entre 15000 et 20000 espèces d'arbres, d'arbustes et de plantes herbacées appartenant à 700 genres et poussant à l'état sauvage dans le monde entier, tant sous climat tempéré que tropical. Leurs feuilles sont souvent composées, leurs fleurs papilionacées, leurs fruits des gousses, et leur système racinaire à la propriété d'utiliser des bactéries pour absorber l'azote du sol (Russell & Cutler, 2008).

La famille des légumineuses (*Fabaceae*) regroupe trois sous-familles : Mimosées (*Mimosoideae*), Césalpinées (*Caesalpinioideae*) et Papilionacées (*Faboideae* = *Papilionoideae*) (Spichiger *et al.*, 2004).

La sous-famille des *Caesalpinioideae* regroupe 150 à 180 genres et 2200 à 3000 espèces réparties en zones tropicales. Arbres ou arbustes parfois épineux, les feuilles sont alternes, composées, pennées, parfois bipennées, bifoliolées ou unifoliolé. Stipules, souvent caduques. L'inflorescence est en grappe, épi, parfois en cyme. La fleur est de type 5, cyclique, hétérochlamide, dialypétale, zygomorphe, diplo ou obdiplostémone, hypogyne, monocarpelée, bisexuée. Sépales parfois coriaces, pétales à préfloraison carénale, libres. Etamines libres, dix au maximum ; parfois staminodes, anthères à déhiscence longitudinale ou parfois poricide. Anneau nectarifère autour de l'ovaire. Ovaire super à carpelle unique, style et stigmate terminal ; placentation marginale ; de deux à plusieurs ovules anatropes, parfois campylotropes, bitégumentés. Le fruit est une gousse ou légume, parfois drupe ou samare. Graine avec long funicule, parfois arillée, embryon droit, avec peu ou pas d'albumen (Spichiger *et al.*, 2004).

#### III.3.2. Présentation du genre *Gleditsia*

Arbres ou arbustes, à feuilles caduques. Tronc et branches habituellement avec de grosses épines solides. Feuilles alternes, souvent groupées, paripennées à bipennées sur la même plante ; stipules caduques, et petit ; folioles nombreuses, opposées ou alternes à base oblique ou sub-symétrique, de marge crénelée, rarement entier. Inflorescences axillaires, rarement terminales, épi ou racèmes, rarement panicules. Fleurs polygames ou dioïques, vert clair ou blanc verdâtre. Réceptacle pubescent. Calice composé de 3 à 5 sépales lobés, 3 à 5 pétales et entre 6 à 10 étamines, exsertes, légèrement plates, larges, avec des poils ondulés de milieu en bas ; avec des anthères dorsifixes. Ovaire sessile ou sous peu égrappé ; avec un ou plusieurs ovules composés de style et de stigmate. Gousses ovoïdes ou elliptiques, plates étirées (Dezhao *et al.*, 2010).

Le genre *Gleditsia* regroupe de nombreuses espèces et variétés existant dans le monde. Environ 16 espèces ont été citées en Chine, Sud-est asiatique, nord et sud-américain. Dans cette partie six espèces sont décrites par Dezhao *et al.*, (2010):

**1a.** Les folioles de 6-24 mm, marges entières, les folioles supérieurs plus petits que celles de la partie inférieure ; gousses de 3-6 cm, avec 1-3 graines..... 1. *G. microphylla*

**1b.** Les folioles de plus de 25 mm, marges irrégulièrement dentelées ; gousses de plus de 6 cm, avec de nombreuses graines.

**2a.** Gousses velues, denses, de couleur jaune verdâtre..... 6. *G. japonica*

**2b.** Gousses glabres.

**3a.** Folioles obliques, oblongues ou orthorhombiques-lancéolées, remarquable à la base ; 5 pétales et 5 sépales ; 10 étamines ; ovaire très soyeux.

**4a.** Feuilles composées pennées ou bipennées ; folioles avec des cavités adaxiales obscurs réticulées ; racèmes souvent comportant des panicules ; Gousses de 6-12 cm, avec des renflements comportant les graines..... 2. *G. australis*

**4b.** Feuilles composées pennées ; folioles avec des cavités réticulées clairement augmentés ; racèmes simples ; Gousses de 13,5-26 cm, sans renflement au niveau des graines..... 3. *G. fera*

**3b.** Folioles ovoïdes, ovoïdes-lancéolées, ou oblongues, légèrement striées au milieu ou obliques ; 3 ou 4 sépales et pétales ; 6-8 (ou 9) étamines ; ovaire non soyeux.

**5a.** 11-18 paires de folioles, elliptiques-lancéolées, apex aigu (jusqu'à 20,22 et 24 paires, oblongues-lancéolées dans notre cas) ; ovaire blanchis..... 4. *G. Triacanthos*

**5b.** 3-10 paires de folioles, ovoïdes ou elliptiques, apex arrondi ou marginé ; ovaire glabre ou seulement suturé avec base pubescente.

**6a.** Épines lisses ; folioles avec des cavités adaxiales réticulées clairement augmentées, marge en masse finement dentelée ; ovaire pubescent à la base et avec de longues sutures ; gousses épaisses, non tordues, droites, ou incurvées..... 5. *G. Sinensis*

**6b.** Épines plates au moins à la base ; folioles avec des cavités réticulées obscures, marge entière ou peu crénelé en profondeur ; ovaire glabre ; gousses plates, irrégulièrement tordues ou incurvés, falciformes..... 6. *G. Japonica*

Le févier d'Amérique a de larges variations génétiques (nombre chromosomique de base,  $x = 14$ .  $2n = 28$ .) qui lui ont permis l'amélioration par sélection. Un certain nombre de formes horticoles a été développé et sont largement cultivées, particulièrement pour l'ombre et l'ornement (Blair, 1990).

- Le févier inerme (*Gleditsia triacanthos* var. *inermis* Willd.) est une variété sans épines, ou presque ainsi, et a habitus mince;
- Le févier touffu (*G. triacanthos* var. *elegantissima* [Grosdemangel Rehd.] est non-armé et en masse touffu ;
- le févier de Bujot (*G. triacanthos* var. *bujotii* [Neuml Rehd.] a les branches pendantes minces et les feuillettes étroits ;
  
- Le févier nain (*G. triacanthos* var. *nana* [fort.] A. Henry) est un arbuste ou petit arbre compact.
- Le févier du Texas *G. texana* Sarg., est considéré comme étant un hybride de *G. aquatica* Marsh et *G. triacanthos* L. (Blair, 1990).

**Tableau n° 4 :** Espèces et variétés de févier d'Amérique (Elkan, 1997)

Type	Variété	Végétation	Fructification	Qualités
<b>Espèce type</b>	Févier d'Amérique ( <i>Gleditsia triacanthos</i> )	Arbre vigoureux de 15 à 25 m de haut sur 8 m de large.  Feuillage de fougère vert clair puis jaune d'or à l'automne.	Nombreuses gousses spiralées rougeâtres en été, de 25 cm, brunes et coriaces en hiver.	Port gracile, épines intéressantes pour former une haie défensive.  Croissance rapide.  Grande rusticité (-40 °C). Arbre de moyenne vigueur à croissance rapide.
	<i>Gleditsia triacanthos</i> f. <i>inermis</i>	Arbre de 15 m, à port gracile, avec très peu d'épines.	Pas de gousses.	Ombre légère. Croissance lente.
	<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Elegantissima' (syn. <i>G. t.</i> 'Pyramidalis')	Arbuste à touffe compacte de 4-5 m de haut sur 3-4 m de large.  Feuillage dense.  Arbre de 5 à 15 m.	Produit des gousses de 40 cm environ.	Convient en haie, en isolé, car son port est élégant.  Peut se conduire sur une seule tige.
	<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Rubylace'	Très beau feuillage rouge rubis en naissant, brun pourpre puis vert foncé.  Vire au bronze à l'automne.	Pas de gousses.	Peut se conduire en cépée.
<b>Cultivars ornementaux</b>	<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Skyline' (syn. <i>G. t.</i> 'Arrowhead')	Peu épineux. Port conique à pyramidal, 15 m de haut sur 5 de large.  Feuilles rouge bronze en naissant puis vert sombre, jaune d'or à l'automne.	Pas de gousses.	Variété américaine.  Très belles couleurs automnales.
	<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Sunburst' (syn. <i>G. t.</i> 'Aurea')	Peu d'épines. Arbre dressé de 5 à 10 m sur 8 de large.  Jeunes feuilles dorées puis vert clair.	Pas de gousses.	Feuillage lumineux.
	<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Shademaster'	Arbre vigoureux à port étalé de 15 m de haut sur 7 à 8 m de large.	Gousses rares.	Croissance rapide.
		Feuilles d'un vert		

<b>Essences fruitières</b>	<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Emerald Cascade'	foncé éclatant. Peu épineux. Arbre pleureur jusqu'au sol, de 4 m de haut sur 3 de large. Feuillage dense vert foncé. Pas d'épine.	Produit des gousses de 25 cm environ.	Très beau sujet en isolé. Pour tous sols. Superbes couleurs automnales.
	<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Calhoun'	Grand arbre de 20 m de haut.	Larges gousses très riches en sucres (39 %) jusqu'à 15 kg par arbre à l'âge de 5 ans.	Cultivé en Pennsylvanie, au Massachusetts, au sud du Michigan. Découvert en Alabama en 1934. Très productif.
	<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Millwood'	Arbre sans épine, vigoureux de 30 à 40 m de haut à l'âge de 5 ans.	Larges gousses épaisses à pulpe sirupeuse (37 % de sucre), 28 kg par arbre âgé de 5 ans.	Découvert en Caroline du Nord près du lac Junaluka en 1934.

**Tableau n° 5 :** Classification pré-phylogénétique et phylogénétique de *Gleditsia triacanthos* L. selon le système de Cronquist (1988) et APG II (2003).

Classification pré-phylogénétique Cronquist (1988)		Classification phylogénétique APGII (2003)	
<b>Règne</b>	<i>Plantae</i>	<b>Regnum</b>	<i>Plantae</i>
<b>Sous-règne</b>	<i>Tracheobionta</i>	<b>Subregnum</b>	<i>Tracheobionta</i>
<b>Embranchement</b>	Spermaphytes	<b>Phylum</b>	<i>Magnoliophyta</i>
<b>Sous-embranchement</b>	<i>Magnoliophyta (Angiosperme)</i>	<b>Subphylum</b>	Eu-Angiospermes
<b>Classe</b>	<i>Magnoliopsida (dicotylédones)</i>	<b>Classis</b>	Eudicotyledones Triaperturées
<b>Sous-classe</b>	<i>Rosidae</i>	<b>Ordo</b>	<i>Rosidés</i>
<b>Ordre</b>	Fabales	<b>Subordo</b>	<i>Rosidés I.</i> (hypogyne dialycarpique)
<b>Famille</b>	<i>Caesalpinaceae</i>	<b>Familia</b>	<i>Fabaceae</i>
<b>Sous-famille</b>	<i>Caesalpinioideae</i>	<b>Subfamilia</b>	<i>Caesalpinioideae</i>
<b>Genre</b>	<i>Gleditsia</i>	<b>Genus</b>	<i>Gleditsia</i>
<b>Espèce</b>	<i>Gleditsia triacanthos</i> L.	<b>Species</b>	<i>Gleditsia triacanthos</i> L.

### III.4. Habitus

Le févier d'Amérique est un arbre de 35 à 45 m de haut (Planche I). Les arbres âgés en tendance à une cime en « table » (aplatie). Les épines sont le plus souvent simples, très longues et subcylindriques sur les rameaux, soit réunies en groupes et multifides sur le tronc (Sullivan, 1994 ; Nesson, 2003 ; Lieutaghi, 2004 ; Leitiskow & Thüs, 2007).

#### **III.4.1. Feuilles**

Les feuilles sont caduques de 10 à 20 cm de long, pennées ou bi-pennées composées de 15 à 30 folioles de 1 à 3 cm de long (Planche II, Fig. a. b) (Gold, 1997).

#### **III.4.2. Inflorescence**

La floraison se produit en retard au printemps, vers le 10 mai dans la limite méridionale et vers le 25 juin au nord. Les espèces sont polygamo-dioïques (Blair, 1990).

#### **III.4.3. Fleurs**

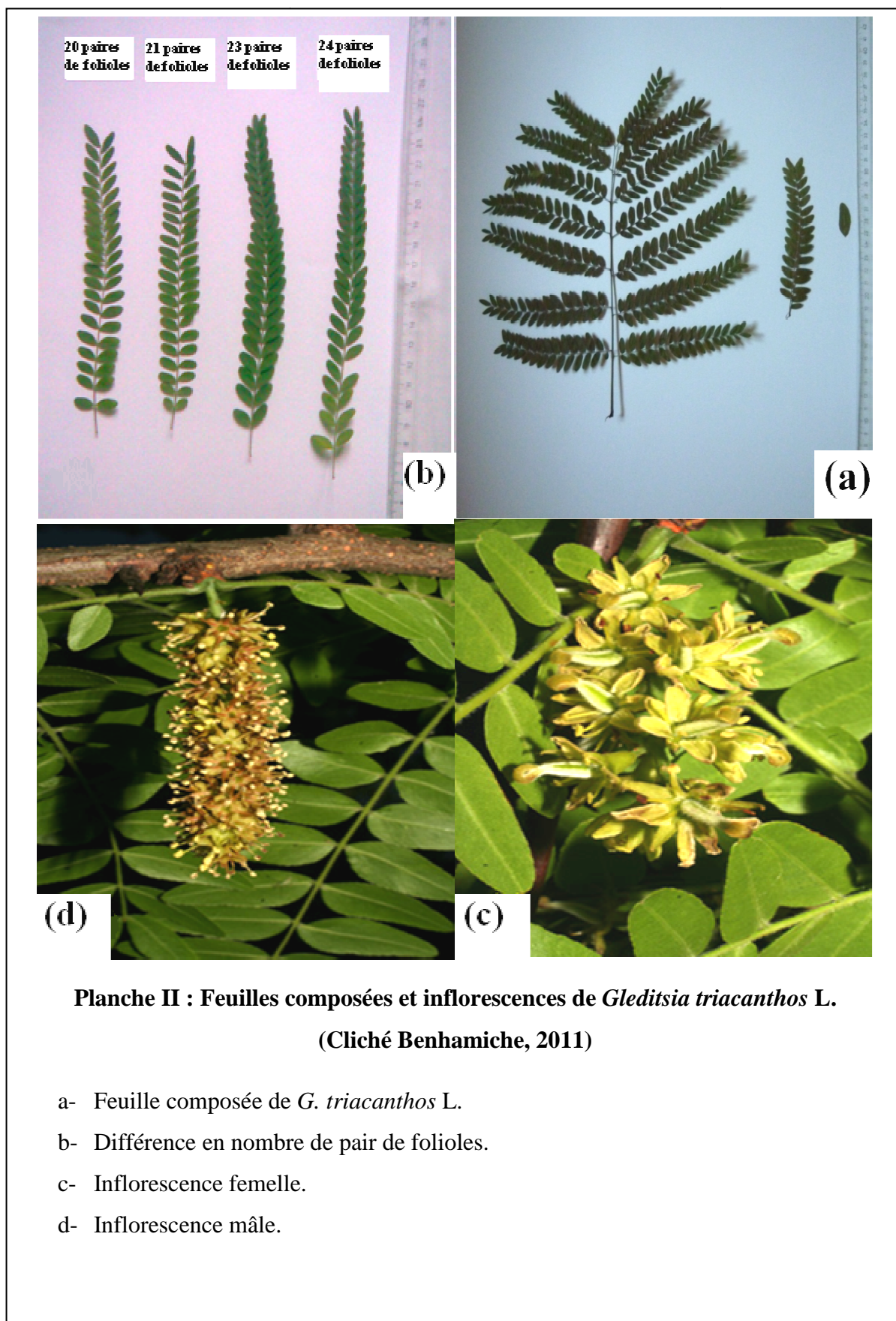
Sont petites, unisexuées, axillaires, denses et ont des racèmes verts (Planche II, Fig. c. d). Les racèmes des fleurs staminées sont la fin de support de 5 à 13 cm (2 à 5 in) de long, pubescents, et souvent groupés. Le calice est composé de cinq lobes elliptiques lancéolés ; quatre à cinq pétales, droits, ovales, et plus longs que les lobes du calice ; et jusqu'à 10 étamines, insérés sur le tube du calice. Le pistil est rudimentaire ou absent en fleurs staminées. Les racèmes à pistils sont de 5 à 8 cm (2 à 3 in) de long, minces, avec peu de fleurs, et habituellement solitaires. Les pistils sont tomenteux, l'ovaire presque sessile, et de petit style. Il peut y avoir deux ovules ou plus. Les étamines sont plus petites et rudimentaires en fleurs à pistil (Blair, 1990).

#### **III.4.4. Fruits**

Les fruits sont des gousses aplatis de 15 à 40 cm de long et 2.5 à 3.5 cm de larges, de couleur brun foncés à maturité, souvent tournés ou spiralés (Planche III. Fig. a. b. c. d), avec une pulpe collante, douce, et savoureuse séparant les graines d'où le nom « carouge à miel » (Nessom, 2003).



Planche I : Arbre de *Gleditsia triacanthos* L. (Cliché Benhamiche, 2011).

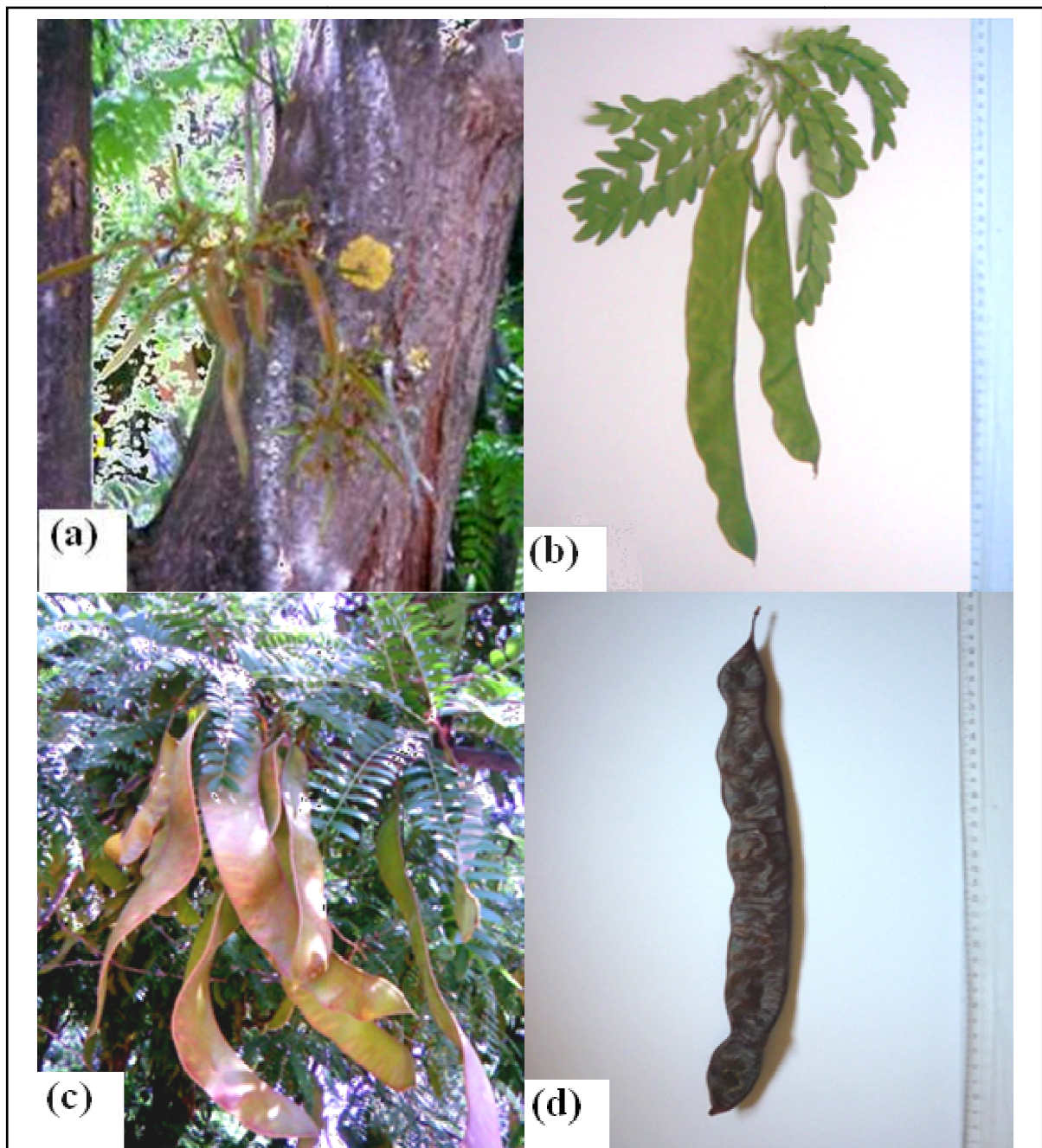


**Planche II : Feuilles composées et inflorescences de *Gleditsia triacanthos* L.**

**(Cliché Benhamiche, 2011)**

- a- Feuille composée de *G. triacanthos* L.
- b- Différence en nombre de pair de folioles.
- c- Inflorescence femelle.
- d- Inflorescence mâle.





**Planche III : Fruit de *Gleditsia triacanthos* L., étapes de formation de la gousse (Cliché Benhamiche, 2011)**

- a- Formation de petites gosses de *G. triacanthos* L.
- b- Gosses longues vertes (> 20 cm).
- c- Gosses légèrement spiralées.
- d- Gousse à maturité.

#### **III.4.5. Graines**

Les graines (Planche IV, Fig. a. b), sont de 0.5 à 1.5 cm de long, de couleur brun foncé, lisses, avec un dur tégument imperméable (Gold, 1997).

