

Faculté des Sciences et Techniques  
*Settat*

**THÈSE DE DOCTORAT**

Pour l'obtention de grade de Docteur en : **Biologie**

Formation Doctorale : **Biologie Santé et Environnement**

Spécialité : **Agro-écologie et biotechnologie végétale**

*Sous le thème*

**Caractérisation agro-phénologique du figuier  
de Barbarie (*Opuntia* Spp.) et optimisation des  
techniques de multiplication *in vitro***

Présentée par :

**Achraf Mabrouk**

**Soutenue le: 17 Février 2022.**

A la Faculté des Sciences et Techniques de Settat devant le jury composé de :

<b>Pr. NASSER Boubker</b>	Faculté des Sciences et Techniques de Settat (FSTS)	<b>Président</b>
<b>Pr. SMOUNI Abdelaziz</b>	Faculté des Sciences de Rabat (FSR)	<b>Rapporteur</b>
<b>Pr. BOULLI Abdelali</b>	Faculté des Sciences et techniques de Béni Mellal (FSTBM)	<b>Rapporteur</b>
<b>Pr. LAMSAOURI Ouafa</b>	Faculté des Sciences et Techniques de Settat (FSTS)	<b>Rapporteur</b>
<b>Pr. HOUMAIRI Hafsa</b>	Faculté des Sciences et Techniques de Settat (FSTS)	<b>Examineur</b>
<b>Pr. FAKIRI Malika</b>	Faculté des Sciences et Techniques de Settat (FSTS)	<b>Directrice de thèse</b>
<b>Pr. ABBAS Younes</b>	Faculté Polydisciplinaire de Beni Mellal (FPBM)	<b>Co-Directeur de thèse</b>
<b>Pr. EL GOUMI Younes</b>	Ecole Supérieur de Technologie de Fkih Ben Salah (ESTFBS)	<b>Invité</b>

## AVANT-PROPOS

Ce travail rentre dans le cadre de la convention issue de collaborations institutionnelles entre :

- Université Hassan 1<sup>er</sup> - Faculté des Sciences et Techniques de Settat, Laboratoire d'Agroalimentaire et Santé, sous la direction du **Professeur FAKIRI Malika**.
- Institut National de la Recherche Agronomique - Centre Régional de la Recherche Agronomique de Settat, Laboratoire d'agronomie & d'écophysiologie, Unité de Recherche « Gestion durable des ressources naturelles » sous la responsabilité du **Docteur EL MZOURI El Houssine**.
- Université Sultan Moulay Slimane - Faculté Polydisciplinaire de Beni Mellal, Laboratoire Polyvalent en Recherche et Développement à la Faculté Polydisciplinaire de Béni Mellal, Unité de Recherche « Ecologie, Santé et Environnement » sous la co-direction du **Professeur ABBAS Younes**.

## DEDICACE

*Toutes les lettres ne sauront trouver les mots qu'il  
faut ....*

*Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude,  
l'amour, le respect, la reconnaissance.*

*Aussi, c'est tout simplement que :*



*Je dédie cette thèse ...*

# *A "Allah"*

*Tout puissant*

*Qui m'a inspiré et m'a guidé dans le bon chemin Je  
vous dois ce que je suis devenue et ce que je serai*

*Louanges et remerciements Pour votre clémence  
miséricorde*





## *A Ma Très Chère Mère*

### *"CHERKANI HASSANI Touria"*

*A cette femme qui m'a mise au monde, qui m'a accompagnée pendant toutes ces années, qui a été, qui est et qui restera toujours là pour nous : à partager nos peines, nos souffrances et nos joies ;*

*Cette femme, la plus adorable de toutes les femmes, la source de mon bonheur,*

*Merci pour t'être sacrifiée pour que nous grandissions et pour que nous soyons ce que nous sommes devenus : tes enfants.*

*Merci, de nous supporter, de me supporter pendant mes moments difficiles*

*Merci tout simplement d'être ma mère, ma copine et ma sœur Merci dieu de m'avoir offert ce cadeau : être le garçon de cette magnifique femme, Je ne saurai exprimer mon amour pour toi Mais tout simplement je t'aime maman*

*Puisse Allah, tout puissant, te préserver et t'accorder la santé, Que du bonheur.*



***A Mon Très Cher Père***  
***"MABROUK Noure-eddine"***

*Cet Homme qui est gentil, adorable, présent, grand, magnifique, Cet Homme qui nous a donné la meilleure éducation que nous ne puissions recevoir ailleurs,*

*Papa, tu es la définition du vrai Homme.*

*Papa, aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime et le respect que j'ai toujours eu pour toi*

*Tu n'as jamais cessé de nous encourager, de m'encourager, tout au long de ces années d'études, et surtout aux moments les plus pénibles.*

*Rien au monde ne vaut l'effort fournis pour nous, nous t'aimons papa, tu es exceptionnel, unique au monde*

*Merci d'être mon papa*

*Je t'aime, je te dédie ce travail comme preuve de reconnaissance, j'espère être source de ta fierté.*

*Qu'Allah te protège, et te prête longue vie.*



## ***A Ma Très Chère Sœur "SARA" Et Mon Très Cher Frère "AYMAN "***

*En témoignage de toute l'affection et des profonds sentiments d'amour  
que je vous porte et de l'attachement qui nous unit.*

*Je vous dédie ce travail en témoignage de mon amour pour vous.*

*Je ne pourrais d'aucune manière exprimer ma profonde affection et mon  
immense gratitude, votre soutien et vos encouragements ont été pour  
moi une source de confiance et de patience.*

*J'implore DIEU qu'il vous apporte bonheur, amour et que vos rêves se  
réalisent.*

## ***A Ma Chère Epouse***

***"ZAKIA "***

*A la fleur de ma vie.*

*Ton amour est un don du dieu.*

*Aucune dédicace, aussi expressive qu'elle soit, ne saurait exprimer la  
profondeur de mes sentiments et l'estime que j'ai pour toi.*

*Dans tes yeux, j'ai toujours pu lire de la tendresse, tu es une étoile dans  
ma vie.*

*Tu m'as toujours soutenu, compris et réconforté tu es et restera toujours  
ma source d'inspiration.*

*Merci pour ta tendresse, ton attention, ta patience et tes  
encouragements ; Merci pour tout.*

*Puisse Dieu nous préserver du mal, nous combler de santé, de bonheur et  
nous procurer une longue vie pour le service de Dieu*

## ***A Ma Petite Perle***

***" LILIA "***

*Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut...*

*Tous les mots ne sauraient exprimer l'amour....*

*Bref, tu es la joie de ma vie.*

*J'espère que ma thèse sera pour toi source de fierté et qu'elle sera un exemple à suivre.*

*Ta joie de vivre et ton sourire ont été pour moi le meilleur encouragement que je puisse avoir.*

*Que Dieu te garde et te protège.*

## ***A Mon Petit Neveu***

***" JAD "***

*Tu es un rayon de soleil, une petite joie qui vient caresser mon cœur un bonheur ...*

*J'espère que tu seras fière de ton oncle, je t'aime beaucoup*

*Que dieu te protège.*

## ***A Toute Ma Famille***

*Votre soutien, votre amour et vos encouragements ont été pour moi d'un grand réconfort.*

*Veillez trouver dans ce travail, l'expression de mon amour et mon affection indéfectible.*

*Qu'ALLAH vous protège et vous accorde santé, bonheur et prospérité.*

*A Mes Très Chers Amis Et Frères*

*"ABBAS Younes",*

*"EL GOUMI Younes"*

*ET*

*"EL KHARRASSI Youssef"*

*Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection et mes pensées,*

*Vous m'avez toujours fait preuve d'amour et d'affection, vous êtes toujours présents dans mon esprit et dans mon cœur.*

*Je vous remercie pour votre soutien continu, votre temps, vos conseils précieux, ...*

*Vous êtes pour moi plus que des amis, vous êtes des frères sur qui je peux compter.*

*Et témoignage de l'amitié qui nous unis et des souvenirs de tous les moments que nous avons passés ensemble, je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur, à vous ainsi qu'à vos familles.*

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier,

Madame le **Professeur FAKIRI Malika**, ma directrice de thèse, pour son soutien, son encadrement, son enthousiasme communicatif et sa confiance. Nous avons eu le privilège de travailler sous votre direction durant cette thèse, nous avons eu la chance d'être parmi vos étudiants et de profiter de votre enseignement de qualité. Je suis également reconnaissant de votre aide scientifique et administratif, de vos conseils et de la patience que vous m'avait accordé tout au long de ce travail. Je vous remercie également pour votre amitié et votre respect envers les doctorants. C'est l'occasion de vous exprimer la considération et le profond respect que nous portons à votre égard. Nous vous remercions pour l'honneur que vous nous faites en ayant accepté de diriger ce modeste travail.

Veillez y trouver chère **Professeur FAKIRI Malika**, l'assurance de notre gratitude, notre estime et nos remerciements les plus sincères.

\*\*\*\*\*

Monsieur le **Docteur El Houssine El Mzouri**, Initiateur de cette thématique, pour son accueil chaleureux, nous avons pu, au cours de la période passée à l'INRA-CRRA de Settat, apprécier vos qualités humaines, votre savoir-faire et vos compétences scientifiques. Les conseils fructueux que vous nous avez prodigué ont été très précieux, nous vous en remercions. Votre bonté, votre modestie, votre compréhension, ainsi que vos qualités professionnelles ne peuvent que susciter notre grande estime et profond respect, Vous nous avez toujours réservé le meilleur accueil, malgré vos obligations professionnelles.

Veillez trouver ici, cher **Docteur El Houssine El Mzouri**, l'assurance de notre reconnaissance et notre profonde admiration.

\*\*\*\*\*

Monsieur le **Professeur ABBAS Younes**, pour son co-encadrement, nous avons eu la chance et le privilège de travailler sous votre co-direction, de profiter de votre culture scientifique, vos compétences professionnelles incontestables ainsi que vos qualités humaines qui vous valent l'admiration et le respect. Votre probité au travail et votre dynamisme, votre sens de responsabilité nous ont toujours impressionnés et sont pour nous un idéal à atteindre, votre charisme et vos qualités humaines font de vous un grand professeur et nous inspirent une grande admiration et un profond respect. Puissent des générations et des générations avoir la chance de profiter de votre savoir qui n'a d'égal que votre sagesse et votre bonté.

Permettez-moi, Cher **Pr Abbas Younes**, vous exprimer mon profond respect et ma sincère gratitude.

\*\*\*\*\*

Monsieur le **Professeur EL GOUMI Younes**, pour l'aide inconditionnelle que vous m'avez apporté, et pour votre précieuse participation à la réalisation et l'élaboration de cette thèse. Nous avons eu le privilège de travailler sous votre assistance au laboratoire d'agroalimentaire et santé, et avons trouvé auprès de vous le frère, le guide et le conseiller qui nous a reçu en toutes circonstances avec sympathie, sourire et bienveillance. Nous vous remercions pour votre aide, et pour vos précieux conseils. Notre gratitude est grande pour le soutien que vous nous avez apporté.

Veillez trouver dans ce travail, cher **Pr EL GOUMI Younes**, le témoignage de mon profond respect et de ma gratitude.

\*\*\*\*\*

Monsieur **ETTAQY Abderrahim**, Nous vous remercions pour votre estimable participation et assistance dans l'élaboration de la partie SIG et télédétection.

Nous sommes très sensibles à votre gentillesse et votre accueil très aimable. Permettez-moi de vous exprimer mon admiration pour vos qualités humaines et professionnelles.

Veillez trouver ici, cher Monsieur **ETTAQY Abderrahim** l'expression de notre grand respect et nos vifs remerciements.

\*\*\*\*\*

Monsieur le **Professeur BOUDERRAH Mohamed**, pour ses conseils, surtout dans le volet biotechnologie végétale. Nous avons eu l'honneur de profiter de vos connaissances scientifiques et techniques dans le domaine.

Veillez trouver ici, **Pr BOUDERRAH Mohamed**, l'expression de notre haute considération et notre profond respect.

\*\*\*\*\*

Je tiens à remercier les membres de jury,

Monsieur le Professeur **NASSER Boubker**, Vice-Doyen chargé de la Recherche Scientifique, et Relations Extérieures à Faculté des Sciences et Techniques de **Settat**, que nous remercions pour l'honneur que vous nous faites en ayant accepté de présider et de juger notre modeste travail de thèse.

\*\*\*\*\*

Monsieur le Professeur **SMOUNI Abdelaziz**, à la Faculté des Sciences Faculté des Sciences de **Rabat**, pour l'honneur que vous nous faites en ayant accepté de bien vouloir lire et évaluer ce travail. Qu'il soit assuré de notre profonde reconnaissance.

\*\*\*\*\*

*Monsieur le Professeur **BOULLI Abdelali**, à la Faculté des Sciences et techniques de **Béni Mellal**, pour l'honneur que vous nous faites en ayant accepté de bien vouloir lire et évaluer ce travail. Qu'il soit assuré de notre profonde reconnaissance.*

\*\*\*\*\*

*Madame le Professeur **LAMSAOURI Ouafa**, à Faculté des Sciences et Techniques de **Settat**, pour l'honneur que vous nous faites en ayant accepté de bien vouloir lire et évaluer ce travail. Qu'il soit assuré de notre profonde reconnaissance.*

\*\*\*\*\*

*Madame le Professeur **HOUMAIRI Hafsa**, à Faculté des Sciences et Techniques de **Settat**, pour l'honneur que vous nous faites en ayant accepté de bien vouloir lire et examiner ce travail. Qu'il soit assuré de notre profonde reconnaissance.*



## RESUME

Le figuier de Barbarie (*Opuntia* Spp.) est un produit du terroir de premier choix dans les zones semi-aride, aride et saharien. La culture de cette plante s'est multipliée significativement surtout dans le cadre du Plan Maroc Vert et le Plan National de lutte Contre la désertification où la filière est devenue un véritable levier de développement économique au Maroc. Cependant, l'avènement de la cochenille a cessé sa prospérité et la ressource connaît actuellement un recul considérable qui tend vers son extinction totale si aucune mesure n'est entreprise. Dans cette perspective, partagée entre l'existant et le souci de perte d'un pool génétique fort intéressant, on s'est fixé les objectifs d'approfondir les connaissances agro-phénologique sur le genre *Opuntia* planté au cactétum Ain Nzagh, de déduire l'ampleur des dégâts causés par la cochenille via une étude diachronique de l'occupation des sols par le cactus dans la région de Rahamna, et de mettre ensuite l'accent sur les biotechnologies innovantes susceptibles d'assurer la préservation de cette ressource.

Nos résultats, ont différenciés deux espèces, parmi les sept du cactétum, très productives en bourgeons indéterminés, végétatifs et fructifères : l'écotype K2 d'*Opuntia megacantha* (OM) et l'écotype I2 d'*Opuntia ficus indica* (OFI). En biomasse, l'écotype 742 (OFI) a révélé une production très remarquable par rapport aux autres, avec une moyenne par raquette de 1781,37 (g) de MV et 151,27 (g) de MS.

L'étude diachronique de l'occupation des sols par le cactus dans la région de Rhamna, a ressorti que la superficie de 23.326 Ha qui a été réellement plantée par les cactus en 2014 sur toutes les communes territoriales (23 communes), a régressé presque 100 fois à cause de la cochenille, ne laissant que des reliques de 240 Ha en 2020 réparties sur dix communes territoriales, soit une perte annuelle de production estimée à 230.590.000 MAD.

La troisième partie a fait l'objet de micropropagation du cactus, et a montré que l'explant avec aréoles et glochides intacts traité avec 4,23%  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ , 0,4% Tween 20 pour une durée de 10 min garantie une culture saine et une viabilité des tissus. A travers la culture primaire et de son optimisation, nous avons conclu que le meilleur taux de débourrement est obtenu en période de printemps-été chez l'espèce OFI sur milieu additionné de 0,4 mg/L d'ANA et 4,5 mg/L de BAP, tandis que chez l'espèce OM, une combinaison de 0,8 mg/L ANA et 5 mg/L BAP semble plus favorable. Le géotropisme d'explants (apicale, centrale et basale) a dévoilé son importance dans la multiplication surtout pour la qualité d'enracinement. L'ajout de l'hormone, a permis aussi d'accroître le coefficient de multiplication global, puisqu'il a passé à 9,67 et 8,5 respectivement pour OFI et OM. Finalement à l'étape de d'acclimatation le substrat composé de 1/5 terreau forestier, 1/5 sable, 3/5 sol de la région, combiné à une aspersion hydrique seule, a permis une reprise de 100% des plantules « mini-raquettes ».

En conclusion, l'aspect phénologie a fait ressortir les meilleurs écotypes en termes de production de fruit et de raquettes, ainsi que ceux disposant d'une biomasse intéressante, permettant de les considérer comme un choix approprié dans les programmes de réimplantation de l'espèce. Les techniques SIG et télédétection ont dévoilé la réalité sur le terrain et peuvent aider à la prise de décision en matière de revégétalisation par cette espèce dans la région de Rhamna. La mise en œuvre de la micropropagation avec l'originalité de notre étude a montré son utilité et son efficacité pour la conservation et la multiplication à grand échelle à des fins de restauration.

**Mots clés :** *Opuntia* spp, bourgeons végétatifs, bourgeons fructifères, biomasse, désinfection, micropropagation, nécrose, ANA / BAP, plan expérimentale, SIG et télédétection.

## ABSTRACT

The prickly pear (*Opuntia* spp.) Is a first-choice local product in semi-arid, arid and Saharan areas. The cultivation of this plant has increased significantly, especially during the Green Morocco Plan and the National Plan to Combat Desertification, the cactus sector has therefore become a real lever in Morocco. However, with the advent of the cochineal, the cactus is currently experiencing a considerable decline which tends towards its total extinction if no action is taken. In this perspective, shared between the existing and the concern for the loss of a very interesting genetic pool, we have set ourselves the objectives of deepening our knowledge on the genus *Opuntia* in Morocco. By characterizing, over 6 years, the agro-phenological tracing and its performance under the same biogeographical conditions (Ain Nzagh cactetum), Then, deduce the extent of the damage caused by the cochineal via a diachronic study of land use by the cactus in Rhamna Region. Finally, focus on innovative biotechnologies likely to ensure the preservation of this resource.

In terms of production, two species stood out among the seven of the cactetum, the K2 ecotype belonging to *Opuntia megacantha* (*OM*), showed exceptional prolificacy in the production of indeterminate, vegetative and fruiting buds; followed by ecotype I2 belonging to *Opuntia ficus indica* (*OFI*), while ecotype 752 (*OFI*) produced the highest bud death rate. On the other hand, ecotype 742 (*OFI*) showed very remarkable biomass production compared to other ecotypes, with an average of 1781.37 (g) FM and 151.27 (g) DM per racket.

The diachronic study of land use by cacti in the Rhamna region revealed that the area of 23.326 Ha that was actually planted by cacti in 2014 in all the territorial municipalities (23 municipalities) fell to 240 Ha in 2020 planted only in ten territorial municipalities, because of the devastation of the cochineal, an annual production loss estimated at 230.590.000 MAD.

The third part involved micropropagation of the cactus, and showed that the explant with intact areolas and glochids treated with 4.23%  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ , 0.4% Tween 20 for a duration of 10 min guaranteed a healthy culture and tissue viability. Through primary culture and its optimization, we concluded that the best bud break rate is obtained in spring-summer period in *OFI* species on medium supplemented with 0.4 mg/L ANA and 4.5 mg/L BAP, while in *OM* species, a combination of 0.8 mg/L ANA and 5 mg/L BAP seems more favorable. The geotropism of explants (apical, central and basal) revealed its importance in multiplication especially for rooting quality. The addition of the hormone also increased the overall multiplication coefficient to 9.67 and 8.5 respectively for *OFI* and *OM*. Finally, at the acclimatization stage, the substrate composed of 1/5 forest potting soil, 1/5 sand, 3/5 local soil, combined with water sprinkling alone, allowed a 100% recovery of the "mini-rackets" plantlets.

In conclusion, the phenological aspect brought out the best ecotypes in terms of fruit and cladodes production, as well as those with an interesting biomass, allowing them to be considered as an appropriate choice in the reimplantation programs of the species. SIG and teledetection techniques represent a tool for reflection and decision-making in matters of revegetation by this species in the Rhamna region. The implementation of micropropagation with the originality of our study has shown its usefulness and effectiveness for the conservation and multiplication on a large scale for restoration purposes.

**Keywords:** *Opuntia* spp, vegetative buds, fruiting buds, biomass, disinfection, micropropagation, necrosis, ANA / BAP, experimental design, SIG and teledetection.

## ملخص

نبات الصبار (*Opuntia spp.*) هو الخيار الأول للمنتج المحلي في المناطق شبه القاحلة والقاحلة والصحراء. لقد ازدادت زراعة هذا النبات بشكل ملحوظ، لا سيما في إطار مخطط المغرب الأخضر والخطة الوطنية لمكافحة التصحر، وبالتالي أصبح قطاعه رافعة حقيقية في المغرب. ومع ذلك، توقف ظهور القرمزية عن ازدهارها، ويشهد المورد حاليًا انخفاضًا كبيرًا يميل نحو الانقراض التام إذا لم يتم اتخاذ أي إجراء. في هذا المنظور، المشترك بين الموجود والاهتمام بفقدان مجموعة وراثية مثيرة للاهتمام للغاية، وضعنا لأنفسنا أهدافًا لتعميق معرفتنا بجنس *Opuntia* في المغرب. من خلال توصيف، أكثر من 6 سنوات، التتبع الزراعي الفينولوجي وأدائه في ظل نفس الظروف الجغرافية والمناخية (الموقع التجريبي لعين نزع)، ثم استنتاج مدى الضرر الناجم عن القرمزي من خلال دراسة غير مترامنة في المنطقة رحامنة. أخيرًا، سلط الضوء على التقنيات الحيوية المبتكرة التي من المحتمل أن تضمن الحفاظ على هذا المورد.

من حيث الإنتاج، برز نوعان من بين الأنواع السبعة من نبات الصبار، K2 المنتمين إلى (*Opuntia megacantha* (OM) أظهروا إنتاجًا استثنائيًا في إنتاج البراعم غير المحددة، البراعم النباتية والبراعم التمرية؛ يليه I2 الذي ينتمي إلى (OFI) *Opuntia Ficus indica*، بينما أنتج 752 (OFI) أعلى معدل وفيات للبراعم. من ناحية أخرى، أظهر 742 (OFI) إنتاجًا رائعًا للكتلة الحيوية مقارنة بأنواع الصبار الأخرى، بمتوسط 1781.37 (جم) MV و 151.27 (جم) MS لكل مضرب.

كشفت الدراسة المترامنة لاستخدامات الصبار في منطقة الرحامنة، أن مساحة 23326 هكتار والتي تم زرعها فعليًا بالصبار في عام 2014 في جميع الجماعات الإقليمية (23 جماعة)، انخفضت إلى 240 هكتار في 2020 موزعة فقط على عشر جماعات إقليمية معنية بظهور القرمزية، بخسارة إنتاجية سنوية تقدر بـ 230.590.000 درهم.

الجزء الثالث كان موضوع الزراعة المخبرية للصبار، قد لوحظ أن هذه التقنية تعتمد في البداية على خطوة التطهير للنبات، ولكن تعتمد أيضًا على التركيب الوراثي والموسم والتوليفات الهرمونية. أظهرت النتائج أن النبات الذي يحتوي على هالات مع كريات سليمة تمت معالجتها بنسبة 2% 4.23 (Ca (ClO)، و 0.4% Tween 20 لمدة 10 دقائق يضمن صحة وحيوية الأنسجة. من خلال الاستزراع الأولي وتحسينه، تم التوصل إلى أن أفضل معدل للتبرعم يتم الحصول عليه في فترة الربيع والصفيف لأنواع OFI من خلال تطبيق التركيبة الهرمونية من 0.4 ملجم / لتر من ANA و 4.5 ملجم / لتر من BAP، بينما بالنسبة لـ OM يعتبر توليفة من 0.8 ملجم / لتر من ANA و 5 ملجم / لتر من BAP مواتية. في مرحلة التقسيم الفرعي، ومع التركيبة التقديرية المثلى، كشفت الأجزاء المستأصلة (قمي، مركزي، قاعدي) أهميتها في مرحلة التقسيم الفرعي، خاصة بالنسبة لجودة التجذير، والتي ثبت أن الجزء القمي منها أكثر ملاءمة للتجذير من الأجزاء الأخرى. أدت إضافة الهرمون أيضًا إلى زيادة معامل الضرب الكلي إلى 9،67 و 8،5 على التوالي لـ OFI و OM. بالنسبة لمرحلة التأقلم، فإن الخليط المكون من 5/1 تربة حرجية، و 5/1 رمل، و 5/3 تربة من المنطقة، بالإضافة إلى رش الماء فقط، سمح باستعادة 100% من الشتلات "الصبار الصغير".

في الختام، أظهر الجانب الفينولوجي أفضل أنواع الصبار من حيث إنتاج الفاكهة والكلادود، بالإضافة إلى تلك التي تحتوي على كتلة حيوية مثيرة للاهتمام، مما سمح لها باعتبارها خيارًا مناسبًا في برامج إعادة زرع الأنواع. وتشكل تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد أداة للتفكير واتخاذ القرار في مسائل إعادة الغطاء النباتي من قبل هذا النوع في منطقة رهامنا. أظهر تنفيذ التكاثر الدقيق أصالة دراستنا وفائدتها وفعاليتها في الحفظ والتربية على نطاق واسع لأغراض استعادة الموارد.

**الكلمات المفتاح:** *Opuntia spp.*، البراعم النباتية، البراعم التمرية، الكتلة الحيوية، التطهير، التكاثر الدقيق، النخر، ANA / BAP، التصميم التجريبي، النظام الخرائطي والاستشعار عن بعد.

## TABLE DES MATIERES

<b>AVANT-PROPOS</b> .....	<b>I</b>
<b>DEDICACE</b> .....	<b>II</b>
<b>REMERCIEMENTS</b> .....	<b>IX</b>
<b>RESUME</b> .....	<b>XII</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>XIII</b>
<b>ملخص</b> .....	<b>XIV</b>
<b>TABLE DES MATIERES</b> .....	<b>XV</b>
<b>PUBLICACTIONS</b> .....	<b>XXIII</b>
<b>COMMUNICATIONS ORALES</b> .....	<b>XXIV</b>
<b>COMMUNICATIONS AFFICHEES</b> .....	<b>XXV</b>
<b>LISTE DES ABREVIATIONS</b> .....	<b>XXVIII</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>XXIX</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>XXXIV</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	<b>1</b>
<b>REVUE BIBLIOGRAPHIQUE</b> .....	<b>4</b>
<b>CHAPITRE 1 : Phénologie et biomasse</b> .....	<b>5</b>
1 Le Cactus ( <i>Opuntia Spp</i> ) :.....	5
1.1 Classification systématique et Nomenclature :.....	7
1.2 Morphologie et anatomie des <i>platyopuntiae</i> :.....	7
1.2.1 Système Racinaire :.....	7
1.2.2 Les raquettes ou cladodes :.....	8
1.2.3 Les feuilles : .....	9
1.2.4 Aréoles : .....	9
1.2.5 Glochides et Epines .....	10
1.2.6 Les fleurs .....	10
1.2.7 Le fruit :.....	11
1.3 Métabolisme et physiologie de la plante :.....	11
1.3.1 Nombre de chromosomes :.....	12
1.4 Facteurs biotiques :.....	13
1.5 Exigence écologique du cactus :.....	13
1.5.1 L’aptitude des sols à la culture du cactus :.....	13
1.5.2 La température :.....	14
1.5.3 Précipitations et irrigation : .....	14
1.6 Phénologie du cactus <i>Opuntia</i> :.....	15
1.7 Utilisation du figuier de barbarie :.....	17

1.7.1	Pour le bétail :.....	17
1.7.1.1	Evaluation de la valeur nutritionnelle du cactus :.....	17
1.7.1.2	Systèmes de production de fourrage basés sur les cactus :.....	18
1.7.2	Pour les humains : .....	20
1.7.2.1	Production de fruits : .....	20
1.7.2.2	Production de légume (jeunes cladodes) :.....	20
1.7.2.3	Produits agro-alimentaires :.....	21
1.7.2.3.1	Huile de cactus ( <i>Opuntia Spp</i> ) : .....	21
1.7.2.4	Produits cosmétiques et pharmaceutiques : .....	21
1.7.2.4.1	Rôle et importance des différentes parties de la plante : .....	21
1.7.2.4.2	Evaluation des molécules bioactives d'intérêt dans les différentes parties de la plante : .....	22
1.7.2.4.2.1	Les Vitamines :.....	22
1.7.2.4.2.2	Les acides aminés :.....	23
1.7.2.4.2.3	Les composés phénoliques :.....	23
1.7.2.4.2.4	Les phytostérols : .....	23
1.7.2.4.2.5	Les composés minéraux :.....	23
1.7.2.4.2.6	Les acides gras : .....	24
1.7.3	Les cochenilles ( <i>Dactylopius Spp.</i> ) :.....	24
1.7.3.1	Biologie des cochenilles :.....	24
1.7.3.1.1	Dimorphisme sexuel des cochenilles : .....	24
1.7.3.1.2	Cycle de vie et méthodes d'élevage des cochenilles :.....	24
1.7.3.2	Ecologie des cochenilles : .....	25
1.7.4	Rôle agro-écologiques du cactus :.....	26
1.8	Pratiques de production du cactus :.....	27
1.8.1	Nutrition de la culture :.....	27
1.8.2	Irrigation de la culture : .....	28
<b>CHAPITRE 2 : Télédétection et SIG .....</b>		<b>29</b>
<b>1 Contribution de la Télédétection et SIG dans l'étude et l'évolution spatiotemporelle du couvert végétal à base de peuplements de cactus dans la Région de Rhamna :.....</b>		<b>29</b>
1.1	Détection des changements et évaluation de la dynamique : .....	31
1.1.1	Détection des changements : .....	31
1.1.2	Méthodes d'évaluation de la dynamique de la végétation :.....	32
1.2	Processus d'extraction d'informations à partir des données satellites :.....	32
1.2.1	Image, trait et carte thématique : .....	32
1.2.2	Interprétation visuelle d'image : .....	32
1.2.2.1	Principes de base : .....	32
1.2.2.2	Méthodes d'interprétation :.....	33

1.2.2.3	Paramètres de l'image :.....	34
1.2.2.3.1	La valeur :.....	34
1.2.2.3.2	La couleur :.....	34
1.2.2.3.3	La texture : .....	34
1.2.2.3.4	La structure :.....	34
1.2.2.3.5	La forme :.....	34
1.2.2.3.6	La taille :.....	34
1.2.2.3.7	L'ombre :.....	35
1.2.2.3.8	La parallaxe :.....	35
1.2.2.3.9	Les Phénomènes temporels : .....	35
1.2.3	L'interprétation d'image assistée par ordinateur :.....	35
1.2.3.1	Principes de base : .....	35
1.2.3.2	Prétraitement d'image :.....	36
1.2.3.2.1	Corrections radiométriques : .....	36
1.2.3.2.2	Corrections géométriques (généralités) :.....	36
1.2.3.3	Accentuation d'image : .....	36
1.2.3.3.1	Accentuation de contraste : .....	37
1.2.3.3.2	Accentuation spatiale : .....	37
1.2.3.3.3	Combinaisons arithmétiques (ratio et différence) : .....	37
1.2.3.3.4	Transformation spectrale (rotation) :.....	37
1.2.3.4	Classification des images : .....	37
1.2.3.4.1	Choix d'une classification : .....	37
1.2.3.4.2	La classification : .....	38
1.2.3.4.3	Produits de sortie des classifications :.....	38
<b>CHAPITRE 3 : Biotechnologie végétale .....</b>		<b>39</b>
1	<i>Multiplication végétative des Opuntias</i> :.....	<b>39</b>
2	<i>La micropropagation des cactus</i> :.....	<b>40</b>
2.1	Avantages liés à la micropropagation des cactus : .....	41
2.1.1	La stabilité génétique :.....	41
2.1.2	Production <i>in vitro</i> de métabolites :.....	41
2.2	Problèmes liés à la micropropagation des cactus : .....	42
2.3	Micropropagation par bourgeons axillaires (activation des aréoles) :.....	43
2.3.1	Effet du milieu de culture :.....	44
2.3.1.1	Composition du milieu de culture : .....	44
2.3.1.2	Les régulateurs de croissance : .....	45
2.3.1.3	La source de carbone (sucres) : .....	46
2.3.1.4	Les antioxydants du milieu de culture :.....	46
2.3.2	Effet de l'explant :.....	47

2.3.2.1	L'âge du tissu végétal : .....	47
2.3.2.2	La saison du prélèvement : .....	47
2.3.2.3	La taille de l'explant : .....	47
2.3.2.4	Effet du type d'explants : .....	48
2.3.2.5	Effet du génotype : .....	48
2.3.3	Effet de la lumière et de l'obscurité (photopériode) : .....	48
2.3.4	Enracinement (rhizogenèse) : .....	49
2.3.5	Acclimatation : .....	49
<b>MATERIEL ET METHODES.....</b>		<b>51</b>
<b>1 Caractérisation phénologique et agronomique du germoplasme végétal national de cactus genre Opuntia Spp : .....</b>		<b>53</b>
1.1	Description du site expérimental : .....	53
1.2	Description biophysique du milieu de la parcelle expérimentale : .....	53
1.2.1	Le climat : .....	53
1.2.2	Le sol : .....	54
1.2.3	La végétation : .....	54
1.3	Le matériel végétal : origine et conduite technique : .....	54
1.3.1	Origine géographique : .....	54
1.3.2	Conduite technique de la culture : .....	55
1.4	Etude phénologique des écotypes de cactus issue de différentes régions du Maroc : .....	56
1.4.1	Collecte des données phénologiques : .....	56
1.4.2	Mesures des paramètres phénologiques (Observations et échantillonnage) : .....	57
1.4.3	La croissance et le développement de bourgeons végétatifs (nouvelles raquettes) : .....	59
1.4.4	Croissance et Développement de bourgeons fructifère (nouveau fruit) : .....	60
1.5	Caractérisation agronomique des écotypes de cactus : .....	61
1.5.1	Mesure de la plante entière : .....	61
1.5.2	Mesure agronomique des raquettes de cactus : .....	61
1.5.3	Mesures destructives des raquettes de cactus : .....	62
1.6	Analyses statistiques : .....	63
<b>2 Contribution de la télédétection spatiale et des SIG dans l'étude et l'évolution spatiotemporelle des plantations de cactus dans la Région de Rhamna : .....</b>		<b>64</b>
2.1	Justificatif de l'approche méthodologique : .....	64
2.1.1	Choix de la technique d'extraction de l'information à partir des données satellitaires .....	64
2.2	Choix de la zone d'étude : .....	65
2.3	Description de la zone d'étude : .....	65
2.3.1	La monographie de la province de Rhamna : .....	65
2.3.1.1	La Situation géographique : .....	65
2.3.2	Les Données Démographiques : .....	66



2.3.3	Le climat :.....	66
2.3.4	Le sol :.....	67
2.3.5	L'agriculture :.....	67
2.3.5.1	Le cactus dans la province de Rhamna :.....	68
2.4	Les Outils et données utilisés :.....	68
2.4.1	Données de base :.....	68
2.4.2	Les outils utilisés :.....	69
2.4.2.1	ArcGis :.....	69
2.4.2.2	Google Earth :.....	70
2.5	Approche méthodologique :.....	70
<b>3</b>	<b><i>Multiplication in vitro d'Opuntia spp (Micropropagation) :.....</i></b>	<b>75</b>
3.1	Le Matériel végétal et choix de l'explant :.....	75
3.2	Prélèvement des échantillons :.....	75
3.3	La culture Primaire :.....	76
3.3.1	Stérilisation du matériel de laboratoire à utiliser :.....	76
3.3.2	Préparation de l'explant :.....	76
3.3.2.1	Choix du type d'explant :.....	76
3.3.2.2	Méthode de désinfection des raquettes de cactus :.....	77
3.3.3	Préparation du milieu nutritif :.....	78
3.3.4	Les combinaisons hormonales :.....	79
3.3.4.1	Culture primaire :.....	79
3.3.4.2	Culture primaire optimisée :.....	80
3.3.4.3	Multiplication (subculture 1) :.....	80
3.4	Mise en culture des explants :.....	80
3.4.1	Culture primaire et primaire optimisée :.....	80
3.4.2	Multiplication (subculture 1) :.....	81
3.5	Incubation des explants :.....	82
3.6	Enracinement des pousses :.....	84
3.6.1	Culture primaire :.....	84
3.6.2	Multiplication (subculture 1) :.....	84
3.7	Acclimatation et sevrage :.....	84
3.8	Données et Analyses statistiques :.....	89
	<b><i>RESULTATS ET DISCUSSION.....</i></b>	<b>91</b>
<b>1</b>	<b><i>Caractérisation phénologique et agronomique du germoplasme végétal national de cactus genre Opuntia Spp :.....</i></b>	<b>92</b>
1.1	Conditions Climatiques sur 6 ans de plantation :.....	92
1.2	Etude du comportement phénologique des écotypes de cactus sur 6 année de plantation .....	94
1.2.1	Production en bourgeons des cactus genre <i>Opuntia</i> sur 6 année de plantation :.....	94



1.2.2	Retraçage de l'évolution de production phénologique en taux de bourgeons végétatifs, fructifère et mort pour tous génotypes confondus du cactus genre <i>Opuntia</i> sur 6 ans de plantation :	95
1.2.3	Retraçage de l'évolution de production phénologique en taux de bourgeons végétatifs, fructifères et morts chez les 7 espèces d' <i>Opuntia</i> sur 6 ans de plantation :	101
1.2.4	Production phénologique en bourgeons végétatifs, fructifère et mort chez les écotypes de cactus genre <i>Opuntia</i> en 1 <sup>ère</sup> année de plantation :	105
1.2.5	Production phénologique moyenne en bourgeons végétatifs, fructifère et mort chez les écotypes de cactus genre <i>Opuntia</i> en 2 <sup>ème</sup> année de plantation :	107
1.2.6	Production phénologique moyenne en bourgeons végétatifs, fructifère et mort chez les écotypes de cactus genre <i>Opuntia</i> en 3 <sup>ème</sup> année de plantation :	109
1.2.7	Production phénologique moyenne en bourgeons végétatifs, fructifère et mort chez les écotypes de cactus genre <i>Opuntia</i> en 4 <sup>ème</sup> année de plantation :	111
1.2.8	Production phénologique moyenne en bourgeons végétatifs, fructifère et mort chez les écotypes de cactus genre <i>Opuntia</i> en 5 <sup>ème</sup> année de plantation :	113
1.2.9	Production phénologique moyenne en bourgeons végétatifs, fructifère et mort chez les écotypes de cactus genre <i>Opuntia</i> en 6 <sup>ème</sup> année de plantation :	115
1.2.10	Evolution des bourgeons végétatifs chez les 7 espèces de cactus genre <i>Opuntia</i> :	117
1.2.11	Evolution des bourgeons fructifères chez les 7 espèces de cactus genre <i>Opuntia</i> :	118
1.3	Etude de la production en biomasse des écotypes de cactus genre <i>Opuntia</i> :	119
1.3.1	Production en matière verte et matière sèche pour les différents écotypes de cactus genre <i>Opuntia</i> :	119
1.3.2	Relation entre les paramètres biométriques de la raquette et la production de matière verte et matière sèche :	121
1.3.2.1	Prédiction de la matière verte et matière sèche en fonction de la longueur de la raquette :	121
1.3.2.2	Prédiction de la matière verte et matière sèche en fonction de la largeur de la raquette :	123
1.3.2.3	Prédiction de la matière verte et matière sèche en fonction de la surface de la raquette :	125
1.3.2.4	Prédiction de la matière verte et matière sèche en fonction du volume de la raquette :	127
1.4	Discussion :	129
<b>2</b>	<b>Contribution de la Télédétection spatiale et des SIG dans l'étude et l'évolution spatiotemporelle des plantations de cactus dans la Région de Rhamna :</b>	<b>134</b>
2.1	Distribution des étendues de cactus en 2014 :	134
2.2	Réalisation de la carte de distribution des densités des étendues de cactus en 2014 :	137
2.3	Analyse des superficies de distribution des étendues de cactus en 2014 :	138
2.4	Analyse des superficies de distribution des étendues de cactus en 2014 dans les communes territoriales de la province de Rhamna :	138
2.5	Distribution des étendues de cactus en 2020 :	139
2.6	Réalisation de la carte de distribution des densités des étendues de cactus en 2020 :	142

2.7	Analyse des superficies de distribution des étendues de cactus en 2020 : .....	143
2.8	Analyse des superficies de distribution des étendues de cactus en 2020 dans les communes territoriales de la province de Rhamna :.....	143
2.9	Evolution des étendus à cactus entre l'année 2014 et 2020 (6 ans) : .....	144
2.10	Etat récapitulatif de l'évaluation de l'analyse des superficies de distribution des étendues de cactus par types de plantation et dans chaque commune territoriale entre 2014 et 2020 :.....	148
2.11	Discussion : .....	150
<b>3</b>	<b><i>Multiplication in vitro d'Opuntia Spp (Micropropagation)</i></b> :.....	<b>153</b>
3.1	Phase de désinfection : .....	153
3.1.1	Effet de la combinaison de désinfection :.....	153
3.1.1.1	Taux de réussite et de nécrose :.....	153
3.1.2	Effet du type d'explant :.....	155
3.1.2.1	Taux de réussite :.....	155
3.1.2.2	Taux de Nécrose :.....	156
3.1.3	Prédiction de la solution de désinfection optimale :.....	158
3.2	Phase de la culture primaire : .....	159
3.2.1	Le débourrement :.....	160
3.2.1.1	Effet de l'explant :.....	160
3.2.1.2	Effet de la combinaison hormonale :.....	161
3.2.2	La callogenèse .....	162
3.2.2.1	Effet explant : .....	162
3.2.2.2	Effet combinaison hormonale : .....	162
3.2.3	Prédiction de la combinaison hormonale optimale auxine / cytokinine :.....	163
3.3	Phase de la culture primaire optimisée :.....	164
3.3.1	Effet de la combinaison, de la saison et de l'espèce :.....	164
3.3.1.1	Taux de réussite et taux de callogenèse :.....	164
3.3.1.2	Le débourrement :.....	165
3.3.1.2.1	La combinaison hormonale :.....	165
3.3.1.2.2	La saison :.....	166
3.3.1.2.3	L'espèce : .....	167
3.4	Phase de subculture :.....	167
3.4.1	Effet de l'espèce, l'hormone et la partie d'explant :.....	167
3.4.1.1	La présence ou absence de l'hormone :.....	168
3.4.1.2	Les parties des explants :.....	168
3.4.1.3	Les espèces :.....	168
3.4.2	Le coefficient de multiplication : .....	168
3.5	Phase du sevrage : .....	170
3.5.1	Effet du substrat :.....	170

3.5.2	Effet du type d'irrigation .....	171
3.6	Discussion : .....	172
<b>CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....</b>		<b>178</b>
<b>ANNEXES .....</b>		<b>200</b>

## PUBLICATIONS

1. *Journal of Materials and Environmental Science (Scopus): Phenological characterization among Moroccan ecotypes of cactus (Opuntia spp.) under soil and climatic conditions of the Chaouia-Ouardigha region. Mabrouk Achraf, Abbas Younes, Fakiri Malika, Benchekroun Mounsif, El Kharrassi Youssef, El Antry Salwa, El Mzouri El Houssine., Journal of Materials and Environmental Science 7 (4) (2016) 1396-1405, If=1,21 Scopus, ISSN: 2028-2508*
2. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology (Taylor Francis): Flowering and fruiting phenology, and physico-chemical characteristics of 2-year-old plants of six species of Opuntia from eight regions of Morocco. Youssef El Kharrassi, Mouaad Amine Mazri, Achraf Mabrouk, El Houssine El Mzouri and Boubker Nasser. Journal of Horticultural Science & Biotechnology (2015) 90 (6) 682–688 (Accepted). IF= 0, 54. Taylor Francis.*
3. *Current Agriculture Research Journal (Scopus): Characterization of Genetic Diversity of Cactus Species (Opuntia Spp.) in Morocco by Morphological Traits and Molecular Markers. El Kharrassi Y, Mazri M. A, Sedra M. H, Mabrouk A., Nasser B, El Mzouri E. Curr Agri Res 2017;5(2).*
4. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration (Springer): Fluoride content in well waters for human and animal consumption with reported high incidence levels of endemic fluorosis in Beni Meskine (Morocco). Hanane Maadid, El Houssine El Mzouri, Achraf Mabrouk, Yahya Koulali. Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration -volume 2, Article number: 11 (2017)*
5. *International Journal of Advanced Research (IJAR) (thomson reuters): exploitation of local knowledge of farmers on fluorosis for mapping soil in Morocco western central: case of Béni Meskine, province of Settat.. Hanane Maadid, Yahya Koulali, Achraf Mabrouk, El Houssine El Mzouri, (Septembre, VOL 4 (2016).*
6. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences, (JMBFS) (Scopus): Optimization of prickly pear cacti (Opuntia spp.) micropropagation using an experimental design method. Mabrouk Achraf, Abbas Younes, El Goumi Younes, El Maaiden Ezzouhra, El Kharrassi Youssef, EL Antry-tazi Salwa, EL Mzouri El Houssine, Fakiri Malika. Journal of microbiology, biotechnology and food sciences, e1577-e1577(2021).*
7. *VEGETOS (Springer): Physicochemical, phytochemical and antioxidant properties of juice and seed oil of cactus pear Opuntia aequatorialis and Opuntia leucotricha. Youssef El Kharrassi, Ezzouhra El Maaidan, Abdelghani Chakhchar, Mouna Lamaoui, Thouria Bourhim, Achraf Mabrouk, Abdel Khalid Essamadi, Khadija Moustaid & Boubker Nasser. Vegetos volume 33, pages 682–689 (2020).*