#### **III.4.6. Branches (rameaux)**

Peuvent être épais ou mince, de couleur rouge-brun à brun clair, avec beaucoup d'épines (Planche IV, Fig. c. d). Les bourgeons latéraux sont très petits et submergés (Seiler *et al.*, 2010).

#### **III.4.7. Bourgeons**

Les bourgeons sont petits, recouverts de plusieurs écailles (3 à 4), cachés dans un renflement basilaire du pétiole (Planche IV, Fig. e. f) (Lieutaghi, 2004).

#### **III.4.8. Epines**

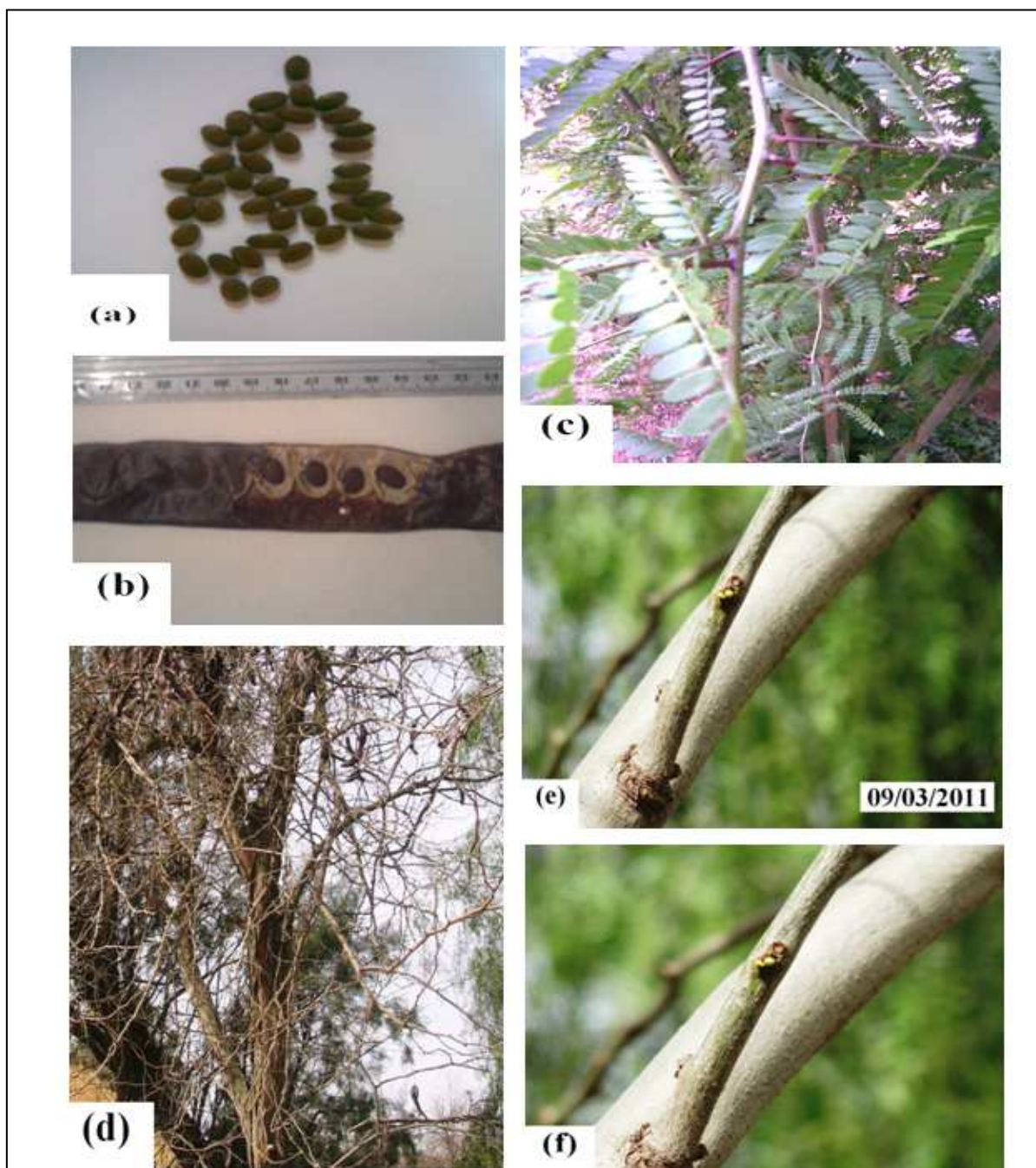
Les épines sont très dures, parfois simple ordinairement ramifiés (Planche V, Fig. a. b), qui mesurent de 10 à 20 cm sur le tronc et de 7 à 12 cm sur les branches (Lieutaghi, 2004).

#### **III.4.9. Ecorce**

L'écorce est de couleur gris-foncé et noir avec des fissures profondes qui forment de grandes « plaques » d'écorce détachables sur les arbres âgés (Planche V, Fig. c) (Shadow, 2003).

#### **III.4.10. Racines**

Les racines sont épaisses, fibreuses, profondes et étendues. À la différence de la plupart des espèces de légumineuses, le févier d'Amérique ne forme pas de nodules (rhizobium) sur ses racines, et ne fixe pas l'azote atmosphérique (Sullivan, 1994 ; Nesom, 2003).



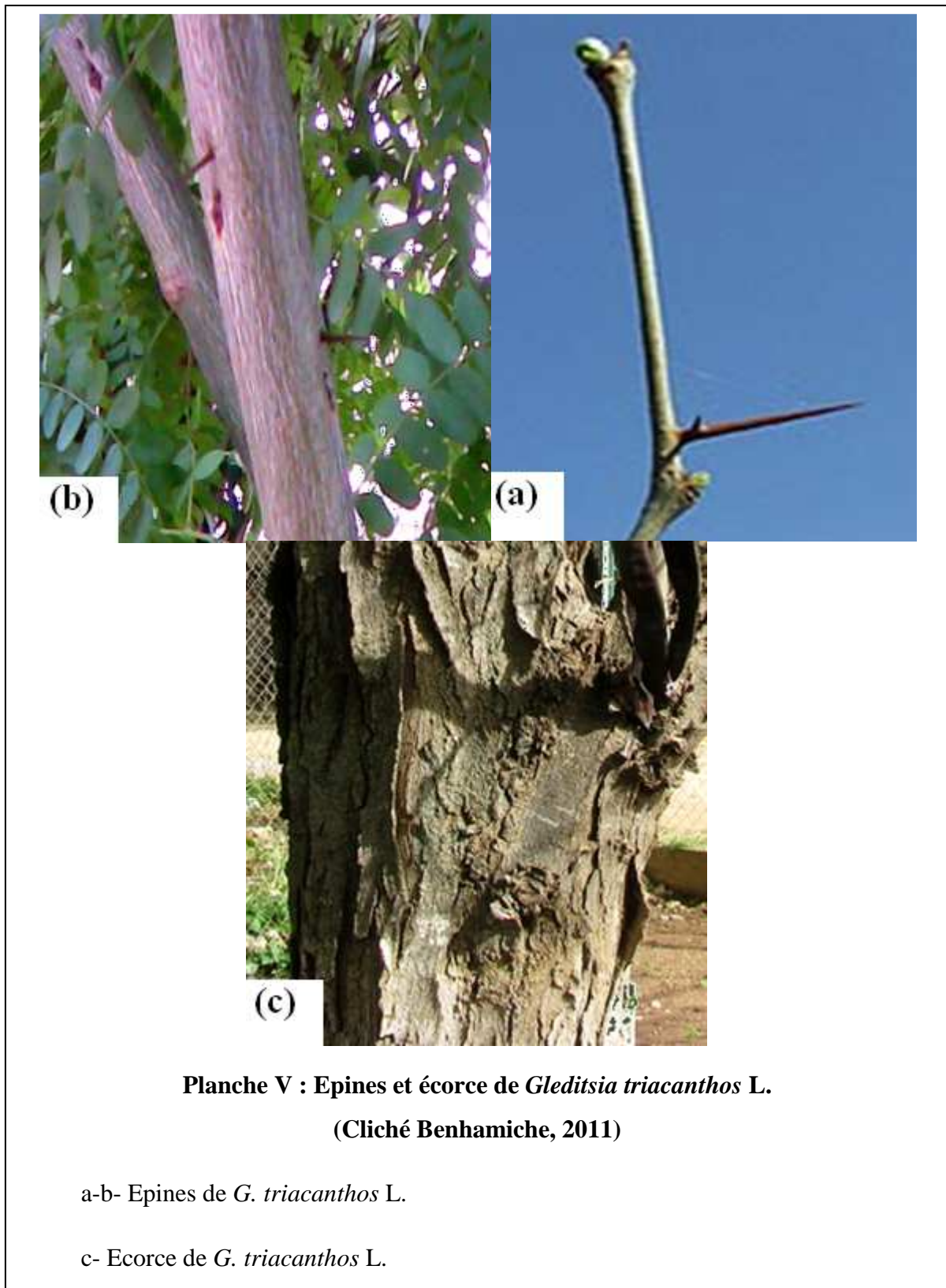
**Planche IV : Graines, branches et bourgeons de *Gleditsia triacanthos* L.**

(Cliché Benhamiche, 2011)

a-b- Graines de *G. triacanthos* L.

c-d- Branches (rameaux) de *G. triacanthos* L.

e-f- Bourgeons de *G. triacanthos* L.



**Planche V : Epines et écorce de *Gleditsia triacanthos* L.**

**(Cliché Benhamiche, 2011)**

a-b- Epines de *G. triacanthos* L.

c- Ecorce de *G. triacanthos* L.

### III.5. Notions de polymorphisme

Le polymorphisme est une caractéristique souvent étudiée en biologie. Que ce soit pour différencier des populations d'organismes, cibler des populations naturelles pour en apprécier les relations et donc les distances génétiques ou déterminer l'écotype (Bertheau *et al.*, 1993). Les critères utilisés peuvent être phénotypiques, biochimiques (capacité à utiliser un substrat, information d'une enzyme) ou moléculaires (Konate, 2007).

Mouton (1966), a caractérisé les phénomènes de polymorphisme et d'hétérophyllie comme étant des difficultés qui surmontent l'étude de la systématique foliaire.

Il définit le polymorphisme comme une propriété à l'espèce d'avoir différents types morphologiques, ce qui est rare chez les arbres (toutes les feuilles d'un même arbre ont la même physionomie).

Cependant, il attribue les différentes formes de polymorphisme foliaire à deux cas :

- Ecotypes, variétés.
- Variation suivant la strate de végétation (hauteur et l'âge de l'arbre).

Dans notre cas, nous avons remarqué que les feuilles sont composées de 20 à 24 paires de folioles, oblongues-lancéolées alternes et parfois opposées.

### III.6. Procédés de régénération

La production de graine chez le févier d'Amérique commence à 10 ans et continue jusqu'à l'âge de 100 ans, avec une production optimum à environ 25-75 ans. Les graines sont produites chaque année mais les grandes collectes se produisent habituellement en années alternatives. Les graines sont viables pendant de longues périodes en raison de leur enveloppe épaisse et imperméable (Blair, 1990 ; Sullivan, 1994 ; Nesom, 2003). Les graines du févier d'Amérique (*G. triacanthos* L.), se composent (27%) de testa ou tégument, (29%) d'embryon et (34%) d'endosperme (Fig. n°6) (Sciarini *et al.*, 2009).

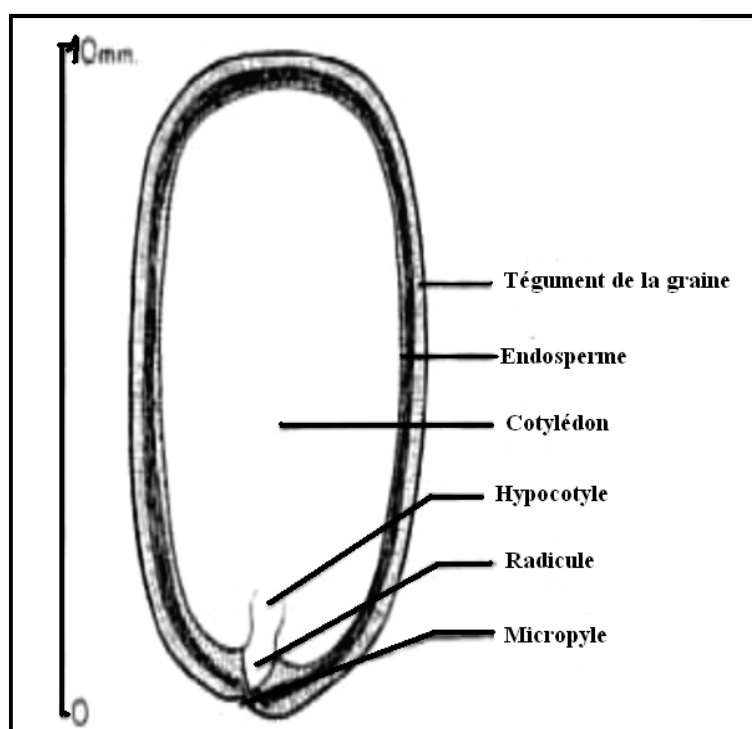


Figure n°6: Constitution de la graine de *G. triacanthos* L.  
(Mohlenbrock, 1995).

En Amérique du Nord pour qui *Gleditsia triacanthos* L. est une espèce autochtone, la scarification est généralement faite avec de l'acide sulfurique concentré, que ce soit pour les plantations de pépinière, ou pour les essais de germination au laboratoire. Les temps recommandés pour le traitement acide s'étendent d'une demi-heure à trois heures.

La meilleure solution de rechange au traitement par de l'acide des graines de *Gleditsia triacanthos* est la scarification mécanique, l'immersion dans l'eau chaude pendant 12 heures ou jusqu'à ce que toutes les graines gonflent, ou bien l'immersion dans l'eau bouillante (Blair, 1990 ; Singh *et al.*, 1991).

Le févier d'Amérique peut être propagé par la greffe, le bourgeonnement, et les découpages (bois dur, bois tendre, et découpages de racine) (Sullivan, 1994).

### III.7. Ecologie de l'espèce

#### III.7.1. Etendue de la gamme indigène

Le févier d'Amérique est dispersé aux Etats-Unis, à l'Est de la Pennsylvanie centrale et à l'ouest au sud-est du Sud du Dakota, du Sud vers le centre du Texas et du Sud-est, est vers l'Alabama méridional, traversant le Nord-est vers le Maryland occidental. Des populations

périphériques de cette espèce peuvent être trouvées au Nord-ouest de la Floride, au Texas occidental, et l'Oklahoma ouest-central. Il est naturel à l'Est aux Appalaches de la Caroline du Sud, au Nord en Pennsylvanie, New York, et en Nouvelle Angleterre. Le févier d'Amérique atteint son développement maximum dans les vallées à petits courants en Indiana et l'Illinois méridionaux (Blair, 1990 ; Sillivan, 1994 ; Nesom, 2003).

Le févier épineux est actuellement testé comme un arbre fourragé, en France, Espagne, Allemagne, Grèce, Algérie, Nouvelle Zélande, Australie, Afrique du Sud, Inde, Bhoutan, Népal et au Guatemala (Gold, 1997).

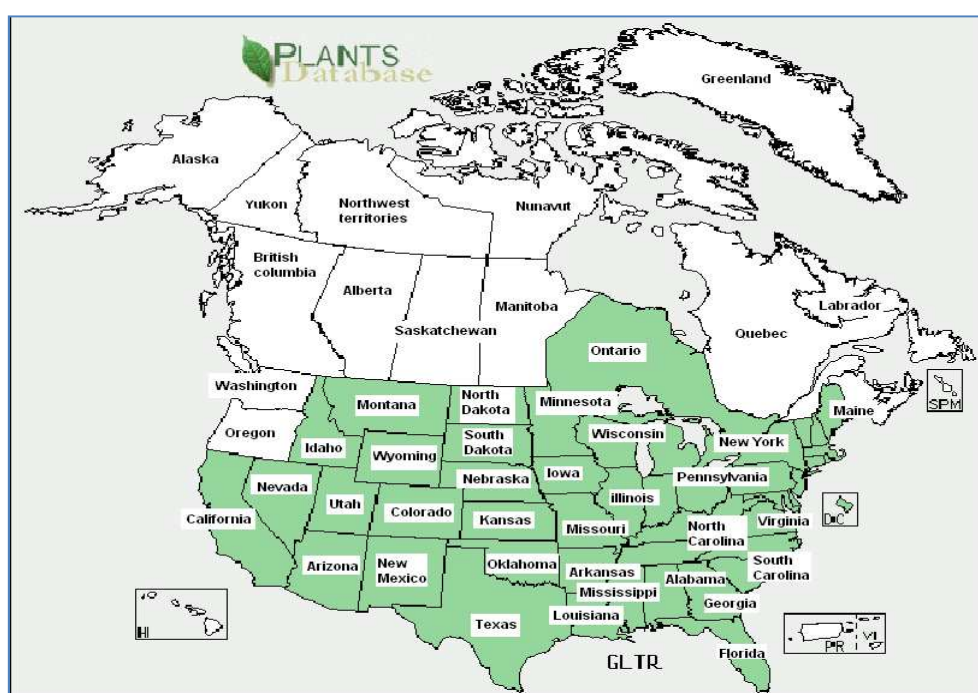


Figure n°7: Carte de répartition de *Gleditsia triacanthos* L. en Amérique (USDA<sup>1</sup> Plants Data base Horticulture, 2010).

### III.7.2. Climat

Dans la partie occidentale de son étendue, le févier d'Amérique se développe dans un climat subhumide, tandis que dans les parties moyennes et orientales le climat est humide. La précipitation annuelle normale varie d'environ 510 mm (20 in) dans le Dakota du Sud et le Texas à plus de 1520 mm (60 in) en Louisiane, au Mississippi, et en Alabama méridionaux. Les chutes de neige annuelles moyennes varient de 0 à 102 cm (40 in). La durée de la période de végétation varie d'environ 150 jours dans le Nord et le Nord-est à plus de 300 jours dans les extrémités méridionales (Blair, 1990).

<sup>1</sup> USDA : Département d'Agroforesterie des Etats Unis d'Amérique.

Le févier d'Amérique est une espèce robuste et tolérante de basses températures, au Nord il résiste à des températures de -29° à -34° C (- 20° à -30° F). Les races nordiques durcissent tôt et deviennent relativement dormantes, alors que les races méridionales continuent la croissance plus tard dans l'année. Les espèces méridionales sont endommagées par le gel une fois plantées au nord. Le févier d'Amérique peut également souffrir les dommages de gel en raison de son modèle de croissance annuel indéfini ou indéterminé. Les rameaux continuent leur prolongation jusqu'à ce qu'ils seront arrêtés par le froid, cause de la destruction des entrenœuds délicats par les premiers gels. La nouvelle croissance vient alors au printemps des bourgeons latéraux inférieurs (Blair, 1990).

### **III.7.3. Sols et topographie**

Selon la classification américaine des sols, le févier d'Amérique est généralement rencontré sur des Alfisols (sols riches en Fe et Al), Inceptisols (sols à horizon de diagnostic se formant rapidement, tel que les pseudogleys de surface à profil A(B) et les andosols), et Mollisols (se forment dans des régions semi-arides à semi-humides, habituellement sous un couvert de pâturage) formés par des roches calcaires ou sur les zones alluviales inondables des fleuves et riches des jets importants. La croissance est faible sur les sols caillouteux ou argileux. Le févier d'Amérique échoue souvent sur les sols lourds peu profonds. Bien que l'humidité suffisante de sol soit nécessaire pour la meilleure croissance, l'espèce est très résistante à la sécheresse (Blair, 1990).

Sur 20 espèces résistantes à la sécheresse des plantes examinées, le févier d'Amérique s'est rangé troisième dans la tolérance de base. L'espèce est également tolérante des sols acides, mais le meilleur développement est habituellement sur des sols ayant un pH entre 6.0 et 8.0. Des essais incorporant les sols artificiellement salinisé, de jeunes plant de févier se sont avérés tolérants de la salinité de sol. La germination de graine a été influencée par à peu près moins de 0.20 pour cent du chlorure de sodium par rapport au poids sec de sol. La tolérance du sel a une importance économique particulière dans le Nord où l'écoulement des sels de dégivrage de route peut endommager les plantations, et aussi où les plantations sont désirées sur des sols salins. Si le févier d'Amérique peut tolérer les effets cumulatifs de la salinité pendant des années, cette période est toujours inconnue (Gold, 1997).

Le févier d'Amérique est une espèce typique des terres du fond, mais très rencontré sur les sols fertiles humides près des rivières ou des lacs. Bien qu'il ne soit pas commun au delta



du Fleuve Mississippi, Il se développe fréquemment sur les arêtes argileuses basses des plaines inondables par la rivière Missouri au Nebraska.

Le févier d'Amérique se développe naturellement au-dessous d'une altitude maximum de 610 à 760 m (2.000 à 2.500 pi), bien que l'élévation supérieure limite pour cette espèce soit rapportée à 1520 m (5.000 pi). Une plantation de 20 ans s'élevant à 2100 m (6.900 pi) d'altitude au Colorado a bien survécu, mais les arbres ont fait une taille moyenne de seulement 2.4 m (8 pi) (Blair, 1990 ; Gold, 1997).

#### III.7.4. Cortège floristique

Le févier d'Amérique est seulement un composant mineur des peuplements de forêt naturels. On le considère comme une espèce annexe dans quatre types de couverture de FAS (Society of American Forest) : Le chêne à gros fruit (*Quercus macrocarpa*), le chêne à feuilles de saule (*Q. phellos*), le chêne aquatique (*Q. nigra*), le chêne à feuilles de laurier (*Q. laurifolia*), le liquidambar (*Liquidambar styraciflua*), et le micocoulier (*Celtis laevigata*), l'orme américain (*Ulmus americana*). Le févier d'Amérique est une espèce secondaire dans tous les autres types de couverture.

Les espèces Mésophytiques généralement liées au févier d'Amérique incluent l'érable rouge (*Acer rubrum*), le plaqueminier de virginie (*Diospyros virginiana*), le tupelo noir (*Nyssa sylvatica*), le pacanier (*Carya illinoensis*), l'érable à feuilles de frêne (*Acer negundo*), le chicot du canada (*Gymnocladus dioica*), et le noyer noir (*Juglans nigra*). (Blair, 1990 ; Sullivan, 1994).

#### III.8. *G. triacanthos* en Algérie

Le févier d'Amérique (*G. triacanthos* L.) a été introduit en Algérie vers 1949 sous le nom « d'acacia », et il en existait de fort beaux sujets, notamment au champ de courses de Médéa (Titteri). Le Service des Forêts DRS (Défense et Restauration des sols) chargé de l'aménagement de périmètres importants avec reconstitution de la couverture sylvo-pastorale, a songé à utiliser cet auxiliaire précieux. On pouvait comparer ces récoltes à celles de caroubes de la plaine de la Mitidja (jusqu'à 100 q/ h). Il a été décidé, en D.R.S. de miser largement sur cet arbre pour aider à la modernisation de l'élevage. Et l'on pouvait imaginer dans un proche avenir, comme pour le caroubier l'organisation du marché de la fève, avec

mise au point de la récolte, de la conservation, et de la transformation en produits d'alimentation complexes avec même des sous-produits pharmaceutiques (Putod, 1982).

Le févier d'Amérique (*G. triacanthos* L.) est une espèce à croissance rapide. Elle commence à se reproduire tôt (Avril à Mai) et présente une forte production de graine. Cette espèce jugée envahissante a une grande banque de graines, avec une large distance de dispersion et des pourcentages de germination plus élevés que les espèces indigènes (Ferreris & Galeto, 2010).

Selon l'étude réalisée par Benhamiche (2012) sur l'autoécologie du févier d'Amérique (*G. triacanthos* L.) et valorisation de ses coproduits en Algérie, l'espèce arrive à s'adapter et à se reproduire sous le climat de notre région. Les mesures biométriques, le calcul du nombre de graines par gousse, le poids de 100 graines ainsi que la période de floraison et de fructification sont presque identique à celles du pays d'origine. Les essais de germination réalisés par l'utilisation de différents prétraitements ont marqué les plus hauts pourcentages (91% par scarification mécanique).

Il est bien connu que le succès des espèces exotiques dans de nouveaux environnements dépend en grande partie de leurs particularités fonctionnelles (germination, reproduction). La pertinence des dispositifs régénérateurs et/ou végétatifs pourrait changer pendant les différentes étapes du procédé d'invasion qui sont : l'introduction, l'acclimatation, la naturalisation et l'invasion" (Richardson *et al.*, 2000). En se basant sur les quatre phases d'invasion biologique, probablement le févier d'Amérique est en phase de naturalisation, puisque il arrive à produire une population viable.

Certains auteurs notent que le croisement des barrières environnementales et reproductrices peut se répartir en plusieurs années et peut être expliqué par une phase de latence préliminaire de l'invasion elle-même (MacArthur, 1972 ; Williamson, 1996 ; Menges, 2000 ; Mack, 2000).

De ce fait, l'exploitation des coproduits de cette espèce serait la meilleure alternative pour contrôler son développement.

Le travail réalisé se scinde en deux parties ; la première partie consiste en la quantification des oligo-éléments et des métaux lourds des fruits du févier d'Amérique (*Gleditsia triacanthos* L.) (gousses et graines séparément) par Spectrométrie de Masse à Plasma couplé par induction (ICP/MS). La deuxième partie concerne la valorisation des coproduits de cette espèce jugée envahissante par l'évaluation de l'effet ou du pouvoir molluscicide des saponines (saponosides) issues des gousses de *G. triacanthos* sur le mollusque terrestre *Arion rufus* L.

1. La première partie a été réalisée au laboratoire de chimie organique appliquée par l'équipe d'analyse et contrôle de qualité, département de chimie de l'université Cadi Ayyad, faculté des sciences Semlalia, Maroc.
2. La deuxième partie a été réalisée au laboratoire de biodiversité végétale : conservation & valorisation, département des sciences de l'environnement à l'université Djilali Liabès de Sidi Bel Abbès, Algérie.

#### IV.1. Matériel végétal

Le matériel végétal constitué de gousses de *G. triacanthos* L. a été collecté au niveau de l'université Djilali Liabès (ITMA) Sidi Bel Abbès (altitude : 448m, latitude : 35° 11' Nord, longitude : 00° 38' Ouest) durant le mois de Novembre 2012 pour les expériences de la première partie et Novembre 2014 pour les expériences de la deuxième partie. Les gousses ont été mises à sécher à l'ombre durant 3 mois. Après séparation des graines, les deux parties ont été broyées séparément. La poudre obtenue a été stockée dans des flacons en verre sombre pour usage ultérieur.

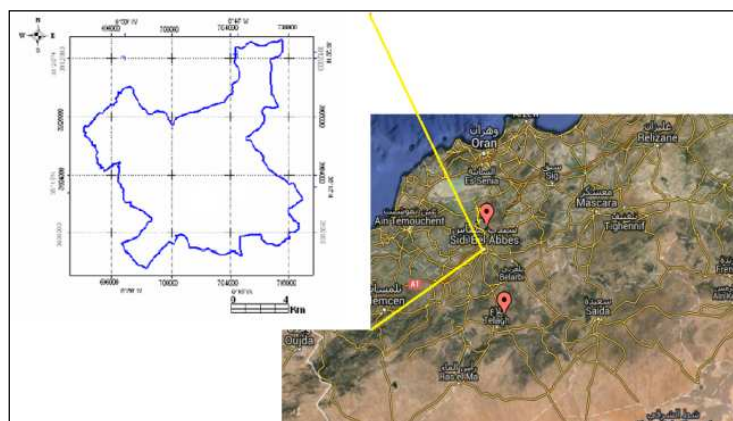


Figure n°8: Situation géographique de Sidi Bel Abbès (Google map, 2016)

## IV.2. Quantification des oligo-éléments et des métaux lourds des fruits (gousses et graines séparément) du févier d'Amérique par Spectrométrie de Masse à Plasma couplé par induction (ICP/MS)

L'analyse ou la quantification des oligo-éléments et des métaux lourds des fruits (gousses et graines séparément) du févier d'Amérique a été réalisée par ICP-MS (Jobin-Yvon 70 ICP, ULTIMA AND JY70). Cette méthode instrumentale d'analyse qualitative et quantitative multi-élémentaire, associée à un spectromètre de masse (MS), une source d'ions formée d'une torche à plasma entretenue par couplage inductif avec un générateur électromagnétique à haute fréquence (ICP), dont le succès fut et reste très grand (Tyler & Jobin-Yvon, 2003). Elle s'applique à l'analyse simultanée de nombreux éléments métalliques et métalloïdiques (80 environ). Sa sensibilité est en général beaucoup plus grande que celle des techniques spectrométriques antérieures, qui gardent cependant l'avantage pour certains éléments de faible masse atomique. Avec une gamme dynamique très étendue, elle permet la quantification de concentrations élémentaires très diverses dans un même échantillon (Pénicaut *et al.*, 2006). Elle est donc précieuse en géochimie et en métallurgie comme en biochimie et analyse alimentaire, en toxicologie et en analyse environnementale. Elle autorise l'utilisation du marquage isotopique non radioactif, essentiel pour les études nutritionnelles des oligo-éléments, et l'emploi des méthodes de dilution isotopique. Cette technique utilise le fait que des ions peuvent être séparés les uns des autres par applications de champs électromagnétiques, en fonction de leur masse atomique, de leur charge électrique et de leur vitesse (Pénicaut *et al.*, 2006).

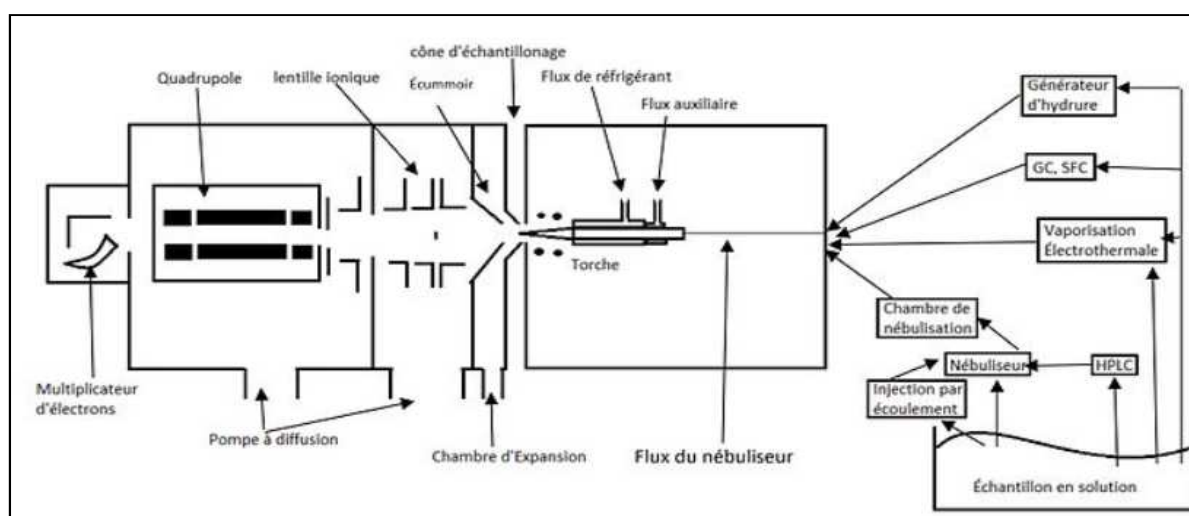


Figure n°9: Schéma ICP/MS (Tyler & Jobin-Yvon, 2003).

Une petite quantité de matière sèche (0.5 g) a été minéralisée par 2mL d'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), 6mL d'acide nitrique (HNO<sub>3</sub>) et 6mL d'eau oxygénée (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Ce mélange a été chauffé pendant 30 minutes. Après refroidissement et déposition des minerais le mélange a été filtré sur papier Wattman, puis ajouté à 25mL d'acide nitrique (HNO<sub>3</sub>) à 0.1M. Toutes les manipulations ont été suivies sans contact avec des métaux, pour empêcher les contaminations (Bennouna *et al.*, 2012). Toutes les expériences ont été effectuées en triple pour faciliter les traitements statistiques.

### Traitements statistiques

Les résultats ont été présentés sous forme de moyenne  $\pm$  déviation standard (d.s; n=3) pour chaque échantillon.

L'analyse statistique a été réalisée par le logiciel statistique SPSS (version 19.0) sur les valeurs obtenues. Les différences sont testées pour la signification par l'analyse de la variance (ANOVA I) à  $P \leq 0.05$  et  $P \leq 0.01$ .

Le test de corrélation (corrélation bi-variée de Pearson) a été aussi effectué par le même logiciel pour déterminer la relation entre la teneur en oligo-éléments et métaux lourds des gousses et des graines de *G. triacanthos* à  $P < 0.05$  et à  $P < 0.01$ . Enfin, pour compléter l'étude statistique, l'analyse des composantes principales (ACP) et le dendrogramme de classification ascendante hiérarchique (CAH) ont été réalisés.

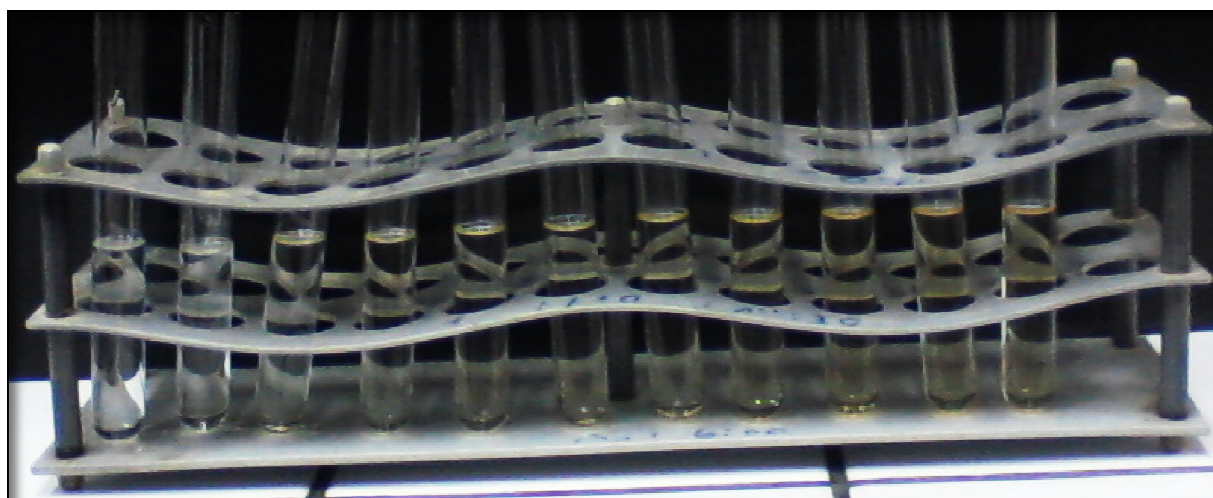
### IV.3. Évaluation de l'effet ou du pouvoir molluscicide des saponines (saponosides) issues des gousses de *G. triacanthos* sur le mollusque terrestre *Arion rufus* L.

La poudre des gousses et des graines séparément du fruit de *G. triacanthos* a été utilisée dans cette partie pour déterminer en premier lieu l'indice de mousse qui permet de mettre en évidence le pouvoir aphrogène d'un matériel végétal puis de confirmer sa richesse en saponosides. Ensuite, préparer les extraits aqueux utilisés dans l'évaluation du pouvoir molluscicide des saponosides de cette espèce sur le mollusque terrestre *A. rufus*.

### IV.3.1. Mesure de l'indice de mousse

La première étape consiste en la préparation de la poudre délipidée : quatre gramme de matière sèche (poudre de gousses et de graines séparément) sont mises dans 10 ml d'Ether de pétrole dans un erlen de 100 ml hermétiquement fermé. L'échantillon ainsi préparé est bien agité durant quelques secondes et laissé reposer pendant 5mn. L'opération est répétée deux fois. En suite, filtrer sur Büchner et laisser sécher complètement.

Pour la préparation du décocté, on prend 1g de cette poudre délipidée dans 100 ml d'eau distillée. Le tout est porté à ébullition (95 C°) pendant 30 min. Puis filtrer à chaud sur papier filtre plissé. Seul 27.5 ml sont nécessaire à la mise en œuvre de la gamme de mousse. Onze tubes à essai contenant de 0 à 5 ml de décocté (à raison de 0.5 ml en plus) sont préparés et ajustés à 10 ml avec de l'eau distillée. A la suite d'une agitation horizontale violente (pendant 15 secondes), les tubes sont laissés au repos pendant 10 min. La hauteur de la mousse résiduelle de chaque tube est mesurée en cm. L'indice de mousse est calculé par l'inverse de la concentration du tube dont la hauteur de la mousse dépasse 1cm. La présence de saponines dans la plante est confirmée avec un indice de mousse  $I > 100$ .



**Figure n°10:** Dosage des saponosides : mesure de l'indice de mousse

(Cliché Benhamiche, 2015).

### IV.3.2. Préparation de l'extrait aqueux

L'extraction des saponosides de la poudre des gousses de *G. triacanthos* L. a été réalisée selon le protocole utilisé par Crebassa *et al.* (2011) qui consiste en la macération à chaud de 50gr de matière sèche dans 500ml d'eau distillée pendant 24h. Après filtration un agent basique (NaOH) est ajouté tout en chauffant la solution pour hydrolyser les saponines. Ensuite

ajouter un agent acide (HCl) pour la neutralisation des saponines (Fig.12). Dans la présente étude, la déshydratation de la solution a été réalisée par lyophilisation (Lyophilisateur ALPHA1-4 LD plus) (Fig. 13). C'est une méthode de dessiccation sous vide, à basse température, de produits liquides préalablement congelés.



**Figure n°11:** Poudre et extrait aqueux des gousses de *G. triacanthos* L.  
(Cliché Benhamiche, 2015).

La lyophilisation consiste en l'élimination progressive de l'eau du produit préalablement congelé (phase solide) par passage à la phase vapeur, sans passer par la phase liquide. Ce changement d'état s'appelle la sublimation.

A partir de la poudre obtenue par lyophilisation (lyophilisat), nous avons préparé des solutions (extraits aqueux) à différentes concentrations (lyophilisat+eau distillée), à savoir 100% (500mg/l), 75% (375mg/l), 50% (250mg/l) et 25% (125mg/l).



**Figure n°12:** Lyophilisateur ALPHA1-4 LD plus (Cliché Benhamiche, 2015).

### IV.3.3. Matériel animal

Des limaces de l'espèce *A. rufus* (*Stylommatophora*, famille des *Arionidae* et genre *Arion*), de taille homogène sont collectées de bonne heure au niveau de la zone d'étude à Sidi Bel Abbes durant le mois de Mars 2015 et maintenues en condition d'élevage dans des cristallisoirs en verre, remplis de terre végétale humide pour recréer les conditions naturelles. Les cristallisoirs sont couverts de carton humide afin de garder les limaces à l'obscurité. Ils sont nettoyés deux fois par semaines pour garder les conditions d'hygiène. Durant la période d'acclimatation, les limaces sont nourrit de laitue (*Lactuca sativa*).

Sa tête est munis de quatre tentacules situés au-dessus de la bouche ; les tentacules supérieurs portent, à leur extrémité, les yeux mais constituent aussi des organes tactiles et olfactifs. La bouche comporte deux mâchoires avec de petites dents et une langue, la radula, elle aussi dentée. Le bouclier ou manteau derrière la tête qui recouvre quelques grains ou une petite lamelle de calcaire que l'on appelle la limacelle. On observe, sur la droite du bouclier, l'orifice respiratoire de l'animal que l'on appelle aussi pneumostome. La partie caudale est la partie située en arrière du bouclier. Le pied est la partie ventrale et musclée de l'animal. Il adhère au sol grâce à la sole de reptation (Fig. 13).

La grosse limace est capable d'ingurgiter des quantités impressionnantes en l'espace d'une seule nuit : jusqu'à 50 % de son poids, soit cinq à dix grammes (Bourdeu, 2010).

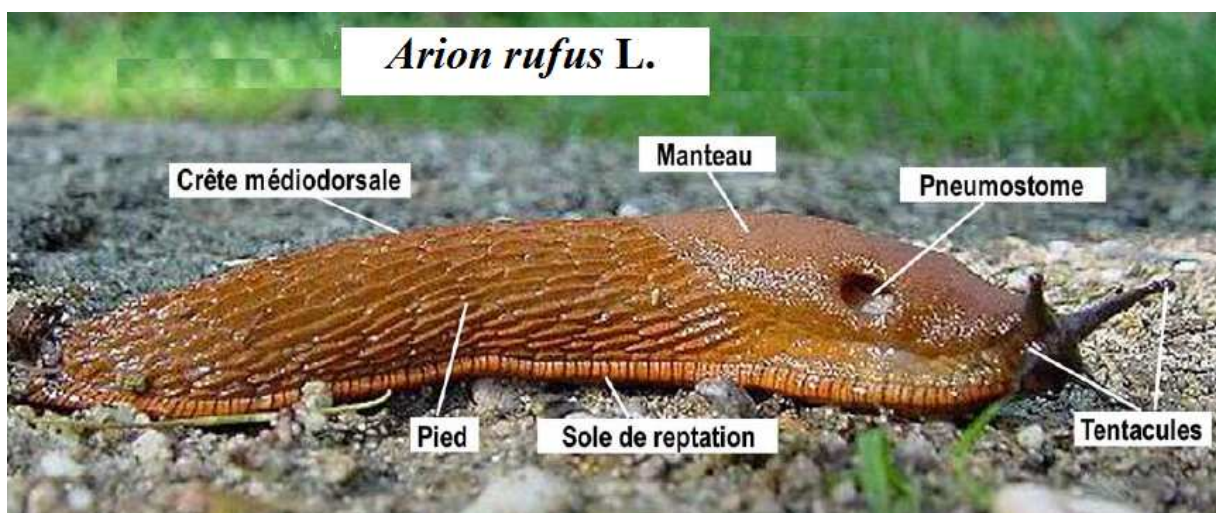


Figure n°13: *Arion rufus* L. (Bourdeu, 2010).



#### IV.3.4. Mode opératoire

Pour la réalisation du test, les limaces sont réparties dans six cristallisoirs divisé chacun en quatre lots pour faciliter les traitements statistiques. A raison de seize limaces par cristallisoir dont quatre limaces par lot.

Le premier cristallisoir est considéré comme témoin. Les limaces sont nourrit de laitue sans aucun traitement.

Les limaces du deuxième cristallisoir sont nourrit de laitue imprégnée dans un molluscicide chimique « le Méthiocarbe », qui agit par contact et ingestion et provoque la mort du ravageur par effet neurotoxique, préparé en suspension (500 g/l).

Les limaces du troisième cristallisoir sont nourrit de laitue imprégnée dans l'extrait de saponosides de *G. triacanthos* L. à 100% (500mg/l). Celles du quatrième cristallisoir sont nourrit de laitue imprégnée dans l'extrait des saponosides à 75% (375mg/l). Les limaces du cinquième cristallisoir sont nourrit de laitue imprégnée dans l'extrait des saponosides à 50% (250mg/l). Enfin, les limaces du sixième cristallisoir sont nourrit de laitue imprégnée dans l'extrait des saponosides à 25% (125mg/l).



**Figure n°14:** Dispositif expérimental (Cliché Benhamiche, 2015).

#### IV.3.5. Traitements statistiques

L'analyse statistique a été réalisée par le logiciel statistique Microsoft Excel 2010 (Microsoft office professional 2010, Français) sur les valeurs obtenues. L'analyse de la variance à un seul facteur ANOVA I a été utilisée comme traitement statistique pour voir la différence entre les traitements utilisés.