## Articles en préparation :

1. *Evaluation agro-phénologique du cactus (Opuntia spp).*
2. *Evaluation spatiotemporelle des peuplements de cactus dans la région de Rhamna.*
3. *Effet de la saison sur la multiplication in vitro du cactus (Opuntia spp).*

## COMMUNICATIONS ORALES

1. *Phenological Characterization of Cactus Pear Species (Opuntia spp) Cultivated in Morocco. Balkan Agricultural Congress 8-11 Septembre 2014 Turquie Edirne. El Houssine El Mzouri, Youssef El Kharrassi, Meriem Yatim, Sanaa Tayaf, Achraf Mabrouk, Boubker Nasser.*
2. *Biochemical Characterization of Different Cactus Pear Accessions (Opuntia spp) from Different Regions of Morocco. 4th International Conference on Food Processing & Technology, London, UK August 10-12, 2015. Youssef El Kharrassi, Mouaad Amine Mazri, Achraf Mabrouk, Ettaybi Mohamed, Aminata Kane, El Houssine El Mzouri and Boubker Nasser.*
3. *« Caractérisation Botanique, Phénologique du Cactus et Agronomique du Cactus (Opuntia spp) Marocain » 7<sup>ème</sup> Journée Nationale du Cactus organisé à Benguerir du 17 au 18 décembre 2015. Mabrouk A., Abbas Y., El Kharrassi Y., Fakiri. M., El Mzouri E.*
4. *« Caractérisation Phénologique du Cactus (Opuntia spp) pour des fins médicinales et pharmaceutiques » 5-ème Assises de la Recherche Forestière sous le thème : Les Plantes Aromatiques et Médicinales face aux changements globaux : Réalités, Enjeux et Perspectives Organisé à Rabat du 28 au 30 Décembre 2015. ; Mabrouk A., Abbas Y., El Kharrassi Y., Fakiri. M., El Mzouri E.*
5. *« Système de Cultures Fourragères Intercalaires (Alley-Cropping) pour une Meilleure Adaptation aux Changements Climatiques et une Mise en Valeur Agricole Durable des Terres Agricoles » Pré-Cop 22 organisée par l'association Atlas Faculté des Sciences et Techniques de Beni Mellal, Université Sultan Moulay Slimane le 18 Octobre 2016. ; El Mzouri E., Mabrouk A., Maadid H., Alahiane K., Okbi B*
6. *« Caractérisation Botanique, Morpho-Agronomique, Phénologique et Chimique du Germoplasme du Cactus (Opuntia spp) Marocain » 8<sup>ème</sup> Journée Nationale du Cactus organisée à Benguerir le 29 décembre 2016. ; Mabrouk A., Abbas Y., El Kharrassi Y., Fakiri. M., El Mzouri E.*
7. *« Cartographie Participative de la Fluorose dans le Pays de Béni Meskine » dans le cadre du 1<sup>er</sup> Salon National de l'Ovin 'Sardi' organisé à Settat du 25 au 28 Mars 2017. ; El Mzouri E., Mabrouk A., Maadid H.*
8. *« Micropropagation of the prickly pear (Opuntia ficus indica L.): Development of an in vitro propagation method » The First International Conference on Biotechnology December 18-19, 2017 Beni-Mellal, Morocco, A. Mabrouk, Y. Abbas, M. Fakiri and E. El Mzouri*

## COMMUNICATIONS AFFICHEES

1. « *Etude de la production de la biomasse des Ecotypes de Cactus (Opuntia spp), sous les Conditions Edapho-Climatiques de la Chaouia* » *Journée porte ouverte sur les techniques d'amélioration et maîtrise de la production ovine* organisé à L'INRA-CRRA de Settât 12 mars 2015. ; Mabrouk A., Abbas Y., El Kharrassi Y., Fakiri. M., El Mzouri E.
2. « *Le cactus (Opuntia spp), ressource alimentaire pour les ovins* » *Journée porte ouverte sur les techniques d'amélioration et maîtrise de la production ovine* organisé à L'INRA-CRRA de Settât 12 mars 2015. ; Mabrouk A., Abbas Y., El Kharrassi Y., Fakiri. M., El Mzouri E.
3. « *Cartographie des incidents de la fluorose ovine dans le pays de Beni Meskine* » *Journée porte ouverte sur les techniques d'amélioration et maîtrise de la production ovine* organisé à L'INRA-CRRA de Settât 12 mars 2015. ; Maadid H. Mabrouk A., El Mzouri E.
4. « *Caractérisation Phénologique du Cactus (Opuntia spp) sous les Conditions Edapho-Climatiques de la Région de la Chaouia Ourdigha* » 3<sup>ème</sup> édition de la *Journée Doctorant* organisé à la FST de Settât, le 16 juin 2015. ; Mabrouk A., Abbas Y., Fakiri. M., El Kharrassi Y., Kraibaa H., Benezzine N., El Mzouri E.
5. « *Caractérisation Phénologique du Cactus (Opuntia spp), sous les Conditions Edapho-Climatiques de la Chaouia* » 7<sup>ème</sup> *Journée Nationale du Cactus* organisé à Bengrir du 17 au 18 décembre 2015. ; Mabrouk A., Abbas Y., El Kharrassi Y., Fakiri. M., El Mzouri E.
6. « *Etude de la production en matière verte et matière sèche du Cactus (Opuntia spp), sous les Conditions Edapho-Climatiques de la Chaouia* » 7<sup>ème</sup> *Journée Nationale du Cactus* organisé à Bengrir du 17 au 18 décembre 2015. ; Mabrouk A., Abbas Y., El Kharrassi Y., Fakiri. M., El Mzouri E.
7. « *Etude de la production en matière verte et matière sèche du Cactus (Opuntia spp) sous les Conditions Edapho-Climatiques de la Région de la Chaouia Ourdigha* » 5<sup>ème</sup> édition des *Doctoriales FSR "Recherche Scientifique Eco-Innovatrice : Acquisition Du Savoir Et Perfectionnement Des Compétences"*, le 09, 10 et 11 Mars 2016. ; Mabrouk A., Abbas Y., Fakiri. M., El Kharrassi Y., El Mzouri E.
8. « *Suivi de la phénologie du Cactus (Opuntia spp) sous les Conditions Edapho-Climatiques de la Région de la Chaouia Ourdigha* » 4<sup>ème</sup> édition de la *Journée Doctorant* organisé à la FST de Settât, le 20 et 21 avril 2016. ; Mabrouk A., Abbas Y., Fakiri. M., AL Masmoudi Y., El Kharrassi Y., El Mzouri E.
9. « *Caractérisation de la production en matière verte et matière sèche du cactus (Opuntia spp) sous les conditions édapho-climatiques de la région de Chaouia-Ouardigha en vue d'un choix pour alimentation de bétails.* » À occasion du 4<sup>o</sup> *Colloque International Entrepreneuriat 2016 « Recherche Scientifique Innovante, Transfert Technologique et Formation en Entrepreneuriat* » organisé à la FS de Ben M'sik, le 1er et 2 Décembre 2016 ; MABROUK Achraf, ABBAS Younes, El KHARRASSI Youssef, FAKIRI Malika, EL MZOURI El houssine
10. « *A comparative study of the phenolic profile of cladodes, spines and flowers of seven species of (Opuntia spp), collected from different region of Morocco.* » À occasion du 4<sup>o</sup> *Colloque International Entrepreneuriat 2016 « Recherche Scientifique Innovante, Transfert Technologique et Formation en Entrepreneuriat* » organisé à la FS de Ben M'sik, le 1er et 2 Décembre 2016 ; El KHARRASSI Youssef, EL MZOURI El houssine, MABROUK Achraf, NASSER Boubker.



11. « *Caractérisation phénologique du cactus (Opuntia spp) sous les conditions édapho-climatiques comme critère de choix des écotypes les plus prolifiques utilisables à des fins aromatiques et médicinales* » À occasion du *Colloque International Substances Naturelles : Stress et métabolisme cellulaires*, organisé à la FST de Settat le 15-16 Décembre 2016. MABROUK Achraf, ABBAS Younes, El KHARRASSI Youssef, FAKIRI Malika, EL MZOURI El houssine
12. « *Valorisation et identification des molécules bioactives d'intérêt thérapeutique et médicinales dans la raquette de cactus issues de différentes espèces et évaluation de leurs propriétés antioxydantes* » À occasion du *Colloque International Substances Naturelles : Stress et métabolisme cellulaires*, organisé à la FST de Settat le 15-16 Décembre 2016. EL KHARRASSI Youssef, HAILAF Anouar, TALBI Meryeme, MABROUK Achraf, MOUSTAID Khadija, ANDREOLETTI Pierre, CHERKAOUI MALKI Mustapha, EL MZOURI El houssine and NASSER Boubker.
13. « *Characterisation of chiminal composition, and antioxidant activities of extracts from Moroccan flowers of 4 ecotypes of two cactus pear species (Opuntia ficus indica and O. Megacantha)* » À occasion du *Colloque International Substances Naturelles : Stress et métabolisme cellulaires*, organisé à la FST de Settat le 15-16 Décembre 2016. EL KHARRASSI Youssef, HAILAF Anouar, TALBI Meryeme, MABROUK Achraf, MOUSTAID Khadija, ANDREOLETTI Pierre, CHERKAOUI MALKI Mustapha, EL MZOURI El houssine and NASSER Boubker.
14. « *Evaluation of the nutritional potential by measure of the lipid composition of four food vegetable oil (corn caster : Ricinus Communis, soya : Glicyne Max and coconut : coprha) in Morocco* » À occasion du *Colloque International Substances Naturelles : Stress et métabolisme cellulaires*, organisé à la FST de Settat le 15-16 Décembre 2016. EL KHARRASSI Youssef, EL MZOURI El houssine, MABROUK Achraf, NASSER Boubker.
15. « *Phénologie des Raquettes chez des Jeunes Ecotypes de Cactus (Opuntia spp) Marocains Sous les Conditions Agro-Ecologiques de la Chaouia* » 8<sup>ème</sup> Journée Nationale du Cactus organisé à Benguerir, le 29 décembre 2016. ; Mabrouk A., Abbas Y., El Kharrassi Y., Fakiri. M., El Mzouri E.
16. « *Production de la Phytomasse des Ecotypes de Cactus (Opuntia spp) Marocains, sous les Conditions Edapho-Climatiques de la Chaouia* » 8<sup>ème</sup> Journée Nationale du Cactus organisé à Benguerir 29 décembre 2016. ; Mabrouk A., Abbas Y., El Kharrassi Y., Fakiri. M., El Mzouri E.
17. « *Evaluation Biochimique du Potentiel Nutritionnel de la Raquette du Cactus (Opuntia spp) Issues de 7 Espèces sous les Conditions Edapho-climatiques de la Chaouia* » 8<sup>ème</sup> Journée Nationale du Cactus organisé à Benguerir 29 décembre 2016. ; El Kharrassi Y., Mabrouk A., El Mzouri E.
18. « *Phénologie de la Plante Entière du Cactus (Opuntia spp) Marocains âgés de 4 ans sous les Conditions Edapho-Climatiques des Plaines du Maroc Occidental Central* » 8<sup>ème</sup> Journée Nationale du Cactus organisé à Benguerir 29 décembre 2016. ; Mabrouk A., Abbas Y., El Kharrassi Y., Fakiri. M., El Mzouri E.
19. « *Mise au point d'une Méthode de Désinfection en Vue d'une Multiplication In-Vitro par Micropropagation des Ecotypes d'Opuntia spp* » 8<sup>ème</sup> Journée Nationale du Cactus organisé à Benguerir 29 décembre 2016. ; Mabrouk A., Abbas Y., El Kharrassi Y., Fakiri. M., El Mzouri E.
20. « *Multiplication Invitro par Micropropagation des Ecotypes d'Opuntia spp d'Intérêts* » 8<sup>ème</sup> Journée Nationale du Cactus organisé à Benguerir 29 décembre 2016. ; Mabrouk A., Abbas Y., El Kharrassi Y., Fakiri. M., El Mzouri E.

21. « **Caractérisation Physico-Chimique du Jus de Fruit des Ecotypes de Deux Espèces de cactus *Opuntia ficus indica* (L.) Mill et *O. megacantha* Salm-Dyck Marocains** » 8<sup>ème</sup> Journée Nationale du Cactus organisé à Benguerir 29 décembre 2016. ; El Kharrassi Y., Mabrouk A., El Mzouri E.
22. « **Caractérisation des Molécules Naturelles d'Intérêt Thérapeutique et Médicinale de la Fleur de Cactus (*Opuntia spp*)** » 8<sup>ème</sup> Journée Nationale du Cactus organisé à Benguerir 29 décembre 2016. ; El Kharrassi Y., Mabrouk A., El Mzouri E.
23. « **Caractérisation Morpho-Anatomique de Deux Espèces de Cactus (*Opuntia spp*) dans les régions arides et semi-arides** » 8<sup>ème</sup> Journée Nationale du Cactus organisé à Benguerir 29 décembre 2016. ; El Kharrassi Y., Mabrouk A., El Mzouri E.
24. « **Etude Ethnobotanique, Ethnopharmacologique et Floristique du Cactus (*Opuntia spp*) dans la Province de Settat** » 8<sup>ème</sup> Journée Nationale du Cactus organisé à Benguerir 29 décembre 2016. ; El Kharrassi Y., Mabrouk A., El Mzouri E.
25. « **Elaboration d'une Carte de la Teneur en Fluor des Eaux de Puits du Pays de Béni Meskine** » à l'occasion du premier Salon National de l'Ovin 'Sardi' Settat du 25 au 28 Mars 2017 ; Maadid H. Mabrouk A., El Mzouri E.
26. « **Cartographie Participative de la Fluorose dans le Pays de Béni Meskine** » à l'occasion de l'organisation du 1er Salon National de l'Ovin 'Sardi' qui s'est déroulée Settat du 25 au 28 Mars 2017 ; Maadid H. Mabrouk A., El Mzouri E.
27. « **Etude Agronomique des Ecotypes de Cactus (*Opuntia spp*)** » : Journée scientifique sur la valorisation de la chaîne de valeur viande rouge ovine Sardi, 1<sup>er</sup> Salon National de l'Ovin 'Sardi' Settat du 25 au 28 Mars 2017 ; Mabrouk A., Abbas Y., El Kharrassi Y., Fakiri. M., El Mzouri E.
28. « **Etude Phénologique des Ecotypes de Cactus (*Opuntia spp*)** » Journée scientifique sur la valorisation de la chaîne de valeur viande rouge ovine Sardi, 1<sup>er</sup> Salon National de l'Ovin 'Sardi' Settat du 25 au 28 Mars 2017 ; Mabrouk A., Abbas Y., El Kharrassi Y., Fakiri. M., El Mzouri E.
29. « **Caractérisation de la Production des Cactus (*Opuntia spp*) : Suivi de la Croissance des Jeunes Organes** » Journée scientifique sur la valorisation de la chaîne de valeur viande rouge ovine Sardi, 1<sup>er</sup> Salon National de l'Ovin 'Sardi' Settat du 25 au 28 Mars 2017 ; Mabrouk A., Abbas Y., El Kharrassi Y., Fakiri. M., El Mzouri E.
30. « **Etude de la Multiplication Végétative des Cactus (*Opuntia spp*)** » Journée scientifique sur la valorisation de la chaîne de valeur viande rouge ovine Sardi, 1<sup>er</sup> Salon National de l'Ovin 'Sardi' Settat du 25 au 28 Mars 2017 ; Mabrouk A., Abbas Y., El Kharrassi Y., Fakiri. M., El Mzouri E.



## LISTE DES ABREVIATIONS

<b>ANA :</b>	Acide Naphtalène Acétique.
<b>ADF :</b>	Acid Detergent Fibre
<b>BA :</b>	Benzyl Adénine.
<b>BF :</b>	Bourgeon fructifère.
<b>BI :</b>	Bourgeon indéterminé.
<b>Brg :</b>	Bourgeons.
<b>BV :</b>	Bourgeon végétatif.
<b>C :</b>	Celsius.
<b>Ca :</b>	Calcium.
<b>CAM :</b>	Crassulacean acid metabolism.
<b>CV :</b>	Coefficient de variation.
<b>DGN :</b>	Direction Générale de la Météorologie.
<b>FAO :</b>	Organisation Des Nations Unies Pour L'alimentation Et L'agriculture.
<b>INRA-CRRA :</b>	Institut National De La Recherche Agronomique - Centre Régional de la Recherche Agronomique.
<b>K :</b>	Potassium.
<b>Kg :</b>	Kilogramme.
<b>KMZ :</b>	Keyhole Markup Language Zipped.
<b>Lb Psi :</b>	La Livre-Force Par Pouce Carré.
<b>MAD :</b>	Moroccan Dirham.
<b>MAPM:</b>	Ministère De L'agriculture De La Pêche Maritime Du Développement Rural Et Des Eaux Et Forêts.
<b>Méq :</b>	Milliéquivalents
<b>Mg :</b>	Magnésium.
<b>Moy:</b>	Moyenne
<b>MS :</b>	Matière sèche.
<b>MV :</b>	Matière verte ou matière fraîche.
<b>N :</b>	Azote.
<b>NDF :</b>	Neutral Detergent Fibre
<b>O :</b>	<i>Opuntia.</i>
<b>OFI</b>	<i>Opuntia ficus indica</i>
<b>OM</b>	<i>Opuntia megacantha</i>
<b>ONG :</b>	Organisation Non Gouvernementale.
<b>P :</b>	Phosphore.
<b>PMV :</b>	Le Plan Maroc vert.
<b>Prob. :</b>	Probabilité.
<b>Shp :</b>	Shapefile.
<b>SIG :</b>	Système D'information Géographique.
<b>Std :</b>	Standard déviation.
<b>SUP :</b>	Superficie.
<b>UF :</b>	Unité fourragère.
<b>UV :</b>	Rayonnement Ultraviolet.

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1</b> : Répartition internationale des superficies plantées en cactus .....	<b>5</b>
<b>Figure 2</b> : Système Racinaire d' <i>Opuntia ficus-indica</i> .....	<b>8</b>
<b>Figure 3</b> : Les raquettes ou cladodes d' <i>Opuntia Ficus Indica</i> (à droite) et d' <i>Opuntia Megacantha</i> (à gauche) .....	<b>8</b>
<b>Figure 4</b> : A : Glochides ; B : Epines ; C : Feuille éphémère d' <i>Opuntia Megacantha</i> .....	<b>9</b>
<b>Figure 5</b> : A: Aréoles d' <i>Opuntia ficus indica</i> ; B: Aréoles d' <i>Opuntia Megacantha</i> (B) .....	<b>9</b>
<b>Figure 6</b> : Aréole sur un jeune cladode d' <i>Opuntia Megacantha</i> présentant deux épines(A), une feuille éphémère (B)et plusieurs glochides brunâtres(C).....	<b>10</b>
<b>Figure 7</b> : Fleurs d' <i>Opuntia Megacantha</i> (à gauche) et d' <i>Opuntia ficus indica</i> (à droite).....	<b>11</b>
<b>Figure 8</b> : Fruits d' <i>Opuntia Ficus Indica</i> (A) et d' <i>Opuntia Megacantha</i> (B).....	<b>11</b>
<b>Figure 9</b> : Cycle photosynthétique des plantes mésophytes et de type CAM.....	<b>12</b>
<b>Figure 10</b> : Cultures en allées utilisant le maïs et le cactus à base d' <i>Opuntia ficus indica</i> de pour la production de fourrage .....	<b>19</b>
<b>Figure 11</b> : Cycle biologique de l'œuf à l'adulte de <i>Dactylopius</i> Spp. ....	<b>25</b>
<b>Figure 12</b> : Cultures à haute densité de plantation à base de <i>O. ficus indica</i> et <i>O. megacantha</i> pour la production de fourrage dans la Région de Rhamna, en 2014. ....	<b>29</b>
<b>Figure 13</b> : Cultures de cactus ravagé par <i>Dactylopius Opuntia</i> dans la région de Rhamna, en 2020. ....	<b>30</b>
<b>Figure 14</b> : <i>Opuntia microdasys</i> (Lhem.) Pfeiff. présentant de nombreux glochides.....	<b>40</b>
<b>Figure 15</b> : Coupes longitudinales des aréoles, A: Coupe longitudinale du méristème de l'aréole d' <i>Austrocylindropuntia subulata</i> (Muehl.) Backeb. ; B: Coupe longitudinale de l'aréole d' <i>Opuntia rufida</i> Engelm; C: Aréole mature avec épines persistantes ; D: Coupe longitudinale d'épine persistante d' <i>O.monacantha</i> (Willd.) Haw. montrant la zone méristématique basale (Mz) et la zone d'élongation (Ez) à l'extrémité.. ....	<b>43</b>
<b>Figure 16</b> : Localisation du site expérimental de Ain Nzagh, INRA-CRRA de Settat via Google Earth Pro.....	<b>53</b>
<b>Figure 17</b> : Ecotypes âgés de 6ans installés au site expérimental (cactétum) de Ain Nzagh .....	<b>56</b>
<b>Figure 18</b> : Exemple d'un écotype appartenant à <i>Opuntia Megacantha</i> âgés de 6 ans, installé au site expérimental de Ain Nzagh .....	<b>57</b>
<b>Figure 19</b> : Exemple d'apparition des bourgeons indéterminés sur un écotype appartenant à <i>Opuntia ficus indica</i> âgés de 6 ans.....	<b>58</b>
<b>Figure 20</b> : Présentation des différents bourgeons produits par l'espèce <i>Opuntia ficus indica</i> installé au cactétum d'Ain Nzagh (BI : Bourgeon indéterminé ; BV : Bourgeon végétatif ; BF : Bourgeon fructifère ; BM : Bourgeon morts ou avortés).....	<b>59</b>
<b>Figure 21</b> : Exemple de croissance de bourgeons végétatifs (nouvelles raquettes) chez l'espèce <i>Opuntia ficus indica</i> installé au cactétum d'Ain Nzagh.....	<b>59</b>
<b>Figure 22</b> : Exemple de croissance de bourgeons fructifère (nouveau fruit) chez l'espèce <i>Opuntia ficus indica</i> installé au cactétum d'Ain Nzagh .....	<b>60</b>
<b>Figure 23</b> : Exemple de mesures des divers paramètres biométriques d'une raquette d' <i>Opuntia ficus indica</i> .....	<b>61</b>

<b>Figure 24</b> : Présentation des étapes lors de la mesure destructive des raquettes des cactus exemple d' <i>Opuntia ficus indica</i> .....	<b>62</b>
<b>Figure 25</b> : Présentation de la province de Rhamna par rapport aux autres Provinces et Préfecture de la région Marrakech-Safi. ....	<b>66</b>
<b>Figure 26</b> : Présentation des types de sols de la province de Rhamna par rapport aux autres Provinces et Préfecture de la région Marrakech-Safi. ....	<b>67</b>
<b>Figure 27</b> : Délimitation des limites provinciales et communes territoriales de la province de Rhamna .....	<b>69</b>
<b>Figure 28</b> : Numérisation des différentes étendues à cactus dans la Province de Rhamna .....	<b>71</b>
<b>Figure 29</b> : Exemple de parcelle de cactus à délimiter dans la commune de Sidi Abdellah Province de Rhamna .....	<b>72</b>
<b>Figure 30</b> : Exemple de parcelle de cactus ravagée à délimiter dans la commune de Sidi Abdellah Province de Rhamna .....	<b>72</b>
<b>Figure 31</b> : Carte de distribution des points repères d'échantillonnage via le logiciel ArcGis. ....	<b>73</b>
<b>Figure 32</b> : Raquettes de cactus exemple d' <i>Opuntia ficus indica</i> recueillies du cactétum d'Ain Nzagh .....	<b>75</b>
<b>Figure 33</b> : A : Préparation du matériel et produits pour autoclavage ; B : Désinfection de la hotte à flux laminaire et installation du matériel autoclavé.....	<b>76</b>
<b>Figure 34</b> : Raquettes de cactus objet de la mise en culture, submerger dans la solution de désinfection .....	<b>77</b>
<b>Figure 35</b> : Types d'explants à désinfecter. A : Explant 1 : Cladodes sans aréoles (CWA) ; B : Explant 2 : Aréoles avec glochides déchetés (ASG) ; C : Explant 3 : Aréoles avec glochides intacts (AIG).....	<b>77</b>
<b>Figure 36</b> : Milieu de culture coulé dans des boîtes de pétri.....	<b>78</b>
<b>Figure 37</b> : Préparation du milieu de culture et versement dans les bocaux .....	<b>79</b>
<b>Figure 38</b> : Découpage des explants sous la hotte à flux laminaire et transfère sur milieu de culture .	<b>81</b>
<b>Figure 39</b> : Découpage et fragmentation d'une mini-raquette.....	<b>81</b>
<b>Figure 40</b> : Découpage et mise en culture des mini-raquettes sous la hotte à flux laminaire en respectant le géotropisme naturel (basale, centrale et apicale) .....	<b>82</b>
<b>Figure 41</b> : Cultures incubées dans une chambre de croissance.....	<b>83</b>
<b>Figure 42</b> : Production de bourgeons chez <i>Opuntia ficus indica</i> sur des fragments .....	<b>83</b>
<b>Figure 43</b> : Production de cals chez <i>Opuntia ficus indica</i> sur un fragment.....	<b>83</b>
<b>Figure 44</b> : Vitroplants après lavage des racines à l'eau, en vue d'être transférer sur le substrat d'acclimatation.....	<b>84</b>
<b>Figure 45</b> : Substrat utilisé lors de l'opération d'acclimatation ; A: Substrat 1; B: Substrat 2 .....	<b>85</b>
<b>Figure 46</b> : Explants de cactus sous mode de sevrage 1A .....	<b>86</b>
<b>Figure 47</b> : A : les plantules issues de la culture in vitro mises dans les pots contenant les substrats ; B : transfère des pots dans des mini serres ; C : installation des mini serres à chambre de culture ; D : transfère des plants moyennement développés à la serre.....	<b>86</b>
<b>Figure 48</b> : Plantes de cactus atteignant les dimensions de plantation .....	<b>87</b>
<b>Figure 49</b> : Schéma récapitulatif de la micropropagation du cactus réalisé dans notre étude.....	<b>88</b>

<b>Figure 50</b> : Evolution des différents paramètres météorologiques (température et humidité moyennes ainsi que les précipitations) sur une durée de 6ans au site de Ain Nzagh.....	<b>93</b>
<b>Figure 51</b> : Répartition du cumul annuel des précipitations sur une durée de 6 ans au site de Ain Nzagh. ....	<b>94</b>
<b>Figure 52</b> : Retraçage de l'évolution de production phénologique en taux bourgeons végétatifs, fructifère et mort pour tous génotypes confondus du cactus genre <i>Opuntia</i> sur 6 ans de plantation au cactétum d'Ain Nzagh.....	<b>95</b>
<b>Figure 53</b> : Production phénologique en moyenne globale de bourgeons indéterminés (toutes années confondues) chez les écotypes de cactus genre <i>Opuntia</i> durant 6 ans de plantation au cactétum d'Ain Nzagh.....	<b>97</b>
<b>Figure 54</b> : Production phénologique en moyenne globale de bourgeons végétatifs (toutes années confondues) chez les écotypes de cactus genre <i>Opuntia</i> durant 6 ans de plantation au cactétum d'Ain Nzagh.....	<b>98</b>
<b>Figure 55</b> : Production phénologique en moyenne globale de bourgeons fructifères (toutes années confondues) chez les écotypes de cactus genre <i>Opuntia</i> durant 6 ans de plantation au cactétum d'Ain Nzagh.....	<b>99</b>
<b>Figure 56</b> : Production phénologique en moyenne globale de bourgeons morts (toutes années confondues) chez les écotypes de cactus genre <i>Opuntia</i> durant 6 ans de plantation au cactétum d'Ain Nzagh.....	<b>100</b>
<b>Figure 57</b> : Retraçage de l'évolution de production phénologique en taux bourgeons végétatifs, fructifère et mort chez les 7 espèces de cactus genre <i>Opuntia</i> sur 6 ans de plantation au cactétum d'Ain Nzagh .....	<b>104</b>
<b>Figure 58</b> : Production phénologique moyenne en bourgeons végétatifs, fructifère et mort chez les écotypes de cactus genre <i>Opuntia</i> en 1ère année de plantation au cactétum d'Ain Nzagh .	<b>106</b>
<b>Figure 59</b> : Production phénologique moyenne en bourgeons végétatifs, fructifère et mort chez les écotypes de cactus genre <i>Opuntia</i> en 2 <sup>ème</sup> année de plantation au cactétum d'Ain Nzagh ..	<b>108</b>
<b>Figure 60</b> : Production phénologique moyenne en bourgeons végétatifs, fructifère et mort chez les écotypes de cactus genre <i>Opuntia</i> en 3 <sup>ème</sup> année de plantation au cactétum d'Ain Nzagh ..	<b>110</b>
<b>Figure 61</b> : Production phénologique moyenne en bourgeons végétatifs, fructifère et mort chez les écotypes de cactus genre <i>Opuntia</i> 4 <sup>ème</sup> année de plantation au cactétum d'Ain Nzagh.....	<b>112</b>
<b>Figure 62</b> : Production phénologique moyenne en bourgeons végétatifs, fructifère et mort chez les écotypes de cactus genre <i>Opuntia</i> en 5 <sup>ème</sup> année de plantation au cactétum d'Ain Nzagh ..	<b>114</b>
<b>Figure 63</b> : Production phénologique moyenne en bourgeons végétatifs, fructifère et mort chez les écotypes de cactus genre <i>Opuntia</i> en 6 <sup>ème</sup> année de plantation au cactétum d'Ain Nzagh ..	<b>116</b>
<b>Figure 64</b> : Evolution des bourgeons végétatifs chez les 7 espèces de cactus genre <i>Opuntia</i> au cactétum d'Ain Nzagh.....	<b>117</b>
<b>Figure 65</b> : Evolution des bourgeons fructifères chez les 7 espèces de cactus genre <i>Opuntia</i> au cactétum d'Ain Nzagh.....	<b>118</b>
<b>Figure 66</b> : Production en matière verte et matière sèche pour les différents écotypes de cactus genre <i>Opuntia</i> .....	<b>120</b>
<b>Figure 67</b> : Ajustement de la matière verte en fonction de la longueur de la raquette. ....	<b>121</b>
<b>Figure 68</b> : Ajustement de la matière sèche en fonction de la longueur de la raquette. ....	<b>122</b>
<b>Figure 69</b> : Ajustement de la matière verte en fonction de la largeur de la raquette.....	<b>123</b>

<b>Figure 70</b> : Ajustement de la matière sèche en fonction de la largeur de la raquette. ....	<b>124</b>
<b>Figure 71</b> : Ajustement de la matière verte en fonction de la surface de la raquette. ....	<b>125</b>
<b>Figure 72</b> : Ajustement de la matière sèche en fonction de la surface de la raquette. ....	<b>126</b>
<b>Figure 73</b> : Ajustement de la matière verte en fonction du volume de la raquette. ....	<b>127</b>
<b>Figure 74</b> : Ajustement de la matière sèche en fonction du volume de la raquette. ....	<b>128</b>
<b>Figure 75</b> : Carte de distribution spatiale des étendues de cactus en l'année 2014 via le logiciel ArcGis. ....	<b>135</b>
<b>Figure 76</b> : Carte de distribution des étendues de cactus en l'année 2014 sur fond satellitaire via le logiciel ArcGis. ....	<b>136</b>
<b>Figure 77</b> : Carte de distribution des densités des étendues de cactus à l'année 2014 via le logiciel ArcGis. ....	<b>137</b>
<b>Figure 78</b> : Carte de distribution des étendues de cactus à l'année 2020 via le logiciel ArcGis. ....	<b>140</b>
<b>Figure 79</b> : Carte de distribution des étendues de cactus à l'année 2020 sur fond satellitaire via le logiciel ArcGis. ....	<b>141</b>
<b>Figure 80</b> : Carte de distribution des densités des étendues de cactus à l'année 2020 via le logiciel ArcGis. ....	<b>142</b>
<b>Figure 81</b> : Carte de distribution des étendues de cactus entre 2014 et 2020 via le logiciel ArcGis. ....	<b>144</b>
<b>Figure 82</b> : Pourcentage des superficies occupées en cactus entre 2014 et 2020 par collectivités territoriales. ....	<b>146</b>
<b>Figure 83</b> : Pourcentage des densités de superficies occupées en cactus entre 2014 et 2020 par collectivités territoriales. ....	<b>147</b>
<b>Figure 84</b> : Nombre explants sains vivants, explants infestés et nécrosés en fonction la combinaison hormonale. ....	<b>154</b>
<b>Figure 85</b> : Exemple de d'explants de cactus contaminés et nécrosés ....	<b>154</b>
<b>Figure 86</b> : Taux de réussite en pourcentage pour l'explant AIG en fonction des différentes combinaisons de la solution de désinfection. ....	<b>155</b>
<b>Figure 87</b> : Taux de réussite en pourcentage pour l'explant ASG en fonction des différentes combinaisons de la solution de désinfection. ....	<b>156</b>
<b>Figure 88</b> : Taux de réussite en pourcentage pour l'explant CWA en fonction des différentes combinaisons de la solution de désinfection. ....	<b>156</b>
<b>Figure 89</b> : Taux de nécrose en pourcentage pour l'explant AIG en fonction des différentes combinaisons de la solution de désinfection. ....	<b>157</b>
<b>Figure 90</b> : Taux de nécrose en pourcentage pour l'explant ASG en fonction des différentes combinaisons de la solution de désinfection. ....	<b>157</b>
<b>Figure 91</b> : Taux de nécrose en pourcentage pour l'explant CWA en fonction des différentes combinaisons de la solution de désinfection. ....	<b>157</b>
<b>Figure 92</b> : Profileur de prédiction pour les composants du mélange de désinfection avec la combinaison optimale et la désirabilité maximale pour les trois types d'explants. ....	<b>159</b>
<b>Figure 93</b> : Nombre d'explants sains et vivants, d'explants ayant débouffés et Nombre de bourgeons produits au total, Nombre moyen de bourgeons produits par explants ayant débouffés et Nombre de cals seulement pour l'explant AIG. ....	<b>160</b>

<b>Figure 94</b> : Effet du type d'explants sur le taux de débourrement. ....	<b>161</b>
<b>Figure 95</b> : Effet de la combinaison hormonale sur le taux de débourrement chez les explants de type AIG. ....	<b>161</b>
<b>Figure 96</b> : Taux de callogenèse produits chez les différents types d'explants. ....	<b>162</b>
<b>Figure 97</b> : Nombre de cals produit par combinaison hormonale chez les explants de type AIG. ....	<b>163</b>
<b>Figure 98</b> : Profileur prédictif des meilleures combinaisons hormonales d'ANA et de BAP (culture primaire) pour une réponse optimale. ....	<b>164</b>
<b>Figure 99</b> : Analyse de contingence de débourrement par combinaison hormonale. ....	<b>166</b>
<b>Figure 100</b> : Analyse de contingence de débourrement par saison. ....	<b>166</b>
<b>Figure 101</b> : Analyse de contingence de débourrement par espèce. ....	<b>167</b>
<b>Figure 102</b> : Taux de réussite du sevrage des mini-raquettes en fonction du substrat de sevrage ....	<b>170</b>
<b>Figure 103</b> : Taux de réussite du sevrage des mini-raquettes en fonction du type d'irrigation. ....	<b>171</b>

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1</b> : Composition chimique des variétés inermes ‘Aissa’ et ‘Moussa’ d’ <i>Opuntia ficus indica</i> (L.) Mill. dans la région de Sidi Ifni.....	<b>18</b>
<b>Tableau 2</b> : Composition chimique des raquettes du cactus en comparaison avec d’autres éléments fourragers .....	<b>19</b>
<b>Tableau 3</b> : Rations alimentaires à base de cactus élaborées pour ovins en Afrique du Nord .....	<b>19</b>
<b>Tableau 4</b> : Importance économique annuelle des produits de terroirs (cas de la région du Souss Massa Draa) .....	<b>22</b>
<b>Tableau 5</b> : Composition du milieu (MS) .....	<b>44</b>
<b>Tableau 6</b> : Régénération <i>in vitro</i> de pousses à partir d'explants de cinq espèces de cactus cultivés sur milieu (MS) contenant des combinaisons (ANA) et de (BA) après 60 jours d'incubation..	<b>45</b>
<b>Tableau 7</b> : Les régions de collecte des écotypes installés à la parcelle expérimentale (Cactétum Ain Nzagh) .....	<b>55</b>
<b>Tableau 8</b> : Matrice des combinaisons adoptées pour la méthode de désinfection.....	<b>78</b>
<b>Tableau 9</b> : Matrice adoptée pour la culture primaire .....	<b>79</b>
<b>Tableau 10</b> : Matrice adoptée pour l’optimisation de la culture primaire .....	<b>80</b>
<b>Tableau 11</b> : Analyse de variation des paramètres climatiques en fonction de l’année.....	<b>92</b>
<b>Tableau 12</b> : Comparaison des paramètres climatiques en fonction de l’année.....	<b>93</b>
<b>Tableau 13</b> : Test de probabilité comparant la semblance des années pour la précipitation annuelle.	<b>93</b>
<b>Tableau 14</b> : L'analyse de la variance (ANOVA) des paramètres mesurés, en fonction de l’année et l’écotype. ....	<b>94</b>
<b>Tableau 15</b> : Comparaison de l’effet de l’année sur les différents types de bourgeons dans le cactétum, selon le test de comparaisons multiples du Tukey .....	<b>101</b>
<b>Tableau 16</b> : L'analyse de la variance (ANOVA) de la matière verte et la matière sèche en fonction de l’écotype. ....	<b>119</b>
<b>Tableau 17</b> : Modèles d’ajustement de la matière verte en fonction de la longueur de la raquette. ..	<b>121</b>
<b>Tableau 18</b> : Modèles d’ajustement de la matière sèche en fonction de la longueur de la raquette...	<b>122</b>
<b>Tableau 19</b> : Prédiction de la matière verte en fonction de la largeur de la raquette. ....	<b>123</b>
<b>Tableau 20</b> : Modèles d’ajustement de la matière sèche en fonction de la largeur de la raquette. ....	<b>124</b>
<b>Tableau 21</b> : Prédiction de la matière verte en fonction de la surface de la raquette. ....	<b>125</b>
<b>Tableau 22</b> : Modèles d’ajustement de la matière sèche en fonction de la surface de la raquette. ....	<b>126</b>
<b>Tableau 23</b> : Modèles d’ajustement de la matière verte en fonction du volume de la raquette. ....	<b>127</b>
<b>Tableau 24</b> : Modèles d’ajustement de la matière sèche en fonction du volume de la raquette. ....	<b>128</b>
<b>Tableau 25</b> : Résultats de l'analyse des superficies de distribution des étendues de cactus par types de plantation en 2014. ....	<b>138</b>
<b>Tableau 26</b> : Répartition par collectivité territoriale des superficies plantées par les cactus en 2014	<b>138</b>
<b>Tableau 27</b> : Résultats de l'analyse des superficies de distribution des étendues de cactus par types de plantation en 2020. ....	<b>143</b>



<b>Tableau 28</b> : Résultats de l'analyse des superficies de distribution des étendues de cactus par types de plantation et dans chaque commune territoriale en 2020. ....	<b>143</b>
<b>Tableau 29</b> : Etat récapitulatif de l'évaluation de l'analyse des superficies de distribution des étendues de cactus par types de plantation et dans chaque commune territoriale entre 2014 et 2020. ....	<b>148</b>
<b>Tableau 30</b> : Analyse statistique des différents facteurs étudiés. ....	<b>153</b>
<b>Tableau 31</b> : Taux en pourcentage, toutes solutions de désinfection confondues, d'explants indemnes de contaminations et vivants ainsi que le pourcentage de leurs nécroses chez différents types d'explants mis en culture primaire. ....	<b>155</b>
<b>Tableau 32</b> : Désirabilité des protocoles en fonction des types d'explants et des combinaisons (Ca(ClO) <sub>2</sub> - Tween 20 - durée du traitement). ....	<b>159</b>
<b>Tableau 33</b> : Taux en pourcentage, toutes combinaisons hormonales confondues, des types d'explants sur le développement des bourgeons ainsi que le pourcentage de leurs callogenèse en culture primaire. ....	<b>159</b>
<b>Tableau 34</b> : Analyse statistique des différents facteurs étudiés. ....	<b>160</b>
<b>Tableau 35</b> : Test de probabilité (test G).....	<b>162</b>
<b>Tableau 36</b> : Test de probabilité (test G).....	<b>163</b>
<b>Tableau 37</b> : Analyse statistique des différents facteurs étudiés. ....	<b>165</b>
<b>Tableau 38</b> : Analyse de la variance (ANOVA) des paramètres mesurés, en fonction de l'espèce, l'hormone et la partie d'explant et leur interaction. ....	<b>167</b>
<b>Tableau 39</b> : Moyennes des paramètres étudiés en fonction de l'espèce, l'hormone et la partie d'explant .....	<b>169</b>
<b>Tableau 40</b> : Analyse de la variance (ANOVA à un facteur) du taux de réussite en fonction du substrat de sevrage. ....	<b>170</b>
<b>Tableau 41</b> : Moyennes des paramètres étudiés en fonction du substrat de sevrage.....	<b>170</b>
<b>Tableau 42</b> : Analyse de la variance (ANOVA à un facteur) du taux de réussite en fonction du type d'irrigation.....	<b>171</b>
<b>Tableau 43</b> : Moyennes des paramètres étudiés en fonction du type d'irrigation.....	<b>171</b>
<b>Tableau 44</b> : Production phénologique moyenne (Moy) en bourgeons indéterminés chez les écotypes de cactus genre <i>Opuntia</i> durant 6 ans de plantation au cactétum d'Ain Nzagh .....	<b>201</b>
<b>Tableau 45</b> : Production phénologique moyenne (Moy) en bourgeons végétatifs chez les écotypes de cactus genre <i>Opuntia</i> durant 6 ans de plantation au cactétum d'Ain Nzagh.....	<b>203</b>
<b>Tableau 46</b> : Production phénologique moyenne (Moy) en bourgeons fructifères chez les écotypes de cactus genre <i>Opuntia</i> durant 6 ans de plantation au cactétum d'Ain Nzagh.....	<b>205</b>
<b>Tableau 47</b> : Production phénologique moyenne (Moy) en bourgeons morts chez les écotypes de cactus genre <i>Opuntia</i> durant 6 ans de plantation au cactétum d'Ain Nzagh.....	<b>207</b>
<b>Tableau 48</b> : Production phénologique moyenne (Moy) en bourgeons végétatifs, fructifère et mort chez les écotypes de cactus genre <i>Opuntia</i> en 1 <sup>ère</sup> année de plantation au cactétum d'Ain Nzagh .....	<b>209</b>
<b>Tableau 49</b> : Production phénologique moyenne (Moy) en bourgeons végétatifs, fructifère et mort chez les écotypes de cactus genre <i>Opuntia</i> en 2 <sup>ème</sup> année de plantation au cactétum d'Ain Nzagh .....	<b>211</b>



<b>Tableau 50</b> : Production phénologique moyenne (Moy) en bourgeons végétatifs, fructifère et mort chez les écotypes de cactus genre <i>Opuntia</i> en 3 <sup>ème</sup> année de plantation au cactétum d'Ain Nzagh .....	<b>213</b>
<b>Tableau 51</b> : Production phénologique moyenne (Moy) en bourgeons végétatifs, fructifère et mort chez les écotypes de cactus genre <i>Opuntia</i> en 4 <sup>ème</sup> année de plantation au cactétum d'Ain Nzagh .....	<b>215</b>
<b>Tableau 52</b> : Production phénologique moyenne (Moy) en bourgeons végétatifs, fructifère et mort chez les écotypes de cactus genre <i>Opuntia</i> en 5 <sup>ème</sup> année de plantation au cactétum d'Ain Nzagh. ....	<b>217</b>
<b>Tableau 53</b> : Production phénologique moyenne (Moy) en bourgeons végétatifs, fructifère et mort chez les écotypes de cactus genre <i>Opuntia</i> en 6 <sup>ème</sup> année de plantation au cactétum d'Ain Nzagh .....	<b>219</b>
<b>Tableau 54</b> : Comparaison de l'effet de l'écotype sur la production en matière verte et matière dans le cactétum, selon le test de comparaisons multiples du Tukey (honestly significant difference). ....	<b>221</b>
<b>Tableau 55</b> : Rapports sur la propagation <i>in vitro</i> des espèces de cactus par l'activation d'aréoles .	<b>225</b>
<b>Tableau 56</b> : Composition de la solution nutritive de Hoagland and Snyder.....	<b>227</b>
<b>Tableau 57</b> : Pourcentage d'explants indemne de contaminations et vivants ainsi que le pourcentage de leurs nécroses en culture primaire après désinfection dans différentes solutions. ....	<b>228</b>
<b>Tableau 58</b> : Effet de la combinaison hormonale et le type d'explants sur le développement des bourgeons ainsi que le pourcentage de leurs callogenèse en culture primaire après désinfection. ....	<b>230</b>
<b>Tableau 59</b> : Effet de la combinaison hormonale, de la saison et de l'espèce sur le développement des bourgeons ainsi que le pourcentage de leurs callogenèse en culture primaire optimisée..	<b>231</b>
<b>Tableau 60</b> : Résultat du sevrage des plantules « mini-raquettes » issues de la micropropagation selon le type de substrat et d'irrigation. ....	<b>233</b>
<b>Tableau 61</b> : Les différentes espèces d' <i>Opuntia</i> existant au niveau international .....	<b>234</b>

## INTRODUCTION GENERALE

Le changement climatique est l'un des défis les plus importants auxquels le monde se confronte. En Afrique, par exemple, les conséquences de ce changement se posent avec plus d'acuité et de particularités, notamment des sécheresses récurrentes et une désertification qui devient de plus en plus structurelle (**Ballouche and Taïbi, 2013**). La population rurale et les petits agriculteurs sont les plus durement touchés, ils doivent subvenir à leurs besoins malgré les conditions extrêmes. Leurs cultures doivent supporter la sécheresse, la chaleur et les sols stériles (**Nabhan, 2003**).