## V.1. Résultats

Cette étude a pour but de quantifier et de doser les oligo-éléments et les métaux lourds présent dans les fruits (gousses et graines séparément) du févier d'Amérique par la technique de spectrométrie de Masse à Plasma couplé par induction (ICP/MS).

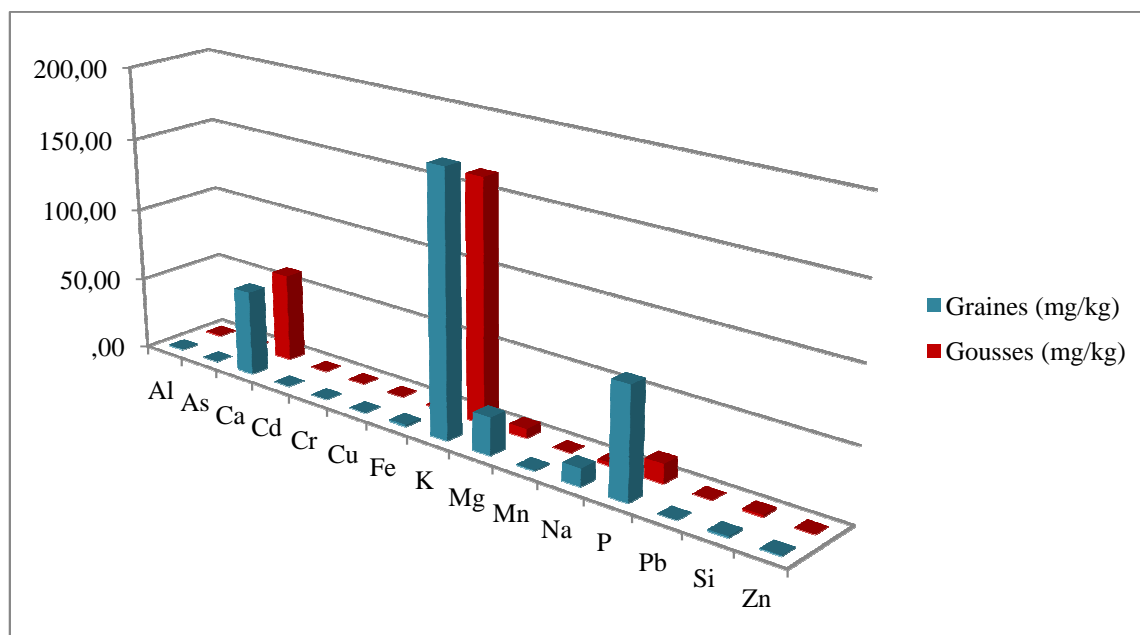
### V.1.1. Quantification des oligo-éléments et des métaux lourds des fruits (gousses et graines séparément) du févier d'Amérique par Spectrométrie de Masse à Plasma couplé par induction (ICP/MS)

Le tableau 6 regroupe les résultats de la quantification et le dosage des oligo-éléments et des métaux lourds des fruits (gousses et graines séparément) du févier d'Amérique par Spectrométrie de Masse à Plasma couplé par induction (ICP/MS). Il a été révélé que le potassium (K) est le composé majoritaire, suivi du phosphore (P) et du calcium (Ca). Les résultats sont conformes aux normes citées par différents auteurs.

**Tableau n° 6 :** Concentration totale des oligo-éléments et des métaux lourds des fruits de *G. triacanthos* L. par Spectrométrie de Masse à Plasma couplé par induction (ICP/MS), comparées aux normes chez les plantes citées par différents auteurs.

Oligo-éléments et métaux lourds	Graines (mg.kg <sup>-1</sup> )	Gousses (mg.kg <sup>-1</sup> )	Normes chez les plantes (mg.kg <sup>-1</sup> )	Références
Al	0,39± 0,27	0,54± 0,04	200–≥1000	Jansen <i>et al.</i> , 2002
As	0,047± 0,006	0,036± 0,005	5	British Herbal Medicine Association, 1996
Ca	<b>58,36± 15,66</b>	<b>60,64± 4,52</b>	<b>1830.2 – 2042.5</b>	Xu <i>et al.</i> , 2010
Cd	0,071± 0,000	0,072± 0,002	2	Codex Alimentarius, 2001a
Cr	0,037± 0,011	0,12± 0,018	0.006 – 18	Zayed & Terry, 2003
Cu	0,09± 0,007	0,0036± 0,000	0.4 – 45.8	Kabata-Pendias & Pendias, 1984
Fe	1,294±0,436	0,79± 0,11	640 – 2486	Lavilla <i>et al.</i> , 1999
K	<b>178,68± 7,31</b>	<b>164,27± 7,78</b>	/	/
Mg	<b>25,578± 3,78</b>	<b>6,36± 0,049</b>	<b>0.73 – 1.41</b>	Witkowski & Lamont, 1996
Mn	0,615± 0,036	0,136± 0,004	15 – 100	Misra & Mani, 1991
Na	<b>12,06± 10,80</b>	<b>2,25± 0,46</b>	/	/
P	<b>75,027± 4,17</b>	<b>13,06± 0,16</b>	/	/
Pb	0,06± 0,02	0,09± 0,01	3	Codex Alimentarius, 2001b.
Si	1,15± 0,67	1,37± 0,31	/	/
Zn	0,63± 0,10	0,12± 0,04	1 – 160	Kabata-Pendias & Pendias, 1984

La comparaison entre les concentrations en oligo-éléments et métaux lourds des gousses et des graines du févier d'Amérique montrent que les gousses sont plus riches que les graines en potassium (K), en phosphore (P), en magnésium (Mg) et en sodium (Na) ; tandis que les graines sont plus riches en calcium (Ca) (Fig. 15).



**Figure n°15:** Comparaison entre les concentrations en oligo-éléments et métaux lourds des gousses et des graines de *G. triacanthos* L.

### V.1.2. Résultats des traitements statistiques

#### Analyse de la variance à un seul facteur ANOVA I

L'application de l'analyse de la variance à un seul facteur (ANOVA I), nous a permis d'enregistrer une différence significative entre les concentrations des oligo-éléments et métaux lourds des gousses et des graines de *G. triacanthos* L. à  $\alpha < 0.05$  pour le cuivre (Cu) et à ( $\alpha < 0.001$ ) pour le phosphore (P), le magnésium (Mg), le calcium (Ca), le potassium (K), le sodium (Na), le zinc (Zn) et le chrome (Cr).

**Tableau n° 7 :** Corrélation bi-variée de Pearson entre les oligo-éléments et les métaux lourds des gousses et des graines de *G. triacanthos* L.

	AL	As	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	Pb	Si	Zn
<b>AL</b>	1														
<b>As</b>	-0,570	1													
<b>Ca</b>	0,930**	-0,428	1												
<b>Cd</b>	0,267	-0,621	0,300	1											
<b>Cr</b>	0,375	-0,776	0,113	0,552	1										
<b>Cu</b>	-0,450	0,832	-0,153	-0,333	-0,935**	1									
<b>Fe</b>	0,356	0,356	0,623	-0,064	-0,658	0,671	1								
<b>K</b>	-0,456	0,874*	-0,235	-0,586	-0,751	0,801*	0,430	1							
<b>Mg</b>	-0,217	0,734	0,090	-0,324	-0,943**	0,966**	0,829*	0,739	1						
<b>Mn</b>	-0,362	0,790	-0,055	-0,324	-0,947**	0,994**	0,739	0,776	0,988**	1					
<b>Na</b>	0,445	0,294	0,680	-0,172	-0,641	0,587	0,980**	0,387	0,774	0,666	1				
<b>P</b>	-0,396	0,809*	-0,093	-0,333	-0,946**	0,998**	0,714	0,788	0,981**	0,999**	0,637	1			
<b>Pb</b>	0,802*	-0,715	0,536	0,160	0,671	-0,816*	-0,204	-0,752	-0,661	-0,764	-0,078	-0,783	1		
<b>Si</b>	0,952**	-0,498	0,951**	0,437	0,276	-0,277	0,511	-0,428	-0,052	-0,190	0,548	-0,224	0,653	1	
<b>Zn</b>	-0,416	0,838*	-0,111	-0,302	-0,891*	0,988**	0,685	0,853*	0,953**	0,980**	0,592	0,984**	-0,825*	-0,245	1

\*\* La corrélation est significative à  $P < 0.01$ .

\* La corrélation est significative  $P < 0.05$ .

Les résultats de la corrélation bi-variée de Pearson entre les concentrations en oligo-éléments et métaux lourds des gousses et des graines de *G. triacanthos* L. ont indiqué une corrélation positive et négative très significative à  $P < 0.05$  et  $P < 0.01$ .

L'analyse des composantes principale (ACP) tridimensionnelle des oligo-éléments et des métaux lourds des gousses et des graines de *G. triacanthos* L. (Fig. 16) a révélé la formation de quatre groupes selon l'axe 1 (Facteur1) qui représente le plus d'inertie. Le groupe G1 (Mg, Mn, As, K, Cu) et le groupe G2 (Na, Fe) sont corrélés positivement. Tandis que le groupe G3 (Al, Ca, Si) et le G4 (Pb, Cr, Cd) sont corrélés négativement.

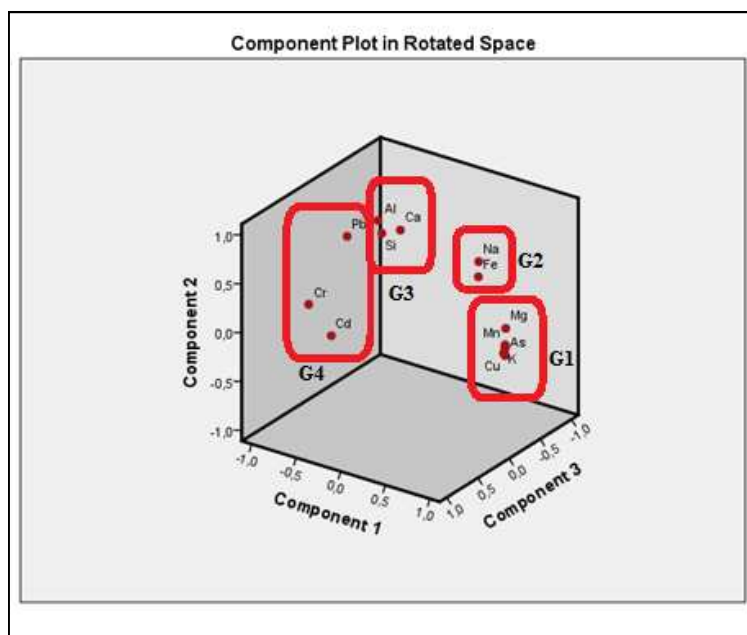
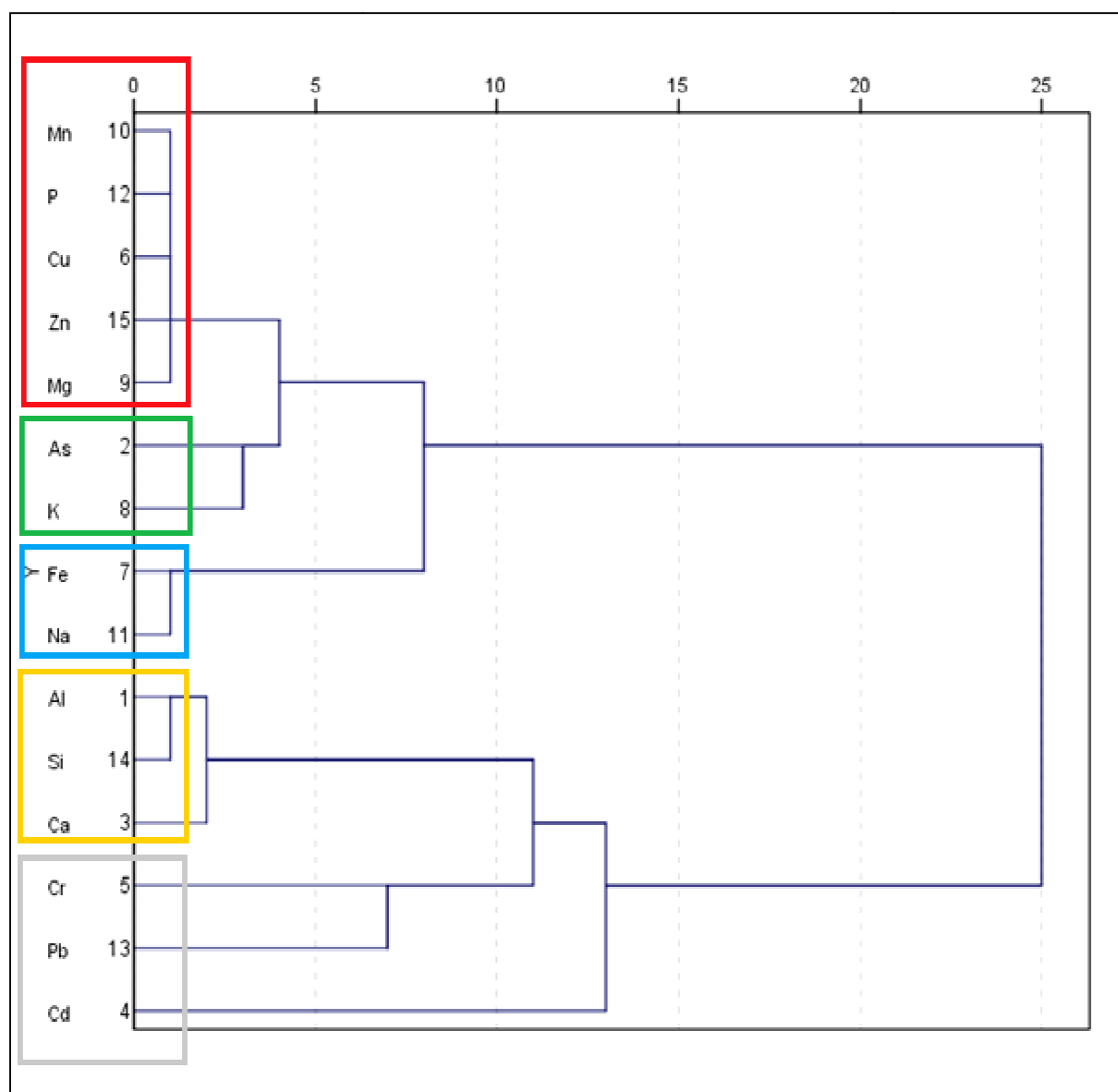


Figure n°16 : ACP des oligo-éléments et des métaux lourds des gousses et des graines de *G. triacanthos* L.

Tableau n° 8 : Coordonnées des variables.

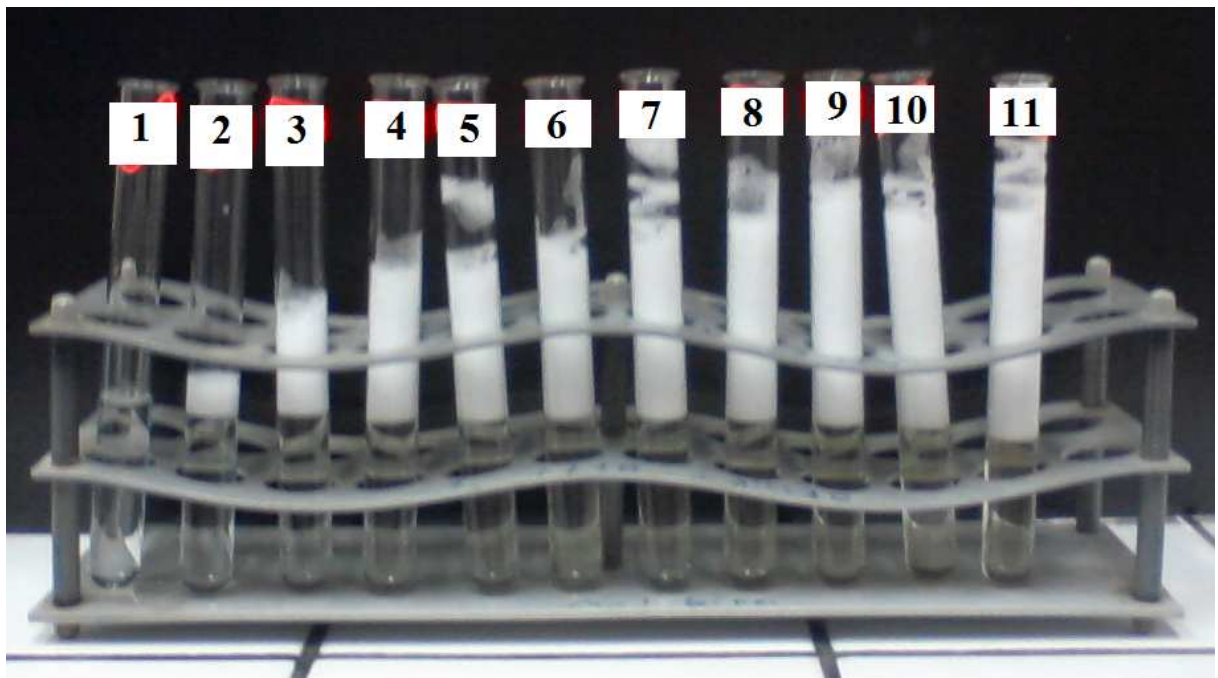
Variables	Facteur 1	Facteur 2	Facteur 3
Al	-0,331	0,938	0,042
As	0,747	-0,344	-0,458
Ca	-0,005	0,974	0,150
Cd	-0,212	0,158	0,959
Cr	-0,898	0,042	0,343
Cu	0,984	-0,124	-0,108
Fe	0,761	0,648	-0,006
K	0,764	-0,234	-0,429
Mg	0,978	0,129	-0,135
Mn	0,991	-0,025	-0,109
Na	0,671	0,724	-0,142
P	0,989	-0,062	-0,114
Pb	-0,778	0,593	-0,103
Si	-0,137	0,947	0,256
Zn	0,985	-0,102	-0,090

Le dendrogramme de classification ascendante hiérarchique (CAH) des oligo-éléments et métaux lourds des gousses et des graines de *G. triacanthos* a révélé la formation de cinq groupes. Le premier groupe regroupe le manganèse (Mn), le phosphore (P), le cuivre (Cu), le zinc (Zn) et le magnésium (Mg). Le deuxième groupe est formé d'arsenic (As) et de potassium (K). Le troisième groupe englobe le fer (Fe) et le sodium (Na). Le quatrième groupe formé d'aluminium (Al), de silicium (Si), et de calcium. En fin, le cinquième groupe est composé par les métaux lourds (chrome (Cr), plomb (Pb), cadmium (Cd)) (Fig.17).

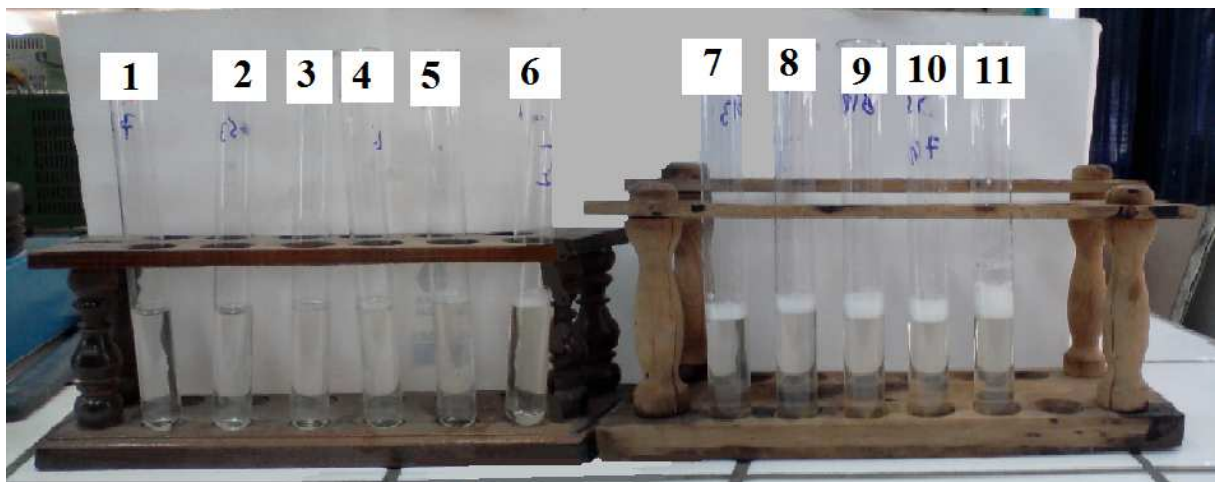


**Figure n°17 :** Dendrogramme de classification ascendante hiérarchique (CAH).

V.1.3. Mesure de l'indice de mousse



**Figure n°18** : Mousse formée par le décocté des gousses de *G. triacanthos* après agitation des tubes (après 10 min de repos).



**Figure n°19** : Mousse formée par le décocté des graines de *G. triacanthos* après agitation des tubes (après 10 min de repos).

La mousse formée par le décocté des gousses de *G. triacanthos* est beaucoup plus importante par rapport à celle formée par le décocté des graines (Fig. 18, 19).

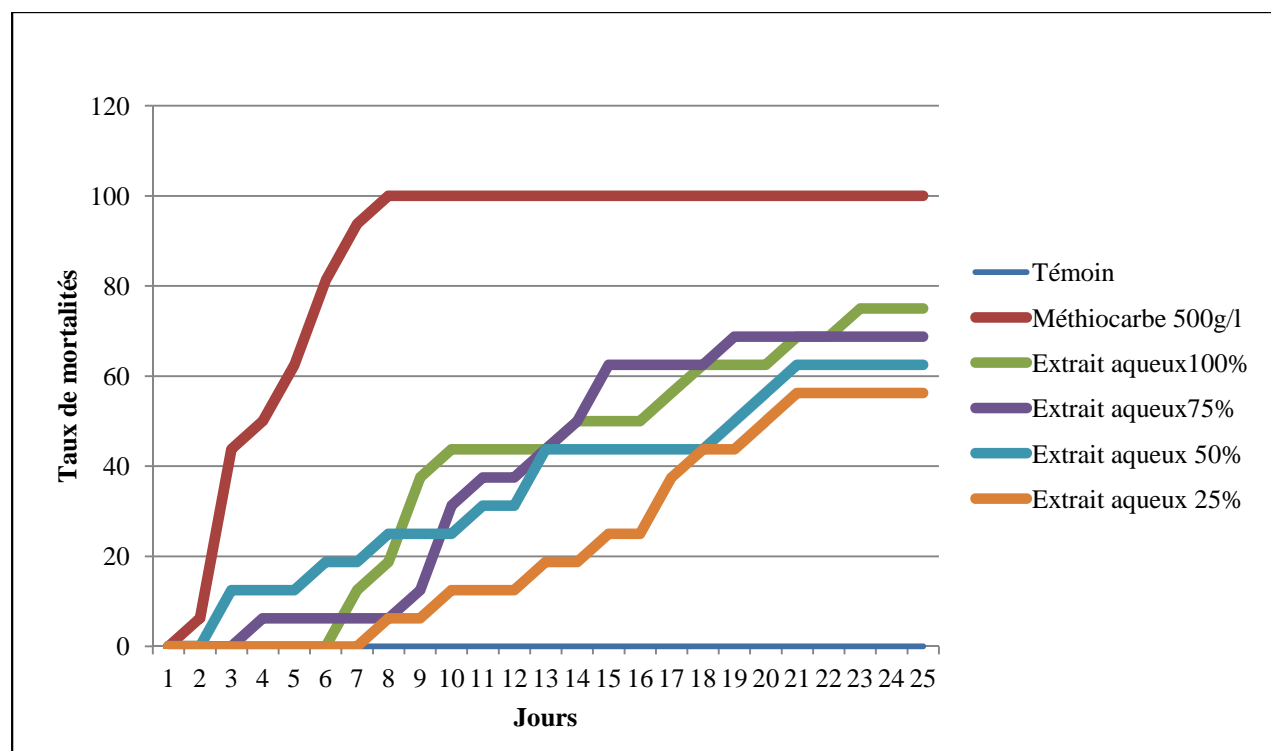
**Tableau n° 9** : Valeurs de l'indice de mousse ( $M \pm D.s$ ).

	Gousses	Graines
Indice de mousse	1000±0.5	333.33±0.03

M : moyenne, D.s : déviation standard de la moyenne.

Le calcul de l'indice de mousse a montré que les gousses de *G. triacanthos* L. sont plus riches en saponosides par rapport aux graines, et les deux valeurs de l'indice sont supérieures à 100 ( $I > 100$ ).

#### V.1.4. Test molluscicide



**Figure n°20** : Taux de mortalités en fonction de la durée de l'expérimentation.

La comparaison entre les courbes permet d'observer une évolution du taux de mortalités en fonction de l'augmentation de la concentration de l'extrait aqueux des saponosides des gousses de *G. triacanthos*, par rapport aux nombre de jours d'expérimentation (Fig. 20). Le taux de mortalité le plus élevé a été obtenu par le molluscicide chimique « Méthiocarbe », suivi de l'extrait aqueux à 100% et à 75%. Les mortalités enregistrées pour les deux autres concentrations (50% et 25%) étaient aussi importantes. Aucune mortalité n'a été observée chez le lot témoin.



### V.1.5. Résultats des traitements statistiques

Les résultats de l'analyse de la variance à un seul facteur (ANOVA I) ont montré une différence hautement significative  $F_{\text{Observé}} > F_{\text{Théorique}}$  (20.93>4.94) à  $p < 0.001$  entre les taux de mortalités obtenus par les différentes concentrations de l'extrait aqueux de *G. triacanthos* et le molluscicide chimique « Méthiocarbe ». La différence entre les lots de répétitions de chaque concentration était non significative avec  $F_{\text{Théorique}} > F_{\text{Observé}}$  (1.69>0.09) à  $p < 0.05$ .

## VI.1. Discussions

Le févier d'Amérique (*Gleditsia triacanthos* L.) est une légumineuse arborescente introduite en Algérie. Bien connu pour sa qualité fourragère, cette espèce a été largement préconisée comme aliment du bétail au début du 20<sup>ème</sup> siècle (Gold, 1997). De plus, les légumineuses en général sont connues par leur richesse en protéines (Wang *et al.*, 2003), en éléments minéraux (Sandberg, 2002) et en métabolites secondaires (Messina, 1999)

Dans le cadre de la valorisation, cette espèce jugée envahissante dans plusieurs pays (Archipel Néo-Calédonien (MacKee, 1994), Afrique du Sud (Richardson & Kluge, 2008), Madagascar (Tassin *et al.*, 2009), et Argentine (Mazi'a *et al.*, 2001; Ghersa *et al.*, 2002 ; Ferreras *et al.*, 2014)), peut être intéressante dans le domaine de l'alimentation animale. Nous avons donc réalisé une évaluation complète de la composition de ses gousses et de ses graines en éléments minéraux par Spectrométrie de Masse à Plasma couplé par induction (ICP/MS), ainsi que l'effet ou le pouvoir molluscicide de l'extrait aqueux des gousses sur le mollusque terrestre *Arion rufus* L.

L'analyse des éléments minéraux par Spectrométrie de Masse à Plasma couplé par induction (ICP/MS) est devenue une technique très populaire depuis les années 1980. Cette dernière forme un outil très efficace pour le dépistage rapide. De plus, cette technique ne nécessite pas la présence d'étalon de calibrage (Woods *et al.*, 2004) , ce qui facilite l'analyse des échantillons inconnus.

Dans la présente étude, l'analyse ou la quantification des oligo-éléments et métaux lourds des échantillons de gousses et de graines de *G. triacanthos* par la technique citée plus haut montrent que les concentrations en oligo-éléments et métaux lourds dans les fruits de *G. triacanthos* (gousses et graines séparément) sont classées dans l'ordre suivant: K> P> Ca> Mg> Na> Fe> Si> Zn> Mn> Al> Cu> Cd> Pb > As> Cr (Tab.6).

Le potassium est le composé majoritaire avec 178.68 mg.kg<sup>-1</sup> et 164.27 mg.kg<sup>-1</sup> respectivement pour les graines et les gousses (Tab. 6). Selon Leigh & Wyn Jones (1984) cet élément est l'un des macronutriments très importants pour les plantes. Il forme jusqu'à 10% du poids sec. Le potassium joue un rôle vital dans plusieurs processus biophysiques et biochimiques. Il remplit un certain nombre de fonctions importantes tel que l'activation enzymatique, la neutralisation des charges négatives, le maintien de la turgescence cellulaire et la croissance des plantes (Benito *et al.*, 2014). Le potassium est considéré comme l'ion

principal des solutions cytoplasmiques. Il joue un rôle fondamental dans les processus d'échanges transmembranaires passifs et actifs dans les cellules. Il améliore le rendement de l'assimilation chlorophyllienne et la résistance au gel. Le potassium et le sodium sont structurellement et chimiquement des éléments très similaires et présentent un comportement homologue. Les deux sont des métaux alcalins et appartiennent au bloc « S » dans le tableau périodique (Benito *et al.*, 2014).

Aussi d'après nos résultats, le phosphore est le deuxième élément le plus abondant dans les graines de *G. triacanthos* avec  $75.027 \text{ mg.kg}^{-1}$ ; suivi du calcium, du magnésium et du sodium tandis que dans les gousses le calcium est plus abondant que le phosphore avec  $60,64 \text{ mg.kg}^{-1}$  et  $13,06 \text{ mg.kg}^{-1}$  respectivement.

Le phosphore intervient dans les transferts énergétiques : processus de stockage et de transport de l'énergie dans les cellules (ATP), dans la transmission de caractères héréditaires (acides nucléiques), la photosynthèse et la dégradation des glucides. C'est un constituant important des protéines phosphorées (nucléoprotéines, phosphoprotéines, lécithines, etc.).

En outre, un grand nombre de réactions métaboliques exigent des phosphorylations préalables pour se dérouler. Il est essentiel pour la floraison, la précocité, le grossissement des fruits et la maturation des graines. Enfin, la présence du phosphore dans les plantes joue un rôle crucial pour les animaux qui les consomment (O'Relly & Sims, 1995).

Le calcium (métal alcalino-terreux) est un macroélément essentiel pour toutes les plantes supérieures. Il joue un rôle important dans la régulation des échanges ioniques entre les racines et leur milieu. C'est un élément fondamental des parois cellulaires des plantes. C'est lui qui donne la résistance tissulaire aux membranes pectiques. Il a ainsi une grande influence sur certaines caractéristiques des cultures comme la rigidité des tiges des céréales et la qualité des fruits (White & Broadley, 2003). Les résultats obtenus (Tab.6) montrent que les graines de *G. triacanthos* comportent  $58,36 \text{ mg.kg}^{-1}$  de calcium. Ce pendant, les gousses contiennent  $60.64 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

Les graines et les gousses de *Gleditsia* sont également très riches en magnésium, il représente environ  $25.57 \text{ mg.kg}^{-1}$  et  $6.36 \text{ mg.kg}^{-1}$  respectivement. Dépasse ainsi les normes de la présence de cet élément chez les plantes citées par Witkowski & Lamont (1996) (Tab.6).

Le magnésium est un constituant de la chlorophylle. Il en favorise la synthèse ainsi que celle de la xanthophylle et celle du carotène. Il entre dans la composition de composés organiques essentiels comme la phytine et la pectine. C'est aussi un activateur d'enzymes, en

particulier celles qui sont à l'origine de la protéosynthèse. Il favorise l'absorption du phosphore et son transport dans les graines où il favorise la synthèse des lipides. Le magnésium est absorbé comme ion  $Mg^{2+}$ . Il sert comme activateur de nombreuses enzymes de croissance et stabilise les acides nucléiques (Walworth & Ceccotti, 1990).

Les résultats indiqués sur le Tab. 6 montrent que la concentration en fer dans les graines de *G. triacanthos* est de  $1.294 \text{ mg.kg}^{-1}$ ; est plus importante que dans les gousses où elle atteint  $0.79 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Le fer (Fe) est un micronutriment essentiel pour la croissance des plantes. Bien qu'il ne soit pas un constituant de la chlorophylle, il est indispensable à sa formation. Sa carence provoque la chlorose. Le fer participe à la constitution de nombreuses enzymes d'oxydation et est au centre du métabolisme azoté (Erna Wati Ibnu Hajar *et al.*, 2014).

De plus, les réactions entre le fer et le manganèse sont couramment observées et le rapport de ces deux éléments dans la croissance et le développement des tissus végétaux semble être plus important pour le métabolisme des plantes que leurs concentrations (Kabata-Pendias & Pendias, 1984).

D'autres éléments tels que le silicium, le zinc, le manganèse, l'aluminium et le cuivre sont aussi importants pour le métabolisme des plantes. Selon Lefaucheur (1988), le silicium (Si) est l'un des métaux alcalins les plus abondants dans la nature, il représente environ 28% de la croûte terrestre et joue de multiples fonctions dans le métabolisme de la plante, la structure, la solidité et la flexibilité. De même que pour le fer, le silicium se concentre dans les gousses ( $1.37 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) plus que dans les graines ( $1.15 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) (Tab. 6).

Le zinc est aussi un élément vital pour la nutrition des plantes, la structuration et / ou la catalyse enzymatiques (super-oxydase dismutase, déshydrogénase des alcools, et l'ARN polymérase). Selon Kabata-Pendias & Pendias (1984), la concentration normale du zinc (Zn) dans les plantes est d'environ 1 à  $160 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Nos résultats sont inférieurs aux normes ( $0.63 \text{ mg.kg}^{-1}$  pour les graines et  $0,12 \text{ mg.kg}^{-1}$  pour les gousses).

Le manganèse (Mn) est un micronutriment important pour les plantes. Par rapport au fer, il est le deuxième élément requis par les plantes. Comme tout autre élément, il peut être un facteur limitant de la croissance. Il est un contributeur majeur dans divers systèmes biologiques, y compris la photosynthèse, la respiration et l'assimilation de l'azote. Cet élément est également impliqué dans la germination du pollen, la croissance du tube pollinique, l'élongation racinaire et la résistance aux pathogènes (Schäfer, 2004). Comme l'indique le

tableau (Tab. 6), les graines de *G. triacanthos* contiennent  $0.615 \text{ mg.kg}^{-1}$  et les gousses contiennent  $0.136 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

L'aluminium (Al) est le troisième élément le plus abondant sur la planète. Cet élément est très commun dans la croûte terrestre. Selon Jansen *et al.* (2002), les concentrations normales chez les plantes sont d'environ  $200 \geq 1000$ . Dans notre cas, les résultats obtenus montrent que la concentration de l'aluminium dans les graines de *Gleditsia* était de  $0.39 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Cependant, dans les gousses elle était de  $0.54 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Dans les deux parties du fruit (les graines et les gousses), la concentration était très inférieure aux normes.

Comme le fer, le cuivre (Cu) rentre dans la composition de nombreuses enzymes d'oxydation. Les enzymes contenant le cuivre appartiennent au groupe des oxydases; ce sont des cupro-protéides qui provoquent l'oxydation des polyphenols (Marschner, 1995). Sa présence est nécessaire pour la croissance des plantes à faible concentration. Les graines et les gousses de *Gleditsia* comme indiqué dans le tableau (Tab. 6), contiennent  $0.09 \text{ mg.kg}^{-1}$  et  $0.0036 \text{ mg.kg}^{-1}$  respectivement.

Le cadmium (Cd), le plomb (Pb) et le chrome (Cr) sont considérés comme des métaux non essentiels et toxiques pour la croissance des plantes (Williams *et al.*, 2000). Les concentrations moyennes de ces éléments (Cd, Pb, Cr) dans les graines et les gousses de *G. triacanthos* sont inférieures aux normes proposées par Codex Alimentarius (2001a, b) et Zayed & Terry (2003) ce qui donne une valeur ajoutée au profil biochimique des organes étudiés.

En général, les résultats ont montré que les concentrations en oligo-éléments et métaux lourds dans les graines et les gousses de *G. triacanthos* mesurées par Spectrométrie de Masse à Plasma couplé par induction (ICP/MS) n'ont pas atteint les concentrations cytotoxiques (voir Tab. 6 pour les valeurs de références). En outre, les résultats ont montré que les graines sont plus riches en oligo-éléments et métaux lourds que les gousses. Ceci est vraisemblablement dû au rôle de la graine dans l'accumulation des réserves.

L'application de l'analyse de la variance à un seul facteur (ANOVA I), nous a permis d'enregistrer une différence significative entre les concentrations des oligo-éléments et métaux lourds des gousses et des graines de *G. triacanthos* L. à  $\alpha < 0.05$  pour le cuivre (Cu) et à ( $\alpha < 0.001$ ) pour le phosphore (P), le magnésium (Mg), le calcium (Ca), le potassium (K), le sodium (Na), le zinc (Zn) et le chrome (Cr). En outre, les résultats de la corrélation bi-variée

de Pearson entre les concentrations de ces éléments ont indiqué une corrélation positive et négative très significative à  $P < 0.05$  et  $P < 0.01$  pour les assemblages suivants: Al-Ca-Si, Cu-Mg-Mn-P-Zn, Fe-Na, Mg-Mn-P-Zn et P-Zn.

Afin de confirmer les résultats obtenus par l'analyse de la variance à un seul facteur (ANOVA I) et la corrélation bi-variée de Pearson, deux autres traitements statistiques ont été réalisés ; l'analyse en composantes principales (ACP) pour comparer le profil minéralogique des graines à celui des gousses *Gleditsia*, et le dendrogramme de classification hiérarchique HAC des éléments minéraux.

L'analyse des composantes principale (ACP) tridimensionnelle des oligo-éléments et des métaux lourds des gousses et des graines de *G. triacanthos* L. a révélé la formation de quatre groupes selon l'axe 1 (Facteur1) qui représente le plus d'inertie avec 61,11%. Le groupe G1 (Mg, Mn, As, K, Cu) et le groupe G2 (Na, Fe) sont corrélés positivement. Tandis que le groupe G3 (Al, Ca, Si) et le G4 (Pb, Cr, Cd) sont corrélés négativement (Fig. 16). Ce pendant, le dendrogramme de classification ascendante hiérarchique (CAH) des oligo-éléments et métaux lourds des gousses et des graines de *G. triacanthos* a révélé la formation de cinq groupes (Fig. 17). Le premier groupe regroupe le manganèse (Mn), le phosphore (P), le cuivre (Cu), le zinc (Zn) et le magnésium (Mg). Le deuxième groupe est formé d'arsenic (As) et de potassium (K). Le troisième groupe englobe le fer (Fe) et le sodium (Na). Le quatrième groupe formé d'aluminium (Al), de silicium (Si), et de calcium. En fin, le cinquième groupe est composé par les métaux lourds (chrome (Cr), plomb (Pb), cadmium (Cd)).

La composition minérale résulte de l'action de plusieurs facteurs comme le stade de végétation de la plante, sa famille botanique et les conditions de milieu (Meschy & Guéguen, 1995). Généralement les éléments essentiels à une plante sont divisés en éléments majeurs ou macroéléments (carbone, hydrogène, oxygène, azote, soufre, phosphore, calcium, potassium et magnésium) et éléments mineurs ou micro-éléments (fer, manganèse, zinc, cuivre, molybdène, bore). Les oligoéléments et les métaux lourds sont des éléments chimiques dont la plante a besoin durant son cycle de développement, qui consiste à passer de l'état de graine à la production d'une autre génération de graines. Le transfert de ces éléments aux graines dépend de l'absorption de ces derniers par la plante mère, et du transport suivant aux graines en développement (Malan & Farrant, 1998).

Les facteurs environnementaux et le type de plante ont une influence directe sur la bioaccumulation des oligoéléments et des métaux lourds. Ainsi, la concentration de ces

éléments essentiels et non essentiels dans les plantes au-delà de la limite autorisée par les normes, est une question de grande préoccupation pour la sécurité publique partout dans le monde. Une évaluation de la tolérance des éléments minéraux (oligoéléments et métaux lourds) devrait être fondée sur une analyse complète de l'interaction entre leur accumulation dans les plantes et leur statut dans le sol (Erna Wati Ibnu Hajar *et al.*, 2014). Les valeurs maximales pour les métaux lourds dans les médicaments à base de plantes et d'extraits ont été discutées par plusieurs auteurs. Une évaluation d'une base de données détaillée sur les métaux lourds a été publiée par Kabelitz (1998), cette dernière comprenait plus de 12 000 échantillons provenant des analyses de contrôle et de la qualité faites par plusieurs sociétés pharmaceutiques.

Le févier d'Amérique est une source prometteuse en matière énergétique, protéique et minérale, qui peut être utilisée en association avec d'autres légumineuses ou céréales pour la fabrication de l'aliment du bétail.

Selon Dupraz (1985), le févier d'Amérique peut fournir par arbre environ 20 kg de gousses assez riches en Matières Azotées (80 à 90 g/kg de MS, fournissant près de 0,9 UFL/kg). Selon la maturité et la variété, les gousses du févier peuvent fournir entre 0,90 et 1,10 UF (Putod, 1982).

D'autres espèces comme l'orge et le pois fourrager sont aussi très abondant dans les aliments fourragers. L'orge fourrage est composé de 85,7% de matière sèche, 9,4% de matière azoté totale, 2,1% de matières grasses, 3,9% de cellulose et 2,5 % de matières minérales (Puccini, 1965). Selon Chapuis (1991), l'orge contient entre 2.6 à 5.5 mg/kg de cuivre, entre 20 à 30 mg/kg de zinc et 11 à 33 mg/kg de manganèse.

Comparé au caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) qui est un arbre typiquement méditerranéen, le févier d'Amérique espèce introduite présente un intérêt de plus en plus grandissant en raison de sa rusticité, son indifférence vis-à-vis de la nature du sol, son bois de qualité, sa valeur ornementale et paysagère et surtout pour ses fruits qui font l'objet de transactions commerciales dont la valeur dépasse de loin celle de la production ligneuse (Ait Chitt *et al.*, 2007). Avec une pulpe charnue constituée d'environ 50 % de sucres, 18 % de cellulose brute et 1 à 2 % de protéines et 17% de lipides (Nas, 1979 ; Makris & Kefalas, 2004) ; la caroube peut être utilisé en combinaison avec les fruits du févier (*Gleditsia triacanthos* L.) qui ont presque la même composition chimique avec 37,41%, 15%, 7%, 33% respectivement pour les sucres, la cellulose, les protéines et les lipides, pour former un aliment de bétail équilibré. Les

fruits du caroubier sont très riches en potassium avec 93.94 mg/Kg et 88.61 mg/Kg pour les graines et les gousses respectivement ; suivi par le calcium avec environ 39.07 mg/kg pour les graines et 44.71 mg/kg pour les gousses. Les concentrations des oligo-éléments et des métaux lourds dans les deux parties du fruit (graines et gousses) décroissent selon l'ordre suivant: K > Ca > P > Mg > Na > Si > Fe > Al > Mn > Zn > Cd > Pb > Cr > As > Cu (Chabane *et al.*, 2016).

Selon l'organisation mondiale de la santé WHO (1983), les légumineuses, les euphorbiacées, les rubiacées, les polygonacées et les astéracées présentent la proportion la plus élevée d'espèces montrant une activité molluscicide.

En plus, au cours des dernières décennies, la recherche scientifique a donné plus d'importance aux plantes ayant une activité molluscicide, étant donné que cette méthode alternative revient moins chère et elle est moins agressive à l'environnement (Clark & Appleton, 1997 ; Cantanhede *et al.*, 2010).

Dans cette partie nous avons testé l'effet ou le pouvoir molluscicide de l'extrait aqueux des gousses du févier d'Amérique (*G. triacanthos*) sur le mollusque terrestre *Arion rufus* en comparaison avec un molluscicide d'origine chimique à savoir le « Méthiocarbe ».