Les cultures de cactus reçoivent une attention croissante à travers le monde, grâce à leurs caractéristiques uniques, qui leur confèrent une résistance aux conditions parfois les plus hostiles. La figue de Barbarie peut pousser sur terre où très peu de cultures sont capable de se développer. Elle montre une capacité d'adaptation écologique élevée et peut être utilisée pour restaurer les sols dégradés, et dans de nombreux pays, c'est la seule culture sur laquelle on compte lorsque toutes les cultures sont condamnées (**Inglese et al., 2018**). Les cactus sont caractérisés par leur adaptation aux climats des zones arides et semi-arides des régions tropicales et subtropicales du monde (**El-Mostafa et al., 2014**).

Etant donné les efforts d'investissement et de soutien du Ministère de l'Agriculture de la Pêche Maritime, du Développement Rural et des Eaux et Forêt dans différentes régions du Royaume et avec la modernisation des techniques de l'agriculture durable, le cactus est planté comme culture alternative dans les régions moins favorables. Ainsi, plus de 4.000 ha sont plantés annuellement dans le centre et le sud du pays (**Ait Hamou, 2007**). En conséquence et avec l'adhésion des agriculteurs à la politique de replantation du cactus, les superficies projetées pour 2020 ont été atteintes dès 2014, seulement sept années après le lancement du Plan Maroc Vert (**Sbaghi et al., 2019**). Cependant, le germoplasme national de cette culture reste peu caractérisé de point de vue phénologique, agronomique et systématique, ce qui constitue un handicap pour une meilleure exploitation et utilisation de cette culture.

Avec l'apparition de la cochenille (*Dactylopius opuntiae*), les superficies des cactus ont régressé intensivement et l'insecte est devenu la menace actuelle de ses cactus au Maroc et sur l'ensemble du bassin méditerranéen. L'origine de l'infestation est difficile à déterminer, mais provient probablement d'Espagne, où elle a été observée en 2006 dans la région de Murcie et en 2013 à Almeria (**Inglese et al., 2018**). En 2016, La cochenille a été présente à Sidi Bennour, Rhamna et Youssoufia. En absence d'intervention efficace, cette dernière va proliférer, détruire

les plantations marocaines et migrer vers d'autres pays. Les autorités ont procédé à des interventions d'urgence, en déracinant et incinérant toutes les plantations de cactus, sur une superficie de plus de 400 ha à Sidi Bennour (**Kidiss, 2016**).

Basé sur la compréhension actuelle de l'évolution des *Opuntias*, des recherches sont nécessaires pour aborder les questions de la délimitation des genres et des identités des espèces (**Chessa, 2010**). Des centaines d'espèces d'*Opuntia* sont distribuées hors de leurs régions d'origine du fait de l'intense circulation des humains autour du monde (**Kumschick et al., 2012**). En ce qui concerne les variétés disponibles au Maroc, et grâce à la diversité de ses régions écologiques, le pays dispose de plusieurs variétés et chaque région est caractérisée par sa variété horticole distincte (**Ait Hammou, 1998**). Au cactétum d'Ain Nzagh (INRA -CRRA de Settati) qui est constitué du germoplasme Marocain, recueilli de différentes régions du Maroc, l'étude du comportement phénologique et la diversité génétique basée sur les traits morphologiques et les marqueurs moléculaires, a permis d'identifier sept espèces de cactus (**El Kharrassi, 2015**). Dans cette perspective, des études plus approfondies sur le cactus marocain sont de mises ; afin d'identifier non seulement le comportement agronomique et phénologique des espèces cultivées à un âge plus avancée, mais aussi de développer des nouvelles méthodes biotechnologiques, fiables aboutissant à la propagation en grande masse et à la préservation des espèces en voie de disparition. Cette stratégie permettra certainement de répondre à la forte demande en cette culture et éventuellement, à la restauration des plantes dans leur biotope naturel, tout en préservant le patrimoine génétique existant contre l'extinction (**Lavorel et al., 2017**), qui dans notre cas est devenue une obligation et une urgence puisque les dégâts matériels sont aperçus à l'échelle nationale.

Lors de la mise en œuvre de notre projet de recherche, le plan de la thèse a connu des modifications au niveau de l'élaboration des objectifs suite à la crise sanitaire qu'a connu le cactus au Maroc. En effet, avec l'avènement de la cochenille en fin 2014 (**Bouharroud et al., 2016**), il a été judicieux d'accommoder notre recherche en s'adaptant aux nouvelles conditions. Pour cela, et puisque nous opérons dans la région de Rhamna qui est considérée comme un des berceaux les plus importants en production des cactus, et l'un des parcs à pied mère les plus connus, il a été préférable de choisir cette région comme station pilote afin d'évaluer l'ampleur des dégâts causés par la cochenille, avec possibilité de transfert d'échelle si les cactus ont été attaqués et ravagés dans d'autres endroits. À cet égard l'outil du système d'information géographique (SIG), offre son efficacité, afin de mettre en évidence, en démarquant et en cernant les zones touchées par la cochenille.

C'est dans cette optique que s'inscrit l'objectif de notre travail de thèse qui consiste en la caractérisation du germoplasme national de cactus planté au cactétum d'Ain Nzagh à fruits afin de mieux orienter le choix vers différents types d'utilisations de cette culture en fonction de leurs caractéristiques agronomiques et phénologiques. En deuxième lieu, une étude sur le potentiel des cactus dans la région de Rhamna va permettre de mettre en évidence et d'identifier les zones potentiellement plantées en cactus, afin de ressortir l'ampleur des ravages dus à la cochenille.

La culture *in vitro* est par ailleurs un outil très efficace au service de la recherche en biotechnologie végétale (Sibi, 1981; El Goumi *et al.*, 2017), notamment la micropropagation du cactus (Clayton *et al.*, 1990; Balch *et al.*, 1998; Lema-Rumiska and Kulus, 2014), qui permettra de produire un nombre assez élevé de vitroplants par rapport aux méthodes traditionnelles de multiplication, avec un taux de multiplication élevé allant de 100 à 1000 fois (Ochatte, 2005). Un protocole efficace en culture *in vitro* est primordiale afin de garantir l'obtention en totalité d'explants aseptiques et régénérables, tout en élaborant une banque de gènes garantissant le stockage et la préservation du matériel génétique contre l'anéantissement. Également, cela permettra de standardiser la technique de micropropagation pour le cactus (*Opuntia*), ce qui servira à repeupler en un temps réduit les zones à cactus ravagées, et à combler la forte demande du marché pour cette plante.

Notre étude comporte trois volets :

1. La caractérisation agronomique et phénologique du cactus, établie dans les laboratoires d'écophysiologie végétale au sein de l'Institut National de la Recherche Agronomique : INRA-CRRA de Settat.
2. L'étude diachronique et l'évolution des peuplements de cactus via les techniques de télédétection et du système d'information géographique, conçue en collaboration avec le Laboratoire Polyvalent en recherche et développement à la Faculté Polydisciplinaire de Béni Mellal.
3. La partie biotechnologique comprenant la culture *in vitro* des écotypes spécifiques réalisée dans le laboratoire d'Agroalimentaire et Santé au sein de la Faculté des sciences et techniques Settat.

# **REVUE BIBLIOGRAPHIQUE**

# CHAPITRE 1 : Phénologie et biomasse

## Introduction :

### 1 Le Cactus (*Opuntia Spp*) :

Le figuier de Barbarie (*Opuntia spp.*) est la plante la plus intéressante de la famille des cactacées. Il est largement répandue dans les cinq continents à travers le monde (**Pimienta-Barrios, 1994**). Il fait actuellement partie de l'environnement naturel et des systèmes agricoles, et *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill est l'espèce économiquement la plus importante de la famille des *Opuntias* et la plus connue au monde (**Kiesling, 1998**).

Les cactus sont cultivés en Amérique, en Afrique, en Asie, en Europe et en Océanie (**Casas and Barbera, 2002**). Ils peuvent être trouvés du Canada, à la Patagonie en Argentine, du niveau de la mer jusqu'à 5100 m d'altitude au Pérou (**Bravo-Hollis and Scheinvar, 1995**).

Ils ont été découverts pour la première fois par des explorateurs européens, les *Opuntias* ont été distribués de la Més-Amérique à Cuba et à d'autres îles des Caraïbes (**Griffith, 2004**) Ils sont devenus envahissants dans les zones où la saison des pluies est caractérisée par des températures élevées, par exemple en Afrique du Sud et en Australie (**Wessels, 1988; Zimmermann et al., 2009**), l'invasion naturelle de cette espèce est rythmée par l'humidité et les températures hivernales froides qui contrastent avec les conditions chaudes et sèches des étés (**Barbera et al., 1995**), (Figure 1).

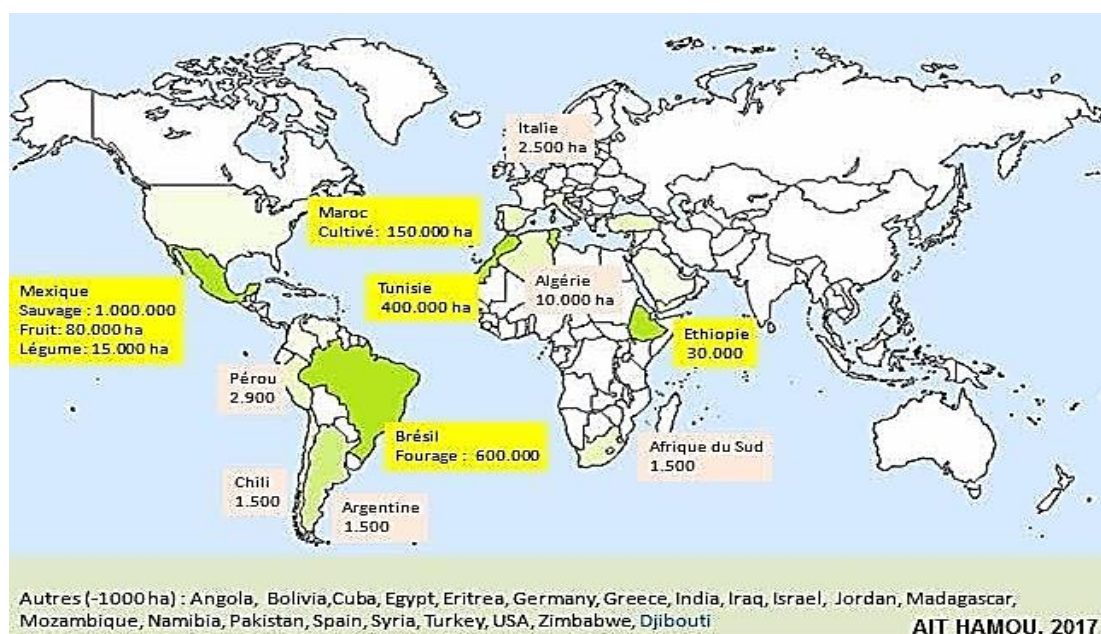


Figure 1 : Répartition internationale des superficies plantées en cactus (AIT HAMOU, 2017).

Conformément à la systématique actuelle (Novoa *et al.*, 2015), les cactus sont désormais classés dans la nouvelle famille des *Opuntiaceae* Desv. (synon. *Cactaceae* Juss.) formée d'environ 160 genres et composé de 1 500 à 2 000 espèces originaires d'Amérique centrale, d'Amérique du Nord et du Sud, dont un grand nombre du Mexique (Hunt *et al.*, 2006; GRIN, 2007).

L'introduction du cactus en Afrique du Nord a été soutenue par l'expansion espagnole au cours des XVI et XVII siècles, et le plantèrent autour de leurs villages (Diguët, 1928). Au Maroc, les cactus ont été introduits en 1770 et sont maintenant bien représentés dans tout le pays. En accompagnement de la sécheresse, la surface plantée en cactus a considérablement augmenté au cours des deux dernières décennies, de 50 000 ha en 1998 à plus de 120 000 ha actuellement. La région de Guelmim-Sidi Ifni représente plus de 50% (>50 000 ha) de la surface nationale, suivi par Haouz-El Kelaa des Sraghna avec 30% (environ 30 000 ha). Khouribga est en troisième position, Doukkala en quatrième. Cette évolution de la surface de cactus durant les 20 dernières années est le résultat de nombreuses opérations de plantation menées dans le cadre de programmes nationaux de contrôle de la sécheresse, ainsi que les programmes de reboisements des terres forestières et de l'aménagement des parcours (Arba, 2009a).

Au Maroc, les espèces d'*Opuntia* les plus répandues sont : *O. ficus indica*, *O. dillenii*, *O. vulgaris*, *O. compressa* (Walali, 1997; Arba, 2000). Dans la région du sud, les espèces les plus rencontrées sont : *O. ficus indica* et *O. megacantha* Slam-Dyck. Sur le littoral atlantique, c'est l'espèce *O. Shumannii* weber qui est la plus fréquente. Dans le nord-ouest du pays, quatre espèces ont été identifiées : *O. Dillenii*, *O. robusta* wendl, *O. cochenellifera* (L.) Mill et d'*O. microdasys*. *O. cochenellifera* (L.) Mill qui est une espèce épineuse à cladodes très allongés et très épais et qui se caractérise par des fruits très allongés par rapport aux fruits d'autres espèces. Ses fruits ont la particularité de se détacher des cladodes mères à maturité mais ce phénomène n'est observé que dans les conditions environnementales de Foug El Oued à Laayoune. On trouve aussi *O. microdasys*, une espèce qui se caractérise par sa croissance et son développement très rapide qui peut être utilisée dans la lutte contre l'érosion même si son intérêt agronomique reste modeste (Boujghagh, 2011). Pour plus de détails, la liste des différentes espèces d'*Opuntia* identifiées au niveau mondial est présentée dans l'annexe 17 (Lambert, 1997; Anderson and Brown, 2001; Bulot, 2007).

Les *Opuntias* ont développé des adaptations phénologique comme la non synchronisation de la reproduction, physiologique telles que la transformation des feuilles en épines et le métabolisme CAM, ce qui leur permettent de se développer dans les zones où le stress hydrique fait obstacle à la croissance d'autres espèces végétales (Bariagabre *et al.*, 2016a; Bariagabre *et al.*, 2016b). La capacité d'emmagasiner de grandes quantités d'eau dans leurs tissus par le phénomène de



succulence contribue à assurer la survie de ces plantes sous les conditions arides et semi-arides (Kalegowda *et al.*, 2015).

## 1.1 Classification systématique et Nomenclature :

La position systématique du figuier de barbarie est la suivante (Poupon, 1975) :

- ⇒ Règne : Plantae
- ⇒ Sous règne : *Tracheobionta*
- ⇒ Division : *Magnoliophyta*
- ⇒ Classe : *Magnoliopsida*
- ⇒ Sous-classe : *Caryophyllidae*
- ⇒ Ordre : *Caryophyllales*
- ⇒ Famille : *Cactaceae*
- ⇒ Sous-famille : *Opuntioideae*
- ⇒ Tribu : *Opuntieae*
- ⇒ Genre : *Opuntia*
- ⇒ Sous-genre : *Platyopuntia*
- ⇒ Espèce : *Opuntia ficus indica*

- Fiquier de Barbarie : **Nom commun**
- Assabar, Al Handia ou Drag, **(en Arabe)**
- Cactus, Charbon d'Inde, figuier de barbarie ou figuier d'Inde, **(en Français)**
- Prickly pear, Indian fig **(en Anglais)**
- Nopal, Tuna **(en Espagnol)**

Les deux sous-genres les plus fréquents au Maroc sont :

⇒ Les *Cylindropuntia*, : comprenant les espèces à tige cylindrique.

⇒ Les *Platyopuntia*, : les plus répandus à l'échelle nationale (au moins 21 espèces au Maroc) représentent les espèces ayant des raquettes (cladodes) qui sont des tiges aplatis, avec des feuilles réduites ou souvent absentes et épines non grainées (Arba, 2000)

## 1.2 Morphologie et anatomie des *platyopuntiae* :

### 1.2.1 Système Racinaire :

Les racines des Cactaceae (Figure 2), reçoivent moins d'attention, elles sont différentes des autres plantes, car ils développent des caractéristiques xéromorphes qui permettent à la plante de survivre à des périodes de sécheresse prolongées. Les racines peuvent contribuer à la tolérance de la sécheresse de différentes façons, via : La restriction de la surface racinaire et la diminution de leur perméabilité à l'eau, les radicelles sont recouvertes d'une couche relativement imperméable, ou les racines subissent une abscission laissant une cicatrice pour éviter la perte d'eau dans le sol sec ; La rapide absorption des petites quantités d'eau fournies par les légères pluies ; La diminution de la transpiration des rameaux due au potentiel très négatif des racines (Inglese *et al.*, 2018). Les Cactaceae disposent d'un système racinaire

charnu, superficiel et à dispersion horizontale (Sudzuki Hills, 1995), les caractéristiques signifient que ces économiseurs d'eau résistants à la sécheresse peuvent avoir une haute résistance hydraulique qui diminue le flux d'eau vers les rameaux (Passioura, 1988).



Figure 2 : Système Racinaire d'*Opuntia ficus-indica* (Bakali et al., 2016).

### 1.2.2 Les raquettes ou cladodes :

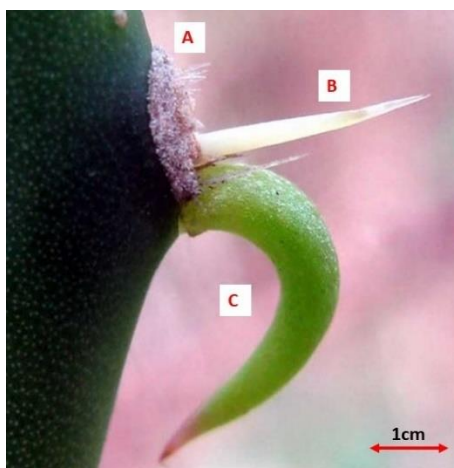
Du point de vue botanique, ils présentent des tiges aplaties en forme de raquette (Figure 3), ayant une longueur moyenne de 30 à 50cm et une largeur moyenne de 15 à 30cm (Scheinvar, 1995). De forme elliptique ou ovoïdale, charnues et de couleur verte. Elles ressemblent à des feuilles portant des épines. Les vacuoles sont centrales représentant 85 à 90 % de volume des cellules, l'épiderme est recouvert d'une cuticule de couleur blanche (cutine ciré) permet d'augmenter la réflexion des radiations solaires et par conséquent une réduction de la température au niveau des tiges.(Jost and Jost-Tse, 2016).



Figure 3 : Les raquettes ou cladodes d'*Opuntia Ficus Indica* (à droite) et d'*Opuntia Megacantha* (à gauche) (Photo, Achraf Mabrouk).

### 1.2.3 Les feuilles :

Les cactus sont caractérisés par une surface foliaire réduite ou nulle ce qui limite les pertes d'eau par transpiration. Les feuilles d'*Opuntia* sont réduites en épines et parfois sont difficiles à identifier ou de retrouver leurs cicatrices. Les feuilles, de taille très petite, restent très peu de temps dans les aréoles (Figure 4), puis disparaissent ; Leur adaptation au milieu aride est remarquable, leur structure interne est partiellement creuse. Ainsi, elles peuvent être à la fois rigides et légères. (Sudzuki Hills, 1995; Nobel and Bobich, 2002).



**Figure 4 :** A : Glochides ; B : Epines ; C : Feuille éphémère d'*Opuntia Megacantha* (Photo, Achraf Mabrouk).

### 1.2.4 Aréoles :

Les aréoles ont généralement une forme ovale, 2 mm sous la surface de l'épiderme (Figure 5). Dans les conditions environnementales appropriées, de nouvelles cladodes, fleurs ou racines émergeront des tissus méristématiques des aréoles, les aréoles sont réparties en formation hélicoïdale et développent des épines. Les aréoles se forment à la base du podarium (mamelon), le podarium porte une petite structure subsumée de courte durée, qui se flétrit rapidement et tombe, il est proéminent au premier stade de développement du cladode, et se perd lorsque la tige vieillit. L'aréole commence à se former à la base même du court méristème apical, et très rapidement les épines se développent depuis le méristème basal (Mauseth, 1984; Inglese *et al.*, 2018).



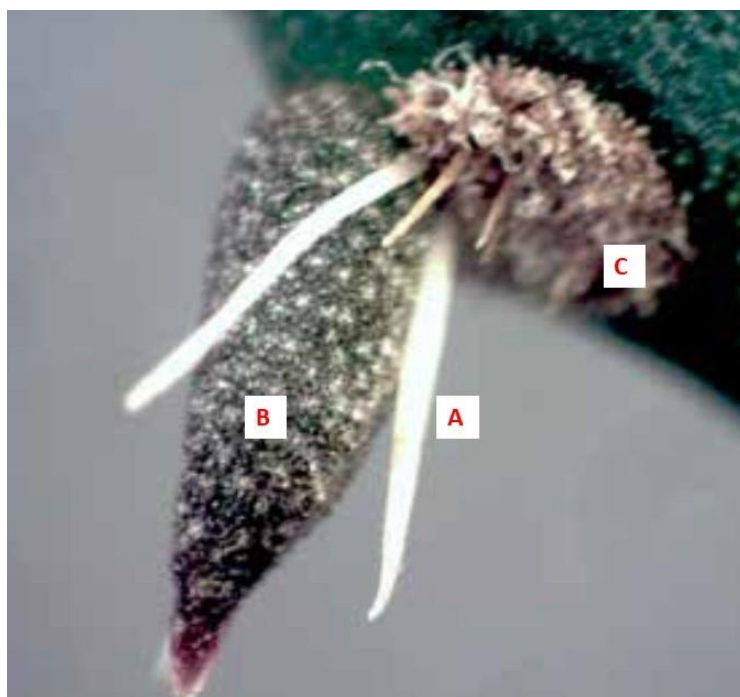
**Figure 5 :** A: Aréoles d'*Opuntia ficus indica*; B: Aréoles d'*Opuntia Megacantha* (B) (Photo, Achraf Mabrouk).



### 1.2.5 Glochides et Epines

Les glochides sont des minuscules épines qui se trouvent sur les aréoles et fruits de certains cactus. Ils sont généralement groupés en plusieurs dizaines de touffes de 6 à 20 régulièrement réparties sur la totalité de la plante, au contact, elles se logent dans la peau et sont très difficiles à extraire. Ces derniers sont blanchâtres, sclérifiées, solidement implantées, sont longues de 0,5 à 2cm. Il semble que les glochides résultent de l'évolution adaptative, c'est un des moyens de défense des *Opuntias* (Desfayes, 2007a).

La présence d'épines est une caractéristique particulière des aréoles et leur morphologie a une importance taxonomique potentielle (Robinson, 1974), ce sont de grandes épines se trouvant sur les aréoles avec les glochides. Une aiguille est une excroissance dure et acérée, d'origine épidermique, non vascularisée et pouvant se détacher sans que l'écorce de la tige qui la porte soit endommagée (Figure 6).



**Figure 6 :** Aréole sur un jeune cladode d'*Opuntia Megacantha* présentant deux épines(A), une feuille éphémère (B)et plusieurs glochides brunâtres(C) (Inglese et al., 2018).

### 1.2.6 Les fleurs

Les fleurs sont hermaphrodites, qui s'insèrent sur le bord supérieur des cladodes, solitaires et de différentes couleurs, jaune ou orange selon les espèces avec des sépales (Figure 7), des pétales et des étamines en nombre indéfini et en disposition spiralée. Leur gynécée est formé par un ovaire inféré constitué par 5 carpelles soudées qui se transforme à maturité en un fruit comestible (Nerd et al., 1991; Sudzuki Hills, 1995).



**Figure 7 :** Fleurs d'*Opuntia Megacantha* (à gauche) et d'*Opuntia ficus indica* (à droite) (El Kharrassi, 2015).

### 1.2.7 Le fruit :

Les fruits, appelés figes de Barbarie, sont des fruits ovoïdes. Ils contiennent une pulpe juteuse et sucrée, rouge ou jaune (Figure 8), contenant de nombreuses petites graines. Le fruit est une baie charnue de 4 à 8 cm, de couleur variant du jaune clair au rouge violacé à maturité. C'est un fruit uniloculaire, avec de nombreuses graines dont le poids peut varier de 50 à 400 g. Il dérive de l'ovaire inférieur adhérent au réceptacle floral. La forme est également très variable, non seulement en fonction des variétés mais aussi en fonction du moment de la formation : les premières sont arrondies, les dernières ont davantage une forme allongée de pédoncule. Le nombre de graines est très élevé, environ 300 pour un fruit de 160 g (Mulas and Mulas, 2004).



**Figure 8 :** Fruits d'*Opuntia Ficus Indica* (A) et d'*Opuntia Megacantha* (B)(El Kharrassi, 2015).

### 1.3 Métabolisme et physiologie de la plante :

Attribué à l'origine à la famille des Crassulaceae, le CAM (Crassulacean Acide Métabolisme) représente un mécanisme de concentration du CO<sub>2</sub> qui a évolué en réponse à la sécheresse dans les environnements terrestres et au manque de carbone inorganique dans les milieux aquatiques (Keeley, 1998).

Les *Opuntias* ont la particularité de fixer le dioxyde de carbone et de libérer de l'oxygène pendant la nuit et de fermer les stomates pendant le jour (Figure 9). Ce mécanisme permet moins de perte d'eau par évapotranspiration pendant les heures les plus chaudes. La pénétration de l'air par les stomates ouverts se produit pendant la nuit, et c'est à ce moment que le dioxyde de carbone est fixé dans les tissus du chloroplaste par le phosphoénolpyruvate (PEP), résultant du métabolisme des glucides par glycolyse, pour donner de l'oxaloacétate. Cet élément est à

son tour transformé en malate pour être stocké dans la vacuole. Pendant la journée, le malate se décompose en pyruvate et libère du dioxyde de carbone et de l'eau directement dans les tissus de chlorophylle qui sont utilisés pour le reste de la photosynthèse selon le cycle de Calvin. Il s'agit d'une différence fondamentale par rapport aux plantes ordinaires (mésophytes), dont la photosynthèse a lieu pendant la journée à partir du CO<sub>2</sub> atmosphérique. (Poupon, 1975; Sutton *et al.*, 1981; Lüttge, 1993). Le métabolisme de photosynthèse CAM peut être 4 à 5 fois plus efficace en matière de fixation de CO<sub>2</sub> par la photosynthèse que les graminées les plus efficaces (Russell and Felker, 1987a; Kluge and Ting, 2012).

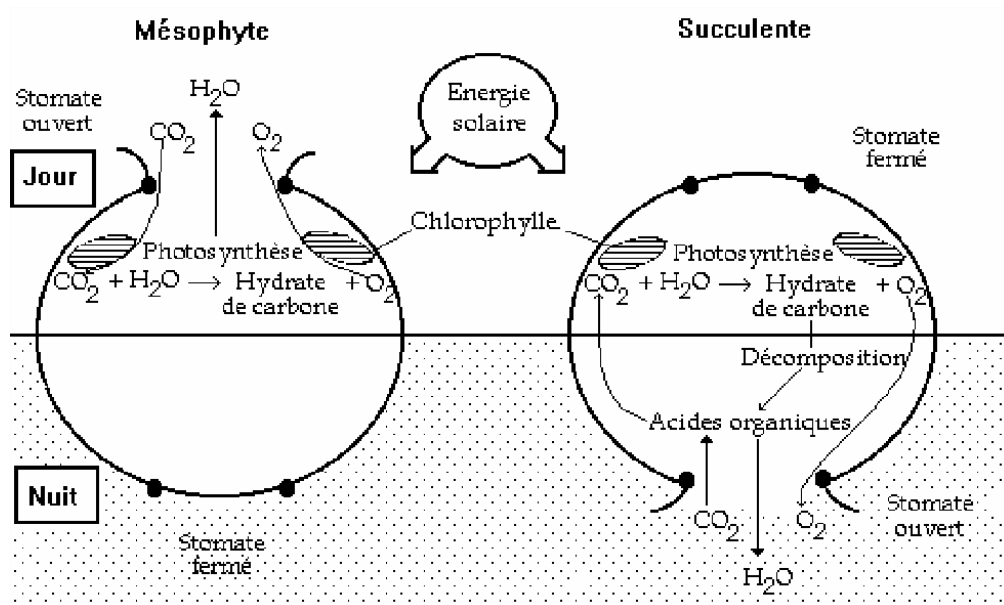


Figure 9 : Cycle photosynthétique des plantes mésophytes et de type CAM (Poupon, 1975).

### 1.3.1 Nombre de chromosomes :

La détermination du nombre de chromosomes et du degré de ploïdie est un outil utile en taxonomie végétale. Le nombre basique de chromosomes dans la famille des cactus est  $x = 11$  et le nombre dans les cellules somatiques est principalement de  $2n = 22$ . Dans la sous-famille des *Opuntioideae*, 64,3% des taxons sont polyploïdes (Pinkava *et al.*, 1985). *Opuntia ficus-indica* et sa forme épineuse *O. megacantha* ont  $n = 44$  et que les deux formes peuvent être tétra-, exa- ou octoploïdes plus fréquemment (Pinkava *et al.*, 1973; Pinkava *et al.*, 1992) ; La polyplôïdie est favorisée par l'hybridation naturelle interspécifique dans le genre *Opuntia* et l'hybridation en culture est aussi commune (Benson and Walkington, 1965; McLeod, 1975; Grant and Grant, 1982; Griffith, 2003).

## 1.4 Facteurs biotiques :

Selon (**Helmuth and Granata, 1997**), multiples ravageurs et maladies dépister dans les cactus tels que :

- La rouille (*Phyllostica opuntiae*) : Maladie des zones humides, urédinée qui se manifeste par de petites taches jaune rouille, circulaires, qui peuvent se propager en plaques irrégulières de blanc sale ou cendré. Ce sont principalement les cladodes de deux ans qui, une fois attaqués, n'émettent que quelques cladodes et finissent par se dessécher, le traitement est à base de cuivre et l'élimination des raquettes parasités.
- Le mildiou des cactus (*Phytophthora cactorum* Schr., *P. omnivera* De Bary) les symptômes de la maladie apparaissent sous forme de cloques qui soulèvent l'épiderme, un état chlorotique prononcé et des plaques brunâtres qui envahissent les fruits et les raquettes. La sensibilité à la maladie est variable selon les variétés.
- La cératite (*Ceratitis capitata* Weid) une mouche méditerranéenne des fruits qui peut occasionner des dégâts importants dans les plantations mal entretenues.
- Les cochenilles (*Dactylopius* spp.) sont un groupe américain d'insectes hémiptères sont généralement polyphages prospérant sur les plantes d'*Opuntia* (**Spodek et al., 2014**), certaines espèces de cochenilles sont des parasites spécifiques et subordonnées à l'espèce *Opuntia*. Certains cultivars de cactus sont résistants aux cochenilles.

## 1.5 Exigence écologique du cactus :

### 1.5.1 L'aptitude des sols à la culture du cactus :

L'espèce croît dans tous les types de sols. Elle s'adapte fréquemment même aux sols limités par une roche dure continue endéans les 25 premiers cm, qui reposent sur des matériaux avec une teneur en carbonate de calcium > 40% ou qui contiennent moins de 10% en poids de particules fines (**Nobel, 2002**). Le cactus s'ajuste peine aux sols hydromorphes et asphyxiants. Les sols préférés par le cactus sont des sols légers, limono-sableux et caillouteux avec un pH modérément acide (5.1-6.7) et une teneur en argile inférieure à 20%. Il s'agit des sols pauvres en matière organique (0,1-1,8%). Il peut également résister à des sols acides et salins avec moins de 70 moles de sel par m<sup>3</sup> et au sol gypseux et légèrement salin à condition qu'ils soient drainés (**Inglese et al., 1995; Walali, 1997**). Pour plusieurs espèces d'*Opuntia*, le pH du sol est un facteur limitant. Afin d'avoir une production de fruits de bonne qualité, il est préférable que le sol contienne des niveaux élevés de potassium et de calcium (**Wessels, 1988; Inglese et al., 1995**). L'espèce est présente sur un large éventail de sols. Une profondeur de 60 à 70 cm du sol assure le développement du système racinaire de surface. Les sols mal drainés, une nappe phréatique élevée ou une couche ou coquille imperméable en surface ne doivent pas être utilisés



pour la plantation. La teneur en argile ne doit pas dépasser 20% pour éviter la pourriture des racines et le développement de la canopée.

Une concentration de 30 mol m<sup>-3</sup> (1.76 ppt NaCl) réduit la croissance de 40%, comparé au témoin non-salin, alors qu'une concentration de 100 mol m<sup>-3</sup> (5.85 ppt NaCl) réduit la croissance de 93% et doit être considérés comme le seuil supérieur de culture (**Gersani et al., 1993**), Concernant les besoins édaphiques, une ample disponibilité du calcium et du potassium est favorable pour une bonne récolte.

### 1.5.2 La température :

La figue de Barbarie est cultivée dans des zones subtropicales arides avec des hivers doux (température moyenne de l'air > 10 ° C), des étés chauds, une gamme de précipitations annuelles de 100 à 600 mm et une saison sèche bien définie qui peut durer de 2 à 5 mois. Il a une grande adaptation aux conditions les plus hostiles (climat aride, salinité du sol, terres à faible potentiel agricole). Son extension est principalement limitée par les basses températures hivernales, son seuil de tolérance étant de -10 ° C. Dans les pays méditerranéens, certaines espèces comme *Opuntia compressa* vr. *Helvetica*, *O. dillenii* et *O. ficus indica* peuvent résister à des températures inférieures à 10 ° C. En Italie, l'espèce est cultivée pour la production de fruits en Sicile où le climat est méditerranéen, avec des hivers doux et pluvieux et des étés chauds et secs. La température moyenne annuelle est de 16 ° C (25 ° C en juillet / août et 15 ° C en octobre / novembre, périodes de développement des fruits). Les précipitations annuelles se situent entre 400 et 600 mm, avec une saison sèche de 4 mois (juin-septembre). Le cas de l'Israël, l'espèce est cultivée dans le désert du Néguev, où la température mensuelle moyenne la plus basse est de 13 ° C en janvier et les températures les plus élevées (25 ° C) se produisent de juin à octobre. Les précipitations annuelles varient de 40 à 200 mm. Enfin, en Afrique du Sud, la période de précipitations dépend de la région, en été pour le Cap oriental et la Province du Nord et en hiver pour le Cap occidental. La province du Nord et la région de Ciskey sont les zones les plus importantes pour les plantations spécialisées tandis que les principales cultures fruitières sont situées dans les zones subtropicales près du tropique du Capricorne au nord du pays. Ces provinces ont des étés longs et chauds et des hivers doux, avec des précipitations extrêmement inégales se produisant principalement en hiver avec moins de 500 mm par an. (**Brutsch and Zimmermann, 1993; Brutsch, 1997; El Kharrassi, 2015**) . Au Maroc, la limite thermique du développement du cactus est de moins de 1000 m d'altitude (**Walali, 1997**).

### 1.5.3 Précipitations et irrigation :

Le cactus est cultivé dans des zones semi-arides où les précipitations annuelles en été sont concentrées pendant la période de développement des fruits. En Méditerranée, au Moyen-

Orient, en Afrique du Nord et de l'Est, en Argentine, en Californie et au Chili, la saison sèche coïncide avec un été long et chaud. Au Chili, le cactus fruitier est cultivé dans la région métropolitaine de Santiago, où la température mensuelle moyenne de l'air est de 22 ° C en été (janvier) et de 10 ° C en hiver (août). La saison estivale dure de quatre à cinq mois avec des moyennes annuelles des précipitations de 350 mm (**Sudzuki et al., 1993**). Dans la plupart des pays caractérisés par des précipitations estivales prédominantes, le figuier de Barbarie est cultivé sans irrigation cependant l'irrigation est nécessaire quand la période sèche de l'année correspond à la période de développement du fruit ou quand les précipitations annuelles sont inférieures à 300 mm (**Inglese et al., 1995**). Le figuier de Barbarie est cultivé avec succès dans les régions où la saison des précipitations est hivernale, lorsque des approvisionnements sont effectués pour l'irrigation pendant les mois d'été chauds et secs. La limite de précipitation maximale est de 1000 mm par an (**Le Houérou, 1992; Le Houérou, 1996**), Cependant, les fortes précipitations sont moins favorables car elles provoquent une faible pollinisation, augmentent la survenue de maladies fongiques, et la fissuration des fruits et réduisent leur qualité (**Wessels, 1989**).

### 1.6 Phénologie du cactus *Opuntia* :

La phénologie étudie les relations entre les phénomènes climatiques et les caractères morphologiques externes du développement annuel des végétaux (**Galoux et al., 1967**).

Chez les cactus ,la floraison et l'émission de nouvelles pousses ont lieu généralement dans la période du printemps, les fleurs apparaissent souvent sur la partie supérieure des cladodes d'un an et les jeunes pousses naissent souvent sur les cladodes de deux ans et plus (**USDA, 2014; Valdez-Cepeda et al., 2014**). L'induction du processus de floraison par des influences environnementales est appelée mise à fleur, qui se résulte dans le changement du mode de développement des bourgeons vers la transformation en fleurs. Certaines espèces sont dites auto-inductives, ne demandent aucun effet environnemental pour fleurir, leur floraison peut être augmentée par des traitements à des températures modérément basses ou par le stress hydrique (**Gene Albrigo and Galán Saúco, 2002** ).

L'aréole est un bourgeon axillaire chez le cactus. Après une certaine période (longue ou courte), son méristème entre en dormance et lorsqu'il revient à son actif, il se développe soit en petite pousse qui donnera un cladode avec des aréoles et des feuilles rudimentaires ou en pousse longue modifiée qui sera une fleur (**Prat L et al., 2017**), La photopériode et / ou les basses températures hivernales peuvent être des signaux environnementaux pour l'induction de fleurs chez les *Opuntias* (**Inglese et al., 2017**), Les éléments nutritifs peuvent également affecter l'induction florale chez les *Opuntias* puisque la fertilisation azotée peut augmenter le nombre

de bourgeons floraux (**Nerd et al., 1993**). Des études phénologiques en conditions contrôlées ont montré que l'apparition de nouveaux organes chez les cladodes détachés (en période d'hiver, à la fin de printemps ou fin d'été) d'*O. ficus-indica* et qui sont placés dans une serre (températures moyennes maximales jour/nuit de 26/14°C de Janvier à Mai et 29/17°C de Juin à Décembre et humidité relative max/min de 75/40%) ou dans une chambre à environnement contrôlé (températures jour/nuit de 15/5°C, 25/15°C et 35/25°C et humidité relative moyenne de 85/55% à 15/5°C, 75/45% à 25/15°C et 65/40% à 35/25°C), ont montré qu'après 14 semaines, l'émission de nouveaux organes dans une chambre à environnement contrôlé à 25/15°C ou dans une serre à 26/16°C a été plus facile et significativement plus élevée chez les cladodes détachés en hiver (2,14 organes/cladode détaché) que chez les cladodes détachés en fin de printemps (0,78 organes/cladode détaché) ou fin d'été (0,07 organes/cladode détaché). Chez les cladodes détachés en hiver, 22% des organes émis sont des fruits et le nombre de fruits émis chez les cladodes détachés en fin de printemps ou fin d'été a été plus faible et a diminué de la même manière que dans l'émission des cladodes, en conclusion, les températures basses favorisent l'émission des fruits et les températures modérées à élevées favorisent l'émission des pousses (cladodes) puisque l'émission des pousses a augmenté avec l'augmentation des températures jour/nuit et l'émission des fruits a diminué avec l'augmentation de ces températures. (**Nobel and Castañeda, 1998**).

Dans une autre expérimentation réalisé par (**Gutterman, 1995**), l'exposition de cladodes détachés d'*O. ficus-indica* à une température constante de 10°C pour une période de 3 semaines a entraîné la production de plus de fleurs que leur exposition à 35°C pour une même période . Les températures basses entraînent la dormance des bourgeons et l'intensité de la floraison augmente avec la durée de traitement des bourgeons au froid (**Gene Albrigo and Galán Saúco, 2002** ). L'étude du comportement phénologique de plusieurs écotypes d'une jeune plantation de cactus (âgée de deux ans) dans la région de Chaouia-Ourdigha au Maroc a montré que ces écotypes ne présentent pas le même comportement phénologique (**Kharrassi et al., 2015**), et a montré que les bourgeons végétatifs et floraux ont commencé à apparaître durant la première semaine de mai chez la plupart des espèces , le nombre de bourgeons végétatifs émis est très variable, allant de 0.25 à 12.35 par plante et celui des bourgeons floraux allant de 0.05 à 13.75 par plante, l'émission des pousses se déroule de février à juin et la période de floraison se situe entre la seconde semaine de mai et le début juin. Le nombre moyen de cladodes formés varie de 1.75 à 7.75 par plante (**El Kharrassi Y et al., 2015**).

## 1.7 Utilisation du figuier de barbarie :

Le figuier de Barbarie a suscité un regain d'intérêt particulier dans plusieurs pays en raison de son importance agronomique, économique et écologique. En effet, cette plante miracle a permis la mise en valeur des terres marginales et des zones arides et semi-arides.

### 1.7.1 Pour le bétail :

#### 1.7.1.1 Evaluation de la valeur nutritionnelle du cactus :

Dans le genre *Opuntia*, l'espèce *O. ficus-indica* est la plus importante du point de vue agronomique pour la production de fruits comestibles et raquettes. Au Maroc, en comparant la teneur en matière minérale, la valeur plus élevée a été observée chez l'espèce *O. ficus indica* du Moyen Atlas, tandis que la valeur la plus faible a été observée chez *O. ficus indica* de Rhamna (**Kharrassi et al., 2015**). Des études réalisées par **Malainine et al. (2003)** ont montré que la teneur en matière minérale des raquettes des écotypes provenant de l'espèce *O. ficus indica* originaire de la région Marrakech, était de 19,6 g / 100g de matière sèche. Cette teneur est très proche des résultats rapportés par **Ramírez-Moreno et al. (2013)** dont la teneur est de 18,23 g / 100g de matière sèche, cette teneur atteint plus de 25% de la matière sèche pour des raquettes âgées de 2 ans, et la teneur en cellulose brute (fibres) peut atteindre 8,55% par rapport à la matière sèche. Ces derniers sont similaires pour les cladodes de moins d'un an, mais restent supérieures à celle de la laitue et de l'épinard qui en contiennent moins de 3% (**Nefzaoui and Chermiti, 1991; Nefzaoui and Ben Salem, 2001**). Les sucres totaux augmentent de façon significative selon le stade de croissance de 1,66 à 8,8%. Ils indiquent une valeur énergétique élevée des cladodes. Quant aux sucres réducteurs, ils varient moins nettement au cours de la croissance. Leur teneur passe de 1,1% à 4%. Cette faible teneur notamment pour les trois premières étapes limite les risques de brunissement lors de l'augmentation de la température. La teneur en azote reste faible dans les jeunes cladodes, comme dans la plupart des légumes et fruits. Il varie de 2,4 à 3,7%. D'autres auteurs ont observé que cette teneur diminue après un an et dépend de la nature des sols et du fumier épandu (**Le Houérou, 1996; Nefzaoui and Salem, 1996**). La raquette de cactus se caractérise par sa forte appétence et sa haute digestibilité, avec une teneur élevée en eau, glucides solubles, cendres, Ca, K et vitamine A, l'acidité titrable des cladodes qui correspond à un titrage qui est un dosage volumétrique de l'acide citrique dans le jus par le NaOH qui est un réactif standard, varie de 0,21 à 0,52% et qui reste faible aux trois premiers stades (pH<4,7) (**Rodríguez-Felix and Cantwell, 1988; Salem and Nefzaoui, 2003**). L'âge des cladodes est un facteur important pour la valeur nutritionnelle, Les jeunes cladodes d'*Opuntia ficus-indica* cultivés en Espagne ont un pourcentage de protéines allant de 10,6 à 15,0 %, tandis que les cladodes matures varient de 4,4% et 11,3% (**Retamal et al., 1987**), cela

est expliqué par l'activité métabolique plus haute chez les jeunes cladodes. Des études ont montré des concentrations en protéines (15,3%) et phosphore (0,3%) d'espèce *Opuntia ficus-indica* cultivées en Californie (Nobel, 1983). Par contre, le collenchyme a un contenu en protéines et en phosphore de respectivement 9,6 % et 0,12 % pour des plantations de 5 ans et de 7,8 % et 0,09 % pour des plantations d'*Opuntia* chiliennes âgées de 12 ans (Gregory and Felker, 1992). La composition chimique pour 100 g de cladodes a donné comme résultat : 91.7g d'eau, 1.1g de protéines, 0.2g de lipides et 1.3g de cendre (13.3, 2.4, 15.7 % sur une base de Matière Sèche, respectivement). Il a été observé que des glucides totaux ont augmenté considérablement pendant la croissance des cladodes, tandis que les protéines ont diminué (Rodríguez-Felix and Cantwell, 1988). Du fait que les cladodes d'*Opuntias* ont des teneurs en protéines et en phosphore relativement faibles, elles peuvent être augmentées par fertilisation des plants. De ce fait, la ration des animaux ne peut donc être constituer les raquettes des *Opuntia* spp. seules (Chriyaa, 1998; Le Houérou, 2000).

**Tableau 1** : Composition chimique des variétés inermes 'Aissa' et 'Moussa' d'*Opuntia ficus indica* (L.) Mill. dans la région de Sidi Ifni (Arba, 2009a).

Constituant chimique (en %)	Variété 'Moussa' dans la zone de Sboya	Variété 'Aissa' dans la zone de Mesti
Eau	86,62	88,76
N	0,96	0,89
P	0,15	0,09
K	1,37	1,25
Ca	4,03	3,96
Na	0,035	0,032
Mg	1,47	1,23

#### 1.7.1.2 Systèmes de production de fourrage basés sur les cactus :

Le cactus est utilisé depuis longtemps pour nourrir le bétail dans les zones arides et sa production dans ces zones est plus rentable que celle de certaines autres espèces fourragères comme le maïs et le sorgho (Russel, 1986). L'élevage reste la principale source de revenus pour les populations rurales vivant dans les zones arides. C'est un élément clé de systèmes de production résilients et un indicateur de richesse. Cependant, le secteur est confronté à de nombreux défis, notamment les contraintes alimentaires et les changements climatique. Les parcours dans les régions semi-arides jouent un rôle important dans les systèmes de production animale, bien que leur contribution à l'alimentation animale diminue. La productivité est généralement faible (<5 tonnes de matière sèche [DM] ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>) avec de faibles rendements de biomasse consommable (<1 tonne de DM ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>), ce qui entraîne une faible capacité de charge (Dubeux *et al.*, 2015 a).

Le cactus peut produire plus de 20 tonnes de MS ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup> et fournir 180 tonnes ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup> d'eau stockée dans ses cladodes, représentant une option rentable pour abreuver le bétail



(Dubeux *et al.*, 2015 b), Des rendements élevés de 400 à 500 tonnes de matière fraîche par hectare (40 à 50 tonnes de matière sèche / ha) sont obtenus avec une densité élevée de 24 plants/m<sup>2</sup> (De Cortázar and Nobel, 1992). Les raquettes sont broutées directement sur le champ par le bétail de pâturage dans certains pays (Mexique, USA) où il y a de grands ranchs de cactus pour le pâturage ou récoltées en les coupant pour les distribuer au bétail domestique (Figure 10), tels que certains pays de l'Afrique du Nord (Maroc, Tunisie) où les plantations de cactus qui sont destinées à la production de fruits sont utilisées dans l'alimentation du bétail, En comparaison avec d'autres éléments fourragers (Tableau 2 et 3). La valeur énergétique des raquettes est proche de celle de la luzerne avec 0,12 UF (unité fourragère)/kg (Arba, 2009a). À de tels niveaux de productivité, il est possible de produire suffisamment de fourrage pour nourrir cinq vaches adultes par an, au moins 60 fois plus que la productivité des pâturages normaux. Avec de petits vergers de cactus cultivés intensivement, il est possible de produire du fourrage et de réduire la pression du surpâturage.

**Tableau 2** : Composition chimique des raquettes du cactus en comparaison avec d'autres éléments fourragers (Chriyaa, 1998).

Élément fourrager	Protéines brutes	ADF	NDF	Digestibilité <i>in vitro</i>
	% de matière sèche			
Raquettes de cactus	4,8	27,5	15,8	78,7
Paille de blé	5,2	69,6	42,4	45,5
Foin de luzerne	13,8	47,1	31,3	59,4
Feuillage d'atriplex	13,4	34,2	14,4	63,1

**Tableau 3** : Rations alimentaires à base de cactus élaborées pour ovins en Afrique du Nord (Nefzaoui and Salem, 1996; Chriyaa, 1998).

Élément fourrager	Rations élaborées au Maroc (Chriyaa, 1998)				g MS/jour	Rations élaborées en Tunisie (Nefzaoui et Ben Salem, 1996)		
	R1	R2	R3	R4		R1	R2	R3
Cactus (kg MF/jour)	2,5	3,5	5,5	4,5		197	353	550
Atriplex (kg MF/jour)	1,5	1,0	0,6			554	391	236
Paille (g/jour)	200	200	200	600*		160	159	167
CMV (g/jour)	30	30	30	30				

MF : Matière fraîche, MS : Matière sèche



**Figure 10** : Cultures en allées utilisant le maïs et le cactus à base d'*Opuntia ficus indica* de pour la production de fourrage, Zacatecas, Mexique (Inglese *et al.*, 2018).

## 1.7.2 Pour les humains :

### 1.7.2.1 Production de fruits :

Le fruit du cactus est souvent ovale et allongé. Il est protégé par une écorce épaisse qui porte de fines épines barbelées appelées glochides. Il se compose principalement d'une pulpe juteuse contenant un certain nombre de graines qui sont consommées avec le fruit (**Jiménez-Aguilar et al., 2015**). L'importance économique de la culture des *Opuntias* réside dans la production de fruits (**Pimienta-Barrios, 1993**). Plusieurs utilisations des fruits peuvent être envisagées, soit à l'état frais ou séché pour être conservés. Les *Opuntias* arrivent à produire entre 8 et 12 t/ha/an de fruits frais et entre 20 à 50 t/ha/an de matière végétative fraîche (**Russell and Felker, 1987a**). Les critères recommandés pour la commercialisation des fruits de cactus sont les suivants : le poids de 120 à 160 g est considéré comme un calibre de première classe et le poids supérieur à 160 g est un calibre supplémentaire ; le poids de la pulpe ne doit pas descendre en dessous de 55% du poids total du fruit ; le degré Brix doit être supérieur à 13 ; la teneur en graines doit être inférieure à 3,5 g pour 100 g de pulpe ; l'épaisseur de l'écorce ne doit pas dépasser 6 mm et la période de stockage post-récolte doit dépasser 4 semaines à 2°C (**De Wit et al., 2010**), ces critères s'appliquent aux fruits destinés à être vendus sur le marché international.

Les graines du fruit donnent une huile comestible qui présente un haut degré d'insaturation, avec un taux important d'acide linoléique. Grâce à ces caractéristiques et à d'autres caractéristiques chimiques et physiques, l'huile appartient à la même catégorie que les huiles de graines de soja, de maïs et de tournesol (**Sepúlveda and Sáenz, 1988; Sepulveda and Saenz, 1990**).

### 1.7.2.2 Production de légume (jeunes cladodes) :

Ces jeunes cladodes sont appelés «Nopalitos» au Mexique où ils sont considérés comme un légume traditionnel depuis des siècles. Ils sont consommés frais ou après cuisson comme légume vert (**Pimienta-Barrios E, 1993**). Les jeunes cladodes sont consommés comme légume car ils sont tendres et fibreux. Leur valeur nutritive est similaire à celle de nombreux légumes à feuilles, ils sont moins nutritifs que les épinards et plus nutritifs que la laitue. Ils sont riches en eau, en glucides, en protéines, en vitamine C et en  $\beta$ -carotène qui est un précurseur de la vitamine A (**Rodríguez-Felix and Cantwell, 1988; Cantwell, 1991**). Ils sont recommandés pour le diabète insulino-indépendant car leur consommation peut améliorer le contrôle du sucre chez ces patients et peut abaisser le taux de cholestérol sanguin (**Fрати-Munari et al., 1988; Fernandez et al., 1990**). , les 'Nopalitos' peuvent être introduits facilement dans les traditions alimentaires des marocains, d'autre part, c'est un produit qui peut être exporté sur les marchés



consommateurs de ce produit, notamment aux USA où les exportations mexicaines n'arrivent pas à satisfaire les besoins de ce pays (**Arba, 2009a**).

### 1.7.2.3 *Produits agro-alimentaires :*

Les jeunes cladodes peuvent être valorisés par leur conservation en petits morceaux dans des boîtes de conserve. Des essais de conservation des jeunes cladodes sont également en cours de réalisation au sud du Maroc par des ONG, et des boîtes de conserve sont présentées dans les manifestations nationales et régionales pour faire connaître le produit au public (**Arba, 2009a**). Les fruits du cactus peuvent être utilisés comme confiture, jus, miel, marmelade, etc. (**Russell and Felker, 1987b; Barbera et al., 1992**). La teneur en sucre relativement élevée dans les fruits de la plupart des variétés leur permet de se transformer favorablement en produits agro-alimentaires (**Sepulveda and Saenz, 1990**). La production de carmin qui est un colorant naturel de couleur rouge carmin est aussi importante. Il est à présent très recherché par les industries alimentaires et cosmétiques pour ses caractères biochimiques (**Pimienta-Barrios E, 1993**).

#### 1.7.2.3.1 *Huile de cactus (Opuntia Spp) :*

Au Maroc, l'huile des graines de cactus est très recherchée en cosmétique, autour de laquelle plusieurs coopératives et sociétés marocaines privées ont été créées pour l'exploitation commerciale de cette huile (**El Hachimi et al., 2015**). Car cette dernière est riche en acide gras poly-insaturé (AGPI), en stérols, et en vitamines, elle est utilisée pour préparer les crèmes antirides naturelles (**Coşkuner and Tekin, 2003; Ennouri et al., 2005**).

La quantité d'huile extraite des graines dépend de la taille des graines, l'huile végétale issue de cactus est principalement obtenue par pression à froid suivie d'une extraction par solvant. Il ne faut pas la confondre avec une huile essentielle car l'huile végétale contient des corps gras et possède une texture huileuse, contrairement à une huile essentielle, cette dernière résultant de l'extraction de l'essence des composés aromatiques volatiles contenues dans les différents organes d'une plante (**El Kharrassi, 2015**). La teneur moyenne en huile des graines chez le figuier de barbarie est de 8,74 % (**Hayet et al., 2015**).

### 1.7.2.4 *Produits cosmétiques et pharmaceutiques :*

#### 1.7.2.4.1 *Rôle et importance des différentes parties de la plante :*

À côté de la valorisation des raquettes et des jeunes cladodes dans l'alimentation humaine et du bétail, Il est également utilisé depuis longtemps par les femmes rurales au Maroc pour assouplir leurs cheveux (**Arba, 2009a**), le mucilage à base des raquettes est utilisé pour fabriquer des produits de champoings et assouplissants des cheveux, des crèmes dermiques et des laits hydratants (**Pimienta-Barrios, 1994**). Ce mucilage de même que la poudre séchée des raquettes

permettent également le contrôle du sucre et de réduire le taux de cholestérol dans le sang (Fernandez *et al.*, 1990; Fernandez *et al.*, 1994). Le bouillit des fleurs séchées des *Opuntias* est utilisé en pharmacie traditionnelle au Maroc comme remède aux douleurs gastro-intestinales, aux brûlures et coups de soleil (Arba, 2009a). Le thé aux fleurs des *Opuntias* est utilisé comme remède aux maux des reins (Meyer and McLaughlin, 1981), et sont aussi utilisées comme régulateur diurétique et remède au dysfonctionnement de la prostate (Pimienta-Barrios E, 1993). Ces fleurs sont également administrées par voie orale comme médicament anti-hémorroïdes, et la sève de cladode est utilisée comme remède contre la coqueluche. Toutes les parties de la plante de cactus sont consommées pour leur teneur intéressante en antioxydants, en polysaccharides de pectine et en fibres. Des études scientifiques récentes ont mis en évidence que les molécules de cactus naturelles pourraient présenter un intérêt potentiel élevé pour la santé humaine et la médecine (Alimi *et al.*, 2010; Valente *et al.*, 2010; El Kharrassi, 2015). L'huile essentielle des graines des fruits de cactus est riche en acides gras polyinsaturés, stérols et vitamines, elle est utilisée comme anti-rides naturel et pour la fabrication de crèmes (Coşkuner and Tekin, 2003; Ennouri *et al.*, 2005), et actuellement elle est extraite et commercialisée par des ONG et des petites entreprises privées dans certaines régions du Maroc (Arba, 2009a).

**Tableau 4 :** Importance économique annuelle des produits de terroirs (cas de la région du Souss Massa Draa) (Faouzi, 2015) .

Productions	Valeur production (million MDH)	%
<b>Figuier De Barbarie</b>	<b>1 808</b>	<b>57,98</b>
<b>Arganier</b>	347	11,13
<b>Olivier</b>	68,6	2,20
<b>Palmier Dattier</b>	620	19,88
<b>Rose A Parfum</b>	32	1,03
<b>Safran</b>	38	1,22

#### 1.7.2.4.2 Evaluation des molécules bioactives d'intérêt dans les différentes parties de la plante :

##### 1.7.2.4.2.1 Les Vitamines :

Chez l'espèce *Opuntia ficus indica*, la peau du fruit est riche en vitamine E avec des quantités allant jusqu'à 17,6 g/kg d' $\alpha$ -tocophérol. Alors que, l'huile extraite de graines du fruit a une faible teneur en vitamine E : 0,403 g/kg, dont la majorité des cas, il s'agit d' $\gamma$ -tocophérol (0,330 g/kg) (Ramadan and Mörsel, 2003). Le fruit de cactus contient 180 à 300 mg/kg de vitamine C, ce contenu est plus élevé que dans d'autres fruits communs comme la pomme, la banane, ou de raisin (Piga, 2004). La vitamine K1 est présente dans toutes les parties du fruit, allant de 0,5 à 1 g/kg (Ramadan and Mörsel, 2003), alors que la vitamine B est uniquement présente dans la raquette sous forme de traces (Feugang *et al.*, 2006).

*1.7.2.4.2.2 Les acides aminés :*

Les graines et la pulpe de fruits peuvent être considérées comme très bonnes sources d'acides aminés et des protéines (Nassar, 2008; Zito *et al.*, 2012). Pour le fruit, les deux acides aminés prédominants sont la proline et de la taurine, qui représentent respectivement 46% et 15,78% de la teneur totale en acides aminés (El Kharrassi, 2015). Quant à la raquette, le principal acide aminé ressorti est la glutamine, suivie par la leucine, la lysine, la valine, l'arginine, la phénylalanine et l'isoleucine. Par contre, dans la graine l'acide aminé majeur est l'acide glutamique avec un pourcentage variant de 15,73% à 20,27%, suivie par l'arginine, (4,81% à 14,62%) (Uchoa *et al.*, 1998; Nassar, 2008).

*1.7.2.4.2.3 Les composés phénoliques :*

L'intérêt croissant pour les polyphénols porte sur leur potentiel antioxydant, qui est impliqué dans les prestations de santé telle que la prévention contre l'inflammation (Laughton *et al.*, 1991). Toutes les parties de la plante de cactus sont riches en différents membres de la famille des composés phénoliques tels que les flavonoïdes et les acides phénoliques (El Kharrassi, 2015). L'acide gallique et le 6-isorhamnétine 3-O-robinobioside sont les principaux composés, avec des teneurs respectives de 4,9 et 4,269 mg/100 g de matière sèche au niveau de la fleur du cactus (Clark *et al.*, 1980; Ahmed *et al.*, 2005; De Leo *et al.*, 2010), alors que la teneur en phénols totaux est de 218,8 mg/100 g au niveau de la pulpe du fruit (Fernández-López *et al.*, 2010). Quant aux graines de fruits, elles contiennent des quantités élevées de composés phénoliques allant de 48 à 89 mg/100 g et notamment les dérivés de féruloyl, tannins et sinapoyl diglucoside (Chougui *et al.*, 2013).

*1.7.2.4.2.4 Les phytostérols :*

Les études réalisés par Ramadan and Mörsel (2003), ont mis en évidence que des teneurs allant de 6,75 à 21,1 g/kg de  $\beta$ -sitostérol pourraient être extraites des différentes parties des fruits : la pulpe, la peau et les graines. Le campestérol est présent dans la graine et la peau avec une quantité de 1,66 à 8,76 g/kg, tandis que d'autres stérols tels que le stigmastérol, le lanostérol se retrouvent en petites quantités (Ramadan and Mörsel, 2003; El Kharrassi, 2015).

*1.7.2.4.2.5 Les composés minéraux :*

Les graines de fruits de cactus sont riches en minéraux avec une prédominance de potassium et de phosphore avec respectivement 163 et 152 mg/100 g de grains. On retrouve aussi une présence de grandes quantités, de magnésium (74,8 mg/100 g de grains), de sodium (67,6 mg/100 g de grains) et de calcium (16,2 mg/100 g de grains) (Kossori *et al.*, 1998; Medina *et al.*, 2007). Tandis que les principaux minéraux pour la raquette, sont le calcium et le potassium,

avec des quantités allant de 235 à 5520 mg/100 g (**Trachtenberg and Mayer, 1982; Feugang et al., 2006; Ayadi et al., 2009**).

#### 1.7.2.4.2.6 Les acides gras :

Plusieurs études ont mis en évidence que le cactus, et plus particulièrement les fruits, la pulpe, les graines ainsi que l'écorce, étaient riches en acides linoléique, oléique et palmitique (**Ramadan and Mörsel, 2003; Ennouri et al., 2005**). Le niveau d'acides gras oméga-6 (acide linoléique) dans l'huile de graines de cactus (53,5% à 70,29%) est supérieur à celui de l'huile de tournesol (**Filip et al., 2011**), de l'huile de pépins du raisin ou de l'huile de sésame (**El Kharrassi, 2015**).

### 1.7.3 Les cochenilles (*Dactylopius* Spp.) :

Les cochenilles (*Dactylopius* Spp.) sont un groupe américain d'insectes hémiptères prospérant sur les plantes d'*Opuntia* (**Spodek et al., 2014**). La cochenille a été pendant des siècles et jusqu'à aujourd'hui l'un des plus importants pigments utilisés (**Serrano et al., 2011; Serrano et al., 2013**). Grâce à leurs bénéfices pour la santé, la production de cochenille est en train d'être rétablie dans plusieurs zones tropicales et subtropicales du monde avec une diversité de techniques d'élevage (**Inglese et al., 2018**).

#### 1.7.3.1 Biologie des cochenilles :

Le genre *Dactylopius* est unique de la famille des *Dactylopiidae* (*Hemiptera* : *Coccoidea*). Les 11 espèces sont toutes parasites des cactus (**De Lotto, 1974; Spodek et al., 2014**). L'espèce domestiquée la plus utilisée à des fins commerciales est *D. coccus* (belle cochenille) pour sa forte teneur en pigment (> 20% d'acide carminique) (**Inglese et al., 2018**).

##### 1.7.3.1.1 Dimorphisme sexuel des cochenilles :

Les *Dactylopius* males ont des ailes au stade adulte, ils ont une taille plus petite que celle des femelles et sont très mobiles. Les femelles font une taille d'environ 6 mm, sans ailes, sédentaires, de forme ovale et couverte de cire poudreuse. Les males subissent une complète métamorphose depuis de stade de larves. Les caractéristiques du dimorphisme n'apparaissent pas sur les premiers stades immatures, les corps des femelles qui sont utilisés pour obtenir le pigment (**Inglese et al., 2018**).

##### 1.7.3.1.2 Cycle de vie et méthodes d'élevage des cochenilles :

Deux formes de coccidoculture sont utilisées dans le monde : sous abris et en plein air, le choix de la méthode d'élevage dépend des conditions climatiques locales (**Inglese et al., 2018**). Les femelles et les males passent par le stade œuf (Figure 11) et deux stades immatures. Le cycle biologique de l'œuf à l'adulte dure de 90 à 128 jours, en fonction de la température et d'autres

facteurs (Marín and Cisneros, 1977). La femelle pondant en moyenne 150–160 œufs, lesquels vont rapidement éclore et donner des nymphes, au cours de son cycle, la cochenille secrète un revêtement cireux blanc enveloppant son corps et réduit, ainsi, l'efficacité des produits phytosanitaires (Badii and Flores, 2001).

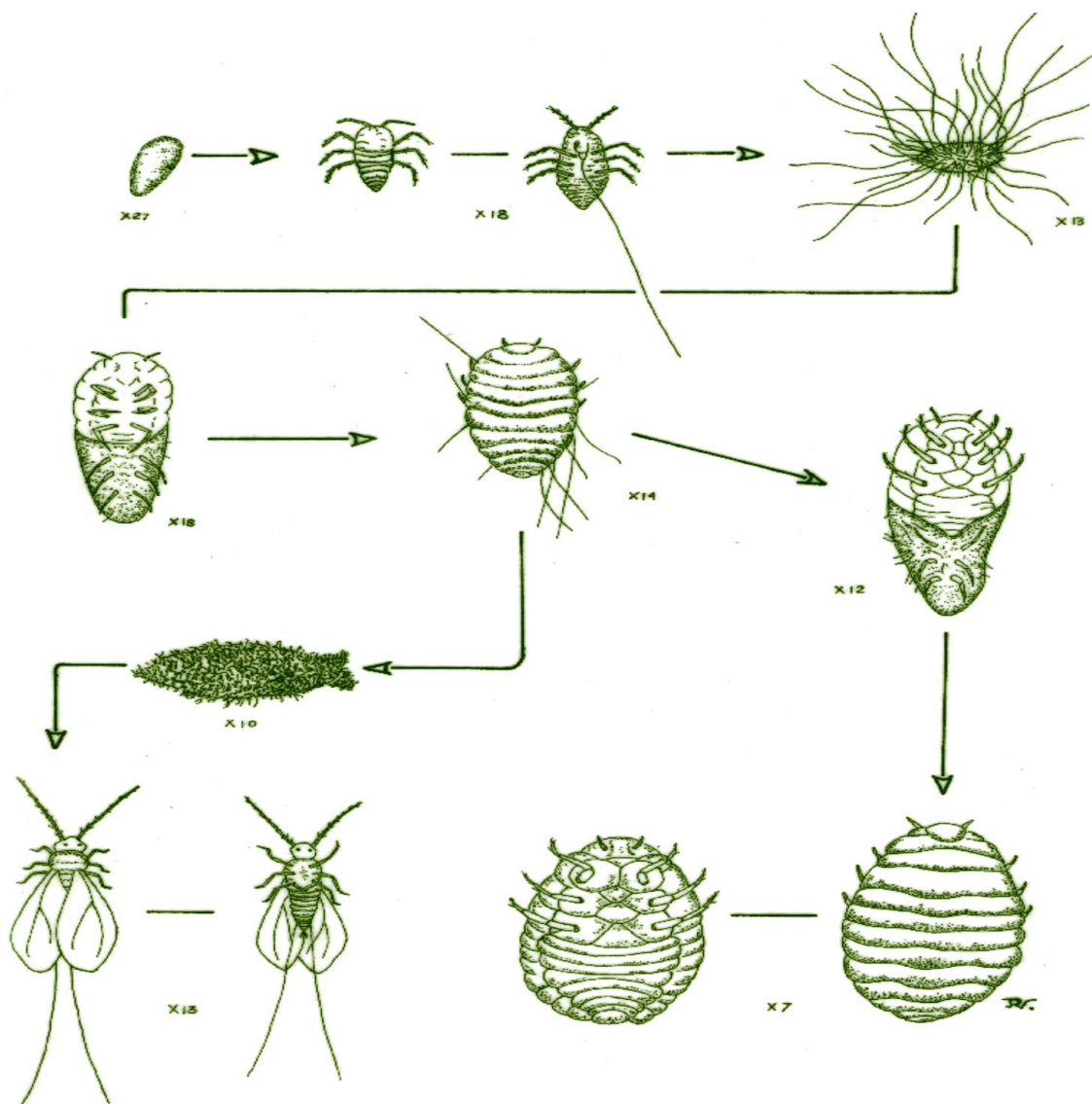


Figure 11 : Cycle biologique de l'œuf à l'adulte de *Dactylopius Spp.* (Marín and Cisneros, 1977).

### 1.7.3.2 Ecologie des cochenilles :

Tous les organismes sont en interactions équilibrées avec les facteurs dominants dans leur environnement d'origine. Cependant, l'équilibre peut être rompu, s'ils sont déplacés vers un nouvel environnement (zone non-originelle). En conséquent, ils peuvent devenir invasifs avec la perte d'équilibre (Inglese et al., 2018). Parmi les outils les plus communs pour réduire les effets de ce phénomène, le contrôle biologique, en contrôlant les espèces invasives étrangères jusqu'à ce qu'elles deviennent naturalisées et non invasives (Shine et al., 2000).

Les espèces d'*Opuntias* Spp. et de *Dactylopius* d'intérêt spécifique, pour une production commerciale, sont fréquemment déplacées en dehors de leurs zones d'origines (**Bravo Hollis and Sánchez Mejorada, 1978; Anderson and Brown, 2001; Majure et al., 2012**). Ces mouvements ont mené à la création de nouveaux problèmes d'adventices et de maladies, avec *Dactylopius Opunitae* dans les plantations d'*Opuntia ficus indica* au Brésil, en Espagne et dans d'autres pays du bassin méditerranéen (**Portillo, 2009; Vasconcelos et al., 2009**). Il y a un risque que de nouveaux problèmes continuent de survenir entre les cochenilles et les cultivars d'*Opuntia*, puisque certaines espèces de *Dactylopius* ont été et sont encore utilisées comme agents de contrôle biologique de plusieurs espèces d'*Opuntia* considérées comme invasives (**Inglese et al., 2018**).

Au Maroc, en 2014, malheureusement, après introduction de *Dactylopius opuntiae* (**Bouharroud et al., 2016**). Les infestations par cette cochenille entraînent des baisses de rendements, et les fruits et cladodes ne sont commercialisables (**Badii and Flores, 2001; Portillo and Viguera, 2004**). Devant l'étendue des dégâts, et pour empêcher la progression de ce ravageur, un plan d'urgence d'envergure d'arrachage et d'enfouissement des plants de cactus détruits, a été mis en place, en plus des actions de traitements chimiques au sein des zones infestées (**Sbaghi et al., 2019**), avec l'utilisation d'insecticides organophosphorés (**Badii and Flores, 2001**), qui peuvent avoir des impacts nocifs sur la santé humaine (**Galloway and Handy, 2003**), et l'environnement (**Arias-Estévez et al., 2008**). Cependant, la lutte à travers l'utilisation de cultivars résistants aux insectes ravageurs, est une stratégie de lutte encourageante, économique et sans effet pollueur pour l'environnement, réduisant ainsi les coûts de production et ne demandant pas de technicité particulière pour les agriculteurs (**Lara et al., 2004**).

#### 1.7.4 Rôle agro-écologiques du cactus :

Les *Opuntias* possèdent une très grande capacité d'adaptation aux conditions du milieu les plus critiques (aridité, chaleur, terrains dénudés...) et jouent un rôle très important dans la protection du sol par la constitution d'un microclimat favorable au développement d'une biomasse fourragère acceptable. Son adaptation à divers climats et sols a permis à cette plante de se répandre efficacement lorsqu'elle est utilisée dans la lutte contre l'érosion, la conservation, la restauration et la valorisation des sols et régénération des espèces naturelles. En effet, L'efficacité de l'utilisation du cactus pour la protection et la mise en valeur des terres sous climats arides et semi arides a été démontrée dans plusieurs régions du monde (**Boujghagh and Chajia, 2001**).



Utilisés en association avec d'autres espèces ligneuses, les *Opuntias* ont donné un meilleur résultat pour la fixation des dunes en Somalie et pour la lutte contre l'ensablement dans plusieurs pays d'Amérique latine et d'Afrique (Arba, 2000). Des études ont montré que le cactus améliore considérablement la fertilité organique du sol (matière organique=4,8%) et la richesse minérale du complexe absorbant (capacité d'échange cationique=70 méq/100g ; cations échangeables=11 méq/100g). Il construit relativement assez vite un horizon humifère qui crée un complexe Organo-minéral suffisamment épais pour donner naissance à un sol dynamique. Ce dynamisme se traduit par une activité microbienne intense, une minéralisation rapide de la matière organique libérée par les racines, il peut être considéré comme pionnier de la fabrication des sols particulièrement en zone aride (Tijani M, 2000). En plus de son rôle antiérosif, le cactus est cultivé pendant plusieurs décennies au Maroc, pour des usages traditionnels comme les haies de délimitation des parcelles et l'amélioration des périmètres pastorales (Kaanane, 2000).

## 1.8 Pratiques de production du cactus :

### 1.8.1 Nutrition de la culture :

Le figuier de barbarie est généralement considéré comme une culture rustique, capable de survivre dans les sols pauvres et les zones sèches. Cependant, si la plante est soumise à des sols de bonne qualité, une fertilisation et l'irrigation abondante, la productivité est considérablement améliorée. La productivité du nopal à fourrage peut être exprimée en kg de cladodes frais par plante ; elle est variable en fonction du génotype, de l'environnement et des pratiques de gestion de la culture, dont la fertilisation Mondragón Jacobo and Pimienta Barrios (1990) ont rapporté les effets bénéfiques de l'association de fumier et d'engrais de synthèse pour les figuiers de Barbarie dans des conditions d'agriculture pluviale, ainsi de meilleures réponses sont obtenues avec l'irrigation et en utilisant d'autres sources organiques comme le vermicompost, le fumier composté, le fumier solarisé et les produits mycorhiziens. Pour atteindre un objectif de rendement de 46,7 kg de matière fraîche (en considérant uniquement les cladodes), la gamme optimale de concentration pour les cinq éléments minéraux essentiels sont :  $N = 1,29 \pm 0,47\%$ ,  $P = 0,35 \pm 0,08\%$ ,  $K = 4,24 \pm 0,88\%$ ,  $Ca = 4,96 \pm 1,73\%$ ,  $Mg = 1,61 \pm 0,27\%$  (Blanco-Macías *et al.*, 2010). Les besoins en éléments minéraux dépendent de la quantité d'éléments minéraux disponibles dans le sol, du rendement attendu et de la densité de plantation. Afin d'obtenir 95% de rendement optimal (56-60 kg plante<sup>-1</sup>), en supposant une teneur en matière sèche de figue de barbarie d'environ 5%, la plante doit absorber 23,7 g N, 7,06 g P, 112,5 g K, 95,36 g Ca et 41,7 g Mg. Pour une densité de plantation de 10 000 plants ha<sup>-1</sup>, le sol doit donc fournir 24 kg N, 71 kg P, 1124 kg K, 954 kg Ca et 417 kg Mg ha<sup>-1</sup>, pour un rendement théorique de 564 tonnes ha<sup>-1</sup> de matière fraîche ou 28 tonnes ha<sup>-1</sup> de matière sèche (Magallanes-Quintanar *et al.*, 2004; Valdez-Cepeda *et al.*, 2009; Blanco-Macías *et al.*,



2010). L'apport de fumier bénéficie d'une attention croissante, à cause de l'intérêt croissant pour les produits issus de l'agriculture biologique sur les marchés modernes et l'augmentation continue du prix des engrais artificiels. Les expériences directes des producteurs et les résultats d'expérimentations formelles insistent sur l'intérêt de l'irrigation et de la fertilisation dans des proportions adéquates pour obtenir des rendements élevés (Flores Barrera, 2013).

### 1.8.2 Irrigation de la culture :

L'irrigation goutte à goutte est une méthode efficace pour les vergers de cactus. Les avantages de l'irrigation goutte à goutte comprennent : la capacité d'apporter des engrais solubles ; des économies d'engrais de 30 à 50% (en comparaison avec de l'irrigation par asperseurs ou par sillons) ; une réduction de la compétition des adventices et l'amélioration de la préservation des sols et de l'eau (Vásquez Alvarado *et al.*, 2009). À la suite d'une étude réalisée par Castillo *et al.* (2003) sur l'irrigation superficielle et sous-superficielle et trois niveaux d'humidité du sol - 30, 45 et 60% d'évaporation journalière pour plusieurs espèces d'*Opuntia*, ils indiquent un rendement total de 100.4 tonnes ha<sup>-1</sup> et 18.8 kg de cladodes par m<sup>3</sup> d'eau. L'utilisation totale d'eau est de 5340 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, c'est-à-dire moins que ce qui est nécessaire pour produire du maïs, des haricots secs et des fourrages (dont les besoins sont de 5500 à 18000 m<sup>3</sup>). Selon ces données, les auteurs recommandent pour les variétés d'*O. ficus-indica* : une irrigation à 45% de l'évaporation journalière et un apport annuel de 161, 60.7 et 914 kg ha<sup>-1</sup> de N, P et K, respectivement.

## CHAPITRE 2 : Télédétection et SIG

### 1 Contribution de la Télédétection et SIG dans l'étude et l'évolution spatiotemporelle du couvert végétal à base de peuplements de cactus dans la Région de Rhamna :

Au Maroc, l'agriculture joue un rôle clé dans l'économie, les céréales et les légumineuses occupant une place très importante dans les zones cultivées. Au cours des dernières décennies, plusieurs régions du pays ont souffert de la rareté des précipitations, limitant le développement et l'amélioration du niveau de vie des populations des zones difficiles (Gommes et al., 2009). Le cactus (*Opuntia* Spp.) a longtemps suscité un intérêt particulier dans les régions arides du pays où il était considéré comme culture alternative capable de s'adapter à des conditions environnementales les plus critiques, pour générer des revenus pour les agriculteurs et créer des emplois locaux. À partir de 2008, l'année du lancement du Plan Maroc Vert (PMV) qui a mis en évidence l'ensemble des filières animales et végétales, grâce aux efforts d'investissement et de soutien du Ministère de l'Agriculture de la Pêche Maritime, du Développement Rural et des Eaux et Forêt dans différentes régions du Royaume du Maroc, et l'adhésion des agriculteurs à la politique de replantation du cactus. La filière cactus a donc pris de l'importance dans le cadre de l'agriculture solidaire (Pilier II du PMV), avec une augmentation considérable de la superficie ensemencée et, par conséquent, une augmentation de la production au niveau national (Sbaghi et al., 2019).



**Figure 12 :** Cultures à haute densité de plantation à base de *O. ficus indica* et *O. megacantha* pour la production de fourrage dans la Région de Rhamna, en 2014 (photo, Achraf Mabrouk).

Malheureusement, au Maroc, tous les efforts déployés pour le développement durable de la filière cactus ont été réduits par l'introduction, en 2014, d'une cochenille invasive (*Dactylopius opuntia*) spécifique à *Opuntia* Spp. (Bouharroud *et al.*, 2016). Depuis son premier signalement, cette cochenille a ravagé la totalité de la production de cactus de la région de Doukkala, puis l'infestation s'est très rapidement propagée aux autres régions productrices de cactus (Rhamna, Haouz, Safi, Beni-Mellal, Chaouia, Oriental et Souss).



**Figure 13** : Cultures de cactus ravagé par *Dactylopius Opuntia* dans la région de Rhamna, en 2020 (photo, Achraf Mabrouk).

Des études réalisées par Lopes *et al.* (2009), ont rapporté les dégâts causés par *Dactylopius Opuntia* au Brésil sur l'espèce fourragère de cactus *Opuntia ficus indica*, et qui a entraîné des pertes sur 100 000 ha estimées à 25 millions de dollars.

La région cible de Rhamna qui est considérée parmi les régions pionnière de production de cactus et ses dérivés, avec une production annuelle de cactus est d'environ 265 000 tonnes (Bendaou and Ait Omar, 2013). Le cactus a été introduit dans le terroir pour des fins de restauration et de conservation des sols. Ainsi, pour la consommation humaine et alimentation du bétail, les écotypes épineux dits «Dribina» sont utilisés comme clôtures des parcelles. Grâce au développement des acteurs de production et de valorisation du fruit et de raquettes, plusieurs produits spécifiques à base de cactus ont vu le jour dans cette zone devenue cible et exemple mondial de développement de la filière cactus. Les jeunes raquettes non lignifiées transformées en filets, les raquettes anciennes et lignifiées utilisées pour l'alimentation animale, les fruits de



gros calibres vendus frais et ceux de petits calibres transformés en confiture et jus tandis que leurs graines sont utilisées pour l'extraction de l'huile de cactus, 80% de la production est ainsi vendue dans les grands centres urbains proches de la région (**Jacob, 2017**).

Ajoutant à ce contexte, la gestion de l'environnement et la préservation de la biodiversité qui sont aujourd'hui considérées comme une priorité. Pour étudier le phénomène de dégradation des ressources naturelles, nombreux sont les travaux basés sur la télédétection spatiale réalisés dans le cadre des études d'occupation du sol et de statistiques agricoles (**Hill, 2013; Goussot et al., 2014**).

## **1.1 Détection des changements et évaluation de la dynamique :**

Les écosystèmes subissent de façon permanente des variations dans les composantes extérieures du végétale (**Milne, 1988**). Les changements peuvent être brusques ou subtiles, d'origine humaine ou naturelle. D'un autre côté, certains changements peuvent affecter de façon uniforme et instantanément des zones entières alors que d'autres peuvent avoir des structures spatiales très complexes. On distingue le plus souvent entre les conversions d'occupation du sol qui consistent en un remplacement complet d'une occupation du sol par une autre, et les modifications d'occupation du sol qui consistent en de subtils changements dans les caractéristiques de cette dernière, sans pour autant modifier la classification globale de l'occupation du sol en question. Il apparaît donc que les changements qui peuvent affecter les écosystèmes naturels sont divers et peuvent se manifester de différentes façons (**Kielland-Lund, 1994**).

### **1.1.1 Détection des changements :**

Selon **Lagabrielle et al. (2007)**, la détection des changements est un processus d'identification d'état d'une zone donnée, en l'observant à des dates différentes, afin de comprendre au sens large, l'évolution temporelle de cette zone.

Les moyens d'observer l'état des objets ou des phénomènes terrestres sont variés, allant de la collecte directe sur le terrain, à l'observation de photographies aériennes et aujourd'hui à la télédétection, en outre, en fonction des moyens d'observation utilisés, le déroulement du processus de détection de changement variera également (**Singh, 1989**). A travers **Coppin and Bauer (1996)**, on distingue deux grandes familles de procédés de détection de changements :

- la détection visuelle des changements (Visual Change Detection) qui se réalise au moyen de la collecte de données visuelles sur le terrain et/ou de l'interprétation visuelle de photographies aériennes.

- la détection numérique (automatisée) des changements (Digital Change Detection) qui est conçue à l'aide des données spatiales numériques.

### **1.1.2 Méthodes d'évaluation de la dynamique de la végétation :**

Il existe plusieurs façons de faire face à l'évolution progressive ou de régression du couvert végétal. Cette évolution peut conduire au transfert de superficie d'un peuplement ou d'une occupation du sol à une autre, entraînant une perte de densité du couvert et une dégradation due à la réduction de la biodiversité. De plus, l'évaluation dynamique utilise une ou plusieurs méthodes de détection des changements, ceux-ci peuvent être utilisés conjointement avec d'autres processus d'analyse pour rendre l'évaluation plus efficace. En fait, plusieurs méthodes ont été utilisées pour déterminer la nature de ces processus et évaluer le nombre de surfaces impliquées. Ces méthodes peuvent être divisées en trois catégories : inventaire régulier, méthodes diachroniques et méthodes F.A.O. (Foundi, 1998).

## **1.2 Processus d'extraction d'informations à partir des données satellites :**

Les cartographies, tout comme les spécialistes des ressources et les responsables de l'aménagement du territoire ont développé l'utilisation des images et données satellitaires pour la cartographie thématique. Les applications concernent plusieurs domaines tels que la production cartographique, les études géologiques et hydrologiques, l'inventaire et l'aménagement du territoire et la surveillance de l'environnement (Lauer *et al.*, 1994).

### **1.2.1 Image, trait et carte thématique :**

L'utilisation des données satellitaires pour la production cartographique conduit soit à une "iconcard" (carte sur fond d'image) du paysage, soit à une carte au trait des caractères importants, soit enfin à une représentation thématique complète de la surface du terrain. Le processus de production peut être limité à la correction géométrique numérique et à l'amélioration de l'image radiométrique, tout en maintenant une teinte continue de la surface de la terre et en combinant éventuellement l'image corrigée avec les informations cartographiques d'autres sources. L'extraction d'informations thématiques ou partielles à partir d'une "iconcard" doit être effectuée par l'utilisateur en employant des techniques d'interprétation visuelle d'image (Lauer *et al.*, 1994).

### **1.2.2 Interprétation visuelle d'image :**

#### **1.2.2.1 Principes de base :**

L'interprétation visuelle d'image est souvent un moyen efficace et économique pour extraire des informations utiles à partir des images satellites thématiques. Cependant il est essentiel de comprendre à la fois les procédures utilisées dans l'interprétation, et les concepts

sur lesquels reposent ces procédures (**Lauer et al., 1994**). Les bases en interprétations d'image satellitaire peuvent être énoncés comme suit :

1. Une image satellite n'est qu'une forme graphique de données fournissant une représentation image des motifs du paysage ;
2. Ces motifs sont composés d'éléments, d'indicateurs, d'objets et de phénomènes qui représente les composantes physiques, biologiques et culturelles de la zone à étudiée ;
3. Les conditions semblables dans des environnements semblables fournissent des formes similaires, et des conditions différentes fournissent des formes différentes ;
4. Le type et la quantité d'informations qui peuvent être tirés à partir d'une image satellite sont fonction des connaissances, de l'expérience, des capacités et de l'intérêt de l'imagiste, ainsi des limites des méthodes utilisées (**Estes, 1980**).

#### **1.2.2.2 Méthodes d'interprétation :**

L'interprétation visuelle d'image peut être définie comme un processus de détection, de délimitation et d'identification des formes et/ou des attributs de l'image, ainsi l'évaluation de leurs significations. Les paramètres d'image permettant la localisation, délimitation, l'identification et l'évaluation des objets à cartographier sont : la valeur, la couleur, la texture, la structure, la forme, la taille, l'ombre, la parallaxe, et les variations temporelles. Certains facteurs sont en relation directe à la fois avec la perception de ces paramètres et le résultat de l'interprétation (**Lauer et al., 1994**), Ces facteurs comprennent :

1. La sensibilité du système imageur (dispositifs Opto-électriques ou autres types de détecteurs) ;
2. Les caractéristiques de résolution du système imageur ;
3. L'exposition du film ou le traitement de données ;
4. La saison ;
5. L'heure ;
6. Les effets atmosphériques ;
7. L'échelle de l'image ;
8. Le mouvement de l'image ;
9. La parallaxe stéréoscopique ;
10. L'acuité visuelle et mentale de l'interprète ;
11. Les techniques et les outils d'interprétation ;
12. Les données auxiliaires.

Les facteurs de 1 à 9 affectent plutôt la qualité de l'imagerie alors que 10, 11 et 12 reflètent d'avantage la capacité humaine à extraire l'information des images, l'objectif essentiel durant l'analyse des images-satellites est de déterminer la combinaison optimale des paramètres nécessaires pour résoudre les problèmes spécifiques de cartographie thématique (**Lauer et al., 1994**).

### 1.2.2.3 Paramètres de l'image :

#### 1.2.2.3.1 La valeur :

La valeur dans une image-satellite correspond aux nuances de gris (la brillance) que peut prendre un objet qui s'instruit dans la quantité d'énergie qu'il réfléchit et/ou émet. C'est un élément majeur, utilisée avec d'autres outils de reconnaissance, pour identifier et interpréter les objets. L'imagiste peut mettre à profit les variations d'énergie émise ou réfléchie en utilisant des images prises dans les canaux spectraux qui donnent des contrastes optimaux entre les objets à étudier (Colwell, 1961).