Selon la bibliographie, les saponines ou les extraits comprenant des saponines issues d'au moins une plante du genre *Gleditsia* présentent un effet molluscicide (González-Cruz & San Martín, 2013). Dans leur brevet d'invention déposé en février 2011 sous le numéro [WO2011098723A1](#), Crebassa *et al.* (2011) citent que toute partie de la plante de *Gleditsia* contenant des saponines peut être utilisée, plus spécialement les gousses (enveloppes des fruits), qui sont particulièrement riches en saponines.

Les résultats obtenus montrent que la valeur de l'indice de mousse est dix fois plus supérieure que la norme (I=100) (Tab.9) confirmant ainsi la richesse des gousses de *G. triacanthos* L. en saponosides.

A partir des extraits aqueux des gousses de *G. triacanthos* lyophilisés, différentes gammes de concentrations ont été préparées. La concentration la plus élevée (100% = 500 mg/l) a donné les meilleurs résultats avec 75% de mortalité, se rapprochant considérablement des résultats obtenu par le molluscicide chimique en l'occurrence le « Méthiocarbe » (Fig.20). En général, dans la présente étude, la mortalité était proportionnelle par rapport aux différentes concentrations de l'extrait aqueux utilisé. Dans leurs études sur les saponosides de *G. amorphoides*, Crebassa *et al.* (2011) puis González-Cruz et San Martín (2013) signalent le



même phénomène de proportionnalité de la mortalité en fonction des différentes concentrations utilisées.

Au bout du quatrième jour d'essai, 50% de mortalité a été enregistrée pour le molluscicide utilisé. Par contre, ce n'est que vers le quatorzième jour qu'on a enregistré 50% de mortalité pour les concentrations de 75 et 100% de l'extrait aqueux des gousses de *G. triacanthos* L. Concernant les autres concentrations (50 et 25 %), ce n'est que vers le dix-neuvième et le vingtième jour d'expérimentation qu'on a obtenu le même taux (Fig.20).

L'analyse de variance (ANOVA I) a montré une différence significative entre les taux de mortalité obtenus par les différentes concentrations de extrait aqueux des gousses de févier d'Amérique (*G. triacanthos*) et le molluscicide chimique "Méthiocarbe" ( $F_{\text{observé}} > F_{\text{théorique}}$  ;  $20,93 > 4,94$ ) à  $p < 0,001$ . Ce pendant, la différence entre les lots de répétitions de chaque cristallisateur était non significative avec  $F_{\text{théorique}} > F_{\text{observé}}$  ( $1,69 > 0,09$ ) à  $p < 0,05$ .

Par leur propriétés physico-chimiques et leur effet émulsifiant, les saponines ont un effet répulsif contre les mollusques (Sparg *et al.*, 2004; Vincken *et al.*, 2007 et San Martín *et al.*, 2008). Il a été signalé dans plusieurs études (Crebassa *et al.*, 2011 et González-Cruz et San Martín, 2013) que les saponines issues d'au moins une espèce du genre *Gleditsia* sont très efficaces contre les mollusques nuisibles même à faibles concentration et que l'effet des saponosides sur le système digestif dépend de la structure des saponosides testées (Yoshikawa *et al.*, 2005 et Yoshikawa *et al.*, 2007).

Pour éviter le problème d'appétence et l'effet répulsif des saponosides, nous avons choisi d'imprégner la laitue (*Lactuca sativa*) par l'extrait aqueux à différentes concentrations. Les résultats obtenus montrent que même à faible concentration le taux de mortalité reste toujours important (56.25% de mortalité obtenue par l'extrait aqueux à 25% = 125mg/l) (Fig.20). Les saponines issues de *G. triacanthos* L. donnent un effet positif. Par conséquent, ce produit d'origine naturelle présente un effet molluscicide important par ingestion.

González-Cruz & San Martín (2013), démontrent que les saponosides de *G. amorphoides* causent des dommages sur l'épithélium gastrique des mollusques. Ils ont noté aussi que les saponosides peuvent avoir des effets contradictoires. Car, parfois ils sont gastro-protecteurs chez certains mammifères et peuvent induire des lésions gastriques de grandes importances chez les mollusques. Zaldibar *et al.* (2007), notent que les saponosides peuvent aussi avoir un impact négatif sur le système nerveux. Ce qui vraisemblablement pourrait expliquer le taux de

mortalité important obtenus par l'extrait aqueux à 100% et qui se rapproche des résultats du molluscicide chimique utilisé (Fig.20) connu pour avoir un effet neurotoxique (Crebassa *et al.*, 2011).

Il a été démontré aux États-Unis, en Europe et au Japon, que l'application d'extraits de plantes riche en saponines pourrait être un bon moyen de lutte contre les limaces étant donné que les résidus de saponines n'ont aucun effet néfaste sur les aliments et les produits agricoles (Vigor *et al.*, 2007).

Nos résultats sont en accord avec les études précédentes, qui suggèrent l'utilisation de produits naturels dans la lutte anti-mollusques (Crebassa *et al.*, 2011 ; González-Cruz & San Martín, 2013). En plus, selon la publication de l'organisation mondiale de la santé (WHO, 1983), l'extrait aqueux des gousses du févier d'Amérique (*G. triacanthos*) peut être considéré comme molluscicide actif puisque les résultats ont montré 75% de mortalité.

## Conclusion et perspectives

Le févier d'Amérique (*G. triacanthos* L.) est une espèce introduite qui s'adapte parfaitement aux conditions climatiques de notre pays. Dans le cadre de valorisation de cette espèce jugée envahissante, deux parties très importantes ont été étudiées.

La première partie consiste en la quantification des oligo-éléments et des métaux lourds des fruits de *G. triacanthos* (gousses et graines séparément) par Spectrométrie de Masse à Plasma couplé par induction (ICP/MS). La deuxième partie concerne la valorisation des coproduits de cette légumineuse par l'évaluation de l'effet ou du pouvoir molluscicide des saponines (saponosides) issues des gousses de *G. triacanthos* sur le mollusque terrestre *Arion rufus* L.

Les résultats obtenus montrent que les graines et les gousses de *G. triacanthos* L. sont très riches en éléments de base comme le potassium (K), le calcium (Ca) et le magnésium (Mg). En même temps, les concentrations des métaux lourds comme le chrome (Cr), le plomb (Pb) et le cadmium (Cd) qui sont considérés comme éléments toxiques, sont très inférieurs par rapport aux normes, citées par différents auteurs chez les plantes.

Cependant, nous avons noté que les concentrations de quelques éléments tels que le potassium ( $75,027 \pm 4,17$  mg.kg<sup>-1</sup> pour les graines et  $13,06 \pm 0,16$  mg.kg<sup>-1</sup> pour les gousses), le phosphore ( $75,027 \pm 4,17$  mg.kg<sup>-1</sup> pour les graines et  $13,06 \pm 0,16$  mg.kg<sup>-1</sup> pour les gousses), le magnésium ( $25,578 \pm 3,78$  mg.kg<sup>-1</sup> pour les graines et  $6,36 \pm 0,049$  mg.kg<sup>-1</sup> pour les gousses) et le sodium ( $12,06 \pm 10,80$  mg.kg<sup>-1</sup> pour les graines et  $2,25 \pm 0,46$  mg.kg<sup>-1</sup> pour les gousses) sont plus importantes dans les graines que les gousses ; tandis que la concentration du calcium est plus élevée dans les gousses ( $60,64 \pm 4,52$  mg.kg<sup>-1</sup> pour les gousses et  $58,36 \pm 15,66$  mg.kg<sup>-1</sup> pour les graines). Ce qui s'explique par l'accumulation des réserves dans les graines qui servira plus tard à l'initiation de l'embryon puis de la jeune plantule.

L'application de l'analyse de la variance à un seul facteur (ANOVA I), nous a permis d'enregistrer une différence significative entre les concentrations des oligo-éléments et métaux lourds des gousses et des graines de *G. triacanthos* L. Les résultats de la corrélation bi-variée de Pearson entre les concentrations en oligo-éléments et métaux lourds des gousses et des graines de *G. triacanthos* L. ont indiqué une corrélation positive et négative très significative à  $P < 0.05$  et  $P < 0.01$ .

L'analyse des composantes principale (ACP) tridimensionnelle des oligo-éléments et des métaux lourds des gousses et des graines de *G. triacanthos* L. a révélé la formation de quatre groupes selon l'axe 1 (Facteur1) qui représente le plus d'inertie. Le groupe G1 (Mg, Mn, As, K, Cu) et le groupe G2 (Na, Fe) sont corrélés positivement. Tandis que le groupe G3 (Al, Ca, Si) et le G4 (Pb, Cr, Cd) sont corrélés négativement.

En fin, le dendrogramme de classification ascendante hiérarchique (CAH) des oligo-éléments et métaux lourds des gousses et des graines de *G. triacanthos* a révélé la formation de cinq groupes. Le premier groupe regroupe le manganèse (Mn), le phosphore (P), le cuivre (Cu), le zinc (Zn) et le magnésium (Mg). Le deuxième groupe est formé d'arsenic (As) et de potassium (K). Le troisième groupe englobe le fer (Fe) et le sodium (Na). Le quatrième groupe formé d'aluminium (Al), de silicium (Si), et de calcium. En fin, le cinquième groupe est composé par les métaux lourds (chrome (Cr), plomb (Pb), cadmium (Cd)).

Les résultats obtenus demeurent ainsi équilibré. Ce qui milite en faveur de l'utilisation des fruits du févier d'Amérique (graines et gousses) dans plusieurs domaines industriels comme par exemple : la production d'alimentation du bétail, le domaine pharmaceutique et le cosmétique.

Dans la deuxième partie nous avons testé l'effet ou le pouvoir molluscicide des saponines issues des gousses du févier d'Amérique (*G. triacanthos* L.) sur les mollusques terrestres de l'espèce *Arion rufus*.

Les résultats obtenus sont très prometteurs, car même à faible concentration le taux de mortalité obtenu par l'utilisation de l'extrait aqueux des saponosides de *G. triacanthos* était important (l'extrait aqueux à 25% donne une mortalité de 56,25%). En plus, les résultats obtenus par l'utilisation de l'extrait aqueux des saponosides de *Gleditsia* à la concentration 100%, avoisine ceux obtenus par l'utilisation du molluscicide chimique « Méthiocarbe ».

L'analyse de la variance à un seul facteur (ANOVA I) a montré une différence hautement significative entre les taux de mortalités obtenus par les différentes concentrations de l'extrait aqueux de *G. triacanthos* et le molluscicide chimique « Méthiocarbe » ( $F_{\text{Observé}} > F_{\text{Théorique}}$  (20.93>4.94) à  $p < 0.001$ ).

Les résultats obtenus dans la présente étude rejoignent ceux d'autres auteurs qui suggèrent l'utilisation de produits naturels dans la lutte contre les mollusques nuisibles. De ce fait, les

saponines issues de *G. triacanthos* L. peuvent être utilisées comme alternatives aux produits de synthèse chimique qui sont source de pollution et coûtent excessivement chers. Et ouvre ainsi de grandes perspectives pour l'utilisation et l'exploitation des coproduits de cette espèce connue pour son potentiel invasif très élevé.

Comme perspective, nous suggérons d'étudier les propriétés micro densimétriques du bois et voir l'impact des conditions écologiques de nos contrées sur la couleur et la durabilité naturelle de son bois. Ce superbe arbre d'ornement pourra faire l'objet de multiplication et de plantation en zones urbaines surveillées.

## Références bibliographiques

*Selon la norme AFNOR Z 41-006*

**Abdelguerfi A. et Laouar M.** Autoécologie et variabilité de quelques légumineuses d'intérêt fourrager et/ou pastoral : possibilités de valorisation en régions méditerranéennes. *J. Pastagens e Forragens.* (1999) 20: 81-112.

**Ait Chitt M., Belmir M. et Lazrak A.** Production des plantes sélectionnés et greffés du caroubier. *J. Transfert de technologie en Agriculture.* (2007) 153: 1- 4.

**Alard D., Poudevigne I., Dutoit T. et Decaëns T.** Dynamique de la biodiversité dans un espace en mutation : Le cas des pelouses calcicoles de la basse vallée de Seine. *J. Acta Oecologica.* (1998) 19 (3): 275-284.

**Alpert P.** The advantages and disadvantages of being introduced. *J. Biological Invasions.* (2006) 8:1523-1534.

**Alpert P., Bone T. et Holzapfel C.** Invasiveness, invisibility and the role of environmental stress in the spread of non-native plants. *J. Plant Ecology Evolution System.* (2000) 31: 52-66.

**APG II.** An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. *J. Botanical Journal of Linnaean Society.* (2003) 141: 399-436.

**Bahorun T.** Substances naturelles actives: la flore mauricienne, une source d'approvisionnement potentielle. *J. Food Agric. Res.* (1997) N° spécial: 83-95.

**Barnathan G.** Valorisation d'espèces marines invasives : la grateloupe (algue rouge), la crépidule (gastéropode). Université de Nantes, Faculté des sciences pharmaceutiques et biologiques, Équipe EA 2160 – Mer, Molécules, Santé. (2015). <http://www.institut-ocean.org/images/articles/documents/144404033.pdf>.

**Beasley V.** Veterinary toxicology, International Veterinary Information Service, Ithaca, New York, USA. (1999).

**Beisel J.N. et Levêque C.** Les eaux douces, propices aux invasions ? *J. Dossier pour la Science.* (2009) 65 : 26-30.

**Benabid A.** Flore et diversité des écosystèmes du Maroc ; Évaluation et préservation de la biodiversité, Ed Ibiss Press, (2000) : 359 pp.

**Benhamiche, S.** Autoécologie du févier d'Amérique (*Gleditsia triacanthos* L.) et valorisation de ses coproduits en Algérie. Mémoire de Magister, Sidi bel Abbes, Algérie (2012) : 99 p.

**Benito B., Haro R., Amtmann A., Cuin T.A. et Dreyer I.** The twins  $K^+$  and  $Na^+$  in plants. *J. Plant Physiology*. (2014) 171: 723–31.

**Bennouna M.A., Belaqziz R., Arjouni M.Y. et Romane A.** Quantitative analysis of some oligo-elements and heavy metals in some species of Thymus from Morocco. *J. Natural Product Research* (2012) DOI: 10.1080/14786419.2012.751597.

**Bertheau Y., Darrasse A., Jouan B., Kotousky A. et Priou S.** Amplification enzymatique in vitro d'ADN et ses applications in: Libey J. (eds.). Le progrès génétique passe t'il par le repérage et l'inventaire des gènes?, Eurotext, Paris, (1993) 3-22.

**Blair R.M.** *Gleditsia triacanthos* L. Honeylocust in: Burns R.M., Honkala B.H. (eds.). Hardwoods Agriculture Handbook Vol. 2, Tech. Coords. Silvics. of North America, Washington DC: USDA Forest Service, (1990) 358-364 pp.

**Blondel J., Aronson J., Bodiou J.-Y. et Boeuf G.** The Mediterranean Basin – biological diversity in space and time, Oxford University Press, Oxford, (2010): 376 pp.

**Blondel, J. et Aronson, J.** Biology and Wildlife of the Mediterranean Region, New York, (1999).

**Boudiaf I., Beddiar A., Le Roux C., Prin Y. et Duponnois R.** Invasion d'une subéraie naturelle d'Algérie par un acacia australien: *Acacia mearnsii* (De Wild). *J. Integrated Protection in Oak Forests IOBC-WPRS Bulletin*. (2014) 101: 11-14.

**Bourbon A.I., Pinheiro A.C., Ribeiro C., Miranda C., Maia J.M. et Teixeira J.A.** Characterization of Galactomannans extracted from seeds of *Gleditsia triacanthos* and *Sophora japonica* through shear and extensional rheology: Comparison with guar gum and locust bean gum *J. Food Hydrocolloids*. (2010) 24 (2–3): 184–192.

**Bourdeu.** Les limaces : classification, comportement, dégâts, causes de la prolifération en agriculture naturelle, méthodes de lutte. Note de l'ITAN. Institut Technique d'Agriculture Naturelle, Houilles, (2010).

**Bourgaud F., Gravot A., Milesi S. et Gontier E.** Production of plant secondary metabolites: a historical perspective. *J. Plant Science.* (2001) 161: 839-851.

**Bradley B., Oppenheimer M. et Wilcove D.** Climate change and plant invasions: restoration opportunities ahead? *J. Global Change Biology.* (2009) 15: 1511-1521.

**British Herbal Medicine Association.** British Herbal Pharmacopoeia, (1996).

**Brochet A.L., Guillemain M., Fritz H., Gauthier-Clerc M. et Green A.J.** The role of migratory ducks in the long-distance dispersal of native plants and the spread of exotic plants in Europe. *J. Ecography.* (2009) 32:919-928.

**Brown A.G. et Ho C.K.** Black Wattle and its Utilisation, Canberra: Rural Industries Research and Development Corporation, (1997).

**Bruneton J.** Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales, 3ème édition. Médicales Internationales-Tec et Doc, Paris, (1999) : 370-401 pp.

**Bruton. J.** Plantes Toxiques, végétaux dangereux pour l'homme et les animaux, Edition Lavoisier, Paris, (1996) : 529 pp.

**Burton P.J. et Bazzaz. F.A.** Tree seedling emergence on interactive temperature and moisture gradient and patches of old-field vegetation. *J. American Journal of Botany.* (1991) 78 : 131-149.

**Cantanhede S.P.D., Marques A.M., Silva-Souza N. et Valverde A.L.** Atividade moluscicida de plantas: Uma alternativa profilática. *Revista Brasileira de Farmacognosia. J. Brazilian Journal of Pharmacognosy.* (2010) 20 (2):282-288.

**Carruthers J., Robin L., Hattingh J., Kull C., Rangan H. et Van Wilgen B.W.** A native at home and abroad: the history, politics, ethics and aesthetics of acacias. *J. Diversity and Distributions.* (2011) 17: 810–821.



**Catford J.A., Jansson R. et Nilsson C.** Reducing redundancy in invasion ecology by integrating hypotheses into a single theoretical framework. *J. Diversity and Distributions*. (2008) 15:22-40.

**CBNMED.** Méthodologie pour construire la liste noire d'espèces exotiques envahissantes du CBNMED. (2012).

**Cerqueira M.A., Pinheiro A.C., Souza B.W.S., Lima A.M.P., Ribeiro C. et Miranda C.** Extraction, purification and characterization of Galactomannans from non-traditional sources. *J. Carbohydrate Polymers*. (2009) 75: 408–414.

**Chabane K., Benhassaini H., Benhamiche S., Romane A. et Arjouni M.Y.** Quantitative analysis of some oligo-elements and heavy metals in case of *Ceratonia siliqua* L. hermaphrodite species from Algeria. *J. Biochemistry International*. (2016) 2(4): 153-161. ISSN: 2454-4760 International Knowledge Press [www.ikpress.org](http://www.ikpress.org).

**Chandler S.F. et Lu C.Y.** Biotechnology in ornamental horticulture. *J. In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*. (2005) 41: 591-601.

**Chapuis P.** Les oligo-éléments en médecine et biologie, Lavoisier Tec Et Doc, Paris, (1991) : 347-397 pp.

**Chwalek, M.** Hémisynthèse de saponosides à hédéragénine. Etude de l'influence de la chaîne osidique sur l'activité hémolytique. Thèse de doctorat, Université de Reims Champagne-Ardenne, UFR Pharmacie, (2004) : 223 p.

**Clark T.E. et Appleton C.C.** The molluscicidal activity of *Apodytes dimidiata* E. Meyer ex Arn (Icacinaceae), *Gardenia thunbergia* L. f. (Rubiaceae) and *Warburgia salutaris* (Bertol. F.) Chiov. (Cannellaceae), three South African plants. *J. Ethnopharmacology*. (1997) 56:15-30.

**Codex Alimentarius.** Codex maximum levels for Cadmium in Cereals, Pulses and Legumes, Joint FAO/WHO Standards, CAC/GL39-2001. [http:// www.codexalimentarius.net/standards\\_search.asp](http://www.codexalimentarius.net/standards_search.asp). (2001a) (Accessed March 2004).

**Codex Alimentarius.** Maximum levels for Lead, Joint FAO/WHO Standards, Codex STAN 230- 2001, [http://www.codexalimentarius.net/standards\\_search.asp](http://www.codexalimentarius.net/standards_search.asp). (2001b) (Accessed March 2004).

**Codorniu-Hernandez E., Mesa-Ibirico A., Montero-Cabrera L.A., Martínez-Luzardo F., Borrmann T. et Stohrer W.** Theoretical study of flavonoids and proline interactions. Aqueous and gas phases. *J. Mol. Struct.* (2003) 623: 63 - 73.

**Colautti R. et MacIsaac H.** A neutral terminology to define 'invasive' species. *J. Divers. Distrib.* (2004) 10: 135-141.

**Colby S.M., Alonso W.R., Katahira E.J., McGarvey D.J. et Croteau R.** 4S-Limonene Synthase from the Oil Glands of Spearmint (*Mentha spicata*) - cDNA isolation, characterization, and bacterial expression of the catalytically active monoterpene cyclase. *J. Biol. Chem.* (1993) 268: 23016-23024.

**Costa C.** Atlas des espèces invasives présentes sur le périmètre du parc national régional de Camargue, école des matières de l'environnement, Rennes. (2005) : 215pp.

**Crebassa X., Cruel H., Mercier F. et San Martin G.R.** Utilisation de saponines de *Gleditsia* pour la lutte contre les mollusques nuisibles. Brevet international Wo2011/098723 A1; (2011).

**Cronk C.B. et Fuller J.L.** Plant invaders: the threat to natural ecosystems, édition Chapman & Hall, Royaume-Uni, (1995): 241 pp.

**Cronquist A.** The Evolution and Classification of Flowering Plants, 5<sup>th</sup> Edition. Bronx, NY: The New York Botanical Garden, (1988).

**Cucherat X. et Demuyneck S.** Catalogue annoté des Gastéropodes terrestres (Mollusca, Gastropoda) de la région Nord - Pas-de-Calais. Annotated checklist of the terrestrial gastropods (Mollusca, Gastropoda) from Nord– Pas-de-Calais region, Mala Co, (2006) 2 :40-91 pp.