#### 1.2.2.3.2 La couleur :

Un objet a une couleur lorsqu'il reflète différentes quantités d'énergies dans des combinaisons particulières de longueurs d'onde. L'œil humain peut distinguer environ 1000 fois plus de nuances de couleurs que de tons de gris, de ce fait, la couleur permet de distinguer et d'interpréter diverses informations sur la surface terrestre, tel que la végétation qui apparaît verte, en effet les plantes renvoient plus d'énergie dans le vert que dans le rouge et le bleu. (Lauer *et al.*, 1994).

#### 1.2.2.3.3 La texture :

La texture est un important facteur d'interprétation des images satellites. En imagerie satellitaire, la texture naît de la répétition des variations de valeur ou de couleur dans un groupe d'objets trop petits pour être distingués. Il en résulte que la taille des objets produisant des effets de texture est liée à la résolution et à l'échelle des images (Lauer *et al.*, 1994).

#### 1.2.2.3.4 La structure :

Les images captent souvent un grand nombre de structures significatives, certaines de ces structures sont culturelles, d'autres naturelles, les spécialistes attachent depuis toujours une grande importance à la structure, ou disposition spatiale des objets (Lauer *et al.*, 1994).

#### 1.2.2.3.5 La forme :

La forme des objets ou des zones vues à la verticale est difficile à interpréter. La capacité de comprendre et d'utiliser une vue verticale doit être acquise. Elle se révèle alors comme un outil puissant d'interprétation (Lauer *et al.*, 1994).

#### 1.2.2.3.6 La taille :

L'une des clés d'interprétation les plus utiles est la taille des objets, l'interprète en imagerie spatiale doit être conscient de l'échelle iconique lors de l'évaluation la taille d'un objet, ainsi face à un objet inconnu, le mesurer est toujours conseillé. En cas de travail sur des



images satellites à échelle variable, il est souhaitable de mesurer fréquemment les objets d'intérêt (**Lauer et al., 1994**).

#### **1.2.2.3.7 L'ombre :**

L'ombre est un phénomène familier, elle sert souvent à déduire la taille et la forme des objets dont elle est issue, Les ombres sont particulièrement utiles dans le cas d'objets très petits ou peu contrastes par rapport à leur environnement (**Avery, 1966**) .

#### **1.2.2.3.8 La parallaxe :**

La parallaxe est l'impact d'un changement d'incidence d'observation, En d'autres termes, la parallaxe est l'effet du changement de position de l'observateur sur ce qu'il perçoit. Toutefois, avec l'amélioration des performances des capteurs (résolution, recouvrement, etc.) disponibles sur les satellites actuels et futurs, les observations stéréoscopiques et les mesures de parallaxe prennent de plus en plus d'importance pour les interprètes (**Lauer et al., 1994**).

#### **1.2.2.3.9 Les Phénomènes temporels :**

Pour certaines applications de cartographie thématique, un grand nombre d'informations complémentaires sont fournies par la comparaison d'images prises à différentes périodes. par exemple ,les analyses agricoles, ces derniers peuvent être plus complètes grâce à des images prises à divers stades du cycle de croissance (**Lauer et al., 1994**).

### **1.2.3 L'interprétation d'image assistée par ordinateur :**

#### **1.2.3.1 Principes de base :**

Les ordinateurs jouent un rôle essentiel dans l'analyse, l'interprétation, l'évaluation et la comparaison avec rapidité et précision, de grandes quantités de données numériques comprises dans les images satellitaires multi bandes utilisées en cartographie thématique. L'interprétation d'image assistée par ordinateur est plus adaptée que l'interprétation visuelle au traitement de vastes surfaces qui requièrent des classes d'information détaillées (**Lauer et al., 1994**).

Principes de base :

1. Les données du satellite sont souvent déjà sous forme numérique ;
2. Possibilité de corriger les erreurs dues aux capteurs ou aux systèmes de traitement ;
3. Disposition de diverses fonctions la correction l'éclaircissement ;
4. Chaque élément de l'image (pixel) peut être analysé ;
5. Application des traitements mathématiques ou statistiques sophistiqués aux données cartographiques ;
6. Interprétation objective et répétable ;
7. Analyse numérique plus fine que l'analyse visuelle ;

8. Possibilité de traitement de grandes quantités de données ;
9. Facilité d'intégration aux données numériques du satellite d'autres types de données (cartes, statistiques, autres capteurs, etc.) ;
10. Possibilité d'obtention automatiquement des produits variés : cartes, tables, images, etc.

Toutefois, cette technique présente un certain nombre d'inconvénients (**Lauer et al., 1994**) :

1. Investissement financier important ;
2. Nécessite de former spécialement des programmeurs et des interprètes ;
3. Cout plus élevé des données ;
4. Moindre fiabilité dans des environnements complexes ;
5. Résultats pas toujours compréhensibles pour l'utilisateur.

#### **1.2.3.2 Prétraitement d'image :**

##### **1.2.3.2.1 Corrections radiométriques :**

Les lignes ou segments défectueux, ou des pertes de pixels provoquent l'apparition de dérayures intermittentes. Quand ces problèmes se présentent dans des données numériques satellitaires, ils entraînent des erreurs de classification car les données fausses ne s'intègrent pas aux séries statistiques d'entraînement. Une technique utilisée pour insérer de nouvelles données est de remplacer la ligne défectueuse par la ligne précédente. Une seconde technique couramment employée est de substituer aux données fausses celles obtenues par interpolation des valeurs de brillance des pixels des lignes précédentes et suivantes (**Jensen, 1986**).

##### **1.2.3.2.2 Corrections géométriques (généralités) :**

L'imagerie satellitaire recèle des erreurs géométriques systématiques et prévisibles, comme la distorsion transversale due à la rotation de la terre, et la variation de longueur des lignes si le système d'observation comporte un dispositif de balayage par miroir. D'autres erreurs, variables et mesurables, incluent les distorsions dues aux variations de la vitesse du satellite, de son altitude et de son attitude (**Williams, 1979**), pour corriger ce type d'erreurs, il faut d'abord en mesurer les effets. Cette correction peut être faite en mesurant les écarts apparents sur des points d'appui qui sont des objets identifiables sur l'image dont on connaît les coordonnées géographiques (**Andrews and Hunt, 1977**).

##### **1.2.3.3 Accentuation d'image :**

L'accentuation d'image a pour objectif de mettre en valeur la qualité de l'interprétation visuelle, en intensifiant ses caractéristiques majeures, spectrales ou spatiales, tout en éliminant les caractéristiques mineures ou les redondances (**Lauer et al., 1994**).

#### 1.2.3.3.1 Accentuation de contraste :

L'accentuation de contraste (ou étalement) est obtenue par amplification de la gamme des brillances (ou d'extraits choisis) d'une image (**Pinson and Lankford, 1981**).

#### 1.2.3.3.2 Accentuation spatiale :

Les accentuations spatiales adaptent la valeur de la brillance de chaque pixel par comparaison à celle des pixels proches, L'accentuation des limites est un filtrage des hautes fréquences, la correction de lissage est un filtrage des basses fréquences (**Moik, 1980**).

#### 1.2.3.3.3 Combinaisons arithmétiques (ratio et différence) :

Des combinaisons arithmétiques simples d'images satellitaires fournissent une méthode pour mettre en évidence les changements au cours du temps, pour réduire les effets topographiques et surtout d'éclairement, et pour combiner les données en un plus petit nombre de canaux, Une image "ratio" est calculée en divisant la radiométrie de chaque pixel dans un canal par la valeur correspondante dans un autre canal ou groupe de canaux (**Schowengerdt, 2012**). Une des façons de calculer un ratio consiste à réaliser une "image index" ou, pixel par pixel, la valeur d'un canal est soustraite à celle d'un autre, puis divisée par la somme des deux, cette technique, appliquée dans les bandes rouges et proches infra-rouges pour des données satellites multi bandes, permet d'acquérir une excellente indication de la présence, ou de l'absence, de "végétation verte", Cette dernière est dénommée Image Index Normalisée de Différence de Végétation (INDV) (**Gallo and Daughtry, 1987**).

#### 1.2.3.3.4 Transformation spectrale (rotation) :

La transformation spectrale permet de réduire systématiquement les données hautement corrélées à un petit nombre de canaux non redondants qui conservent la majeure partie de la variance contenue dans les données d'origine (**Fontanel et al., 1975**).

#### 1.2.3.4 Classification des images :

La classification assistée par ordinateur de l'imagerie satellite numérique consiste à regrouper un grand nombre de pixels individuels en un petit nombre plus commode de classes ou catégories thématiques, L'ensemble de la classification thématique permet de décrire par exemple la végétation ou la couverture du sol, l'utilisation du sol, des zonages géologiques ou hydrologiques (**Lillesand et al., 2015**).

#### 1.2.3.4.1 Choix d'une classification :

L'interprétation multi bande nécessite deux étapes conceptuelles. La première est l'identification du modèle spectral de chaque catégorie de sujet, et la seconde est la sélection de règles de classification qui affectent des pixels à la catégorie de sujet en comparant les

caractéristiques spectrales des pixels avec le modèle spectral défini dans la première étape (**Schowengerdt, 2012**), Différentes règles de classification peuvent être utilisées pour déterminer l'allocation de pixels inconnus en fonction de leurs caractéristiques spectrales :

- Distance minimale aux moyennes.
- Distance minimale au plus proche pixel d'une classe.
- Parallélépipède.
- Maximum de vraisemblance.

#### *1.2.3.4.2 La classification :*

En utilisant la règle de classification du maximum de vraisemblance, chaque pixel est affecté à une catégorie spectrale, qui a la plus grande fonction de densité de probabilité pour la valeur multi bande du pixel. Chaque pixel peut être affecté à une et une seule catégorie spectrale. Chaque pixel peut être affecté à une et une seule catégorie spectrale. Le classement par catégorie est obtenu en regroupant les résultats afin que chaque classe représente une seule catégorie thématique (**Fosnight, 1988**).

#### *1.2.3.4.3 Produits de sortie des classifications :*

Les données satellitaires sont déformées géométriquement, il est donc nécessaire de corriger ces distorsions pour fournir des formes utilisables de résultats de classification. Une référence géométrique est définie à l'aide de points d'appui identifiables à la fois sur l'image satellite et sur la carte, les équations de transformation sont notées pour ces points d'appui afin d'établir un lien entre l'image, la carte et les coordonnées géographiques. Les équations sont appliquées de manière à obtenir une géométrie correcte pour les calques et films issus de la classification (**Lauer et al., 1994**).

## CHAPITRE 3 : Biotechnologie végétale

### 1 Multiplication végétative des *Opuntias* :

Semblablement à d'autres plantes succulentes, les cactacées peuvent être multipliés par voie sexuée et végétative (**Lema-Rumiska and Kulus, 2014**). La multiplication via les graines est simple et fréquente dans la nature. Cependant, chez les cactacées, la propagation via les graines est limitée chez certaines espèces, à cause de la difficulté d'obtention de graines dans des conditions limitées de floraison, mais aussi, du taux de germination assez faible de ces derniers (**Jenkins, 1993**). Le développement de bourgeons collatéraux et de racines adventives est important chez plusieurs cactus (**Mauseth and Halperin, 1975**), ce qui leur engendre une habilité pour se répandre, permettant aux producteurs de cactus d'adopter la multiplication végétative par bouturage et greffe comme technique de base (**Lema-Rumiska and Kulus, 2014**).

L'import des plantes entières collectés sur le terrain, était crucial pour la propagation des cactus (**Barthlott, 2001**), ce qui a poussé les recherches durant ces dernières années à développer et améliorer des méthodes efficaces et fiables pour l'extension de cette culture. Ces méthodes ont rendu les cactus beaucoup plus accessibles, ainsi la micropropagation de ces derniers est l'une des méthodes adoptées.

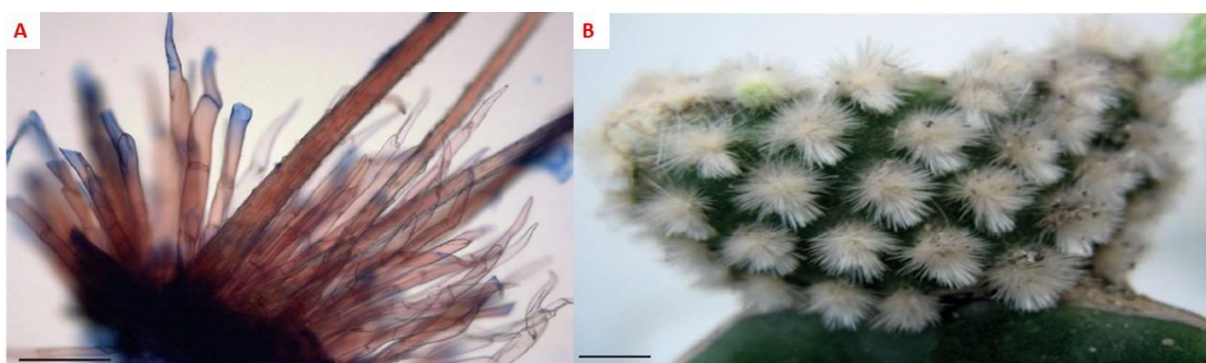
Toutes ces méthodes nécessitent de grands espaces pour la multiplication et présentent un faible taux de propagation. Au contraire, les méthodes alternatives modernes telle que la multiplication par propagation *in vitro*, est une option envisageable pour une multiplication rapide tout en préservant le matériel génétique. Elle fournit un taux de régénération élevé, tout en réduisant l'espace requis, avec l'obtention de plantes saines et exemptes d'agents pathogènes (**Johnson and Emino, 1979; Smith et al., 1991**), en plus de leurs stabilités et conformité à la plante mère, si le bourgeonnement est réalisé à partir des aréoles (**Potter and Jones, 1991; Lema-Rumiska and Kulus, 2014**).

La micropropagation des pousses axillaires a été adoptés dans la multiplication de plusieurs types de cactus. Selon le genre, l'explant utilisé peut-être : pousses terminales de semis, des fragments de plantes ou de cladodes ainsi que des aréoles simples. Malgré la publication de plusieurs travaux de recherches décrivant les protocoles de multiplication, tels que pour **Johnson and Emino (1979)**, **Escobar et al. (1986)**, **Smith et al. (1991)**, **Rubluo et al. (1996)** et **García-Saucedo et al. (2005)**, l'efficacité du protocole reste une cible à atteindre. Cependant, la plupart des réponses de la culture des tissus dépendent considérablement de plusieurs

facteurs, plusieurs modifications, et accommodations importantes peuvent être apportées, à l'introduction d'une nouvelle espèce ou un nouveau cultivar (Estrada-Luna *et al.*, 2008).

Généralement, la contamination des cultures *in vitro* est l'un des problèmes qui cause l'échec de la micropropagation. Bien que des conditions d'asepsie soient généralement impliquées, la contamination peut se produire dans les cultures *in vitro* (Cassells, 1986; Boxus and Terzi, 1987; Leifert and Waites, 1990a, 1990b), et peut causer de pertes importantes des explants micropropagés à chaque stade de leurs croissance (Cassells, 1991; Leifert *et al.*, 1991). Cependant, Les sources des contaminants des cultures sont complexes à déterminer (Leifert and Waites, 1994), et sont généralement dues au microorganismes épiphytes et/ou endophytes (Debergh and Vanderschaeghe, 1988).

Chez les cactus, les épines et les poils que l'on trouve normalement dans ces plantes (Figure 14) hébergent une grande variété de microorganismes (García-Saucedo *et al.*, 2005), et généralement l'utilisation de l'agent désinfectant à forte concentration peut endommager le tissu végétal, de même à des faibles concentrations la désinfection ne peut avoir lieu.



**Figure 14 :** *Opuntia microdasys* (Lhem.) Pfeiff. présentant de nombreux glochides **A:** échelle : 40 µm ; **B:** échelle : 1cm (Arruda and Melo-de-Pinna, 2016)

## 2 La micropropagation des cactus :

Depuis le développement de la plateforme de la micropropagation en 1902 (Haberlandt, 1902), les méthodes de micropropagation des cactus se sont bien développées depuis les cinq dernières décennies (King, 1957; Steinhart, 1962; Londe *et al.*, 2019; Warren-Hammack, 2019). C'est un outil utile à la fois pour la conservation et protection des espèces menacées ainsi que pour la production commerciale à grand échelle. Après avoir développé les méthodes spécifiques de micropropagation d'une espèce cible, la multiplication est souvent plus rapide que la culture traditionnelle (Pilate *et al.*, 2002).

Parmi les techniques les plus communes de micropropagation des cactus, on retrouve l'activation des bourgeons axillaires, des pousses adventives ainsi que la régénération par



embryogénèse somatique (**Lema-Rumiska and Kulus, 2014**), ces méthodes ont été appliquées sur de nombreux genres cactus, tels que *Opuntia ficus-indica* (**El Finti et al., 2012**), *Opuntia Ellisiana* (**Juárez and Passera, 2002**), *Opuntia amyclaea* (**Escobar et al., 1986**), *Opuntia lanigera* (**Estrada-Luna et al., 2008**), *Astrophytum*, *Aztekium* (**Vyskot and JáRa, 1984**), *Mediocactus coccineus* (**Infante, 1992**), *Pelecypora aselliformis* (**Pérez-Molphe-Balch and Dávila-Figueroa, 2002**), *Cereus peruvianus* (**Machado and Prioli, 1996**), *Pilosocereus robinii* (**Quiala et al., 2009**).

## 2.1 Avantages liés à la micropropagation des cactus :

Comme cité au préalable, la micropropagation est un moyen efficace et fiable permettant de produire un nombre important de nouvelles plantes à partir d'un seul explant. Cela engendre une augmentation qualitative et quantitative des plantules régénérées (tels que celles exemptes de virus par exemple), permettant de se disposer de matériel végétal axénique tout au long de l'année (**Lema-Rumiska and Kulus, 2014**). Généralement, les conditions de la culture *in vitro* tels que l'humidité élevée, la concentration adéquate en source de carbone (sucres) et aussi l'équilibre hormonal, offrent au profit des vitroplants une croissance et développement plus rapide que ceux propagées traditionnellement (**Pérez-Molphe-Balch and Dávila-Figueroa, 2002**).

### 2.1.1 La stabilité génétique :

Un autre avantage de cette technique est la stabilité génétique du matériel végétal régénéré, la variation somaclonale et les altérations génétiques dans les plantes régénérées sont généralement absentes ou faibles par rapport aux autres techniques de culture *in vitro* tels que l'haplodiploïdisation, en raison de l'utilisation d'explants méristématiques (**Pérez-Molphe-Balch et al., 2015**). La régénération de plantules à partir d'explants méristématiques (par exemple, les aréoles apicales, bourgeons latéraux, ou parties de plantules qui comprennent des aréoles) réduit le risque de variation puisque toutes les plantes produites sont des clones génétiquement identiques (**Lema-Rumiska and Kulus, 2014**).

### 2.1.2 Production *in vitro* de métabolites :

Parmi les avantages de la culture tissulaire, on retrouve aussi la possibilité de produire des métabolites à valeur pharmaceutique, cosmétiques et/ou nutraceutiques, tels rapporté chez *Cereus peruvianus* et *Opuntia robusta* (**Karimi et al., 2010; Astello-García et al., 2013**).

## 2.2 Problèmes liés à la micropropagation des cactus :

Malgré tous les avantages que présente la micropropagation des cactacées, cette dernière présente également certaines limites. Les méristèmes des cactus sont localisés dans des aréoles, ce qui rend l'étape de désinfection très délicate à cause de la sensibilité des méristèmes aux fortes concentrations des agents de désinfection et les temps d'exposition avec ces derniers, tels que les consignes rapportées **Lema-Rumiska and Kulus (2014)**, dont les fortes concentrations d'hypochlorite de sodium (supérieures à 2%) et le temps d'exposition supérieur à 25 min causent l'endommagement des explants.

Les espèces de cactus difficiles à désinfecter, compliquant ainsi le processus de désinfection sont ceux qui possèdent de nombreuses épines ou poils lignifiés, et où on y trouve de nombreux micro-organismes contaminants. Les épines et les poils doivent être retirés avec précaution car le tissu méristématique est situé immédiatement sous ces derniers. (**Gratton and Fay, 1999; El Finti et al., 2012**). Au contraire de **Viñas et al. (2012)** qui ont travaillé sur *Hylocereus costaricensis*, et qui ont ressortis que de bons résultats ont été obtenus en désinfectant le matériel végétal sans enlever les épines. D'autre part, chez les cactus, et due à la compacité de leurs formes, l'isolement des explants est rendu plus difficile que pour d'autres espèces (**Havel and Kolář, 1983**).

Chez le genre *Opuntia*, l'isolement des aréoles après la désinfection de cladodes entiers, est plus efficace que la désinfection effectuée après dissection de ces derniers (**Juárez and Passera, 2002**). Dans des conditions *in vitro* plusieurs cactus peuvent produire de grandes quantités d'auxines, stimulant ainsi la prolifération callogène, ce qui pourrait dévier la micropropagation (**Clayton et al., 1990**). Un autre problème potentiel, provoquant la nécrose des explants est dû à la sécrétion de composés phénoliques et l'oxydation (**Balch et al., 1998; Vidican, 2012**), ce problème peut être résolu en ajoutant des antioxydants au milieu de culture (**Lema-Rumiska and Kulus, 2014**).

En raison de l'humidité élevée dans le récipient de la culture *in vitro*, les stomates des explants de cactus restent ouverts, même pendant l'acclimatation (**Düring and Harst, 1996; Pospíšilová et al., 1999; Kamenicka et al., 2002**), ce qui rend cette étape de sevrage très délicate.

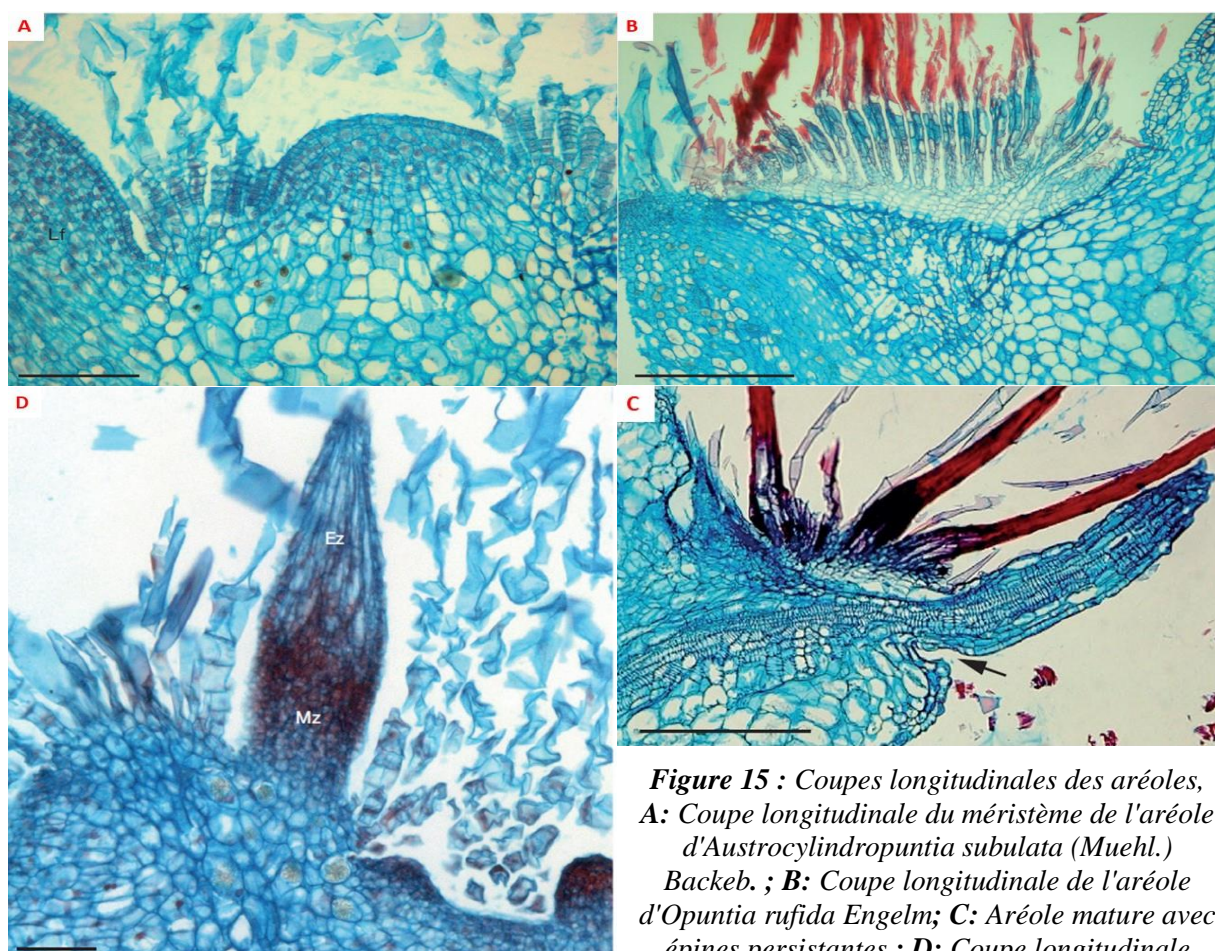
Grace à leurs cuticules et leurs forme compacte, les plantules de cactus peuvent réaliser une réhydratation rapide et s'adapter peu à peu aux conditions de sevrage par la réduction des pertes d'eau, ainsi les plantules sont relativement à l'abri des chocs de dessiccation, ce qui promet de réussir leur transfert ultérieur dans le sol (**Malda et al., 1999; Corneanu et al., 2004**).

### 2.3 Micropropagation par bourgeons axillaires (activation des aréoles) :

Les protocoles de micropropagation appliqués pour la production commerciale doivent répondre aux critères suivants :

- Uniformité du matériel multiplié,
- La production d'un nombre de plants qui répond aux attentes désirées,
- Un bon rapport coût-efficacité par rapport aux méthodes traditionnelles.

Les cactus possèdent des bourgeons dormants dans leurs aréoles (Figure 15) qui peuvent être activés, dans des conditions appropriées afin de produire de nombreuses pousses axillaires. Ce qui fait que l'une des techniques de micropropagation les plus populaires est l'activation des aréoles, qui implique la prolifération et le développement de plantes à partir de méristèmes latéraux, ainsi les bourgeons développés peuvent être objet de subculture de multiplication, suivi de la mise sur milieu d'enracinement (Lema-Rumiska and Kulus, 2014). Cette technique (activation des aréoles) a été appliquée pour de nombreux cactus (Clayton *et al.*, 1990), tels qu'*Opuntia ficus-indica* (El Finti *et al.*, 2012), *Opuntia amyclaea* (Escobar *et al.*, 1986), *Opuntia Ellisiana* (Juárez and Passera, 2002), *Opuntia lanigera* (Estrada-Luna *et al.*, 2008).



**Figure 15 :** Coupes longitudinales des aréoles, **A:** Coupe longitudinale du méristème de l'aréole d'*Austrocylindropuntia subulata* (Muehl.) Backeb. ; **B:** Coupe longitudinale de l'aréole d'*Opuntia rufida* Engelm; **C:** Aréole mature avec épines persistantes ; **D:** Coupe longitudinale d'épine persistante d'*O.monacantha* (Willd.) Haw. montrant la zone méristématique basale (Mz) et la zone d'élongation (Ez) à l'extrémité. échelle A-D : 40  $\mu$ m (Arruda and Melo-de-Pinna, 2016).

Les facteurs qui influençant la multiplication *in vitro* peuvent être répartis en deux groupes, ceux qui sont liés à la plante (**facteurs internes**), dont le génotype, la nature et l'âge ontogénique de l'explant ainsi que l'état physiologique de la plante mère ; d'autre part on retrouve les conditions liés à la technique (**facteurs externes**) qui englobent, les milieux de cultures (composition, régulateurs de croissance et sucres) et les conditions de la mise en culture (**Samia, 2015**).

### 2.3.1 Effet du milieu de culture :

#### 2.3.1.1 Composition du milieu de culture :

L'un des piliers les plus importants de la réussite de la micropropagation est la composition du milieu (**Lema-Rumiska and Kulus, 2014**). Avec l'avancement la technicité des cultures de tissus, divers milieux de base ont été développés, ces derniers contiennent des composés organiques (sucres, vitamines et régulateurs de croissance) ainsi que des sels inorganiques. Les milieux de culture sélectionnés doivent être adaptés aux besoins nutritifs de l'explant mis en culture, afin de laisser s'exprimer pleinement son potentiel génétique (**Samia, 2015**).

Généralement, le milieu MS (**Murashige and Skoog, 1962**) (Tableau 5) est considéré comme milieu de base pour le déclenchement de l'organogenèse, en particulier pour la néoformation de bourgeons, il s'est révélé nettement supérieur à d'autres milieux testés (**Margara, 1989**), ce dernier est caractérisé principalement par une très forte teneur en sels minéraux, en particulier en potassium et par une concentration élevée en azote (sous forme de nitrate et d'ammonium) dont 1/3 apporté sous forme réduite (ions  $\text{NH}_4^+$ ). Ainsi, comme cité par **Clayton et al. (1990)**, d'autres milieux de cultures ont été recommandés pour le cactus tels que L2, MS, SH (**Schenk and Hildebrandt, 1972**), B5 (**Gamborg et al., 1968**).

**Tableau 5** : Composition du milieu (MS) (**Murashige and Skoog, 1962**).

Macro-éléments/L		Vitamines/L	
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	1,650 g	Glycine	2 mg
KNO <sub>3</sub>	1,9 g	I-Inositol	100 mg
CaCl <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O	0,44 g	Acide nicotinique	0,5 mg
MgSO <sub>4</sub> 7 H <sub>2</sub> O	0,370 g	Pyridoxine HCl	0,5 mg
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0,170 g	Thiamine HCl	0,1 mg
Micro-éléments/L		Fer/L	
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> (Ac borique)	6,2 mg		
MnSO <sub>4</sub> 4 H <sub>2</sub> O	22,3 mg		
ZnSO <sub>4</sub> 7 H <sub>2</sub> O	8,6 mg		
KI	0,83 mg		
Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> 2H <sub>2</sub> O	0,25 mg		
CuSO <sub>4</sub> 5 H <sub>2</sub> O	0,025 mg	FeSO <sub>4</sub> 7 H <sub>2</sub> O	2,78 g
CoCl <sub>2</sub> 6 H <sub>2</sub> O	0,025 mg	Na <sub>2</sub> EDTA	3,73 g



## 2.3.1.2 Les régulateurs de croissance :

Les régulateurs de croissance, appelés également « phytohormones », sont des substances qui, en fonction de leurs concentration relative ou absolue dans un milieu de culture (taux d'auxines et de cytokinines), et sous les conditions de la cultures peuvent contrôler le sort des explants (Staritsky and Van Hasselt, 1981; Vidalis *et al.*, 1989). Les auxines les plus souvent utilisées en organogenèse ou en embryogenèse somatique sont le 2.4-D, l'AIA, l'AIB et l'ANA, quant aux cytokinines, elles sont représentées par la Kinétine, la benzyladenine (BA), la 2-isopentenyladénine et la zéatine (Vidalis *et al.*, 1989).

Chez les cactus, l'utilisation d'une concentration élevée (ou modérée) de cytokinines, par ex. Kin ou BA (généralement 4 - 25  $\mu\text{M}$ ) en combinaison avec une concentration faible (0,5 - 30  $\mu\text{M}$ ) ou nulle d'auxines, par exemple l'acide indole-3-acétique (AIA) ou l'acide naphtalène-1-acétique (ANA), est la meilleure façon de stimuler le développement des bourgeons (Aliyu and Mustapha, 2007; Pérez-Molphe-Balch *et al.*, 2012). La présence de BA est prioritaire, pour de nombreuses espèces de cactacées (El Finti *et al.*, 2012), comme *Opuntia ficus-indica* (Khalafalla *et al.*, 2007) et *Sulcorebutia alba* (Dabekaussen *et al.*, 1991), tandis que d'autres cytokinines tels que (2iP (N<sup>6</sup>-(2-isopentényl)adénine), et IPA (isopentenyl adenoside)) ont seulement stimulé la croissance des cals (Lema-Rumiska and Kulus, 2014).

Chez les cactacées, les régulateurs de croissance doivent être utilisés avec précaution, car le type d'hormone et sa concentration affecte de manière directe le sort de la micropropagation. Le tableau 6 ainsi que le tableau 55-annexe 13, résumant l'utilisation de ces régulateurs de croissance chez les différentes cactacées, décrivant ainsi les intervalles de concentration et les types de résultats de croissance obtenues.

**Tableau 6** : Régénération *in vitro* de pousses à partir d'explants de cinq espèces de cactus cultivés sur milieu (MS) contenant des combinaisons (ANA) et de (BA) après 60 jours d'incubation (Pérez-Molphe-Balch *et al.*, 2015).

ANA/BA ( $\mu\text{M}$ )	<i>Echinocactus grusonii</i>	<i>Echinocactus platyacanthus</i>	<i>Mammillaria petterssonii</i>	<i>Mammillaria haageana</i>	<i>Opuntia erinacea</i>
0/0	0,7 bcd	0,8 bc	2,1 de	1,5 ef	1,0 d
0/4,4	1,1 bcd	1,9 b	1,2 de	2,3 def	12,6 a
0/13,3	2,0 ab	0,5 c	5,7 bc	7,4 cd	9,5 abc
0/26,7	1,7 abc	0,8 bc	6,3 abc	17,0 a	8,4 bc
0/44,4	0,9 bcd	0,7 bc	8,7 ab	4,8 cdef	7,1 c
0,05/0	0,3 cd	1,0 bc	0,2 e	1,0 f	0,6 d
0,05/4,4	0,9 bcd	0,9 bc	1,6 de	1,3 ef	12,5 a
0,05/13,3	0,3 cd	1,8 bc	5,8 bc	6,1 cdef	11,8 ab
0,05/26,7	1,4 abcd	1,3 bc	8,9 ab	9,7 bc	8,5 bc
0,05/44,4	1,0 bcd	0,8 bc	7,2 abc	6,5 cde	6,5 c
0,53/0	0,3 cd	1,2 bc	1,1 de	1,0 f	0,5 d
0,53/4,4	0,3 cd	3,5 a	0,4 e	4,6 cdef	12,5 a
0,53/13,3	1,4 abcd	0,9 bc	4,4 cd	7,4 cd	11,8 ab
0,53/26,7	2,7 a	1,1 bc	9,6 a	15,1 a	6,3 c
0,53/44,4	1,0 bcd	1,4 bc	8,4 ab	12,7 ab	7,7 c

Les valeurs avec la même lettre ne sont pas différentes à 5 %, déterminées par le test LSD (test de Fisher).

### 2.3.1.3 La source de carbone (sucres) :

En culture *in vitro* des plantes, la capacité photosynthétique des tissus des végétaux devient insuffisante, ainsi, les tissus sont largement hétérotrophes à l'égard du carbone, donc l'obligation d'une source de carbone est impérativement souhaitable. Par ailleurs, cette source de carbone s'échange en énergie indispensable pour soutenir le métabolisme photomixotrophique, assurant ainsi un développement optimal des tissus et maintenir la pression osmotique du milieu de culture, ainsi qu'à la conservation de l'eau dans les cellules (Raghavan and Torrey, 1963; Veen, 1963; Zryd, 1988; Coupe *et al.*, 2006; Muller *et al.*, 2011). En général, les sucres les plus utilisés comme source de carbone dans la culture des cellules, tissus et organes végétaux, sont le saccharose et le glucose (Belaizi and Boxus, 1995; Druart and Samyn, 1995; Walker and Parrott, 2001; Gago *et al.*, 2014), ces derniers sont rencontrés dans le commerce et même le sucrose de ménage peut être utilisé en culture *in vitro*, et ne coûtent pas très cher (Mazinga *et al.*, 2014). Le maltose peut constituer une source carbonée adéquate, dans certains travaux portant sur l'embryogenèse, il permet d'améliorer à la fois la qualité et la quantité d'embryons somatiques produits (Saadi, 1991).

Les milieux contenant 3% de saccharose sont la norme depuis que Murashige et Skoog ont décrit leur milieu MS (Murashige and Skoog, 1962). en culture *in vitro* des cactacées, chez l'*Opuntia amyclaea*, les explants mis en cultures avec une concentration de 3 à 10% de sucrose se sont accumulés du poids sec et ont développé des pousses (Escobar *et al.*, 1986), les mêmes résultats ont été observés chez *Opuntia ficus-indica* avec 3% de sucrose (Aliyu and Mustapha, 2007).

### 2.3.1.4 Les antioxydants du milieu de culture :

Pour plusieurs espèces végétales, la micropropagation est limitée par plusieurs obstacles, permis ces derniers on retrouve, l'oxydation du tissu végétal, qui est fréquemment rencontré dans la culture *in vitro*. Elle se manifeste généralement par une apparition d'une coloration brune qui touche l'explant, ensuite le milieu de culture, cela évolue par une inhibition du développement de l'explant et la mort des cellules proches des blessures, menant à la létalité du matériel végétal mis en culture (Arbaoui *et al.*, 2018). Plusieurs facteurs interviennent, pour qu'une réaction de brunissement ait lieu, tels que ; la présence de l'eau et de l'oxygène, une blessure cellulaire (mécanique ou chimique), la présence des substrats phénoliques oxydables ainsi que l'activité des enzymes d'oxydation (Cheriot, 2007).

Chez les cactus la nécrose des explants est dû aussi à la sécrétion de composés phénoliques et leurs oxydation (Balch *et al.*, 1998; Vidican, 2012), ce problème peut être résolue en ajoutant des antioxydants au milieu de culture (Lema-Rumiska and Kulus, 2014)



exemple de 1% (w/v) de charbon actif pour la régénération d'*Opuntia ficus-indica* (**Bouamama et al., 2011**). Des études réalisées aussi par **Arbaoui et al. (2018)** sur (*Amaryllis belladonna* L.). ont montré que 2 g/l du charbon actif avait un sur le contrôle du brunissement enzymatique, ce produit réduit les intensités du brunissement et ainsi les taux de survie et de reprise des explants ont été de 80% environ.

### 2.3.2 Effet de l'explant :

#### 2.3.2.1 L'âge du tissu végétal :

L'âge de l'explant joue un rôle important dans le sort de la culture *in vitro*, les explants les plus jeunes (embryons immatures, jeunes feuilles, méristèmes etc.) sont les plus privilégiés, car leurs état juvénile (croissance, division cellulaire...), favorise plus de possibilités de régénération (**Vidalis et al., 1989**). Généralement chez les cactus, les jeunes et nouveaux cladodes de cactus sont les plus utilisés pour la culture *in vitro* (**Mohamed-Yasseen et al., 1995; Mohamed-Yasseen, 2002; Khalafalla et al., 2007; El Finti et al., 2012**).

#### 2.3.2.2 La saison du prélèvement :

Chez les espèces vivaces, durant l'année, on peut distinguer une saison de vie active et de vie ralentie de la plante, dans divers études, comme celles réalisées sur l'*Argania spinosa* L. (**Mdarhri Alaoui et al., 2011**), *Artemisia inculta* Del. (**Echchgadda et al., 2007**), *Olea europea* var. Chemlal (**Yakoub-Bougdal et al., 2007**), ils ont constaté que les tests de cultures *in vitro* établies en périodes du printemps et d'été donnent des meilleurs résultats que celles réalisées en saison d'hiver. Cela peut être expliquée par la modification des équilibres internes des régulateurs de croissance (auxines, cytokinines, gibbérelline ...) lors des différentes périodes de l'année (saisons), et qui sont dues à l'effets des changements de températures et de la photopériode des différentes saisons de l'année (**Chouard, 1946; Franquin, 1976; Vidalis et al., 1989**).

#### 2.3.2.3 La taille de l'explant :

En culture *in vitro*, plus la taille de l'explant est importante, plus l'équilibre hormonal endogène est déterminant (**Samia, 2015**). La taille varie selon la nature de l'explant, le prélèvement se portera sur l'organe en sa totalité le cas des nœuds, apex, ou bourgeon entier, ou par fragmentation, le cas des tissus différenciés tels que les feuilles, tiges, racines... (**Vidalis et al., 1989; Saadi and Hamdani, 2007**). Chez les cactus, toute partie de tissu végétal contenant des aréoles peut être utilisée comme explant, qui sera découpée et mis en culture en morceaux de 1 à 2 cm<sup>2</sup> (**Mohamed-Yasseen et al., 1995; Mohamed-Yasseen, 2002; Khalafalla et al., 2007; El Finti et al., 2012; Pérez-Molphe-Balch et al., 2015**).

#### 2.3.2.4 Effet du type d'explants :

Chez les cactus, la micropropagation par les bourgeons axillaires peut être réalisée par trois types d'explants, les tubercules avec les méristèmes adjacents (exemple de *Mammillaria carmenae*, *M. prlifera*), aréoles isolées (exemple de *Trichocereus spachianus* et *Astrophytum myriostigma*) (Vyskot and JáRa, 1984), ainsi que les parties de pousses avec méristèmes (par exemple, les cladodes des *Opuntias*), en tenant compte de l'âge et l'origine de l'explant (Mohamed-Yasseen, 2002). Sachant que l'âge des bourgeons peut influencer la réponse en nombre de nouvelles pousses produites (Dabekaussen *et al.*, 1991; Balch *et al.*, 1998; Pelah *et al.*, 2002; Rubluo *et al.*, 2002; García-Rubio and Malda-Barrera, 2010). Les parties supérieures des explants de cactus présentent la plus grande production de bourgeons axillaires (Lema-Rumiska and Kulus, 2014). Chez *Hylocereus undatus* les parties supérieures étaient plus efficaces que les parties inférieures pour stimuler la ramification, tandis que la production de cals produites était spécifique aux parties basales (Mohamed-Yasseen, 2002).

#### 2.3.2.5 Effet du génotype :

La plupart des plantes montrent une régénération génotypiquement dépendante. A l'intérieur d'une même espèce, un génotype donne des bourgeons tandis qu'un autre ne peut fournir que des embryons (Augé *et al.*, 1989), ainsi le nombre de pousses nouvellement produites à partir d'un explant unique est parmi les aspects les plus importants d'un protocole de micropropagation (Lema-Rumiska and Kulus, 2014). Chez les cactus, toute partie de tissu végétal contenant des aréoles peut être utilisée comme explant pour l'étape de multiplication, la méthode de préparation de l'explant détermine le nombre d'aréoles, et par conséquent le nombre de pousses obtenues (Pérez-Molphe-Balch *et al.*, 2015). Selon Mohamed-Yasseen (2002), à partir d'un aréole plusieurs pousses peuvent être produites. Le rendement de ce système de multiplication, est mesuré par le nombre de nouvelles pousses générées par explant, qui varie généralement en fonction de l'espèce, des explants et des traitements utilisés, chez divers cactacées (Tableau 55 - Annexe 13), les rendements en bourgeons par explant de production les peuvent varier de deux à trois pousses, en un cycle de culture (Pérez-Molphe-Balch *et al.*, 2015). Cependant, si les explants qui génèrent les bourgeons sont maintenus sur un milieu contenant des cytokinines, les aréoles de ces nouvelles pousses peuvent à leur tour donner une prolifération secondaire (Pérez-Molphe-Balch and Dávila-Figueroa, 2002).

#### 2.3.3 Effet de la lumière et de l'obscurité (photopériode) :

Chez la plupart des végétaux dont les cactacées, la lumière et la durée d'exposition (photopériode) sont des facteurs déterminants pour la culture *in vitro* (Hussey, 1981; Vidican and Cachita-Cosma, 2010; Vidican and Urdea, 2011) (Vidican and Cachita-Cosma, 2010;

**Vidican and Urdea, 2011**). Pour *Stenocereus gummosus*, les conditions de photopériode 12 h de lumière/12 h d'obscurité ont régénéré plus de cals que dans des conditions de photopériode 24 h d'obscurité (**Shishkova et al., 2007**). Cependant, chez *Astrophytum asterias*, il n'y avait aucune différence pour le potentiel de régénération des pousses observé entre une photopériode de 16 heures et une obscurité de 24 (**Lema-Rumińska and Kulus, 2012**), pour *Opuntia ficus-indica*, une photopériode de 16 h de lumière et 8 h d'obscurité est recommandée pour une meilleure réponse (**Angulo-Bejarano and Paredes-López, 2011; Bougdaoua and El Mtili, 2020**).

#### 2.3.4 Enracinement (rhizogénèse) :

Dans la micropropagation, l'induction de la rhizogénèse (formation de racines adventives) est généralement une étape primordiale. chez les cactus, lorsque les bourgeons produits ont une longueur et un diamètre supérieurs à 5 mm, ce qui prend généralement 8 à 12 semaines, ces pousses sont transférées sur un milieu d'enracinement, pour une durée de 3 à 5 semaines (**Lema-Rumiska and Kulus, 2014**). Chez les cactacées, et afin de stimuler le développement des racines, des pousses sont séparées et cultivées dans le milieu d'enracinement. Dans certain cas, il s'est avéré que le passage par l'étape d'enracinement tels que rapporté par **El Finti et al. (2012)**, dont le taux d'enracinement peut atteindre 100% chez les pousses d'*Opuntia ficus indica* régénérées après 4 semaines de culture dans différents traitements (0.5 mg/l AIB ; 0.5 mg/l AIA ; et 0.5 mg/l ANA).

A l'état naturel les jeunes raquettes des *Opuntias* ont une capacité d'enracinement importante (**Arba, 2009b**). Ceci a été observé aussi à l'échelle *in vitro*, où l'enracinement peut se produire spontanément dans la plupart des explants de cactus avec différents degrés selon la combinaison hormonale adoptée, sans avoir recours au milieu d'enracinement en raison d'un niveau élevé d'auxines endogènes (exemple d'*Opuntia* Spp., *Cephalocereus senilis*, *Coryphantha elephantidens*), éliminant ainsi la nécessité d'un milieu d'enracinement et permettant de réduire ainsi les coûts et les délais de production (**Clayton et al., 1990; Bhau, 1999; Choreño-Tapia et al., 2002; El Finti et al., 2012**). Des études réalisées par **Monteuuis and Bon (1987)** sur d'autres espèces forestière tels que *Sequoiadendron giganteum* Buchholz, ont cité que l'addition de charbon actif dans le milieu de culture peut favoriser l'enracinement spontané vitro-plants forestiers en l'absence de quelconque régulateur de croissance.

#### 2.3.5 Acclimatation :

L'efficacité de l'acclimatation est un autre facteur important réussir la micropropagation. En raison réduction du photosystème chez les plantes cultivées *in vitro* dans des conditions de lumière réduite par rapport aux conditions naturelles, ces derniers ne peuvent pas être

transférées directement dans des conditions extérieures (**Lema-Rumiska and Kulus, 2014**). Les premières semaines de cette phase, sont les plus délicates, ainsi, certaines précautions doivent être prises, tels que le maintien d'une température constante (21-25° C) et une humidité élevée pour éviter le dessèchement (**Etienne et al., 1997**).

Les plantules doivent être acclimatés pendant environ 4 semaines aux conditions *in vivo* dans un substrat de sable léger (tourbe : perlite ratio 1 : 2, sable : terre ratio 1 :1, ou tourbe : sable ratio 1 :1 par volume) dans la chambre de culture (**Papafotiou et al., 2001; Sawsan et al., 2004; Resende et al., 2010**), afin de les endurcir à des températures et une intensité lumineuse plus élevées que celle dans les récipients de culture d'induction (**Lema-Rumiska and Kulus, 2014**). Ensuite, les plantules bien développées peuvent être transférées dans des conditions *in vivo* (**Quiala et al., 2009**). Cela peut s'avérer difficile, car les cactus, comme les autres plantes, sont fortement influencés par les conditions contrôlées de la culture *in vitro*, ce qui peut entraîner en conséquent la mort des plantules (**Balen et al., 2002**). Pour certaines espèces (par exemple *Echinocactus platyacanthus*, *Opuntia ellisiana*, *Opuntia ficus-indica*), des taux de survie de 80 à 100% ont été enregistrés dans la phase d'acclimatation et le transfert au sol (**Balch et al., 1998; Juárez and Passera, 2002; El Finti et al., 2012**) validant ainsi avec succès cette étape.

# **MATERIEL ET METHODES**

## Problématique et objectifs de l'étude :

La culture du cactus a connu un intérêt mondial cette dernière décennie, elle gagne peu à peu du terrain face à la nécessité de renforcer la résilience des populations confrontées à des situations de sécheresse, de températures élevées ou encore de sols dégradés, afin d'améliorer leurs conditions socioéconomiques.

A l'échelle nationale, dans le cadre du PMV et du PNLCD, vu l'intérêt apporté à cette culture, les superficies occupées ont triplé. Or, le germoplasme du cactus a connu un transfert considérable entre différentes régions agroclimatiques. A côté de cela, l'avènement de la cochenille a cessé sa prospérité et la ressource connaît actuellement un recul considérable qui tend vers son extinction totale si aucune mesure n'est entreprise. Dans cette perspective, partagée entre l'existant et le souci de perte d'un pool génétique fort intéressant, on s'est fixé les objectifs suivants :

- ⇒ L'étude et le retraçage du comportement phénologique et agronomique sur une durée de 6 ans, de 126 écotypes de cactus appartenant à sept différentes espèces d'origine marocaine, sous les conditions édapho-climatique de la région de la CHAOUIA. L'idée est d'identifier les écotypes les plus adaptés et les plus productifs en matière de biomasse qui serviront, d'une part comme source d'alimentation pour le bétail, et d'autre part les plus prolifiques en termes de fructification (production de fruit) et qui pourraient avoir une plus-value en agro-industrie (fruit comestible, produits cosmétique et pharmaceutique...).
- ⇒ L'étude de l'occupation diachronique des sols qui comprend l'évolution spatiotemporelle des peuplements de cactus dans la région de Rhamna, via l'utilisation des techniques modernes de télédétection et Système d'information Géographique (SIG) afin de pouvoir quantifier et localiser les superficies plantées et dévastées par *Dactylopius opuntiae*, d'où l'idée de réaliser une étude exhaustive pour cartographier l'ampleur de ravage des cactus.
- ⇒ La réalisation et la mise au point de protocoles efficaces de la micropropagation des différents types de cactus, pouvant garantir l'obtention en totalité d'explants aseptiques et régénérables. L'élaboration d'une banque de gènes garantira le stockage et la pérennité du matériel génétique d'intérêt en voie de disparition, ainsi que la production d'un grand nombre de plantules, à des fins de plantation et restauration de la ressource.



# 1 Caractérisation phénologique et agronomique du germoplasme végétal national de cactus genre *Opuntia* Spp :

## 1.1 Description du site expérimental :

Notre étude a été réalisée au niveau du cactétum d'Ain Nzagh, installé à l'Institut National de la Recherche Agronomique - Centre Régional de la Recherche Agronomique de Settat. Ce site se trouve dans les environs de la ville de Settat à 7 km sur la route de Tnine Ouled Bouziri, à 400 m d'altitude, ayant les coordonnées Lambert : X : 292413 ; Y : 263664, (Figure 16).

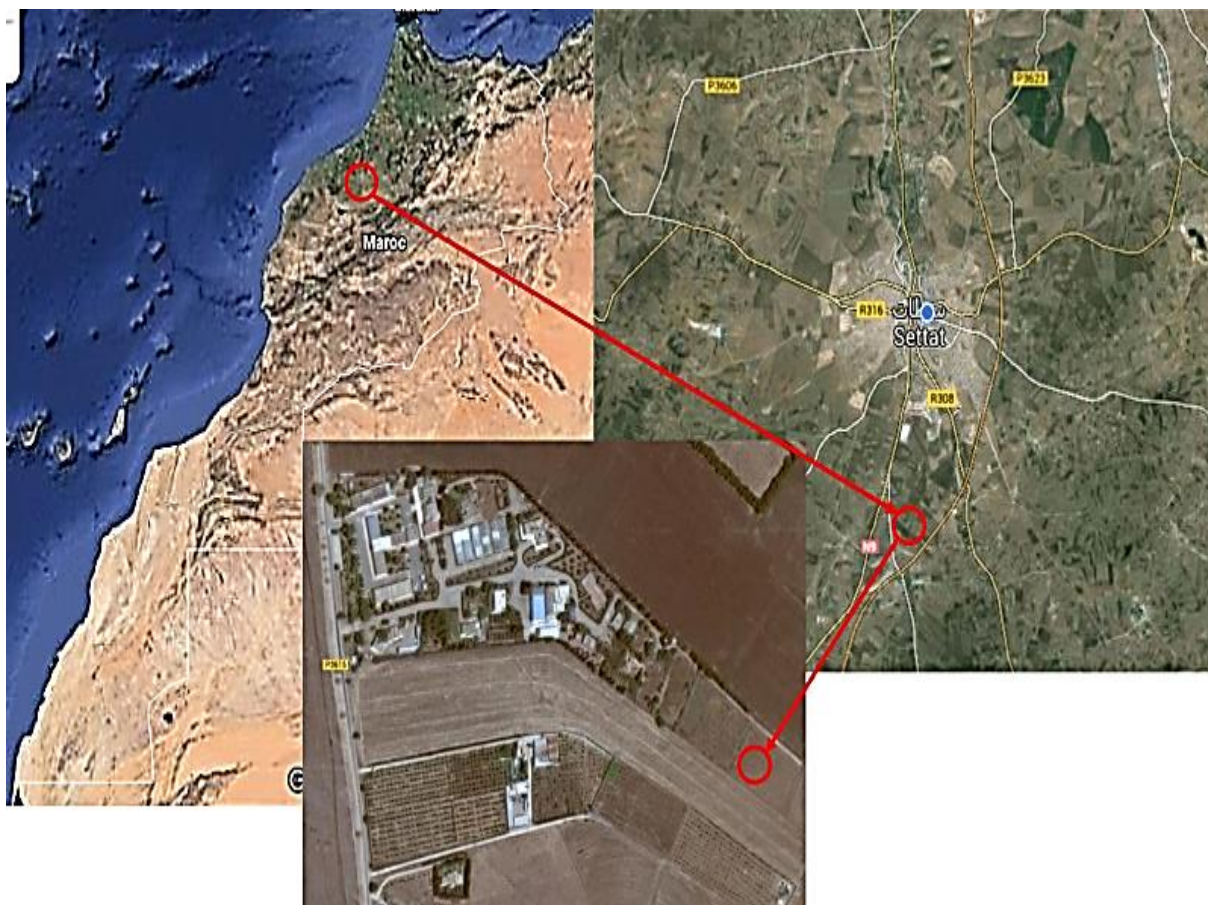


Figure 16 : Localisation du site expérimental de Ain Nzagh, INRA-CRRA de Settat via Google Earth Pro.

## 1.2 Description biophysique du milieu de la parcelle expérimentale :

### 1.2.1 Le climat :

Le site expérimental Ain Nzagh se situe dans l'étage bioclimatique semi-aride, avec une pluviométrie moyenne qui varie entre 300 et 350 mm, concentré entre les mois d'octobre et mai. La température moyenne est très tempérée, variant entre 5°C (durant le mois de décembre et janvier) à 38°C durant les mois d'été. La période estivale est pratiquement sèche avec des précipitations faibles à nulles (El Kharrassi, 2015).

### 1.2.2 Le sol :

La parcelle expérimentale (Cactétum Ain Nzagh) est située sur une pente légère de  $-2^\circ$ . Le sol est très peu évolué avec une roche mère calcaire ayant une profondeur entre 25 et 40 cm, Ce dernier est de type rendzine avec un pH alcalin de 7.5, représentant une fertilité et une rétention d'eau faible, ce qui le rend favorable pour la culture des arbres et arbustes agroforestières ainsi que les diverses cultures de cactus.

### 1.2.3 La végétation :

La végétation annuelle associée à la culture de cactus *Opuntia* est une végétation assez typique des jachères de la région de la Chaouia où on observe une dominance des espèces dicotylédones comme les Médiqes annuelles.

## 1.3 Le matériel végétal : origine et conduite technique :

### 1.3.1 Origine géographique :

Le matériel végétal utilisé est du genre *Opuntia* collecté de plusieurs régions du Maroc, à savoir : les Jbillette, plaines de Rhamna, les plaines de la Chaouia côtière entre El Jadida et Mohammedia, le plateau des Phosphates, Ouardigha, le Souss et les Montagnes de Ait Baâmrane, le moyen Atlas entre Beni Mellal et Sefrou, les plaines des Angades et les montagnes des Horst et de Beni Znassen de l'oriental, la chaîne du Rif depuis Nador jusqu'à Tanger et la plaine du Gharb et le pré-Rif occidental. Le cactétum groupe 126 écotypes, disposés en lignes pareillement dans les mêmes conditions de substrat et climat. Chaque écotype est répété 4 fois et dispose d'un numéro d'accession qui le distingue, au total 504 plantes sont mises en terre (Annexe 16). La répartition des écotypes en fonction de leurs régions de provenance sont représentées dans le tableau 7.

**Tableau 7** : Les régions de collecte des écotypes installés à la parcelle expérimentale (Cactétum Ain Nzagh) INRA-CRRA de Settât.

<i>Espèce</i>	<i>Ecotype</i>	<i>Région</i>
<i>Opuntia dillenii</i>	• 242	• Le plateau de Phosphate et zone de Khouribga
<i>Opuntia robusta</i>	• 412	• Maroc Oriental
<i>Opuntia inermis</i>	• 191	• Rhamna et Jbillette
<i>Opuntia leucotricha</i>	• 361 • 611-633	• Le moyen Atlas • Le pré rif occidental
<i>Opuntia acquatorialis</i>	• 171	• Rhamna et Jbillette
<i>Opuntia megacantha</i>	• A1	• Lagribat
	• A2	• Beni Smir
	• A3	• Guelmim
	• B1	• Sidi Boumehti
	• K1, K3	• Zenata
	• 111, 112, 122, 143, 181, K2	• Rhamna et Jbillette
	• 213, 221, 251, 267,	• Le plateau de Phosphate et zone de Khouribga
	• 352, 371,	• Le moyen Atlas
	• 411, 422, 431, 441, 442, 461, 471,	• Maroc Oriental
	• 511, 532, 541, 543, 551, 571, 572, 581.	• Rif Oriental
• 621, 632, 641, 651.	• Le Pré rif occidental	
• 722, 741	• Sous et montagnes d'Ait Baâmrane	
<i>Opuntia ficus indica</i>	• E2	• Bejaâd
	• H2	• Zenata
	• D2	• Lagribat
	• C3	• Bejaâd
	• B2	• Drabna
	• J1, J3	• Oulad Haddou
	• F2, G2	• Beni Smir
	• B3, C2, D3, F1, F3	• Guelmim
	• 113, 121, 131, 141, 142, 151, 152, 153, 161, 162, 163, 1101, D1, E1, G1, H1, H3, J2, I2.	• Rhamna et Jbillette
	• 211, 212, 231, 232, 233, 241, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 271, 272, 273, 274, 275,	• Le plateau de Phosphate et zone de Khouribga
	• 311, 321, 331, 341, 351,	• Le moyen Atlas
	• 421, 451,	• Maroc Oriental
	• 521, 531, 533, 542, 561,	• Rif Oriental
• 612, 631, 711, 712, 713, 714,	• Le pré rif occidental	
• 723, 731, 732, 733, 742, 743, 751, 752, 761, 771, 772, 773	• Sous et montagnes d'Ait Baâmrane	

### 1.3.2 Conduite technique de la culture :

Le cactétum a été installé par l'INRA-CRRA de Settât durant la campagne agricole 2011. La plantation a été effectuée à partir des cladodes qui étaient récoltées, déshydraté (mise



sous stress hydrique) pendant 20 jours avant d'être directement mis en terre. Le séchage des cladodes avant la plantation est nécessaire afin d'éviter leur pourriture. La partie basale des cladodes (2/3 de la raquette) a été placée horizontalement avec une légère inclinaison afin d'augmenter la surface de contact avec le sol. Pour émettre davantage de racines, le mode de plantation est réalisé en ligne (16 lignes) avec des espacements de 3.5 m entre les lignes et de 1.5 m entre les plantes de la même ligne ce qui donne une densité de plantation de 2040 plants/ha environ. Après les plantations, les raquettes ont été irriguées trois fois jusqu'à l'arrivée des pluies automnales (El Kharrassi, 2015).



**Figure 17 :** Ecotypes âgés de 6ans installés au site expérimental (cactétum) de Ain Nzagh, INRA-CRRA de Settât (photo : Achraf Mabrouk).

#### **1.4 Etude phénologique des écotypes de cactus issue de différentes régions du Maroc :**

Afin de comprendre le comportement écologique et physiologique des écotypes de cactus genre *Opuntia*, installés dans les mêmes conditions édaphique et environnementale, une étude phénologique et agronomique globale a été nécessaire. Le retraçage de la phénologie depuis l'installation du cactétum, a été initié par El Kharrassi (2015), et poursuivie par notre équipe de recherche afin d'estimer l'évolution de production agronomique et phénologique dans le temps (6 ans).

##### **1.4.1 Collecte des données phénologiques :**

L'étude phénologique des écotypes de cactus a été réalisée durant des années successives de la plantation du cactétum (2012-2017). L'objectif de l'étude phénologique durant cette période consiste à étudier le nombre et le types de production de bourgeons par



plante ainsi que leur évolution en bourgeons végétatifs, fructifères et avortés par plante et par espèces dans le temps. Le mode d'échantillonnage adopté dans notre étude ne nécessite pas l'excavation de la plante, et repose sur des observations visuelles et un comptage exhaustif de la production des bourgeons et leur évolution (végétatif, fructifère ou avorté) chez les 504 plants.

Vu la complexité de la phénologie de cactus qui se traduit par différents niveaux hiérarchiques (difficulté de constatation des différents âges de raquettes produites durant les années antérieures (Figure 18), et différents types d'organes produits (végétatifs et fructifères), il s'est avéré judicieux de retracer cette étude phénologique par plante et selon le devenir des bourgeons produits.



**Figure 18** : Exemple d'un écotype appartenant à *Opuntia Megacantha* âgés de 6 ans, installé au site expérimental de Ain Nzagh, INRA-CRRA de Settat (photo : Achraf Mabrouk).

#### **1.4.2 Mesures des paramètres phénologiques (Observations et échantillonnage) :**

La collecte des données a été réalisée sur tous les écotypes durant 6 campagnes (2012-2017), depuis le mois de Février jusqu'au mois Novembre (début de Décembre).

Durant le début de bourgeonnement, il est difficile de reconnaître le type des bourgeons produits (Figure 19) ce qu'on a considéré comme bourgeons indéterminés (BI), ensuite le suivi a été réalisé pour distinguer l'évolution de ces derniers en bourgeons végétatifs (biomasse : production de raquette, BV), fructifères (fruit = taux de fructification, BF) et bourgeons morts ou avortés (BM) produits (Figure 20).



**Figure 19** : Exemple d'apparition des bourgeons indéterminés sur un écotype appartenant à *Opuntia ficus indica* âgés de 6 ans, installé au site expérimental de Ain Nzagh, INRA-CRRA de Settat (photo, Achraf Mabrouk).

Durant chaque campagne, et afin de ressortir les écotypes les plus productifs, nous avons procédé aux mesures des variables suivantes (Figure 20) :

- Le nombre total des bourgeons indéterminés (BI),
- Le nombre total des bourgeons fructifères (BF),
- Le nombre total des bourgeons végétatifs (BV),
- Le nombre total des bourgeons morts ou avortés (BM),

En prenant en considération que :

$$N_{BI} = N_{BF} + N_{BV} + N_{BM} \text{ où } N \text{ est le nombre total de bourgeons.}$$



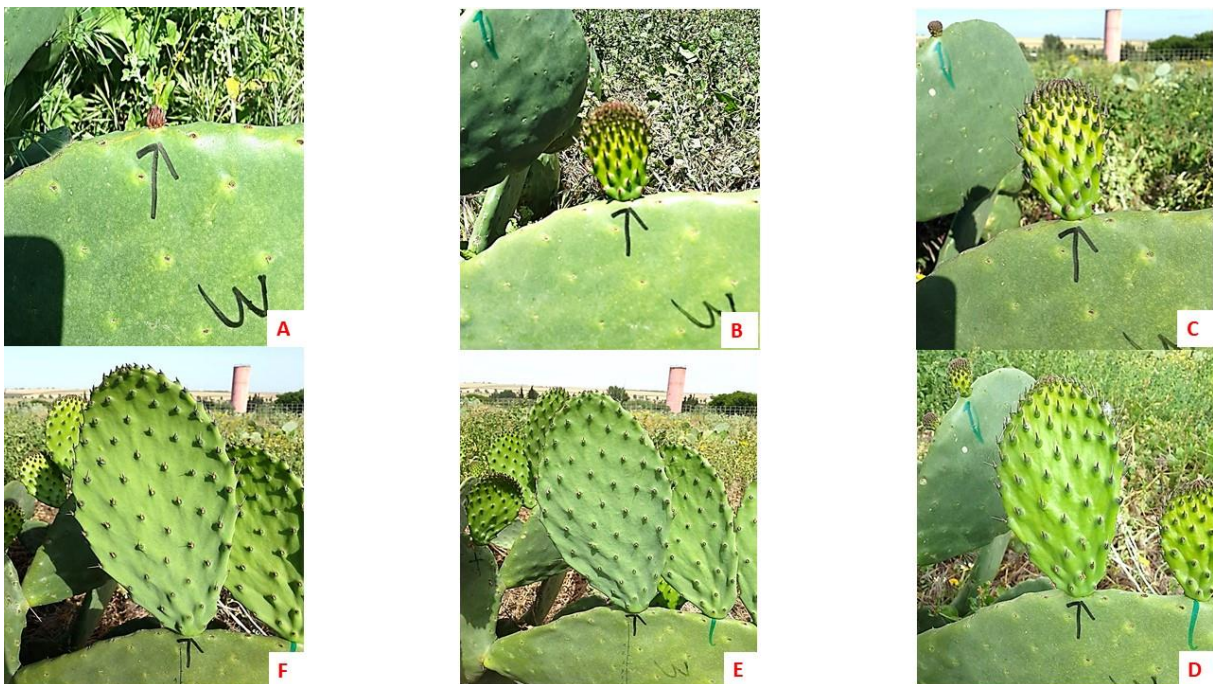




**Figure 20 :** Présentation des différents bourgeons produits par l'espèce *Opuntia ficus indica* installé au cactétum d'Ain Nzagh, INRA-CRRA de Settat (BI : Bourgeon indéterminé ; BV : Bourgeon végétatif ; BF : Bourgeon fructifère ; BM : Bourgeon morts ou avortés) (photo, Achraf Mabrouk).

#### 1.4.3 La croissance et le développement de bourgeons végétatifs (nouvelles raquettes) :

Dans cette partie, nous avons réalisé le suivi de la croissance et le développement de nouvelles raquettes au fil du temps (Figure 21). L'observation a été faite sur deux plantes parmi les quatre de chaque écotype en excluant les écotypes non productifs.



**Figure 21 :** Exemple de croissance de bourgeons végétatifs (nouvelles raquettes) chez l'espèce *Opuntia ficus indica* installé au cactétum d'Ain Nzagh, INRA-CRRA de Settat (photo, Achraf Mabrouk).

#### 1.4.4 Croissance et Développement de bourgeons fructifère (nouveau fruit) :

Pour les écotypes qui ont donné des fruits, nous avons suivi la croissance et le développement de quelques fruits, en les identifiant tout en les marquant, comme figuré au-dessous (Figure 22).



**Figure 22 :** Exemple de croissance de bourgeons fructifère (nouveau fruit) chez l'espèce *Opuntia ficus indica* installé au cactétum d'Ain Nzagh, INRA-CRRA de Settat (photo, Achraf Mabrouk).



## 1.5 Caractérisation agronomique des écotypes de cactus :

### 1.5.1 Mesure de la plante entière :

Les observations et les mesures réalisées ont été exécutées sur des plantes âgées de six ans, ceci a permis de classer les écotypes selon :

- Le nombre total des raquettes (le nombre global des raquettes par plante).
- Le nombre de raquettes de l'année (le nombre des raquettes produite durant la campagne).

### 1.5.2 Mesure agronomique des raquettes de cactus :

Toutes les observations et mesures ont été réalisées sur des raquettes matures et âgées d'une à deux ans, Il s'agit de déterminer, comme illustré dans la figure 23 :

- La longueur des raquettes (cm) : Mesurée de la base au sommet le long de la médiane.
- La largeur des raquettes (cm) : Mesurée à la partie la plus large
- L'épaisseur des raquettes (cm) : Mesurée au milieu de la marge de la raquette.



**Figure 23 :** Exemple de mesures des divers paramètres biométriques d'une raquette d'*Opuntia ficus indica* (photo, Achraf Mabrouk).

Et ainsi d'après **El Kharrassi (2015)**, les formules utilisées pour le calcul des différents paramètres de la plante de cactus sont comme suit :

- Le volume théorique de la plante entier ( $m^3$ ) = (Largeur x Diamètre x Hauteur) x  $\pi$  x (4/3)
- Surface de la raquette ( $cm^2$ ) = (largeur/2 x longueur/2) x  $\pi$
- Volume de la raquette ( $cm^3$ ) = Surface x épaisseurs
- Biomasse théorique = nombre totale des raquettes x le poids de la raquette (Matière Verte ou Matière Sèche).

### 1.5.3 Mesures destructives des raquettes de cactus :

Cette étude a été réalisée pour des écotypes matures d'un âge de 6 ans afin de ressortir le poids concernant la matière fraîche ou verte, et la matière sèche des raquettes appartenant aux divers écotypes compris au site expérimental. La matière verte a été pesée à travers les raquettes récoltées (pesées au champ). Pour la matière sèche, elle a été déterminée après découpage de raquette en morceaux de 1 à 2 cm, succéder d'un séchage à l'étuve à une température de 60 à 70C° pendant une durée de 48 à 72h (jusqu'à stabilité du poids) (Figure 24).



**Figure 24** : Présentation des étapes lors de la mesure destructive des raquettes des cactus exemple d'*Opuntia ficus indica* (photo, Achraf Mabrouk).

## 1.6 Analyses statistiques :

La normalité de la distribution des données a été analysée par le test de Shapiro-wilk, et la normalité est remplie par la transformation  $\text{Arcsin}\sqrt{x}$  lorsque cela était nécessaire. Une analyse de variance à un facteur (ANOVA) a été utilisée pour évaluer l'effet de l'année sur les variables mesurées. Les moyennes sont comparées selon le test de comparaisons multiples du Tukey (*honestly significant difference*), Un test Khi-deux de vraisemblance a été utilisé pour comparer les données transformées en portions, le seuil de risque d'erreur a été fixé à 5%. Les données ont été analysées par JMP SAS Pro software (JMP®, Version <14>. SAS Institute Inc.).

## **2 Contribution de la télédétection spatiale et des SIG dans l'étude et l'évolution spatiotemporelle des plantations de cactus dans la Région de Rhamna :**

Cette partie présentera dans un premier temps les données et les outils utilisés dans ce travail, ensuite, il décrira la méthodologie employée dans l'étude diachronique de l'occupation du sol et les superficies occupées et remplacer dans le temps.

La modélisation de l'occupation du sol nécessite un ensemble de données très développé (tels que les images à très haute résolution) qui sont malheureusement indisponibles et chères, nous nous sommes contentés alors des données fiables et existantes, et nous nous sommes inspirés de plusieurs études pour réaliser la nôtre.

### **2.1 Justificatif de l'approche méthodologique :**

#### **2.1.1 Choix de la technique d'extraction de l'information à partir des données satellitaires :**

Dans l'objectif d'étudier les étendus des cactus à grande échelle, on a eu recours premièrement à une classification automatique des images satellitaires gratuites en guise de test. Pour se faire, nous avons utilisé une scène couvrant le territoire de certaines zones connues par la présence des cactus ayant été utilisées comme sites d'entraînement.

L'image acquise a été soigneusement choisie selon des critères permettant d'aboutir à un minimum possible de bruits, notamment une faible couverture nuageuse et une qualité radiométrique convenable. Après, cette image a été prétraitée en procédant à des corrections atmosphérique, géométrique et radiométrique convenables.

Les corrections ont été suivies par la classification supervisée, étant donné notre connaissance des lieux à cactus, pour nous permettre de générer les surfaces à cactus en se basant sur deux algorithmes distinctement : le maximum de vraisemblance et le minimum distance.

A la fin de ce processus, les résultats obtenus n'étaient pas encourageants pour les considérations suivantes :

- La forme de distribution et la nature de l'objet étudié (cactus) n'ont pas permis de distinguer clairement sa signature spectrale et de le différencier pratiquement des autres objets similaires (autres plantations, cultures annuelles, etc..) ;
- La résolution spectrale des images utilisées ne permettra pas d'aboutir à des résultats acceptables même en détenant des données mesurées de la signature spectrale de l'objet à cartographier ;



- La grandeur de territoire à étudier rend encore difficile l'obtention des résultats pertinents par rapport à la nature de la donnée gratuite utilisée : hétérogénéité des qualités des scènes, difficulté de mosaïquage, etc...

Partant de ce qui précède, il a été judicieux d'opter pour une autre technique d'extraction de l'information dans un territoire réduit et maîtrisable, en l'occurrence, l'interprétation visuelle des images à très haute résolution du fait qu'elle est efficace et économique et donne des résultats pertinents.

## 2.2 Choix de la zone d'étude :

Comme il a été déjà signalé, l'interprétation visuelle des images est une technique efficace mais onéreuse en termes de temps et d'efforts. C'est pour cette raison que nous avons opté pour un territoire maîtrisé et justifié par rapport à la présence des cactus et à la grandeur des attaques par la cochenille.

Ainsi, le choix est porté sur le territoire de la province de Rhamna, comme étant une des zones les plus connues en termes de diversification de productions de cactus (cladodes, huile de cactus, jus, confiture, ensilage ...etc.), ainsi que par l'hébergement de géotypes très intéressants ce qui nous permet de la classer comme zone pionnière de production des cactacées et aussi parmi les zones les plus touchées par la cochenille.

## 2.3 Description de la zone d'étude :

### 2.3.1 La monographie de la province de Rhamna :

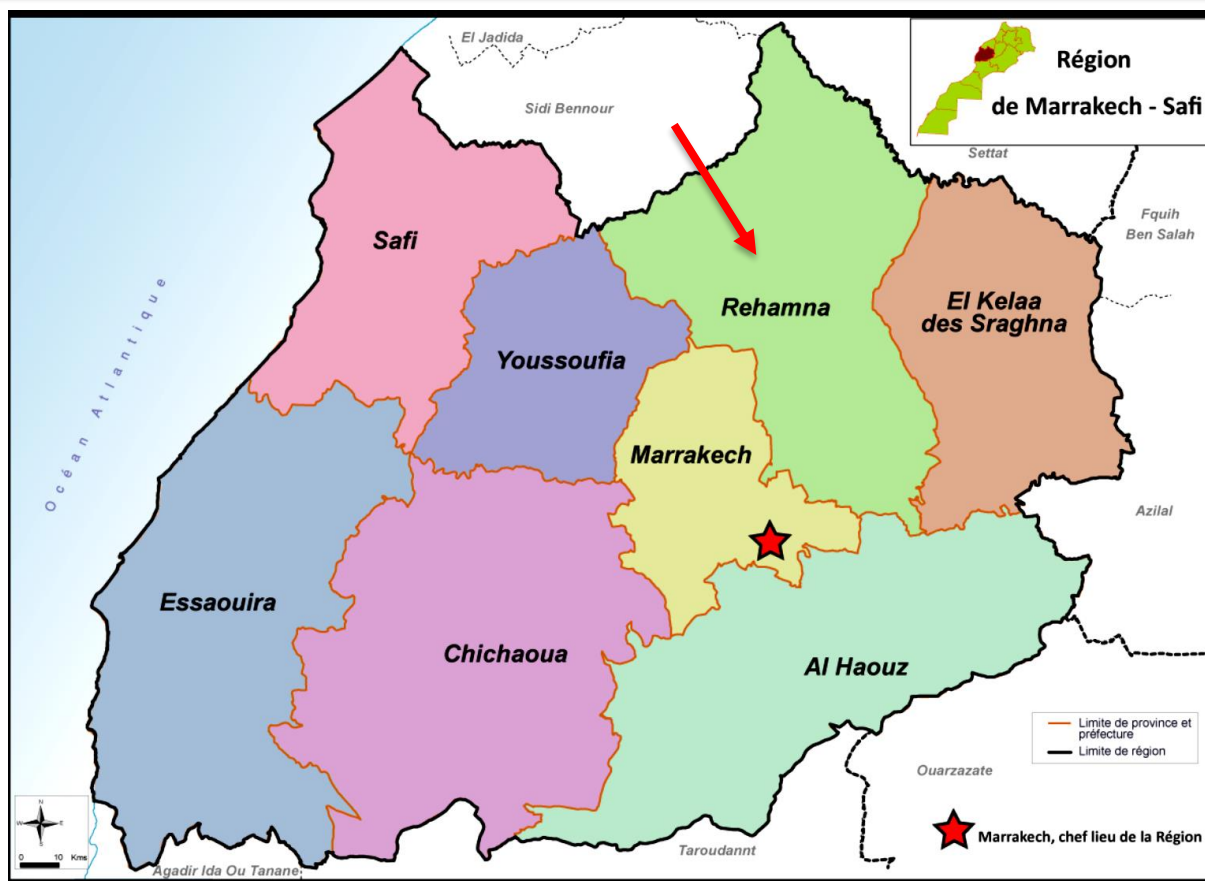
La province de Rhamna est créée lors du dernier découpage territorial au début de l'année 2009 qui a donné sur le plan administratif 2 municipalités, 2 cercles, 2 communes urbaines et 23 communes rurales (**Zammar and Abdelbaki, 2016**).

#### 2.3.1.1 La Situation géographique :

Sur le plan géographique, la province est limitée par :

- Nord : Province de Settat
- Sud : Préfecture de Marrakech
- Est : Province d'El kelaa des sraghna
- Ouest : Province Sidi Benour

La superficie de la province est de 5 877 km<sup>2</sup> avec des reliefs plats à vallonnés et une altitude de 445 m. Cependant, la région était exclusivement bucolique avec un mode d'élevage nomadisant.



**Figure 25 :** Présentation de la province de Rhamna par rapport aux autres Provinces et Préfecture de la région Marrakech-Safi (Royaume du Maroc- Ministère de l'Intérieur, 2015).

### 2.3.2 Les Données Démographiques :

Selon le dernier recensement de la population en 2014 (Royaume du Maroc- Ministère de l'Intérieur, 2015), la population de la région se chiffre à :

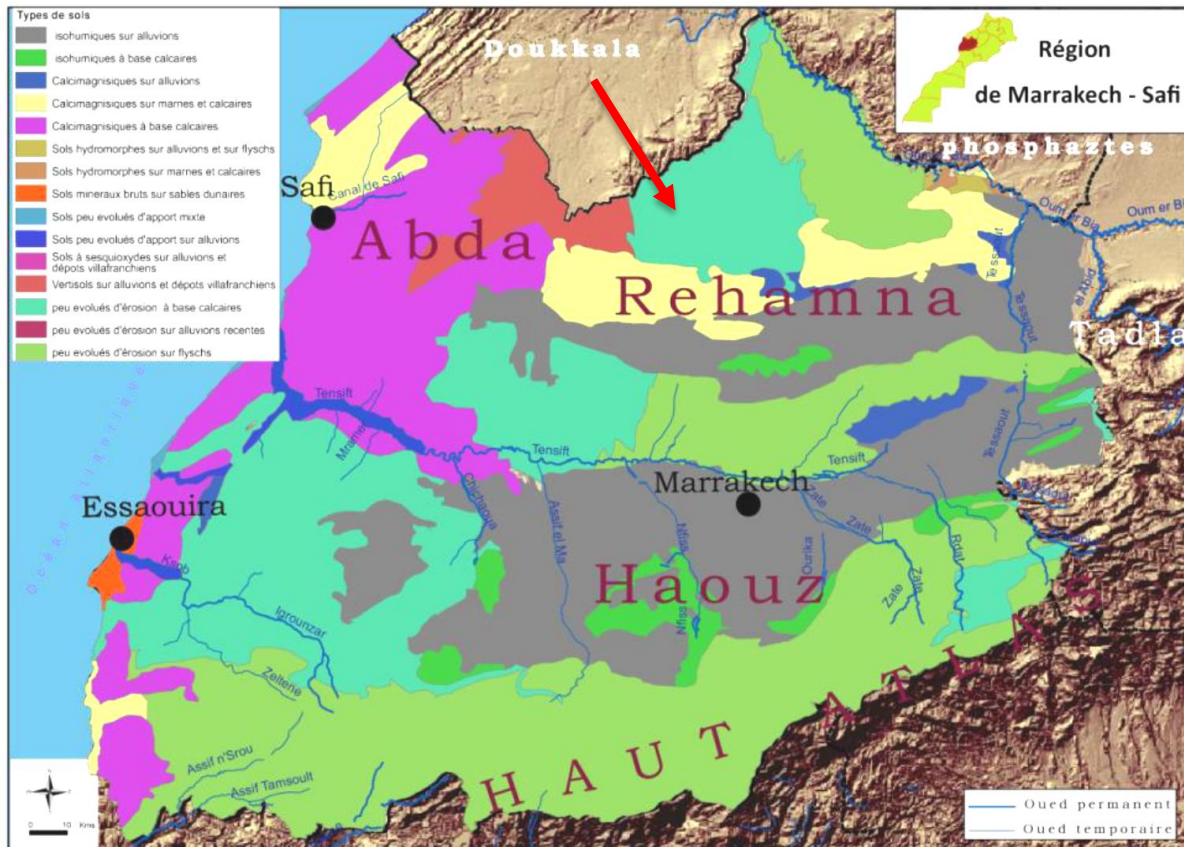
- Population : 315 077 habitants
- Population urbaine : 103 151 habitants
- Population rurale : 211 926 habitants
- Densité(km/habitants) : 2,29
- Densité sociale (Habitants/km<sup>2</sup>) : 54
- Densité spatiale (Km/Km<sup>2</sup>) : 0,12

### 2.3.3 Le climat :

Le climat est semi-aride à aride (des températures minimales variant entre 4,3 et 5,1°C et maximales variant de 37,5 à 39,3°C). La pluviométrie reste parmi les plus faibles enregistrées au Maroc, ce qui signifie une sécheresse de plus en plus structurelle. La province est approvisionnée en eau potable à partir du forage de N'zalt Laâdam qui compte à peu près 45 puits, pour un débit total de 110 litres/seconde. À elle seule, Benguérir consomme 4.000 m<sup>3</sup> quotidiennement (Zammar and Abdelbaki, 2016).

### 2.3.4 Le sol :

La province est caractérisée par le massif des Rhamna, (roches Ornementales comme le marbre vert, et les matériaux de construction tels que le quartz et le sable Siliceux), le plateau du Gantour qui constitue une richesse de phosphate très importante, la plaine de la Bheira marquée par la nappe phréatique souterraine et la chaîne de montagnes Jbilet. Le sol comprend une grande diversité des sols dégradés à faible potentiel de production (**Zammar and Abdelbaki, 2016**).



**Figure 26 :** Présentation des types de sols de la province de Rhamna par rapport aux autres Provinces et Préfecture de la région Marrakech-Safi (Royaume du Maroc- Ministère de l'Intérieur, 2015).

### 2.3.5 L'agriculture :

La diversité géologique de la région de Rhamna engendre une variété dans sa production agricole. Elle est connue par des systèmes de production agricoles très peu diversifiés, dominés par une agriculture pluviale qui repose essentiellement sur la céréaliculture et l'élevage extensif. La superficie utile est d'environ 3300 Km<sup>2</sup> (dont moins de 5 % irrigués) et dont 2000 Km<sup>2</sup> est destinée à la culture des céréales qui atteignent une moyenne de 655.410 quintaux par an, le reste est réservé pour l'arboriculture notamment le cactus. L'élevage d'ovins, de bovins et les caprins occupe la grande partie de l'activité agricole, l'étendue des espaces de Rhamna favorise son expansion, dont les ovins sont les plus répandus dans la région (196.800 têtes). En outre,

des unités d'aviculture se sont installées, notamment à Benguéir. L'économie de la province est animée par la production laitière et celle de viandes rouges soit 1,8 million de kilos par an (Zammar and Abdelbaki, 2016).

#### 2.3.5.1 *Le cactus dans la province de Rhamna :*

Depuis les années 2000 et la succession inquiétante de saisons sèches, l'imagination et la créativité de l'homme ont su voir toutes les qualités bienfaites du cactus. La culture des cactus a été autre fois méconnue par la population dans la région de Rhamna, ce n'est que dans une vingtaine d'années que la plante a revêtu un intérêt considérable vu que c'est une plante à usage multiple. Le cactus a été introduit dans la région de Rhamna pour des fins de restauration et de conservation des sols pour la lutte contre l'érosion, dans la plupart des cas, les plantations se limitent pour les écotypes inermes « Rahmania » et « Haddaouia » ayant pour objectifs la consommation humaine et l'alimentation du bétail (MAPM, 2014). Ce choix est basé sur le fait que la plante est peu consommatrice d'eau avec une moindre exigence en entretien, la superficie réservée pour la culture du cactus est de 40.000 ha. Toutefois, le plan régional agricole prévoit une production de 400.000 tonnes par an (Zammar and Abdelbaki, 2016). Depuis l'introduction de la cochenille dans cette zone, cet insecte prédateur qui ravage, cause ainsi chaque année, l'anéantissement d'importantes superficies plantées en cactus, et ainsi réduit les chances de développement socioéconomiques dans ces zones arides, où la chance de trouver des plantations recourus sont relativement très limités.

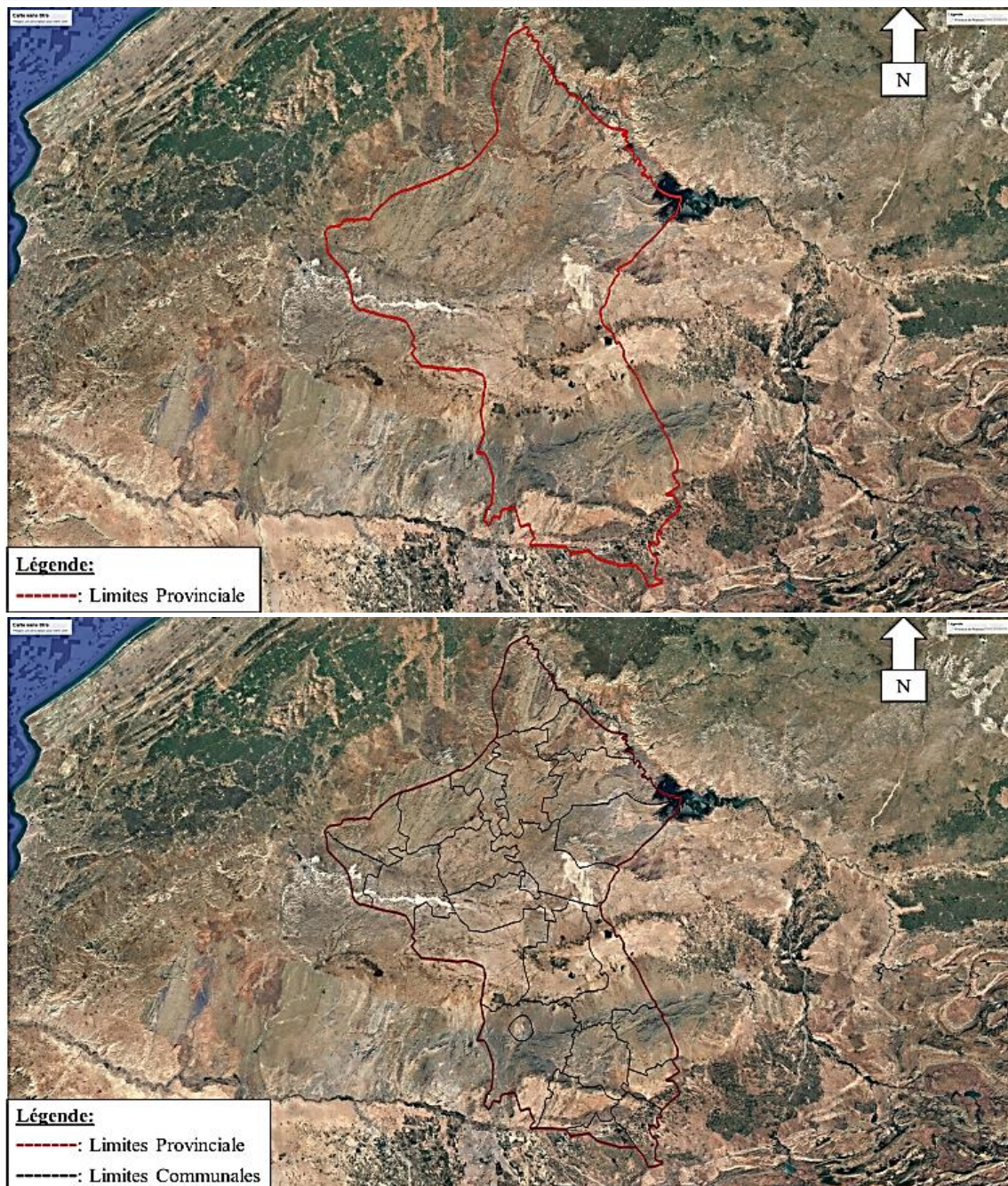
## 2.4 Les Outils et données utilisés :

Cette partie présentera les données et les outils de travail qui ont permis d'étudier le phénomène de dégradation des cactus et leurs distributions spatiotemporelles. Ces outils sont essentiellement des logiciels de traitement numérique d'image et des plateformes SIG.