**D'Antonio C.M., Dudley T.L. et Mack M.** Disturbance and biological invasions: direct effects and feedbacks in: Walker L.R (eds.). Ecosystems of disturbed ground: Ecosystems of the world, Elsevier, Amsterdam, (1999): 415-452 pp.

**Dacosta Y.** Les phytonutriments bioactifs, Editions Yves Dacosta, Paris, 2003 : 317 pp.

**Dajoz H.** La biodiversité l'avenir de la planète et de l'homme : les invasions biologiques, édition Ellipses, Paris, (2008) : 275 pp.

- Danso S.K., Zapata F. et Wonaike A.K.** Measurement of biological N<sub>2</sub> fixation in field-grown *Robinia pseudo acacia* L. *J. Soil Biology and Biochemistry*. (1995) 27.
- Darwin C.** On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life, John Murray, London, (1859).
- De Candolle A.** Géographie botanique raisonnée, Imprimeries de L. Martinet, (1855).
- De Wit M.P., Crookes D.J. et Van Wilgen B.W.** Conflicts of interest in environmental management: estimating the costs and benefits of a tree invasion. *J. Biol. Invasions*. (2001) 3: 167-178.
- Deshpande S.S., Cheryan M. et Salukhe D.K.** Tannin analysis of food products. CRC. *J. Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. (1986) 24 : 401- 449.
- Dezhao C., Dianxiang Z. et Larsen K.** *Gleditsia* Linnaeus, Sp. *J. Flora of China* (2010) 10: 36–39.
- Di Castri F.** History of biological invasions with special emphasis on the Old World in Drake J.A., Mooney H.A., Di Castri F., Groves R.H., Kruger F.J., Rejmanek M. and Williamson M., (eds.). Biological invasions: a global perspective, John Wiley & Sons, New York, (1989) : 1-29 pp.
- Dobignard, A. et Chatelain, C.** Index synonymique de la Flore d’Afrique du nord, 1-3. Genève, (2011).
- Doyle J.J. et Luckow M.A.** The rest of the iceberg. Legume diversity and evolution in a phylogenetic context. *J. Plant Physiology*. (2003) 131: 900-910.
- Dupraz C.** Note sur les Féviers d'Amérique de la région de Montpellier, INRA-LECSA. *J. American Journal of Clin Nature*. (1985) 70: 439–505.
- Eberhard T., Robert A. et Annelise L.** Plantes aromatiques, épice aromates, condiments et huiles essentielles, Tec et Doc, Lavoisier, Paris, France, (2005).
- Elkan G.** Current Issues in Symbiotic Nitrogen Fixation, Kluwer Academy Publishers, (1997): 153 pp.

**Erna WatiIbnuHajar, Ahmad Ziad Bin Sulaiman et Mimi Sakinah.** Assessment of Heavy Metals Tolerance in Leaves, Stems and Flowers of *Stevia rebaudiana* Plant. *J. Procedia Environmental Sciences*. (2014) 20: 386 – 393.

**Ewel J.J.** Invisibility: Lessons from South Florida in: Mooney H.A., Drake J.A (eds). Ecology of biological invasions of North America and Hawaii, Springer Verlag, New York, (1986): 214-230.

**Farrar L.J.** Les arbres du Canada, service canadien des forêts, Montréal, (1996) : 502 pp.

**Ferreras A.E. et Galetto L.** From seed production to seedling establishment: Important steps in an invasive process. *J. Acta Oecologica*. (2010) 36: 211-218.

**Ferreras, A.E., Funes, G. et Galetto, L.** « The role of seed germination in the invasion process of Honey locust (*Gleditsia triacanthos* L., Fabaceae): comparison with a native confamilial. *J. Plant Species Biology*. (2014). 30(2) : 126-136. Doi:10.1111/1442.1984.12041.

**Filippi O. et Aronson J.** Plantes invasives en région méditerranéenne : quelles restrictions d'utilisation préconisée pour les jardins et les espaces verts ? *J. Ecologia Mediterranea* (2010). 36 (2): 31-54.

**Fiorentino J. et Leclere. J.** Use of an extract of *Gleditsia* in cosmetics and dermatology, Publication international WO 2008/009813 A2, (2008): 21 pp.

**Fuller D.Q.** Contrasting patterns in crop domestication and domestication rates: Recent archaeobotanical insights from the old world. *J. Annals of Botany*. (2007) 100: 903-924.

**Gao Z.Z., Xia Y.F., Yao X.J., Dai Y. et Wang Q.** A new triterpenoid saponin from *Gleditsia sinensis* and structure–activity relationships of inhibitory effects on lipopolysaccharide-induced nitric oxide production. *J. Nat. Prod. Res.* (2008) 22: 320–332.

**Gepts P., Beavis W.D., Brummer E.C., Shoemaker R.C., Stalker H.T., Weeden N.F. et Young N.D.** Legumes as a Model Plant Family. Genomics for Food and Feed Report of the Cross-Legume Advances through Genomics Conference. *J. Plant Physiology*. (2005) 137: 1228–1235.

**Ghersa C.M., De la Fuente E., Suarez R. et León L.J.C.** Woody species invasion in the rolling pampa grassland, Argentina. *J. Agriculture Ecosystems & Environment*. (2002) 88 : 271–278. Doi: 10.1016/S0167-8809(01)00209-2.

**Ghestem A., Seguin E., Paris M. et Orecchioni A. M.** Le préparateur en pharmacie. Ed. Médicales Internationales, Paris, (2001) : 108-119 pp.

**Glemin S. et Bataillon T.** A comparative view of the evolution of grasses under domestication. *J. New Phytologist*. (2009) 183:273-290.

**Golani D., Orsi-Relini L., Massutì et Quignard J.P.** Atlas of exotic species in the Mediterranean. 1. Fishes. CIESM publishers (Commission Internationale pour l'exploration Scientifique de la Mer Méditerranée), Monaco, Frédéric Briand editor (2002): 1-254 pp.

**Gold M.A.** *Gleditsia triacanthos*-honey locust, widely adapted Temperate Zone fodder tree, Publication of Forest, Farm and Community Tree Network, FACT Sheet, Winrock International, Morrilton, Arkansas, USA, (1997).

**Goldstein J.L. et Brown M.S.** Regulation of the mevalonate pathway. *J. Nature*. (1990) 343: 425-430.

**González-Cruz D. et San Martín R.** Molluscicidal effects of saponin-rich plant extracts on the grey field slug. *J. Ciencia E Investigaciòn Agraria*. (2013) 40(2): 341-349.

**Goudard, A.** Fonctionnement des écosystèmes et invasions biologiques : importance de la biodiversité et des interactions interspécifiques. Thèse de Doctorat, l'Université Paris VI, (2007): 216 p.

**Grenby T.H.** Intense sweeteners for the food industry: an overview. *J. Trends Food Sci. Technol*. (1991) 2: 2-6.

**Grice A.C. et Ainsworth N.** Sleeper weeds – a useful Plant concept? *J. Protection Quarterly*. (2003) 18: 35-39.

**Griffin A. R., Midgley S. J., Bush D., Cunningham P. J. et Rinaudo A. T.** Global uses of Australian acacias – recent trends and future prospects. *J. Diversity and Distributions, (Diversity Distrib.)*. (2011) 17: 837–847. DOI: 10.1111/j.1472-4642.2011.00814.x.2011 Blackwell Publishing Ltd <http://wileyonlinelibrary.com/journal/ddi>.

**Grime J. P.** Plant strategies, vegetation processes, and ecosystem properties, 2<sup>nd</sup> edition. Wiley, Chichester, (2001).

**Guignard J. L.** Biochimie végétale, 2ème édition, Edition Dunod, Paris, (2000): 215-230 pp.

**Harlan J.R.** Origin and processes of domestication in Chapman G.P. (eds.). Grass evolution and domestication, Calbridge University Press, Cambridge, (1992): 381pp.

**Haslam E.** Plant polyphenols, Vegetable tannins revised. Cambridge University Press, Cambridge, UK, (1989): 230 pp.

**Heywood V.H.** Changing attitudes to plant introduction and invasives in: Brunel S (eds.). Proceedings of the international work shop: Invasive Plants in Mediterranean Type Regions of the World, Mèze, France, 25-27 May, (2005): 85-91 pp.

**Higgins S.I. et Richardson D.M.** A review of models of alien plants spread. *J. Ecological Modeling*. (1996) 87: 249-265.

**Hillairet J.** Dictionnaire historique des rues de Paris, éditions de Minuit, (1985) : 452 pp.

**Hobbs R.S. et Hunneke L.F.** Disturbance, diversity and invasion implications for conservation. *J. Cons. Boil.* (1992) 6: 324-384.

**Hodkinson D.J. et Thompson K.** Plant dispersal: The role of man. *J. Applied Ecology*. (1997) 34:1484-1496.

**Hulme P.E., Brundu G., Camarda I., Dalias P., Lambdon P., Lloret F., Médail F., Moragues E., Suehs C.M., Traveset A., Troumbis A. et Vilà M.** Assessing the risks to Mediterranean islands ecosystems from alien plant introductions in: Tokarska-Guzik B., Brock J.H., Brundu G., Child L., Daehler C.C. & Pysek P. (eds.). Plant invasions: human perception, ecological impacts and management, Backhuys Publishers, Leiden (2007): 39-56 pp.

**Hulme P.E., Pyšek P., Nentwig W. et Vilà M.** Will threat of biological invasions unite the European Union? *J.Science* (2009) 324: 40-41.

**ISEIA (Invasive Species Environmental Impact Assesment).** ISEIA guidelines. (2007). [http://ias.biodiversity.be/ias/documents/ISEIA\\_protocol.pdf](http://ias.biodiversity.be/ias/documents/ISEIA_protocol.pdf).

**Iserin P.** Larousse Encyclopédie des plantes médicinales. Ed Larousse, (2001): 10-335 pp.

**IUCN.** Guidelines for the prevention of Biodiversity Loss caused by Alien Invasive Species, IUCN species survival commission, Invasive species specialist group, (2000): 15 pp.

- Jansen S., Broadley M.R., Robbrecht E. et Smets E.** Aluminum hyperaccumulation in agiosperms: A review of its phylogenetic significance. *J. Bot. Rev.* (2002) 68: 235–269.
- Jauzein P.** Biodiversité des champs cultivés : l'enrichissement floristique. *J. Dos. Env. INRA.* (2001) 21: 43-64.
- Jeschke J.M. et Strayer D.L.** Invasion success of vertebrates in Europe and North America. *J. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.* (2005) 102: 7198-7202.
- Joly P.** Invasions biologiques: Etat de l'art et perspectives. *J. Revue d'écologie* (2000) 7 : 21-35.
- Jourez B.** Le robinier ou faux-acacia. *J. Courr. Du. Bois.* (1998)120 : 13-20.
- Judd W.S., Campbell C.S., Kellogg Elizabeth A. et Stevens P.** Botanique Systématique, une perspective phylogénétique, Edition De Boeck Université, (2002) 84-87, 396-399.
- Kabata-Pendias A. et Pendias H.** Trace Elements in Soils and Plants, CRC Press, Boca Raton, Florida, (1984).
- Kabelitz L.** Heavy metals in herbal drugs (Zur Schwer metall belastung von Arznei- und Kräuter drogen). *J. Pharm. Ind.* (1998) 60: 444-5.
- Kazi Tani C.H., Le Bourgeois T. et Munoz F.** Alien *versus* native weeds present in crops of Oranie (North West Algeria): A comparative study of their life-history traits. *J. Flora Mediterranea.* (2012) 22: 33-44. ISSN: 1120-4052, 2240-4538 online.
- Khiati M.** L'agriculture algérienne de l'ère précoloniale aux reformes libérales actuelles, Alger, (2008).
- Konate, I.** Diversité Phénotypique et Moléculaire du Caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) et des Bactéries Endophytes qui lui sont Associées. Thèse de Doctorat, Université Mohammed V-Agdal Faculté Des Sciences, Rabat, (2007) : 196 p.
- Konoshima et Sawada.** Legume saponins of *Gleditsia japonica* Miquel. IV.13C-Nuclear magnetic resonance spectral studies for structure elucidation of *Gleditsia* saponins B and C. *J. Chem. Pharm. Bull.* (1982a) 30:274-2760.

**Konoshima et Sawada.** Legume saponins of *Gleditsia japonica* Miquel. V. <sup>13</sup>C-Nuclear magnetic resonance spectral studies on the structures of *Gleditsia* saponins D2, G and I. *J. Chem. Pharm. Bull.* (1982b) 30:4082-4087.

**Krief, S.** Métabolites secondaires des plantes et comportement animal : surveillance sanitaire et observations de l'alimentation de chimpanzés (*pan troglodytes schweinfurthii*) en Ouganda, activités biologiques et étude chimique de plantes consommées. Thèse de doctorat, Brunoy, (2003) : 237p.

**Krisa S., waffo teguo P., Decendit A. , Deffieux G., Huguet F., Fauconneau B. et Mérillon J M.,** Production, purification et activité biologique des picéides(stilbènes) extraits de cultures cellulaires de *vitis vinifera* L. *J. Bull. Soc. Pharm.* (1997) 136 : 7-18.

**Lagnika, L.** Etude phytochimique et activité biologique de substances naturelles isolées de plantes béninoises. Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg, (2005) : 249 p.

**Lambdon P.W., Pyšek P., Basnou C., Arianoutsou M., Essl F., Hejda M., Jarošík V., Pergl J., Winter M., Anastasiu P., Andriopoulos P., Bazos I., Brundu G., Celesti-Grappo L., Chassot P., Delipetrou P., Josefsson M., Kark S., Klotz S., Kokkoris Y., Kühn I., Marchante H., Perglová I., Pino J., Vilà M., Zikos A., Roy D. et Hulme P.E.** Alien flora of Europe: species diversity, temporal trends, geographical patterns and research needs. *J. Preslia.* (2008) 80: 101-149.

**Lavilla I., Filgueiras A.V. et Bendicho C.** Comparison of Digestion Methods for Determination of Trace and Minor Metals in Plant Samples. *J. Agric. Food Chem.* (1999) 47(12) : 5072-5077.

**Lazrek-Ben Friha, F.** Analyse de la diversité génétique et symbiotique des populations naturelles tunisiennes de *Medicago truncatula* et recherche de QTL liés au stress salin. Thèse Doctorat, Université de Toulouse III - Paul Sabatier, (2008) : 215 p. +annexe.

**Lefaucheur, L.** Forms chimiques et mécanismes d'absorption du silicium par les plantes. Thèse de Doctorat, Phys. Biol. Org. Pop., Montpellier (1988).

**Léger J.F.** Noms vernaculaires des taxons de la BDTFX, (2007).



- Lehner A.** La nutrition hydrique et minérale chez les plantes. Laboratoire de glyco-biologie et matrice extracellulaire végétale, université de Rouen, (2014). (<http://www.univ-rouen.fr/Glyco-MEV/>).
- Leigh R.A. et Wyn Jones R.G.** A hypothesis relating critical potassium concentrations for growth to the distribution and functions of this ion in the plant cell. *J. New Phytol.* (1984) 97: 1–13.
- Leitiskow et Thiis.** Honeylocust (*Gleditsia triacanthos* L.): the complete plates hand book, Cologne: TACHEN, (2007) 800 pp.
- Lieutaghi P.** Livre des arbres, arbustes et arbrisseaux Tome II, Edition Acte Sud, (2004) : 1322 pp.
- Lockwood J., Hoopes M.F. et Marchetti M.P.** Invasion Ecology, Blackwell, Oxford, (2007).
- Lodge D.M.** Biological invasions: lessons for Ecology Trends. *J. Ecology and Evolution.* (1993) 8: 133-137.
- Lonsdale W.M.** Global patterns of plant invasion and the concept of invisibility. *J. Ecology.* (2000) 80: 1522-1536.
- Lorgue G., Lechenet J. et Rivière A.** Précis de toxicologie clinique vétérinaire, Edition du point Vétérinaires, Maisons-Alfort, (1987): 208 pp.
- Lososová Z., Chytrý M., Kühn I., Hájek O., Horáková V., Pyšek P. et Tichný L.** Patterns of plant traits in annual vegetation of man-made habitats in central Europe. *J. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics.* (2006) 8: 69-81.
- Lyell C.** Principles of geology, John Murray, London, (1837).
- MacArthur R.M.** Geographical Ecology, Harper & Row, New York, (1972).
- MacDicken G.K.** Selection and management of nitrogen fixing trees, Winrock International and Bangkok: FAO, (1994).
- Maceij Stobiecki.** Application of mass spectrometry for identification and structural studies of flavonoid glycosides. *J. Phytochemistry.* (2000) : 237-256.

- Macheix J.J., Fleuriet A. et Jay-Allemand C.** Les composés phénoliques des végétaux, presse polytechniques et universitaires Romande, Collection biologie, (2006) : 185 pp.
- Mack R.N.** Assessing the extent, status and dynamism of plant invasions: current and emerging approaches in Mooney H.A. et Hobbs H.A. (eds.). *Invasive species in a Changing World*, Island Press, Washington D.C., (2000).
- Mack R.N., Simberloff D., Lonsdale W.M., Evans H., Clout M. et Bazzaz F.A.** Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences, and control. *J. Ecological Applications*. (2000) 10: 689-710.
- Mackee H.S.** Catalogue des plantes introduites et cultivées en Nouvelle-Calédonie, Deuxième édition revue et augmentée, Muséum national d'histoire naturelle, Paris, (1994).
- Makris D.P. et Kefalas P.** Carob pods (*Ceratonia siliqua* L.) as a source of polyphenolic antioxidants. *J. Food Technology and Biotechnology*. (2004) 42 (2): 105-108.
- Malan H.L. et Farrant J.M.** Effects of the metal pollutants cadmium and nickel on soybean seed development. *J. Seed Sci. Res.* (1998) 8: 445–453.
- Marco D.E. et Páez S.A.** Invasion of *Gleditsia triacanthos* in *Lithraeaternifolia* Montane Forests of central Argentina *J. Environmental management*. (2000) 26 (4): 409-419.
- Marschner H.** Mineral Nutrition of Higher Plants, Academic Press, London, (1995).
- Martins G., Penna B. et Lilenbaum W.** Maintenance of *Leptospira* infection in cattle under tropical conditions. *J. Veterinary Record*. (2010) 167: 629–630.
- Mazi'a C.N., Chaneton E.J., Ghersa C.M. et León R.J.C.** Limits to tree species invasion in pampean grassland and forest plant communities. *J. Oecologia*. (2001) 128: 594–602. Doi: 10.1007/s004420100709.
- McIntyre S. et Lavorel S.** Predicting richness of native, rare and exotic plants in response to habitat and disturbance variables across a variegated landscape. *J. Conserv. Biol.* (1994) 8: 521-531.
- McLachlan J., Hellmann J. et Schwartz M.** A framework for debate of assisted migration in an era of climate change. *J. Conserv. Biol.* (2006) 21: 297-302.

- McNeely J.A., Mooney H.A., Neville L.E., Schei P., et Waage J.K.** A Global Strategy on Invasive Exotic Species, UICN Gland, Suisse, et Cambridge, UK. (2001): 50 pp + annexe.
- Médail F. et Quézel P.** Hot-spot analysis for conservation of plants biodiversity in the Mediterranean Basin, *Ann. J. Missouri Botanical Garden*. (1997) 84: 112–127.
- Meggaro Y., Vila M. et Weber E.** Survey of the exotic flora of North Africa in: 6th EWRS Mediterranean Symposium, Montpellier, (1998): 49-50 pp.
- Menges E.S.** Population viability analyses in plants: challenges and opportunities. *J. Trends in Ecology and Evolution*. (2000) 15: 51-56.
- Meschy F. et Guéguen L.** Ingestion et absorption des éléments majeurs in nutrition des ruminants domestiques, Edition INRA, (1995) : 583-599 pp.
- Messina M.J.** Legumes and soybeans: overview of their nutritional profiles and health, (1999).
- Meyer J.Y., Loope L.L., Sheppard A., Munzinger J.J. et Jaffré T.** Les plantes envahissantes et potentiellement envahissantes dans l'archipel néo-calédonien : première évaluation et recommandation de gestion. *J. Espèces envahissantes dans l'archipel néo-calédonien*. (2006) : 50-115.
- Miguel A. Cerqueira M.A., Bartolomeu W.S., Souza, Joana T., Martins, José A., Teixeira, António A. et Vicente.** Seed extracts of *Gleditsia triacanthos*: Functional properties evaluation and incorporation into galactomannan films. *J. Food Research International*. (2010): 43 2031–2038.
- Misra S.G. et Mani D.** Soil pollution, Ashish Publishing House, Punjabi Bagh, (1991).
- Mitchell C.E., Agrawal A.A., Bever J.D., Gilbert G.S., Hufbauer R.A., Klironomos J.N., Maron J.L., Morris W.F., Parker I.M., Power A.G., Seabloom E.W., Torchin M.E. et Vazquez D.P.** Biotic interactions and plant invasions. *J. Ecology Letters* (2006) 9:726-740.
- Miyase T., Melek F.R., Warashina T., Selim M.A., El Fiki N.M. et Kassem I.A.** Cytotoxic triterpenoid saponins acylated with monoterpenic acids from fruits of *Gleditsia caspica* Desf. *J. Phytochemistry*. (2010) 71:1908-1916.
- Mohlenbrock.** Constitution de la graine, USDA National Plant Data Center, (1995).

**Mooney M.E. et Drake J.A.** Ecology of biological invasions of North America and Hawaii, Springer Verlag, New York, (1986).

**Mouton J. A.** La systématique foliaire en paléobotanique. *J. Soc. Bot. Fr.* (1966) 113: 492 - 502.

**Muller S.** *Les plantes invasives en France*, , Publications du MNHN, Paris, (2004) ([ISBN 2-85653-570-4](#)).

**Mummenhoff K. et Franzke A.** Gone with the bird: late Tertiary and Quaternary intercontinental long-distance dispersal and allopolyploidization in plants. *J. Systematics and Biodiversity.* (2007) 5: 255-260.