### 2.4.1 Données de base :

- Deux images satellitaires de 2014 et 2020 mono-spectrales couvrant la zone d'étude ;
- Limites de la province de Rhamna et des collectivités territoriales en format numérique (.shp) (Figure 27);





**Figure 27 :** Délimitation des limites provinciales et communes territoriales de la province de Rhamna (Google Earth Pro 2020).

## 2.4.2 Les outils utilisés :

### 2.4.2.1 ArcGis :

**ArcGis** est un logiciel commercial de la société ESRI (Environmental Systems Research Institute), il est développé pour faciliter la gestion et l'analyse des données spatiales afin de répondre à une problématique donnée. Ce logiciel a été utilisé dans ce travail pour :

- La structuration et l'organisation des données cartographiques numériques ;
- La création, l'habillage et l'édition des cartes thématiques ;
- L'analyse spatiale des données cartographiques numériques.

### 2.4.2.2 Google Earth :

**Google Earth** s'agit d'un logiciel de Google qui comprend une mappemonde virtuelle permettant de visualiser la terre à partir d'un mosaïquage de photographies aériennes ou satellitaires préalablement traitées (corrections radiométriques et atmosphériques). Ce logiciel permet aussi à tout utilisateur de survoler la terre et de zoomer sur un lieu de son choix à travers le spectre du visible, en l'inspectant à diverses dates possibles. Car l'œil humain n'étant sensible qu'au rayonnement du visible, on ne peut présenter par le jeu des couleurs qu'au plus, trois séries d'informations complètes que le cerveau pourra tenter de déchiffrer (Bleu, vert et rouge). Pour les éléments mesurables dans Google Earth Pro, on peut citer :

- **Polygone** : le périmètre ou la superficie d'une forme au niveau du sol.
- **Cercle** : la circonférence d'un cercle au niveau du sol.
- **Trajet 3D** : la distance entre un bâtiment et différents lieux au niveau du sol.
- **Polygone 3D** : la hauteur, la largeur et la superficie de bâtiments 3D.

Cet outil nous a servi pour l'interprétation visuelle des images satellites et la création et l'édition des couches numériques relatives à la distribution des cactus dans le territoire étudié.

## 2.5 Approche méthodologique :

L'étude de l'évolution des étendus des cactus dans la province de Rhamna a été réalisée en 3 phases majeures :

**Phase 1** : l'identification et la préparation des scènes satellitaires sur la plateforme de Google Earth, qui fournit des images monospectrales en vraie couleurs « open sources » et à très haute résolution spatiale, facilement interprétable par l'œil humain.

Le choix des dates émane d'une réflexion approfondie quant au phénomène et à l'espèce étudiée. En effet, les premiers constats d'attaques par la cochenille dans la province de Rhamna datent de l'année 2015, c'est pour cette raison qu'on a choisi 2014 comme étant l'année de référence pour l'étude évolutive de la distribution des cactus dans cette zone. Aussi, le caractère saisonnier a été pris en considération dans le choix des images interprétées. De ce fait, on a opté pour l'utilisation des images prises en saison d'été pour éliminer les similarités et les nuances par rapport aux autres cultures et plantes annuelles.

**Phase 2** : Interprétation visuelle des imageries en deux dates différentes.

Durant cette phase, on a procédé à la délimitation des étendus des cactus par la digitalisation des couches numériques sous format polygonal. La reconnaissance du cactus étudié sur l'image satellite s'est basée essentiellement sur sa couleur distinctive, sa structure marquée, son uniformité de distribution et sa taille (Figure 28).



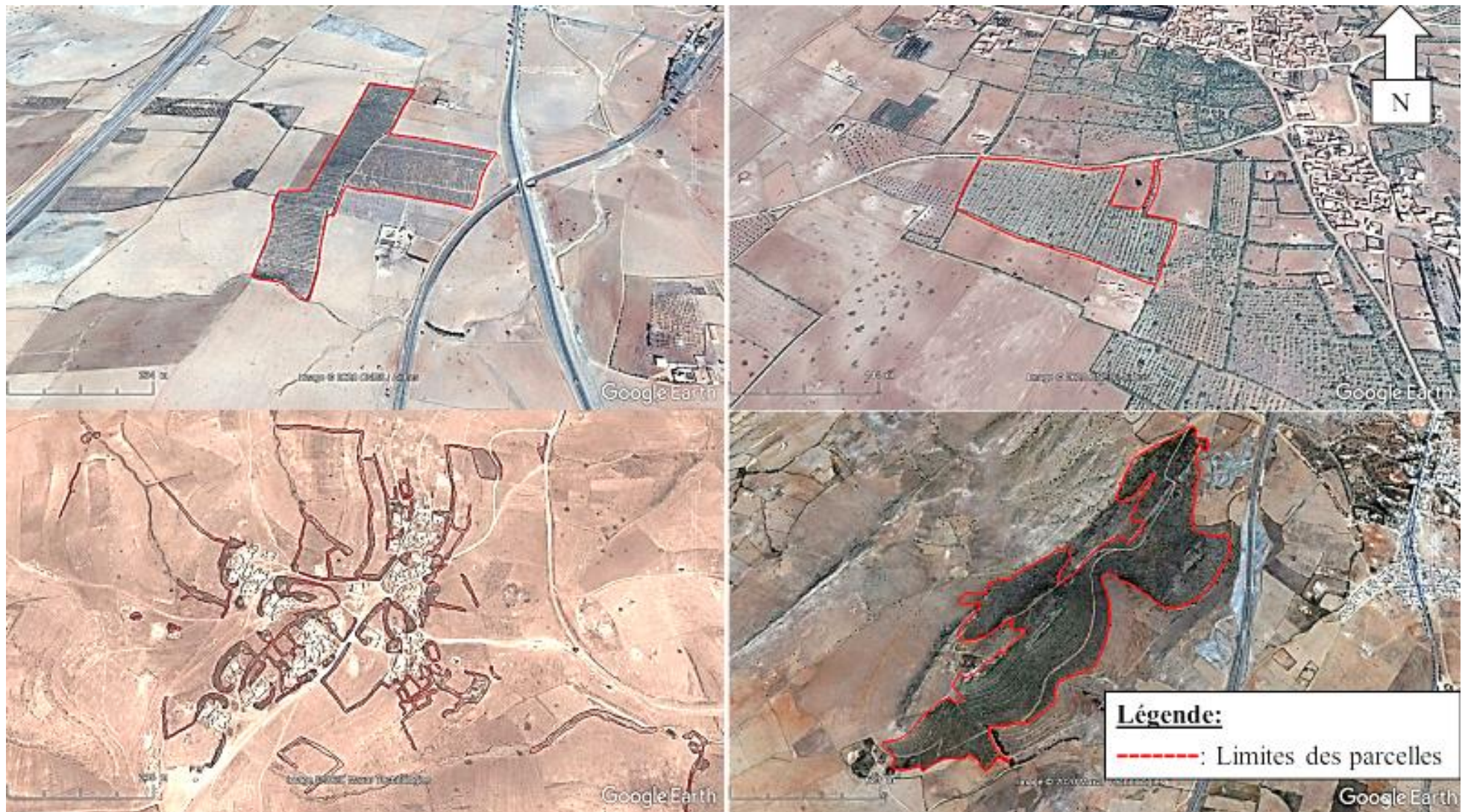


Figure 28 : Numérisation des différentes étendues à cactus dans la Province de Rhamna (Google Earth Pro/année 2014).

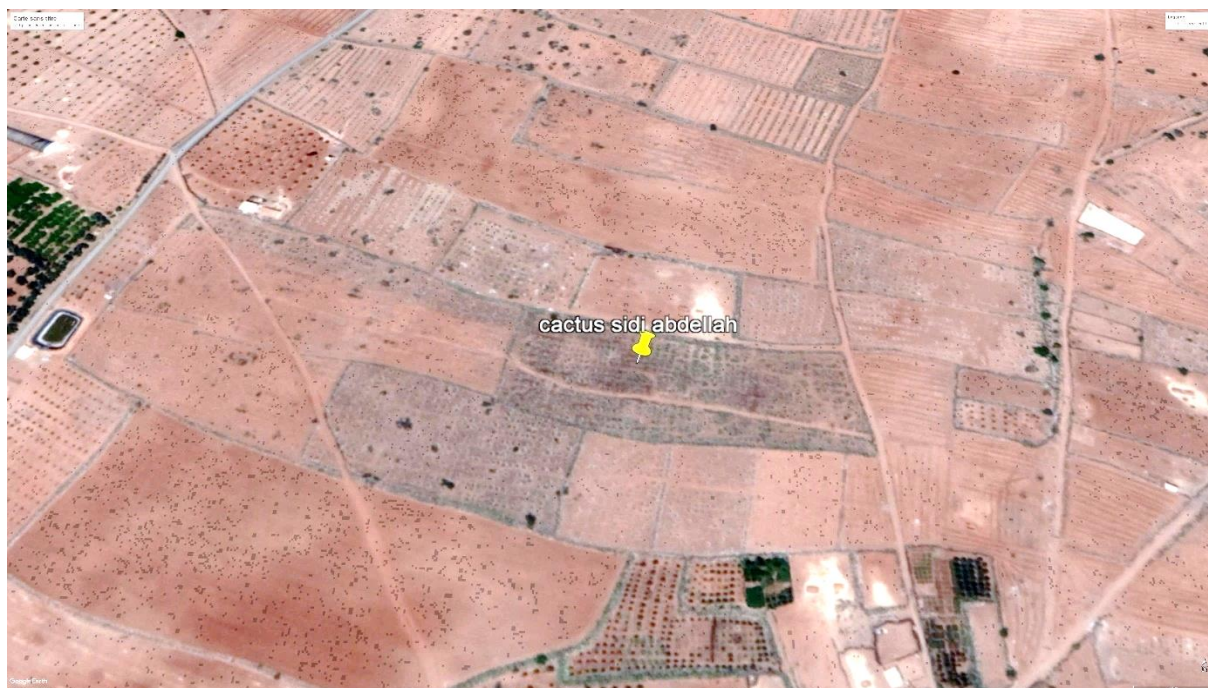


La délimitation des zones à cactus a été opérée pour les deux dates choisies (2014, 2020) sur le logiciel google Earth sous format numérique standard (extension KMZ) facilement manipulable dans les environnements SIG. En plus de cette délimitation, le paramètre densité des cactus a été évalué en se basant sur son recouvrement :

- Peu dense : 25% - 45%
- Dense : >65%



*Figure 29 : Exemple de parcelle de cactus à délimiter dans la commune de Sidi Abdellah Province de Rhamna (Google Earth Pro/année2014).*



*Figure 30 : Exemple de parcelle de cactus ravagée à délimiter dans la commune de Sidi Abdellah Province de Rhamna (Google Earth Pro/année 2020).*



Pour faciliter les travaux de délimitation des zones à cactus et garantir la couverture totale de la province, une maille de 3 305 points a été utilisée (Figure 31). L'utilisation de ces points repères a permis le balayage complet de la zone d'étude par un maillage de 300 x 300m concentré au nord du territoire, et à 900 x 900m en moyenne dans le reste de la région, et cela en fonction du mosaïquage des plantations à cactus.

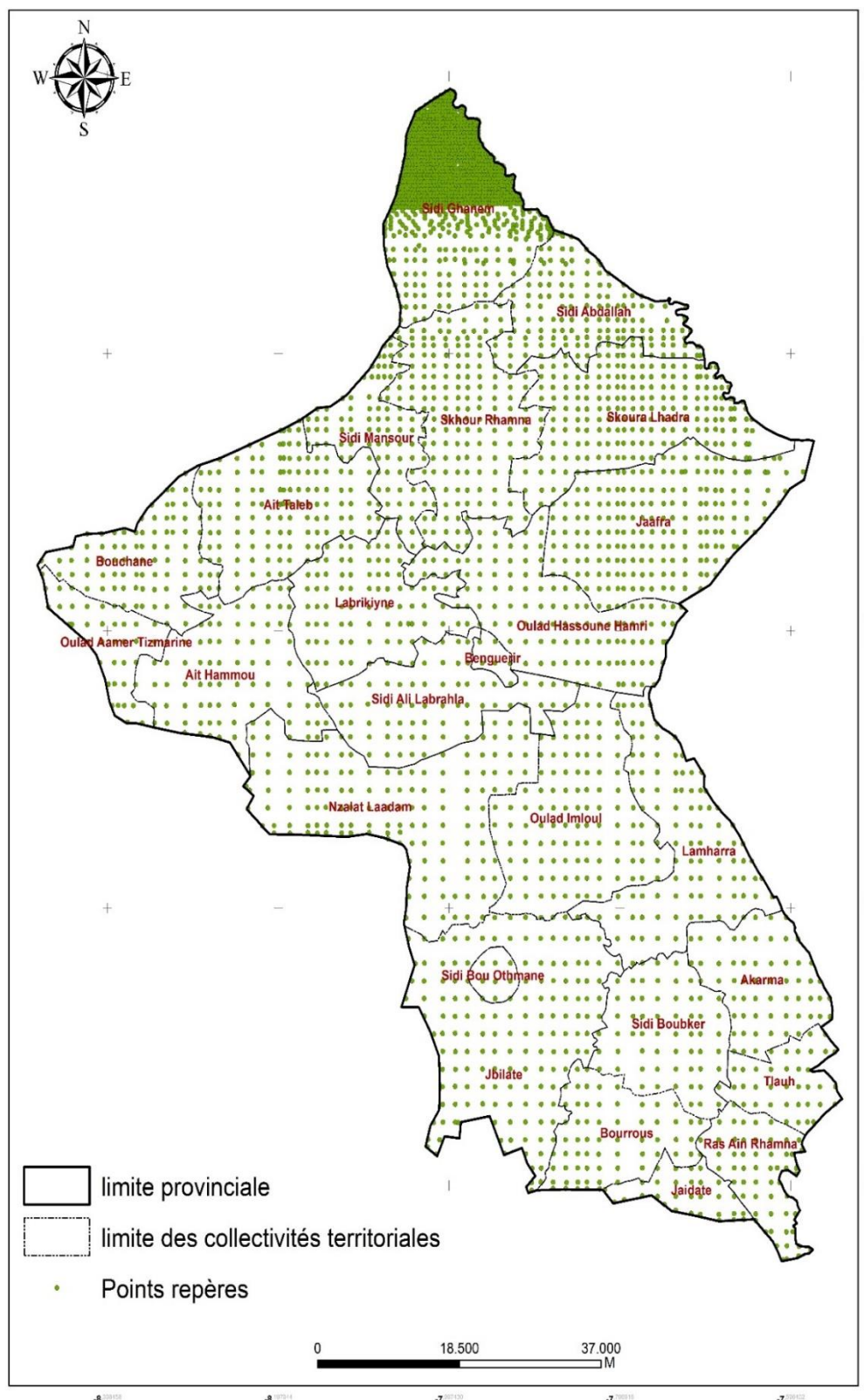


Figure 31 : Carte de distribution des points repères d'échantillonnage via le logiciel ArcGis.

**Phase 3** : Restitution, production des cartes et génération des statistiques d'évolution.

Au cours de cette phase, les données numériques issues de la digitalisation ont été structurées, analysées et interprétées dans un environnement SIG dans le but d'en produire :

- Les cartes de distribution des cactus dans la province étudiée pour les deux dates,
- La carte d'évolution des superficies à cactus ;
- Les cartes de densité des plantations de cactus ;
- Les statistiques en superficies par collectivités territoriales et par année, à travers des analyses spatiales par superposition et intersection des différentes couches cartographiques.

Les données résultantes sont ensuite exploitées et reliées aux paramètres de biomasse et de production en matière verte et en unités fourragères, afin de ressortir des conclusions par rapport aux pertes socio-économiques liées à la culture des cactus dans la province de Rhamna.

### 3 Multiplication *in vitro* d'*Opuntia* spp (Micropropagation) :

#### 3.1 Le Matériel végétal et choix de l'explant :

Cette étude a concerné le matériel végétal (*Opuntias*) siégé au cactétum d'Ain Nzagh, INRA-CRRA de Settat, ainsi elle s'est portée sur « 2 » espèces à savoir, *Opuntia ficus indica* et *Opuntia megacantha*. Le choix des écotypes objet de la culture *in vitro* (micropropagation) a été fait sur la base d'une pré-étude phénologique qui nous a permis d'identifier les écotypes potentiellement intéressants, pouvant être classés comme écotypes d'intérêts à travers leurs traits de production fruitière et de biomasse. Ces écotypes feront objet d'une multiplication à grande échelle, ainsi que la conservation du matériel génétique.

#### 3.2 Prélèvement des échantillons :

Le choix des échantillons à prélever, s'est porté sur des jeunes raquettes de la même année, ayant entre 15 et 30 cm de longueur (Figure 32), et accueillies à partir des écotypes choisis préalablement. Chaque matin dans des conditions de froid modéré, de manière à éviter le stress, les raquettes sont recueillies, et mis dans une glacière. Elles sont ensuite acheminées au laboratoire pour réaliser la désinfection et la mise en culture.

Le matériel végétal objet de cette étude a été récolté pendant deux période de l'année :

- La période de l'**automne-hiver**
- La période du **printemps-été**



**Figure 32** : Raquettes de cactus exemple d'*Opuntia ficus indica* recueillies du cactétum d'Ain Nzagh, INRA-CRRA de Settat (photo, Achraf Mabrouk).



### 3.3 La culture Primaire :

Les techniques de la culture *in vitro* nécessitent un grand soin afin d'éviter tout types de contaminations afin de maintenir des cultures en conditions aseptiques. C'est dans cet objectif que la désinfection du matériel ainsi que la méthodologie du travail sous hotte à flux laminaire restent des manipulations primordiales qu'il faut exercer avec soin.

#### 3.3.1 Stérilisation du matériel de laboratoire à utiliser :

Toutes les manipulations se font sous les conditions aseptiques, en tenant compte de certaines précautions à savoir (Figure 33) :

- Désinfection de la hotte à l'éthanol ou alcool 70% avant et après chaque manipulation.
- Les instruments (les pinces, scalpels, bistouris, portoir, plaquette de dissection) et toutes verreries sont préalablement lavés et autoclavés à 121° C sous pression de 1 bar pendant 20 min.
- Allumage de la lampe à UV après l'achèvement de chaque manipulation.



**Figure 33** : A : Préparation du matériel et produits pour autoclavage ; B : Désinfection de la hotte à flux laminaire et installation du matériel autoclavé (photo, Achraf Mabrouk).

#### 3.3.2 Préparation de l'explant :

##### 3.3.2.1 Choix du type d'explant :

Après avoir ramené les échantillons de la parcelle expérimentale au laboratoire, un protocole de désinfections des raquettes de cactus a été mis au point afin de permettre la réussite de cette étape. Selon le type d'explants, différentes combinaisons d'hypochlorite de calcium, de Tween 20 et de temps ont été testées (Figure 34). A cet effet, divers explants ont été utilisés pour évaluer la capacité de désinfection des protocoles adoptés. Ainsi 3 types d'explants ont été choisis selon l'aspect des aréoles (absence, présence et aréoles déchiquetées) (Figure 35).

##### ➤ Explant 1 : Cladodes sans aréoles (CWA)

Les aréoles, y compris les glochides, ont été complètement éliminées à l'aide d'un scalpel stérile dans un environnement aseptique sous hotte à flux laminaire.

➤ **Explant 2 : Aréoles avec glochides déchiquetés (ASG)**

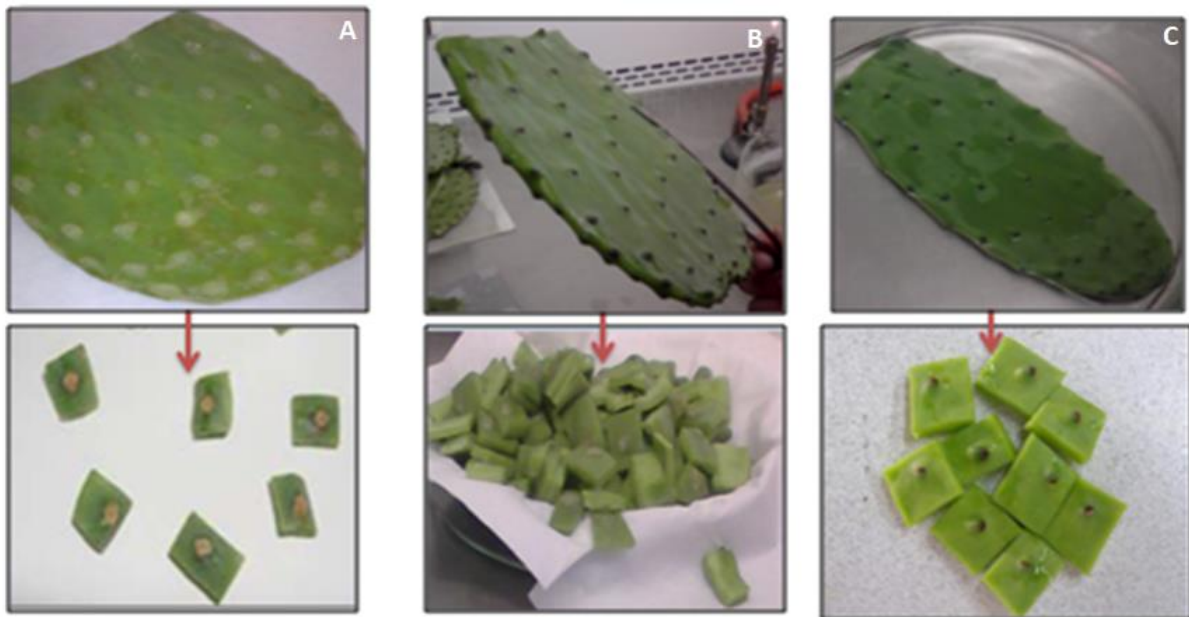
Les glochides ont été légèrement déchiquetés pour permettre à la solution de désinfection d'atteindre l'intérieur des aréoles.

➤ **Explant 3 : aréoles à glochides intacts (AIG)**

Ce protocole consiste à laisser les aréoles intactes sans modifier la consistance des glochides.



**Figure 34 :** Raquettes de cactus objet de la mise en culture, submerger dans la solution de désinfection (photo, Achraf Mabrouk).



**Figure 35 :** Types d'explants à désinfecter. A : Explant 1 : Cladodes sans aréoles (CWA) ; B : Explant 2 : Aréoles avec glochides déchiquetés (ASG) ; C : Explant 3 : Aréoles avec glochides intacts (AIG) (photo, Achraf Mabrouk).

### 3.3.2.2 Méthode de désinfection des raquettes de cactus :

Les raquettes ont été rincées sous l'eau courante pendant 5 minutes et séchées avec un chiffon stérile sous la hotte à flux laminaire. Ensuite, les raquettes préparées selon l'aspect des aréoles précitées, ont été plongées dans un mélange d'hypochlorite de calcium et de Tween 20

pendant 10 à 20 minutes. La conception du mélange d'hypochlorite de calcium, de Tween 20 et le rapport temporel adoptée dans notre expérimentation a été effectuée selon une matrice élaborée par un plan d'expérience avec le logiciel (SAS, 2018), et sont comme suit :

**Tableau 8 :** Matrice des combinaisons adoptées pour la méthode de désinfection.

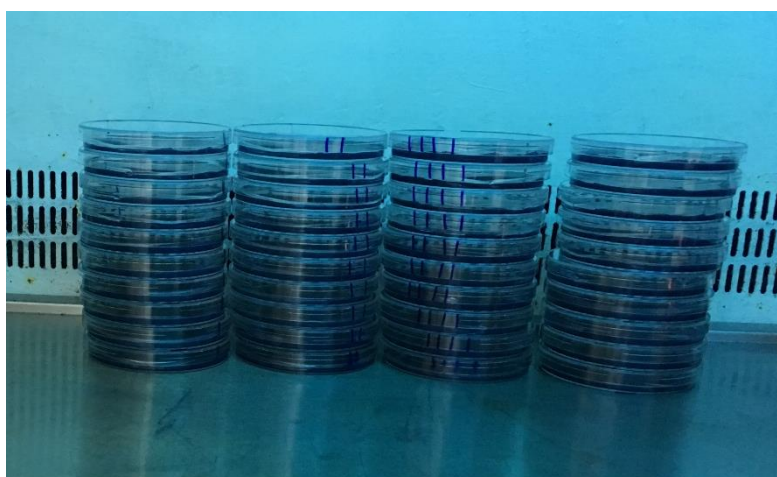
Hypochlorite de Calcium %	Tween 20 %	Temps (min)
1	0,2	20
1	0,8	10
1,5	1	15
1,5	0	15
2,5	0,2	10
2,5	0,8	20
4,5	0,4	15
4,5	0,6	15
5,5	1	20
5,5	0	10
6	0,2	20
6	0,8	10

### 3.3.3 Préparation du milieu nutritif :

Au cours de la culture primaire, le milieu utilisé dans notre expérimentation est celui de MS (Murashige et Skoog, 1962), additionné de :

- 3% de saccharose,
- 0.1 % de charbon actif,
- Gélifié par 0.7% d'agar-agar,
- Supplémenté de divers combinaisons hormonales Acide Naphtalène Acétique (ANA) et Benzyl Adénine (BA).
- Le pH a été ajusté entre 5,5 et 5,7 puis le milieu a été autoclavé sous les mêmes conditions que le matériel du laboratoire.

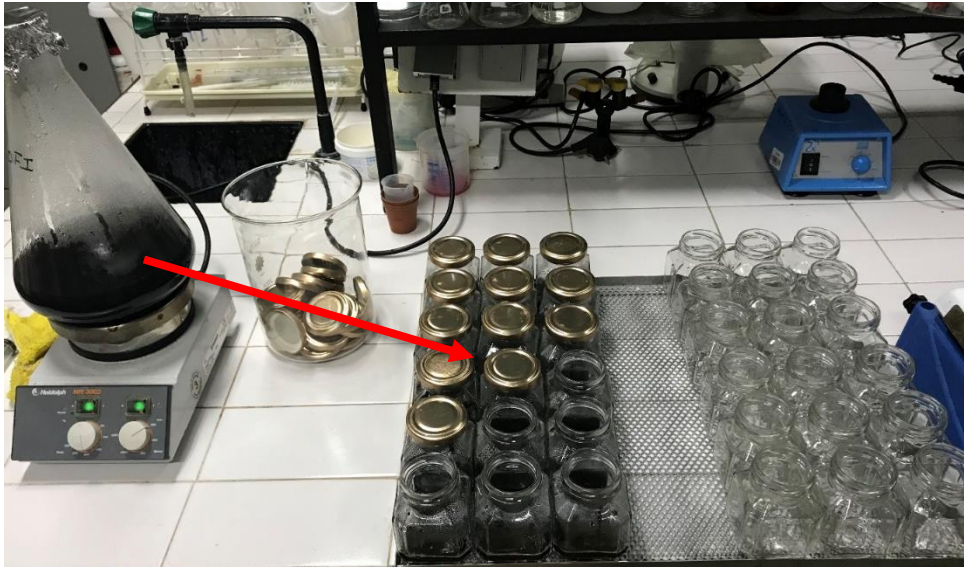
Après autoclavage, on a laissé le milieu de culture refroidir, puis on l'a fait couler dans des boîtes de Pétri de 90mm de Ø, à raison de 30 ml/boîte (Figure 36). L'intervalle des concentrations utilisé pour ce travail s'est référencié de la littérature.



**Figure 36 :** Milieu de culture coulé dans des boites de pétri (photo, Achraf Mabrouk).



Également, le même milieu de culture a servi dans la phase de la multiplication et qui a été coulé dans des bocaux de 212 ml (Figure 37).



**Figure 37 :** Préparation du milieu de culture et versement dans les bocaux (photo, Achraf Mabrouk).

### 3.3.4 Les combinaisons hormonales :

Durant la culture primaire, un intervalle de combinaisons hormonales a été adopté sur la base de la littérature (Martínez-Vázquez and Rubluo, 1989; Khalafalla *et al.*, 2007; El Finti *et al.*, 2012), une matrice de combinaisons a été réalisée selon le plan expérimental établi à l'aide du logiciel JMP SAS (SAS, 2018).

#### 3.3.4.1 Culture primaire :

Dans cette expérimentation, les intervalles de [0,5 mg/L, 1 mg/L] pour l'ANA et de [1,5 mg/L, 6 mg/L] pour la BAP combinés sous la matrice (Tableau 9). Ces combinaisons hormonales ont été utilisées pour l'induction d'explants d'*Opuntia ficus indica* issues des diverses combinaisons de désinfection, afin d'en déduire une réponse optimale, ainsi que cerner les intervalles des concentrations hormonales.

La combinaison hormonale pour une réponse optimale va servir comme référence, pour la réalisation d'une matrice des combinaisons de la culture primaire optimisée.

**Tableau 9 :** Matrice adoptée pour la culture primaire :

<i>BAP</i> / <i>ANA</i> MG /L	0	1,5	3	4,5	6
0					
0,5					
1					

### 3.3.4.2 Culture primaire optimisée :

Sur la base de la première combinaison hormonale déduite lors de la culture primaire, les intervalles de [0,4 mg/L, 0,8 mg/L] pour l'ANA et de [4,5 mg/L, 6 mg/L] pour la BAP combinés sous la matrice (Tableau 10) à partir des quelles diverses combinaisons hormonales ont été testées pour l'induction chez les 2 espèces (*Opuntia ficus indica* et *Opuntia megacantha*) pendant 2 périodes différentes de l'année (printemps-été et automne-hiver). Le but est de ressortir la meilleure combinaison pour une réponse optimale pour chaque espèce et révéler l'effet de la saison sur la réponse.

**Tableau 10 :** Matrice adoptée pour l'optimisation de la culture primaire (combinaison hormonale 2).

<b>BAP /ANA MG /L</b>	<b>0</b>	<b>4,5</b>	<b>5</b>	<b>5,5</b>	<b>6</b>
<b>0</b>					
<b>0,4</b>					
<b>0,6</b>					
<b>0,8</b>					

### 3.3.4.3 Multiplication (subculture 1) :

A travers la matrice adoptée pour la culture primaire optimisée, une combinaison hormonale finale (0,4 mg/L d'ANA et 4,5 mg/L de BAP) et qui est ressortie à partir des réponses de caulogénèse et callogénèse optimales. Cette dernière va être utilisée pour mettre en évidence l'effet *in vitro* des différentes parties de l'explant (basale, centrale et apicale).

## 3.4 Mise en culture des explants :

### 3.4.1 Culture primaire et primaire optimisée :

Lors de la culture primaire, les raquettes de cactus récoltées en période de printemps sont utilisées comme explant, ces derniers ont été désinfectés et découpés en morceaux de 1 cm<sup>2</sup>. Ensuite, ils ont été mis dans des boîtes de Pétri, sous des conditions aseptiques (Figure 38). Chaque explant contient une aréole et chaque boîte contient 5 explants avec 5 répétitions. Ensuite, lors de la culture primaire optimisée, la mise en culture a été refaite de la même manière que la culture primaire, mais cette fois, pour les 2 espèces pendant la période printemps-été et automne-hiver.





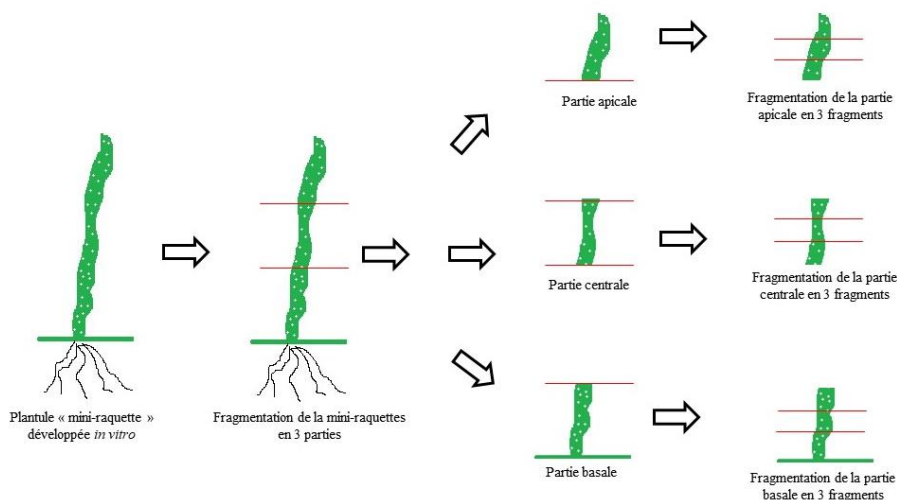
**Figure 38 :** Découpage des explants sous la hotte à flux laminaire et transfère sur milieu de culture (photo, Achraf Mabrouk).

### 3.4.2 Multiplication (subculture 1) :

Dans la phase de multiplication, les explants « mini-raquettes » obtenues ont été utilisées pour la phase de subculture (multiplication).

En utilisant une combinaison hormonale optimale ressortie lors de l'optimisation de l'induction des 2 espèces. Ainsi les mini-raquettes ont été fragmentées à part égale (1/3) en respectant le géotropisme naturel (basale, centrale et apicale) (Figure 39).

Chaque partie de l'explant a été fragmentée en 3 morceaux de 1 cm et chaque morceau comprend plusieurs mini-aréoles, ces derniers ont été mis en culture sous des conditions aseptiques, dans des bocaux de 212 ml sur milieu MS additionnée des mêmes composant que la culture primaire, ainsi que la combinaison hormonale de multiplication retenue (Figure 40).



**Figure 39 :** Découpage et fragmentation d'une mini-raquette (photo, Achraf Mabrouk).



**Figure 40 :** Découpage et mise en culture des mini-raquettes sous la hotte à flux laminaire en respectant le géotropisme naturel (basale, centrale et apicale) (photo, Achraf Mabrouk).

### 3.5 Incubation des explants :

Les cultures ont été incubées dans une chambre de croissance avec une photopériode de 16 h de lumière et 8 h d'obscurité à  $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , le suivi et le contrôle sont fait de manière quotidienne (Figure 41).





*Figure 41 : Cultures incubées dans une chambre de croissance (photo, Achraf Mabrouk).*



*Figure 42 : Production de bourgeons chez *Opuntia ficus indica* sur des fragments (photo : Achraf Mabrouk).*



*Figure 43 : Production de cals chez *Opuntia ficus indica* sur un fragment (photo : Achraf Mabrouk).*

### 3.6 Enracinement des pousses :

#### 3.6.1 Culture primaire :

Après avoir réalisé l'induction de la culture primaire et de son optimisation, on a obtenu des mini-raquettes qui feront l'objet d'un stock de matériel végétal. Afin de stimuler le développement de la partie racinaire, ces dernières ont été transférées sur un milieu d'enracinement MS (**Murashige and Skoog, 1962**), additionné de 0,5 mg/L d'Acide Naphtalène Acétique, 3% de saccharose, solidifié avec 0,7% d'agar-agar, 0.1 % de charbon actif et le pH a été ajusté à  $5,6 \pm 0,2$  avant l'autoclavage et mis dans des barquettes stériles de 500 ml.

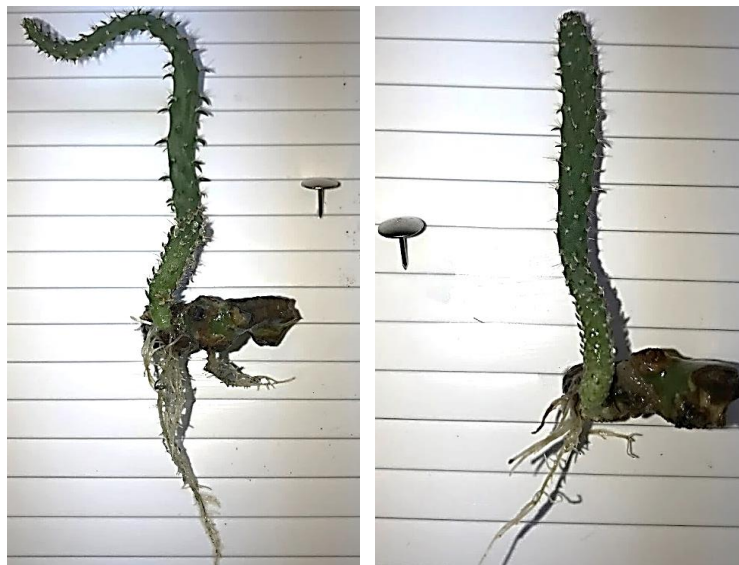
#### 3.6.2 Multiplication (subculture 1) :

Lors de l'étape de multiplication, la concentration optimale estimée, et retenue à partir de l'optimisation a permis la production à la fois de bourgeons ainsi que des racines sur les explants mis en culture, donc le passage par un milieu d'enracinement n'était pas nécessaire. Ainsi, les coûts et les délais de production sont réduits (**Clayton et al., 1990; Bhau, 1999; Choreño-Tapia et al., 2002; El Finti et al., 2012**).

### 3.7 Acclimatation et sevrage :

L'acclimatation est le passage des conditions de laboratoire aux conditions de serre. Cette phase s'avère souvent critique. Même les plantes succulentes peuvent être séchées si le changement d'environnement se fait trop brusquement. Pour atteindre un taux de survie important, des précautions doivent être prises en considération.

Dans l'essai d'acclimatation, les mini-raquettes d'*OFI*, sont lavées à l'eau courante pour enlever l'excès de gélose (Figure 44).



**Figure 44** : Vitroplants après lavage des racines à l'eau, en vue d'être transférés sur le substrat d'acclimatation (photo, Achraf Mabrouk).



Ensuite, ces plantules « mini-raquettes » ont été transplantés dans des pots en plastique (Figure 46), contenant du terreau et du sable autoclavés à différentes portions (Figure 45), et chaque pot contient une plantule de cactus à raison de 12 pots par substrat, afin d'évaluer l'effet du mode de sevrage.

Ces derniers ont été mis dans des mini-serres à l'intérieur de la chambre de culture, et après 3 semaine d'adaptation, ces derniers ont été ramenés à la serre de culture (Figure 47).

Dans ce cas 4 substrats de sevrages ont été testés, à savoir :

<p>➤ <b>Substrat 1 (A) :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1/5 terreau forestier</li> <li>• 1/5 sable</li> <li>• 3/5 sol de la région</li> <li>• Arrosage : Eaux standard du robinet</li> </ul> <p>➤ <b>Substrat 1 (B) :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1/5 terreau forestier</li> <li>• 1/5 sable</li> <li>• 3/5 sol de la région</li> <li>• Arrosage : solution macroéléments + microéléments : solution de (Hoagland and Snyder, 1933) (Tableau 56 - Annexe 14)</li> </ul>	<p>➤ <b>Substrat 2 (A) :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 4/5 terreau forestier</li> <li>• 1/5 sable</li> <li>• Arrosage : Eaux standard du robinet</li> </ul> <p>➤ <b>Substrat 2 (B) :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 4/5 terreau forestier</li> <li>• 1/5 sable</li> <li>• Arrosage : solution macroéléments + microéléments : solution de (Hoagland and Snyder, 1933)</li> </ul>
--	---

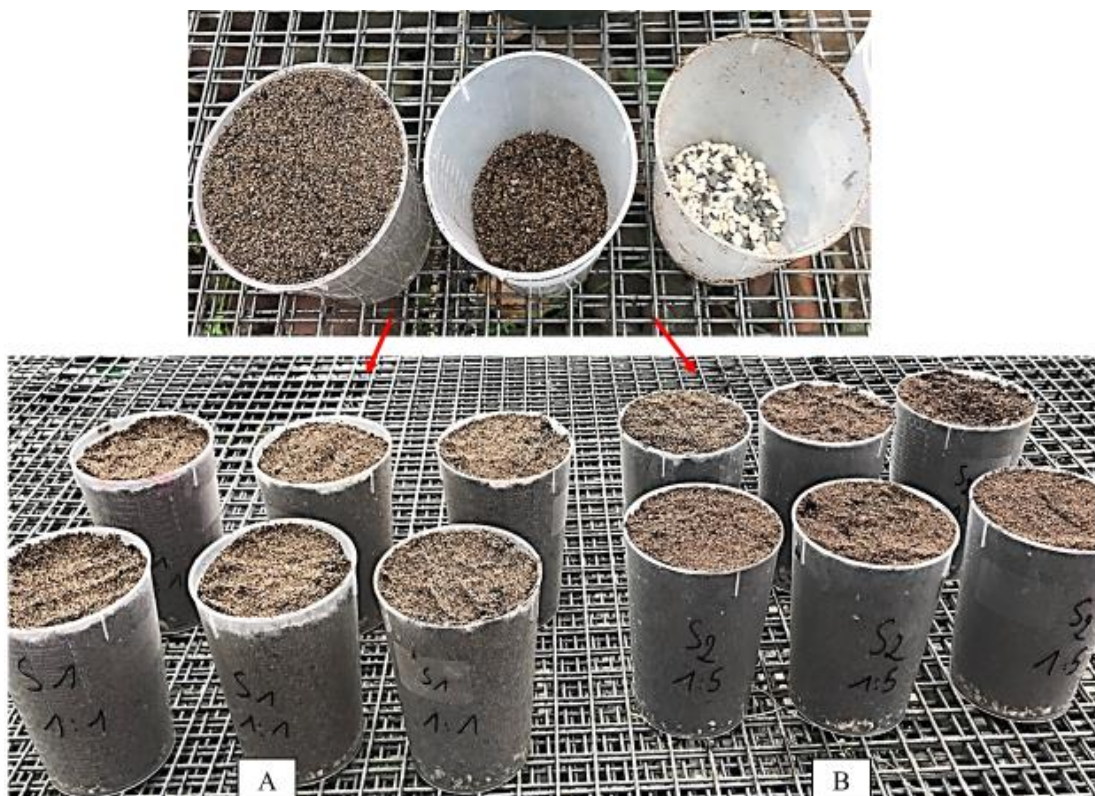


Figure 45 : Substrat utilisé lors de l'opération d'acclimatation ; A : Substrat 1 ; B : Substrat 2 (photo, Achraf Mabrouk).





Figure 46 : Explants de cactus sous mode de sevrage 1A (photo, Achraf Mabrouk).

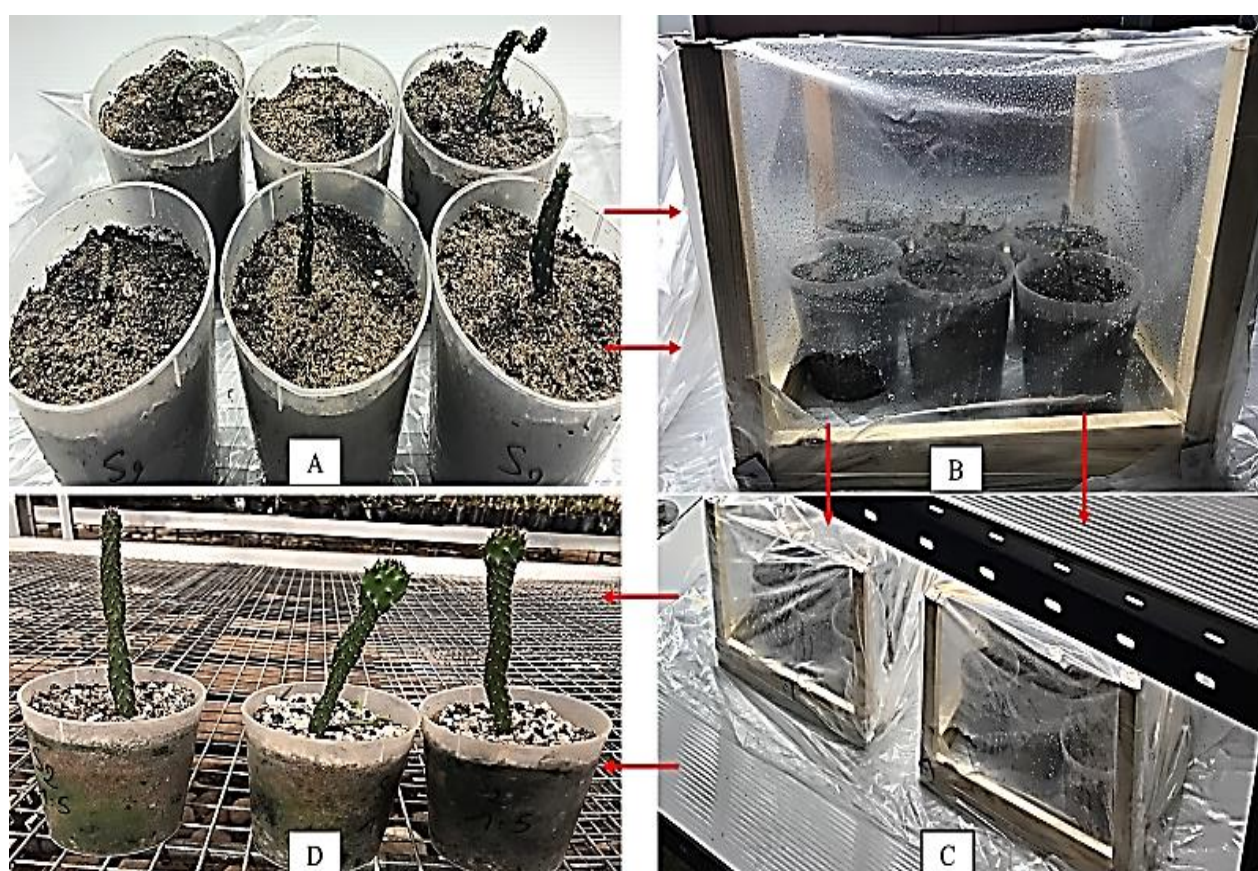


Figure 47 : A : les plantules issues de la culture *in vitro* mises dans les pots contenant les substrats ; B : transfère des pots dans des mini serres ; C : installation des mini serres à chambre de culture ; D : transfère des plants moyennement développés à la serre (photo, Achraf Mabrouk).