**Nas.** Tropical legumes: resources for the future, National Academy of Sciences, Washington DC, USA, (1979).

**Nathan R.** Long-distance dispersal of plants. *J. Science.* (2006) 313:786-788.

**Nel J.L., Richardson D.M., Rouget M., Mgidi T.N., Mdzeke N., Le Maitre D.C., Van Wilgen B.W., Schonegevel L., Henderson L., et Naser S. A.** proposed classification of invasive alien plant species in South Africa: to wads prioritizing species in areas for management action. *J. South Africa journal of sciences.* (2004) 100 (1): 53-64.

**Nesson G.** USDA NRCS National Plant Data Center, the Biota of North America Program, (2003).

**Noss R.F.** Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *J. Conservation Biology.* (1990) 44: 355-364.

**O'Relly S.E. et Sims J.T.** Phosphorus adsorption and desorption in a sandy soil amended with high rates of coal fly ash. *J. Commun Soil Sci. and plant anal.* (1995) 26 (17-18): 2983-2993.

**Ohba H. et Amirouche R.** Observation of the Flora of Tadmait and Tidikelt. Central Sahara, Algeria. *J. Japanese Botany.* (2003) 78 : 104-111.

**Olufunmiso O. Olajuyigbe et Anthony J. A.** Pharmacological Assessment of the Medicinal Potential of *Acacia mearnsii* De Wild.: Antimicrobial and Toxicity Activities. *J. International Journal of Molecular Sciences.* (2012) 13(4): 4255–4267. Published online 2012 Mar 30. Doi: [10.3390/ijms13044255](#).

**Orwa C., Mutua A., Kindt R., Jamnadass R. et Anthony S.** Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0 (2009). (<http://www.worldagroforestry.org/sites/treedbs/treedatabases.asp>).

**Ozenda P.** Les végétaux dans la biosphère, édition Doin, Paris, (1982) : 432pp.

**Padua L.S., Bunyapraphatsara N. et Lemmens R.H.** Plant Resources of South-East Asia, (1999) 12.

**Papanastasis V.P., Yiakoulaki M.D., Decandia M. et Dini-Papanastas O.** Integrating woody species into livestock feeding in the Mediterranean areas of Europe. *J. Animal Feed Science and Technology*. (2008) 140: 1-17.

**Parker I.M. et Gilbert G.S.** When there is no escape: The effects of natural enemies on native, invasive, and noninvasive plants. *J. Ecology*. (2007) 88:1210-1224.

**Pascal M., Lorvelec O. et Vigne J.D.** Invasions biologiques et extinctions, Belin Quae, Versailles, (2006) : 350 pp.

**Pascal M., Vigne J.-D. et Tresset A.** L'homme, maître d'œuvre des invasions. *J. Dossier pour la Science*. (2009) 65 : 8-13.

**Pénicaut B., Bonnefoy C., Moesch C. et Lachâtre G.** Spectrométrie de Masse à Plasma couplé par induction (ICP-MS). *J. Annales Pharmaceutiques Françaises*. (2006) 64 (5) : 312-327. Doi : APF-09-2006-64-5-0003-4509-101019-200505736.

**Perret, C.** Analyse de tanins inhibiteurs de la stilbène oxydase produite par *Botrytis cinerea*. Thèse de doctorat, Université de Neuchâtel, (2001) : 184 p.

**Peszlen I., Molnar S. et Varga F.** Resistance of Black Locust heartwood to fungal decay. Final report on the project activities. Technology for high quality products from Black Locust. Inco-Copernicus projet PL 96-4144 ; contrat ERB IC15-CT 960713. (2000).

**Pheloung P.C.** Determining the weed potential of new plant introductions to Australia. Agriculture Protection Board Report. West Australian Department of Agriculture, Perth (1995).

**Pifanelli P., Ramsay L., Waugh R., Benabdelmouna A., D'Hont A., Hollricher K., Jørgensen J.H., Schulze-Lefert P. et Panstruga R.** A barley cultivation-associated polymorphism conveys resistance to powdery mildew. *J. Nature.* (2004) 430: 887-891.

**Pinheiroa A.C., Bourbona A.I., Rochab C., Ribeiroa C., Maiad J.M., Gonc M.P., Teixeiraa J.A. et Vicente A.A.** Rheological characterization of k-carrageenan/galactomannan and xanthan/galactomannan gels: Comparison of galactomannans from non-traditional sources with conventional galactomannans. *J. Carbohydrate Polymer.s* (2010) 83: 392–399.

**Pollard M.A., Eder B., Fischer P. et Windhab J.** Characterization of galactomannans isolated from legume endosperms of Caesalpinioideae and Faboideae subfamilies by multidetection aqueous SEC. *J. Carbohydrate Polymers.* (2010) 79: 70–84.

**Pollet C., Verheyen C., Hébert J., Jourez B.** Physical and mechanical properties of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) wood grown in Wallonia, Belgium. *J. Canadian Journal of Forest Research.* (2012) 42 : 831-840.

**Poynton R.J.** Tree planting in southern Africa, Vol. 3. Other genera. Department of Agriculture, Forestry and Fisheries, Pretoria, South Africa, (2009).

**Prach K., Pyšek P. et Marek B.** Spontaneous vegetation succession in human-disturbed habitats: a pattern across seres. *J. Applied Vegetation Science.* (2001) 4:83-88.

**Pradali L. et Blot E.** Plantes envahissantes de la région méditerranéenne, Agence méditerranéenne de l'environnement (AME LP/ARPE P/CA), (2003).

**Pringle A., Bever J.D., Gardes M., Parrent J.L., Rillig M.C. et Klironomos J.N.** Mycorrhizal symbioses and plant invasions. *J. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics and Biodiversity* (2009) 40: 699-715.

**Puccini M.** Dictionnaire des aliments pour les animaux, édition Edagricole, Bologna (Italia), (1965) : 638 pp.

**Punja Z.K.** Genetic engineering of plants to enhance resistance to fungal pathogens - A review of progress and future prospects. *J. Canadian Journal of Plant Pathology-Revue Canadienne De Phytopathologie* (2001) 23:216-235.

**Putod R.** Les arbres fourragers : étude spéciale du févier d'Amérique *J. Forêt méditerranéenne.* (1982) 9 (1) : 33-42.

**Quezel P.** Biodiversité végétale des forêts méditerranéennes, son évolution éventuelle d'ici à trente ans. *J. Forêt Méditerranéenne*. (1999): 3-8.

**Quézel P. et Médail F.** Écologie et biogéographie des forêts du Bassin méditerranéen, édition Elsevier, Paris, (2003): 573 pp.

**Quezel P., Barbero M., Bonin G. et Loisel R.** Recent plant invasions, in the circum-Mediterranean region in: Di Castri et *al.* (eds.). Biological invasions in Europe and Mediterranean Basin, Kluwer Acad. Publ, (1990): 51-60.

**Quezel, P.** Réflexions sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb méditerranéen, Paris, (2002).

**Rakmanberdyeva R.K., Mirzaeva M.R. et Kristalovich E.L.** Water soluble polysaccharides of seeds of the genus *Gleditsia*. *J. Chemistry of natural compounds*. (2003)34 (6): 727-730.

**Ramade F.** Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement, édition Dunod, Paris, (2008): 726 pp.

**Reichard A.H. et Hamilton C.W.** Predicting invasions of woody plants introduced into North America. *J. Conservation Biology*. (1997) 11: 193-203.

**Rejmánek M. et Richardson D.M.** What attributes make some plant species more invasive? *J. Ecology*. (1996) 77: 1655-1661.

**Rejmánek, M., D.M. Richardson, S.I. Higgins et M. Pitcairn.** Ecology of invasive plants: State of the art. In McNeely, (2000).

**Ricciardi A.** Are modern biological invasions an unprecedented form of global change? *J. Conservation Biology*. (2007) 21:329-336.

**Richardson D.M., Pysek P., Rajmánek M., Barbour M.G., Panetta F.D. et West C.J.** Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *J. Diversity and distributions*. (2000) 6: 93-107.

**Richardson D.M. et Kluge R.L.** Seed banks of invasive Australian Acacia species in South Africa: Role in invasiveness and options for management. *J. Perspec. Plant Ecol.* (2008) 10: 161 -177.

**Richardson D.M. et Rejmanek M.** Trees and shrubs as invasive alien species a global review. *Diversity and Distributions*. (2011) 17(5): 788-809.

**Rouget M., Richardson D.M., Nel J.L. et van Wilgen B.W.** Commercially important trees as invasive aliens – towards spatially explicit risk assessment at a national scale. *J. Biol. Invasions*. (2002) 4: 397-412.

**Russel T. et Cutler C.** Encyclopédie mondiale des arbres, édition Hachette, Paris, (2008).

**Sæbø A., Borzan Z., Ducatillion C., Hatzistathis A., Lagerström T., Supuka J., García-Valdecantos J.L., Rego F. et Van Slycken J.** The selection of plant materials for street trees, park trees and urban woodland in Konijnendijk C.C., Nilsson K., Randrup T.B. et Schipperijn J. (eds.). *Urban forest and trees*, Springer, Berlin, (2005): 257-280 pp.

**San Martín R., Ndjoko K. et Hostettmann K.** Novel molluscicide against *Pomacea canaliculata* based on quinoa (*Chenopodium quinoa*) saponins. *J. Crop Protection*. (2009) 27: 310-319.

**Sanchez-Castillo C.P., Dewey P.J.S., Aguirre A., Lara J.J., Vaca R., De La Barra P.L., Ortiz M., Escamilla I. et James W.P.T.** The Mineral Content Of Mexican Fruits And Vegetables. *J. food composition and analysis*. (1998) 11: 340–356.

**Sandberg A.S.** Bioavailability of minerals in legumes. *J. British Nutrition*. (2002) 88 (3): 281–285.

**Sax D.F., Stachowicz J.J., Brown J.H., Bruno J.F., Dawson M. N., Gaines S.D., Grosberg R.K., Hastings A., Holt R.D., Mayfield M.M., O'Connor M.I. et Rice W.R.** Ecological and evolutionary insights from species invasions. *J. Trends Ecol. Evol.* (2007) 22: 465-471.

**Schäfer U.** Manganèse. In: *Elements and their Compounds in the Environment*. 2nd edition. Wiley-VCH Weinheim (D), Vol2, Metals and their Compounds, (2004): 901-930 pp.

**Scheffer T.C. et Morrell J.J.** Natural durability of wood : a worldwide checklist of species, Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis, Ore. Res. Contribut. 22. (1998).

**Schnabel A. et Hamrick J.L.** Understanding the population genetic structure of *Gleditsia triacanthos* L.: the scale and pattern of pollen gene flow. *J. Evolution*. (1995) 49: 921-931.



- Sciarini L.S., Maldonado F., Ribotta P.D., Pérez G.T. et León A.E.** Chemical composition and functional properties of *Gleditsia triacanthos* gum. *J. Food Hydrocolloids*. (2009) 23: 306-313.
- Searle S.D.** *Acacia mearnsii* De Wild. (Black Wattle) in Australia. In : Black Wattle and its Utilization, Abridged English Edition. Edited for for the Rural Industries Research & Development Corporation, by AG Brown and Ho Chin Ko, (1997).
- Seiler J.R., Jensen E.C., Edward C.I. et Peterson J.A.** USDA NRCS National Plant Data Base-Horticulture, (2010).
- Shadow R.A.** USDA/NRCS East Texas Plant Materials Center, Nacogdoches, TX. Publication of Forest, Farm and Community Tree Network, FACT Sheet, Winrock International, Morrilton, Arkansas, USA, (2003).
- Sullivan J.** *Gleditsia triacanthos*: Fire Effects Information System U.S., Department of Agriculture/ Forest Service, Rocky Mountain Research Station, (1994).
- Simberloff, D., Souza, L., Nunez, M.A., Barrios-Garcia, N. et Bunn, W.** The native are restless, but not often and mostly when disturbed. *J. Ecology*. (2012) 93: 598-607.
- Singh D.P., Hooda M.S. et Bonner F.T.** An evaluation of scarification methods for seeds of two leguminous trees. *J. New Forests*. (1991) 5: 139-145.
- Sparg S.G., Light M.E. et Van Staden J.** Biological activities and distribution of plant saponins. *J. Ethnopharmacology*. (2004) 94:219-243.
- Speroni F.C. et De Viana M.L.** Community characteristics in a mountain forest invaded by *Gleditsia triacanthos* L. In: Plant invasions: Species ecology and ecosystem management, ed. Backhuys Publishers, (2001).
- Spichiger R.E., Savolainen V., Figiat M. et Jean-Monod D. B.** Botanique systématique des plantes à fleurs: une approche phylogénétique nouvelle des angiospermes des régions tempérées et tropicales, 3<sup>ème</sup> édition, Presse polytechnique et universitaire romande, Lossane, (2004) : 413 pp.
- Tassin J., Bellefontaine R., Roger E. et Kull C.** Evaluation préliminaire des risques d'invasion par les essences forestières introduites à Madagascar. *J. Bois et forêts des tropiques*. (2009) : 299(1).

**Tassin J.** Les plantes invasives : un ajustement du vivant à notre monde. *J. Options méditerranéennes*. CIHEM. (2015) 33.

**Tassin J.**, Vers un autre regard sur les invasions biologiques. *J. Le Courrier de la nature*. (2008) 237 : 20-25.

**Teixera da Silva J.A.** Ornamental chrysanthemums: improvement by biotechnology. *J. Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. (2004) 79:1-18.

**Teng R.W., Ni W., Ding J.K., Wang D.Z. et Chen C.X.** A New triterpenoid saponin GS-C0 from *Gleditsia dolavayi*. *J. Acta Bota. Yunnani*. (2002) 24: 531–534.

**Terrin E., Diadema K. et Fort N.** Stratégie régionale relative aux espèces végétales exotiques envahissantes en Provence-Alpes-Côte d'Azur et son plan d'actions, Conservatoire botanique national alpin & Conservatoire botanique national méditerranéen de Porquerolles, (2014).

**Terrin E., Gavotto O., Diadema K. et Fort N.** Synthèse de l'enquête régionale sur les espèces végétales exotiques envahissantes en Provence-Alpes-Côte d'Azur. Etat des lieux, Conservatoire botanique national alpin & Conservatoire botanique national méditerranéen de Porquerolles, Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement PACA & Région PACA, (2013).

**Thompson K., Hodgson J.G. et Rich T.C.G.** Native and alien invasive plants: more of the same? *J. Ecography*. (1995) 18: 390-402.

**Thorne R.F.** Major disjunctions in the geographic ranges of seed plants. *J. Quarterly Review of Biology*. (1972) 47:365-411.

**Thuiller W., Lavorel S., Araujo M.B., Sykes M.T. et Colin Prentice I.** Climate change threats to plant diversity in Europe. *J. Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. (2005) 102: 8245-8250.

**Tyler G. et Jobin-Yvon S.A.S.** ICP-OES, ICP-MS and AAS Techniques compared, ICP optical emission spectroscopy, Technical note 05. 1-877-JYHORIBA, (2003).

**UNEP/CBD.** Review and consideration of options for the implementation of article 8 (h) on alien species that threaten ecosystems, habitats or species. Proceedings of a Conference on: Biological Diversity, Sixth meeting, The Hague, 7-10 April 2002, UNEP/CBD/COP/6/19, (2002).

- Üner M. et Altunkurt T.** Evaluation of honey locust (*Gleditsia triacanthos* Linn.) gum as sustaining material in tablet dosage forms. *J. IL FARMACO.* (2004) 59: 567-573.
- USDA, NRCS.** The PLANTS Database (<http://plants.usda.gov>). National Plant Data Center, Baton Rouge, LA 70874-4490 USA. (2009).
- USDA.** National Plant Data Base-Horticulture, (2010).
- Valéry L., Fritz H., Lefeuvre J.C. et Simberloff D.** In search of a real definition of the biological phenomenon itself. *J. Biol. Invasions.* (2008)10: 1345-1351.
- Vela E. et Benhouhou S.** Évaluation d'un nouveau point chaud de biodiversité végétale dans le Bassin méditerranéen (Afrique du Nord). *J. C. R. Biologies.* (2007) 330 : 589–605.
- Vigor C., Vercautern J. et Montel J.** Les substances naturelles dans la chaîne du médicament. Université de Montpellier I. laboratoire de pharmacognosie, France, (2007).
- Vincken J.P., Heng L., De Groot A. et Gruppen H.** Saponins, classification and occurrence in the plant kingdom. *J. Phytochemistry.* (2007) 68:275–97.
- Vitousek P.M, Walker L.R., Whiteaker D., Mueller-Mombois D. et Matson P.A.** Biological invasion by *Myrica faya* alters ecosystem development in Hawai'i. *J. Science.* (1987) 238: 802-804.
- Vitousek P.M. et Walker L.R.** Biological invasion by *Myrica faya* in Hawaii: Plant demography, nitrogen fixation, and ecosystem effects. *J. Ecological Monographs.* (1989) 59: 247-265.
- Vitousek P.M., D'Antonio C.M., Loope L.L. et Westbrooks R.** Biological invasions as global environmental change. *J. American Scientist.* (1996) 84:468-478.
- Walker L.R. et Smith S.D.** Impacts on invasive plants on community and ecosystems properties *in:* Luken J.O., Thieret J.W. (eds.). Assessment and management of plant invasions, Springer, Allemagne, (1997): 69-86 pp.
- Wallach O.** Zur Kenntnis der Terpene und ätherischen Oele. *J. Justus Lieb. Ann. Chem.* (1887) 238: 78-89.
- Walworth J.L. et Ceccotti S.** A re-examination of optimum foliar magnesium levels in corn. *J. Commun. Soil Sci. Plant Ana.* (1990) 21(13–16): 1457–1473.

- Wang T.L., Domoney C., Hedley C.L., Casey R. et Grusak M.A.** Can we improve the nutritional quality of legume seeds? *J. Plant Physiology.* (2003) 131: 886–891.
- Warren C.R.** Perspectives on the ‘alien’ versus ‘native’ species debate: a critique of concepts, language and practice. *J. Prog. Hum. Geog.* (2007) 31: 427-446.
- Webb D.A.** What are the criteria for presuming native status? *J. Watsonia.* (1985) 15: 231-236.
- Weber E. et Gut D.** Assessing the risk of potentially invasive plant species in central Europe. *J. Nature Conservation.* (2004) 12, 171-179p.
- White P.J. et Broadley M.R.** Calcium in plants. *J. Ann. Botanical.* (2003) 92: 487–511.
- Wieseler S.** Black Locust *Robinia pseudoacacia* L. Pea family (Fabaceae). Fact sheet Black Locust. Plant Conservation Alliances, Alien Plant Working Group, Alien Plant Invaders of Natural Areas, (2005). <http://www.nps.gov/plants/alien/>
- Williams L.E., Pittman J.K., Hall J.L.** Emerging mechanisms for heavy metal transport in plants. *J. Biochimica et Biophysica Acta.* (2000) 1465: 104- 126.
- Williamson M.** 1996. Biological invasions, Chapman & Hall, Londre, 256 pp.
- Wilson J.R.U., Dormontt E.E., Prentis P.J., Lowe A.J. et Richardson D.M.** Biogeographic concepts define invasion biology. *J. Trends in Ecology & Evolution.* (2009) 24:586-586.
- Witkowski E.T.F. et Lamont B.B.** Disproportionate allocation of mineral nutrients and carbon between vegetative and reproductive structures in *Banksia hookeriana*. *J. Oecologia.* (1996) 105: 38–42.
- Woods G., McCurdy E. et Wilbur S.** Interference-free semi-quantitative analysis using the 3 Agilent 7500ce ICP-MS. *J. Agilent Application Note.* (2004): 5989- 1492.
- World Health Organization (WHO).** Report of the Scientific working Group on Plant Molluscicide & Guidelines for evaluation of plant molluscicides, Geneva: TDR/SC 4-SWE (4)/83.3, (1983).
- Xu Q.S., Hu J.Z., Xie K.B., Yang H.Y., Du K.H. et Shi G.X.** Accumulation and acute toxicity of silver in *Potamogeton crispus* L. *J. Hazardous Materials.* (2010)173: 86–193.

**Yamamoto Y., Forchel A., Hoefling S. et Worschech L.** Bioscience, biotechnology and biochemistry. (2000) 64 (10): 2165-21741.

**Yoshikawa M., Morikawa T., Li N., Nagatomo N., Li X. et Matsuda H.** Bioactive saponins and glycosides. Triterpene Saponins with Gastroprotective Effect from the Seeds of *Camellia sinensis*—Thea saponins E 3, E 4, E 5, E 6, and E 7. *J. Chemical and Pharmaceutical Bulletin*. (2005) 53:1559-1564.

**Yoshikawa M., Morikawa T., Nakamura S., Li N., Li X. et Matsuda H.** Bioactive saponins and glycosides. Acylated oleanane-type triterpènes saponins from the seeds of tea plant (*Camellia sinensis*). *J. Chemical and Pharmaceutical Bulletin*. (2007) 55:57-63.

**Zaldibar B., Cancio I., Soto M. et Marigómez I.** Digestive cell turnover in digestive gland epithelium of slugs experimentally exposed to a mixture of cadmium and kerosene. *J. Chemosphere*. (2007) 70:144-154.

**Zayed A. et Terry N.** Chromium in the environment: factors affecting biological remediation. *J. Plant Soil*. (2003) 249: 139–56.

**Zhang Z.Z., Koike K., Jia Z. H., Nikaido T., Guo D.A. et Zheng J.H.** Four new triterpenoidal saponins acylated with one monoterpenic acid from *Gleditsia sinensis*, *J. Nat. Prod.* (1999) 62 :740–745.

**Zohary D.** Unconscious selection and the evolution of domesticated plants. *J. Economic Botany*. (2004) 58:5-10.