Ensuite, les plantes atteignant les dimensions de plantation (30 cm), et commencent à produire les premières raquettes, ces derniers peuvent être planter directement en parcelle (Figure 48), ceci montre que les étapes de sevrages et d'acclimatation ont été abouties.



**Figure 48 :** Plantes de cactus atteignant les dimensions de plantation (photo, Achraf Mabrouk).



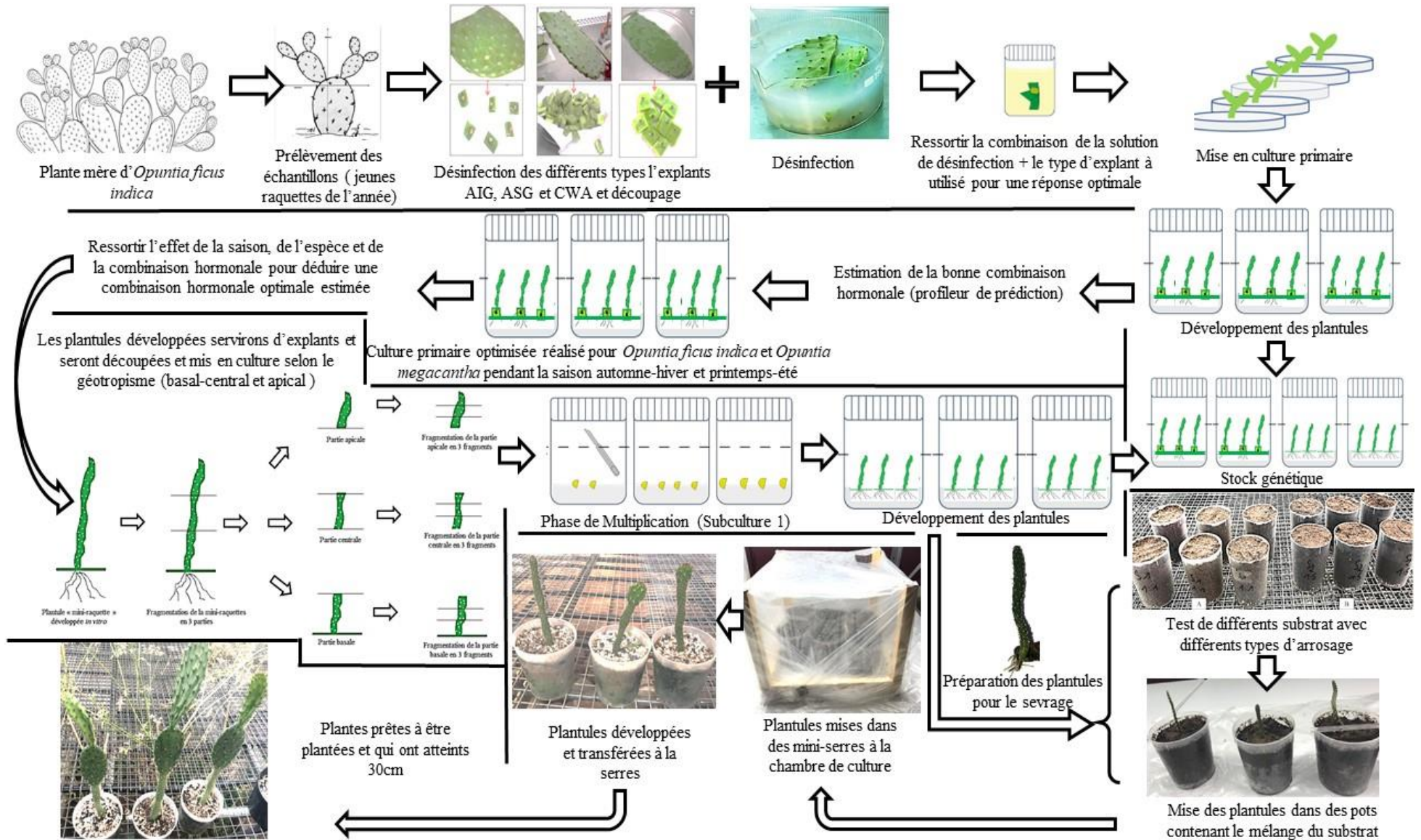


Figure 49 : Schéma récapitulatif de la micropropagation du cactus réalisé dans notre étude.

### 3.8 Données et Analyses statistiques :

L'approche d'optimisation utilisant la méthode du design expérimentale suivie au cours de cette étude a adopté la conception d'un désigne optimal avec le critère « I-optimalité » qui minimise la variance moyenne de la prédiction sur l'espace de réponse. Le critère de I- optimalité était plus approprié pour effectuer les opérations suivantes (SAS, 2018) :

1. Prédire une réponse ;
2. Déterminer les conditions de fonctionnement optimales en maximisant la désirabilité ;
3. Déterminez les régions de l'espace de conception où la réponse se situe dans une plage acceptable.

Dans notre cas, la prédiction précise de la réponse prime sur l'estimation précise des paramètres. Pour la phase de désinfection, la conception expérimentale optimale consistait en 12 combinaisons randomisées de trois facteurs (hypochlorite, Tween-20 et temps) sans réplication (Tableau 6).

Pour le taux de caulogénèse et de callogénèse, nous avons adopté un design personnalisé comprenant 13 combinaisons hormonales randomisées d'ANA (allant de 0 à 1 mg/L) et de BAP (de 0 à 6 mg/L) avec trois répliques, les réponses ont été ainsi enregistrées et analysées. La conception expérimentale et les analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel JMP SAS Pro software (JMP®, Version <14>. SAS Institute Inc.).

Dans la phase de désinfection, culture primaire ainsi que la culture primaire optimisée, le test  $\chi^2$  est utilisé comme critère de comparaison des données (proportions). Cependant, le test qui a été utilisé dans cette étude est **le test G** (test du rapport de vraisemblance), qui a été mis en œuvre par **Pichon and Gayral (1979)**, et confirmé par **Sokal and Rohlf (1969)**, tel que cité par **(El Goumi et al., 2014)** :

Ce test suit une loi de  $\chi^2$  à un degré de liberté  $\nu$  ( $\nu = (r-1)(c-1)$ ).

Le **test G** est représenté par la relation suivante :

$$G = 2 \sum E_c \ln (E_c/E_{th}),$$

Avec :  $E_c$  = effectifs constatés

$E_{th}$  = effectifs théoriques

$r$  et  $c$  étant le nombre de paramètres estimés

La transformation logarithmique permet de corriger les distributions dissymétriques et de réduire ainsi l'influence des valeurs extrêmes (**Baccini et al., 2005**).

En phase de subculture I, la normalité de la distribution des données a été analysée par le test



de Shapiro-wilk, et la normalité est remplie par la transformation  $\text{Arcsin}\sqrt{x}$  lorsque cela était nécessaire. Une analyse de variance à un facteur (ANOVA) a été utilisée pour évaluer l'effet de l'espèce, de l'hormone (présence ou absence), la partie de l'explant, et de leurs interactions sur les variables mesurées. Ainsi que pour la phase du sevrage, évaluant ainsi l'effet du type de substrat du type d'irrigation. Les moyennes sont comparées pour le test de comparaisons multiples du Tukey (*honestly significant difference*). Le seuil de risque d'erreur a été fixé à 5% pour toutes les analyses. Les données ont été analysées par JMP SAS Pro software (JMP®, Version <14>. SAS Institute Inc.).

Les paramètres mesurés pour cette partie sont :

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Phase de désinfection</li> </ul>	Taux de réussite :	(Nombre d'explants sains et vivants / Nombre d'explants mis en culture) X 100
	Taux de nécrose	(Nombre nécrosés / Nombre d'explants mis en culture) X 100
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Phase de culture primaire</li> <li>• Phase de culture primaire optimisés</li> <li>• Phase de subculture</li> </ul>	Nombre d'explants ayant débourrés	Nombre d'explants ayant produit des bourgeons
	Taux de callogenèse	(Nombre de cals produits / Nombre d'explants mis en culture) X 100
	Taux de débourement	(Nombre de fragments ayants débourees / Nombre d'explants obtenu après fragmentation de vitroraquettes) X 100
	Coefficient de multiplication par rapport à une vitro raquette mis en culture au départ	Nombre de bourgeons produits au total / nombre de vitro raquettes fragmentées et mis en cultures
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Phase de d'acclimatation et sevrage</li> </ul>	Taux de réussite	(Nombre de mini-raquettes sevrées ayant repris / Nombre de mini-raquettes sevrées) X 100

# **RESULTATS ET DISCUSSION**

## 1 Caractérisation phénologique et agronomique du germoplasme végétal national de cactus genre *Opuntia* Spp :

Les études portant sur le comportement agronomique et phénologique du cactus marocain sont très limitées. Les travaux menés par des chercheurs marocains commencent à voir le jour, mais la plupart sont uniquement liés à la période de floraison et à la maturation du fruit pour déterminer la précocité et la tardivité des espèces d'*Opuntia* marocains. Dans notre étude, nous nous sommes focalisés via notre équipe de recherche, au retraçage de la production phénologique et agronomique des écotypes de cactus genre *Opuntia* marocains, rassemblés dans la parcelle expérimentale sous les mêmes conditions agroécologique.

### 1.1 Conditions Climatiques sur 6 ans de plantation :

Toute plante a des exigences vis-à-vis du climat et sol au sein des quels elle pousse. Ces derniers se traduisent par un certain nombre de besoins agroclimatiques. Ce rappel nous permettra de comprendre l'état de la végétation depuis l'installation du cactétum et au cours des années de plantations.

En effet, sur une durée de 6 ans au site de Ain Nzagh (Figure 50), les résultats de l'analyse de la variance (ANOVA) des composants climatique (température, humidité moyenne et précipitations) ont révélé une variation entre les différents paramètres.

Mis à part le facteur température qui n'est pas significatif, les autres facteurs précipitation et humidité sont très hautement significative ( $P < 0,0001$ ) (Tableau 11).

**Tableau 11** : Analyse de variation des paramètres climatiques en fonction de l'année.

	Somme des carrés			
	DLL	Température moyenne (°C)	Précipitation (mm)	Humidité (%)
Modèle	5	369,13ns	134,46***	206800,35***
Erreur	2186	74323,57	11675,15	586512,08
Total corrigé	2191	74692,70	11809,61	793312,42

\*\*\* : Significatif au seuil 0.1%, ns : non significatif au seuil 5%. DLL : Degrée de liberté.

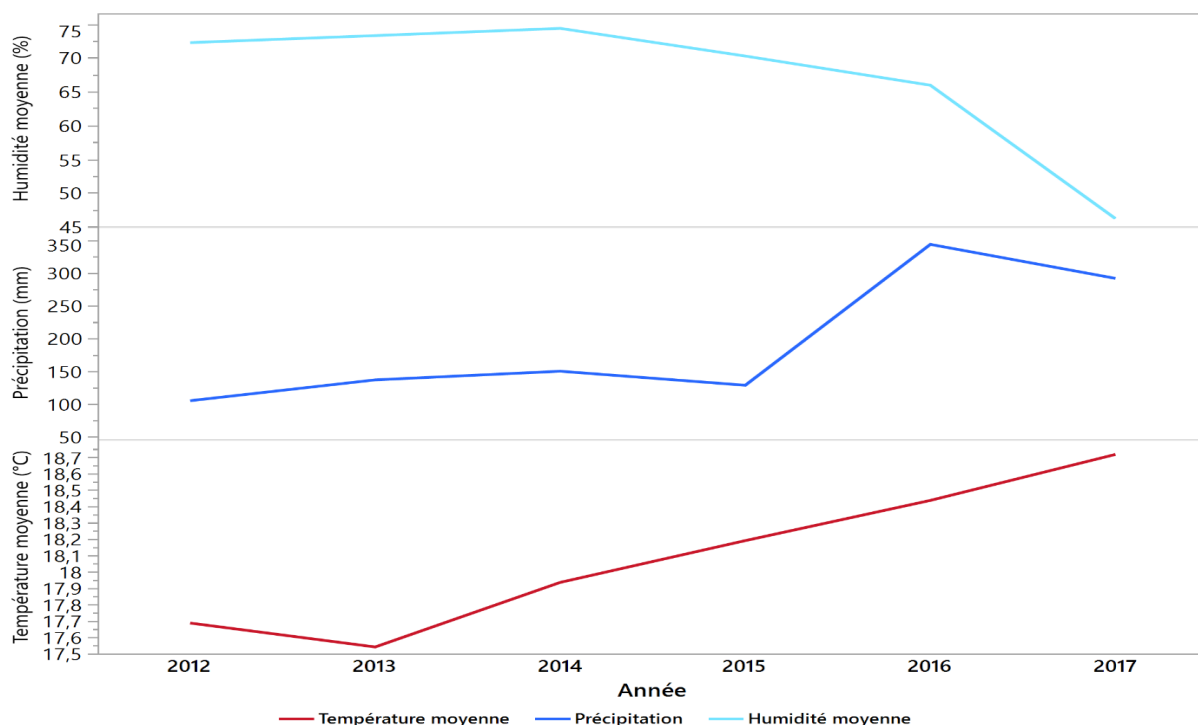
L'observation du tableau 12 et la figure 50, montre que pour la température, la valeur la plus basse a été notée pour l'année 2013 ( $17,54 \pm 0,30^\circ\text{C}$ ), au-delà, une évolution progressive de la température a été notée, jusqu'à atteindre la valeur la plus élevée en 2017 ( $18,72 \pm 0,33^\circ\text{C}$ ). Les précipitations, ont connu une fluctuation importante, une légère augmentation a été enregistrée entre 2012 ( $0,29 \pm 0,08\text{mm}$ ) et 2014 ( $0,41 \pm 0,09\text{mm}$ ), suivie par une légère baisse en 2015 ( $0,35 \pm 0,09\text{mm}$ ). Par ailleurs, l'année 2016 s'est caractérisée par un volume de précipitation très important ( $0,94 \pm 0,18\text{mm}$ ), suivi par une légère baisse en 2017 ( $0,80 \pm 0,16\text{mm}$ ).

Du côté de l’humidité, une légère augmentation est constatée entre 2012 (72,23±0,63%) et 2014 (74,35±0,56%), ensuite une diminution importante a été notée en 2017 (46,17±1,53%).

**Tableau 12 :** Comparaison des paramètres climatiques en fonction de l’année.

Année	Paramètres		
	Température moyenne	Humidité moyenne	Précipitation
2012	17,69±0,32	72,23±0,63ab	0,29±0,08c
2013	17,54±0,30	73,28±0,53ab	0,38±0,08bc
2014	17,93±0,27	74,35±0,56a	0,41±0,09bc
2015	18,19±0,29	70,25±0,70b	0,35±0,09bc
2016	18,43±0,32	65,93±0,78c	0,94±0,18a
2017	18,72±0,33	46,17±1,53d	0,80±0,16ab

Pour chaque type paramètre, les valeurs liées par la même lettre ne présentent aucune différence significative à P < 0,05.



**Figure 50 :** Evolution des différents paramètres météorologiques (température et humidité moyennes ainsi que les précipitations) sur une durée de 6ans au site de Ain Nzagh (DGM, 2017).

Le test Khi deux de vraisemblance ( $\chi^2=238,761$ ,  $p<0,0001$ ) a mis en évidence une différence hautement significative entre les années pour le cumule des précipitations annuelles (Tableau 13, Figure 51). Les années 2016 (344mm) et 2017 (292mm) ont enregistré la plus grande part du cumule de 6 ans avec respectivement 30% et 25%.

**Tableau 13 :** Test de probabilité comparant la semblance des années pour la précipitation annuelle.

Année	Cumul Précipitation Annuelle	Prob.	Prob. de l'erreur standard	Prob. de référence
2012	106	0,091	0,008	0,16667
2013	137	0,119	0,009	0,16667
2014	151	0,130	0,010	0,16667
2015	129	0,111	0,009	0,16667
2016	344	0,297	0,013	0,16667
2017	292	0,252	0,013	0,16667
<b>Test Khi2</b>	<b>Khi deux</b>	<b>DLL</b>	<b>Prob. &gt; khi deux</b>	
<b>Rapport de vraisemblance</b>	238,761	5	<,0001***	



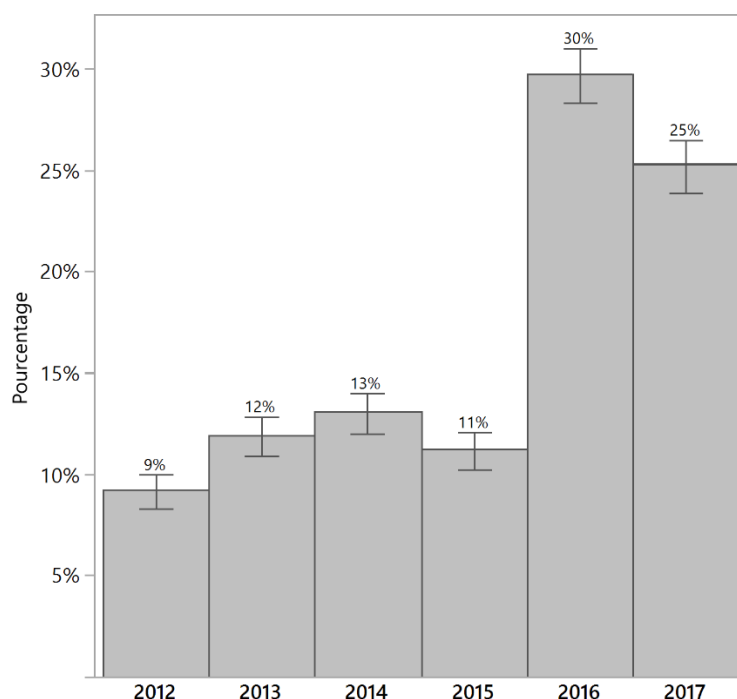


Figure 51 : Répartition du cumul annuel des précipitations sur une durée de 6 ans au site de Ain Nzagh.

## 1.2 Etude du comportement phénologique des écotypes de cactus sur 6 année de plantation :

### 1.2.1 Production en bourgeons des cactus genre *Opuntia* sur 6 année de plantation :

L’ANOVA test de Fisher a montré que l’année, l’écotype et leur interaction influencent significativement ( $P < 0,0001$ ) la production en bourgeons (indéterminés, végétatifs, fructifères et morts), ce qui indique que cette production chez les écotypes est variable en passant d’une année à l’autre (Tableau 14).

Tableau 14 : L’analyse de la variance (ANOVA) des paramètres mesurés, en fonction de l’année et l’écotype.

Source de variation	DLL	Somme des Carrés			
		Bourgeons Indéterminés	Bourgeons Végétatifs	Bourgeons Fructifères	Bourgeons Morts
Années	5	3653464,59***	200627,11***	2581454,02***	3428,01***
Ecotypes	125	4945550,92***	321950,95***	2636840,10***	6808,58***
Années*Ecotypes	625	6806791,25***	286016,72***	5746973,98***	13055,83***
Modèle	755	15405806,8***	808594,78***	10965268,1***	23292,42***
Erreur	2268	3925136	255537,50	3541002,50	13709,50
Total corrigé	3023	19330942,8	1064132,28	14506270,6	37001,92

\*\*\* : Significatif au seuil 0.1%. DLL : Degrée de liberté.

### 1.2.2 Retraçage de l'évolution de production phénologique en taux de bourgeons végétatifs, fructifère et mort pour tous génotypes confondus du cactus genre *Opuntia* sur 6 ans de plantation :

La figure 52 montre une hétérogénéité temporelle dans le taux de production des différents bourgeons. A la 1<sup>ère</sup> année, 87,8% du bourgeonnement végétatif a été enregistré contre respectivement, 4,95% et 7,2% pour ceux fructifères et morts. Durant la 2<sup>ème</sup> année de plantation, une augmentation remarquable a été observée pour l'avortement de bourgeons avec un taux de mortalité atteignant 50,8%. Quant à la production de raquettes, elle est restée assez importante avec un taux de 43,7%, celle fruitière ne dépassait pas 5,43%. Un redressement en production de raquettes s'est manifesté à la 3<sup>ème</sup> année avec un taux de 80,5%, suivi de celui du bourgeonnement fructifère (10,7%), puis par l'avortement de bourgeons (8,87%). La production fruitière a connu une augmentation en 4<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> année pour atteindre 33,4%. A cette période le taux de mortalité a connu une régression significative de l'ordre de 1,14%. En dernière année de suivi, l'augmentation de la production fruitière s'est stabilisée à 60,3%, suivi de la production végétative avec un taux de 38,3% et 1,35% en taux d'avortement des bourgeons.



**Figure 52 :** Retraçage de l'évolution de production phénologique en taux bourgeons végétatifs, fructifère et mort pour tous génotypes confondus du cactus genre *Opuntia* sur 6 ans de plantation au cactétum d'Ain Nzagh (INRA-CRRA de Settat).

Il a été constaté que, la production en bourgeons indéterminés chez les écotypes K2, K3 et 112 d'*Opuntia megacantha*, ainsi que I2 d'*Opuntia ficus indica*, ont enregistré la meilleure production au fur des 6 ans de plantation. Ces écotypes ont produit respectivement : 177,25,

165,08, 142,95, 152,41 bourgeons en moyenne par plante (Figure 53 ; Tableau : 44 - Annexe 1).

Toutes années confondues, les valeurs les plus élevées en production moyenne des bourgeons végétatifs, ont été enregistrées chez les écotypes K2, 112 et K3 d'*Opuntia megacantha*, respectivement 47,37, 41,87 et 46,25 bourgeons ; à côté de l'écotype H3 appartenant à *Opuntia ficus indica* avec une production moyenne de 39,37 bourgeons (Figure 54, Tableau : 45 - Annexe 2).

Par ailleurs, l'abondance en bourgeons fructifères a été observée, chez les écotypes K2, 112 et K3 d'*Opuntia megacantha* et I2 *O. ficus indica* avec une production moyenne respective de 124,38, 98,92, 113,62 et 114.54 bourgeons, sur l'échelle de 6 ans de plantation (Figure 55, Tableau : 46 – Annexe 3).

Quant aux bourgeons morts, le nombre le plus élevé en moyenne a été constaté chez *Opuntia ficus indica* représentée par les écotypes 752, D3 et B2 avec une production respective de 6,21, 5,71 et 5,67 bourgeons ; suivi de K2 d'*Opuntia megacantha* avec une mortalité de 5,5 bourgeons (Figure 56, Tableau : 47 - Annexe 4).

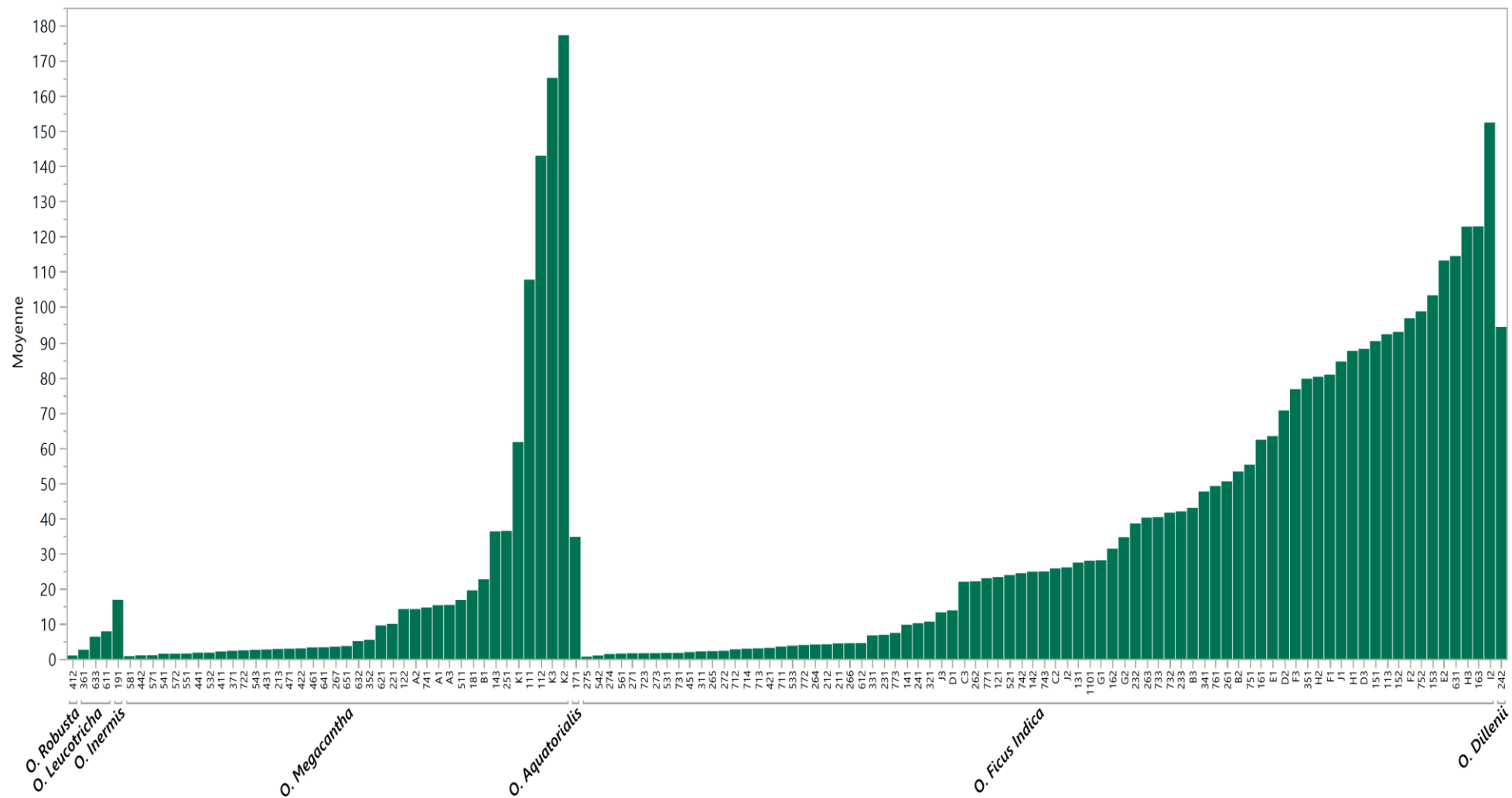


Figure 53 : Production phénologique en moyenne globale de bourgeons indéterminés (toutes années confondues) chez les écotypes de cactus genre *Opuntia* durant 6 ans de plantation au cactétum d'Ain Nzagh (INRA-CRRA de Settat).



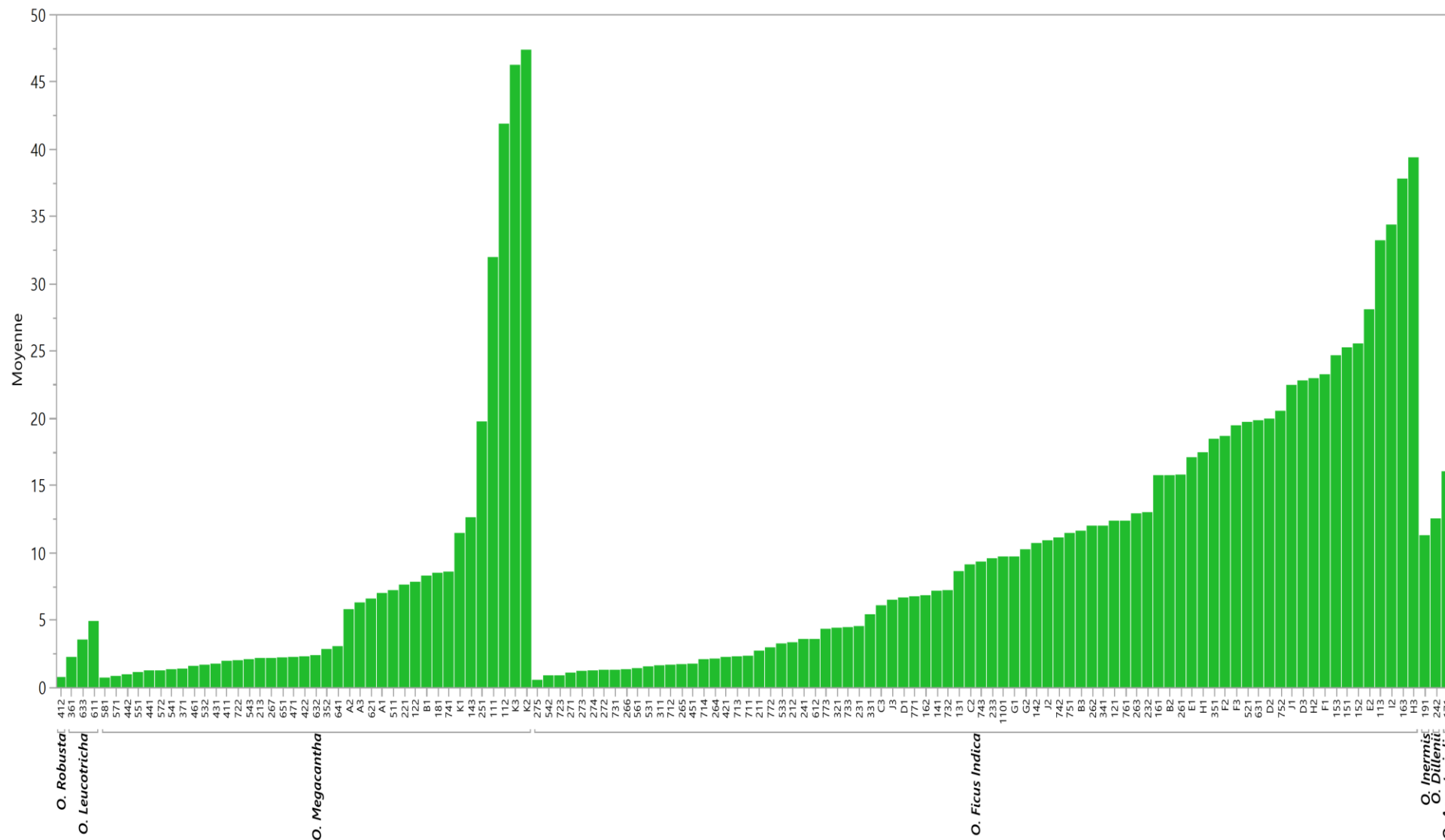


Figure 54 : Production phénologique en moyenne globale de bourgeons végétatifs (toutes années confondues) chez les écotypes de cactus genre *Opuntia* durant 6 ans de plantation au cactétum d'Ain Nzagh (INRA-CRRA de Settat).

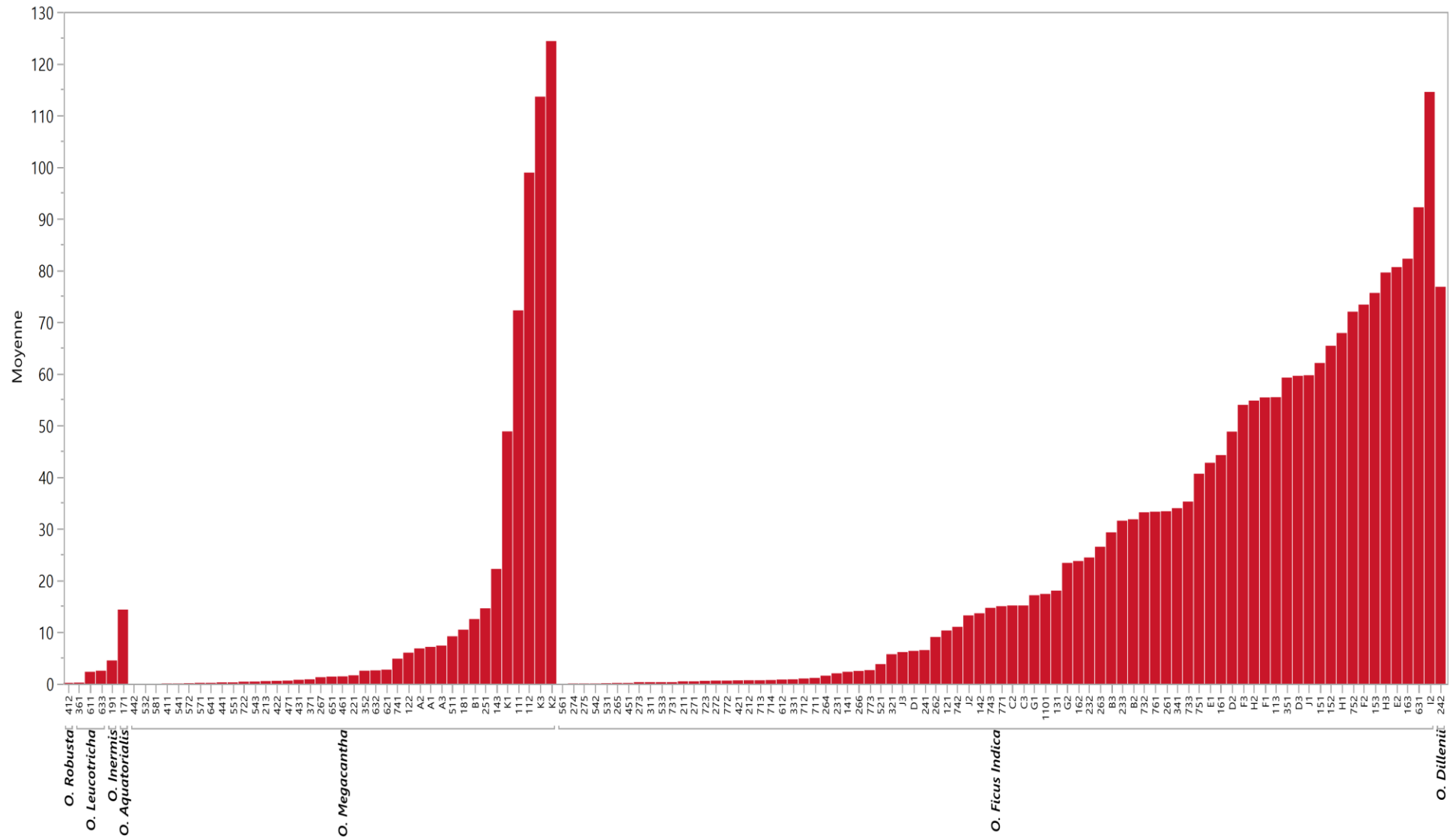


Figure 55 : Production phénologique en moyenne globale de bourgeons fructifères (toutes années confondues) chez les écotypes de cactus genre *Opuntia* durant 6 ans de plantation au cactétum d’Ain Nzagh (INRA-CRRA de Settat).

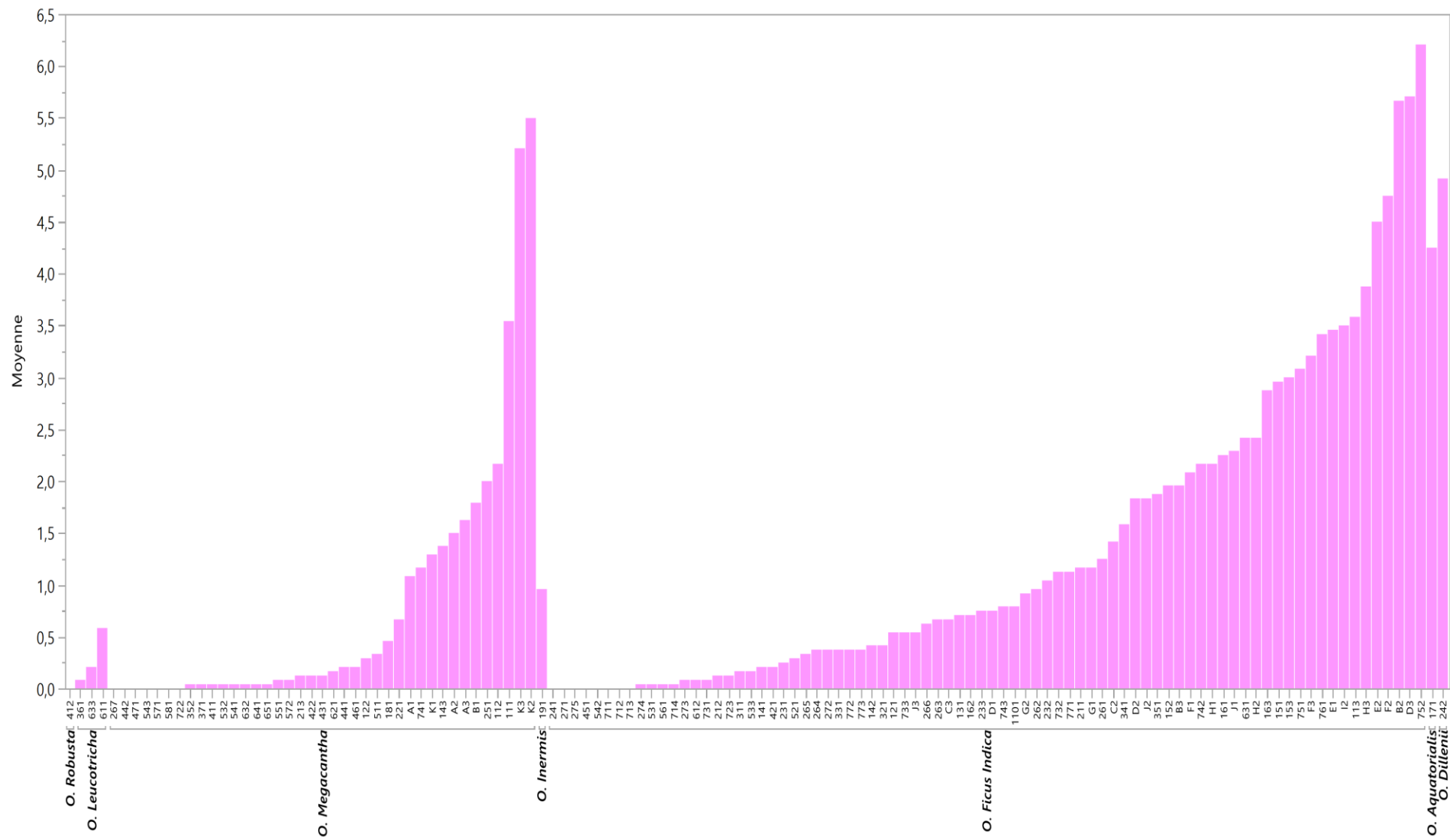


Figure 56 : Production phénologique en moyenne globale de bourgeons morts (toutes années confondues) chez les écotypes de cactus genre Opuntia durant 6 ans de plantation au cactétum d’Ain Nzagh (INRA-CRRA de Settat).

### 1.2.3 Retraçage de l'évolution de production phénologique en taux de bourgeons végétatifs, fructifères et morts chez les 7 espèces d'*Opuntia* sur 6 ans de plantation :

Le test de Tukey a révélé une production hétérogène sur 6 ans pour l'ensemble des bourgeons produits (indéterminés, végétatifs, fructifères et morts). Durant les 3 premières années de plantation, la production des bourgeons était modérée avec une hausse de mortalité à la 2<sup>ème</sup> année. À partir de la 4<sup>ème</sup> année, les bourgeons végétatifs diminuent et cèdent la place aux ceux fructifères dont le nombre devient très important dès la 5<sup>ème</sup> année (Tableau 15).

**Tableau 15** : Comparaison de l'effet de l'année sur les différents types de bourgeons dans le cactéum, selon le test de comparaisons multiples du Tukey (honestly significant difference). Moyenne ( $\pm$  erreur standard).

Année	Type de Bourgeons			
	Indéterminés	Végétatifs	Fructifères	Morts
1	5,34 $\pm$ 0,16 <sup>d</sup>	4,52 $\pm$ 0,13 <sup>c</sup>	0,36 $\pm$ 0,05 <sup>d</sup>	0,47 $\pm$ 0,05 <sup>cd</sup>
2	5,12 $\pm$ 0,39 <sup>d</sup>	2,90 $\pm$ 0,28 <sup>cd</sup>	0,12 $\pm$ 0,03 <sup>d</sup>	2,09 $\pm$ 0,17 <sup>b</sup>
3	2,24 $\pm$ 0,23 <sup>d</sup>	1,67 $\pm$ 0,18 <sup>d</sup>	0,37 $\pm$ 0,07 <sup>d</sup>	0,20 $\pm$ 0,04 <sup>d</sup>
4	23,72 $\pm$ 1,87 <sup>c</sup>	11,65 $\pm$ 0,80 <sup>b</sup>	8,89 $\pm$ 1,05 <sup>c</sup>	3,17 $\pm$ 0,30 <sup>a</sup>
5	65,99 $\pm$ 4,48 <sup>b</sup>	25,27 $\pm$ 1,31 <sup>a</sup>	40,08 $\pm$ 3,64 <sup>b</sup>	0,64 $\pm$ 0,07 <sup>c</sup>
6	92,89 $\pm$ 6,17 <sup>a</sup>	13,55 $\pm$ 0,95 <sup>b</sup>	78,66 $\pm$ 5,72 <sup>a</sup>	0,68 $\pm$ 0,07 <sup>c</sup>

Pour chaque type de bourgeons, les valeurs liées par la même lettre ne présentent aucune différence significative à P < 0,05.

Suite aux résultats de production illustrés dans la figure 57, on remarque que chez l'espèce *Opuntia acuatorialis*, pour la 1<sup>ère</sup> année de plantation, un taux de bourgeonnement végétatif de l'ordre de 58,3% est enregistré, à côté d'un taux de mortalité de 41,7%. L'espèce s'est avérée stérile en termes de production fruitière. L'année suivante (2<sup>ème</sup> année) est marquée par une hausse (93,1%). La 3<sup>ème</sup> année de plantation s'est caractérisée par une production purement végétative puisque le taux de production a atteint son optimum (100%). Quant au début de la production fruitière, elle n'est apparue que vers la 4<sup>ème</sup> année de plantation chez cette espèce avec un taux de production de 8,61%, de mortalité de 10,6% et de bourgeons végétatifs de 80,6%. La 5<sup>ème</sup> et 6<sup>ème</sup> année de plantation ont fait apparaître respectivement une dominance de la production végétative (76,4%) et une augmentation de la production fruitière (63,2%).

La 1<sup>ère</sup> année de plantation pour l'espèce *Opuntia dillenii*, a enregistré un taux de bourgeonnement fructifère assez important (50%), par rapport au taux de mortalité (31,8%) et de bourgeonnement végétatif (18,2%). Une augmentation notable en termes d'avortement de bourgeons (59,3%) a été enregistrée durant la 2<sup>ème</sup> année, suivi d'une production végétative et fructifère respectivement de 26,7% et 14%. La 3<sup>ème</sup> année de plantation s'est caractérisée par une production végétative très importante (90,5%), suivi de 9,5% pour la production fructifère et une absence de mortalité. Dès la 4<sup>ème</sup> année, la production fructifère commence à prendre

part avec un taux de 48,3%, une diminution notable du taux de bourgeonnement végétatif (32,3%) a été enregistrée, avec une augmentation en taux de mortalité (19,4%). La 5<sup>ème</sup> année a été caractérisée par une absence de mortalité et une augmentation en production fructifère de 79,8%, avec une diminution en bourgeons végétatifs (20,3%). La dernière année a été marquée par une nette augmentation en production fruitière avec un taux de 93,7%, suivi de la production de bourgeons végétatifs et morts, respectivement 4,52% et 1,83%.

Par ailleurs, chez *Opuntia ficus indica*, la production végétative a marqué la 1<sup>ère</sup> année avec un taux important de 87,1%, alors que les taux de bourgeonnement fructifères et morts n'ont présenté respectivement que 5,52% et 7,41% de la production. La 2<sup>ème</sup> année s'est caractérisée par une augmentation remarquable en mortalité (59,3%), et une baisse de la production végétative et fructifère avec des taux respectifs de 42% et 4,56%. Durant la 3<sup>ème</sup> année, on remarque toujours une dominance de la production en raquettes d'un taux de (75,5%), suivi du bourgeonnement fructifère et de la mortalité avec des taux respectifs de 14% et 10,5%. Quant à la 4<sup>ème</sup> année, une augmentation de la production en bourgeons fruitiers et morts est notée avec des taux respectifs de 22,5%, 11,3%. La production végétative a connu par contre une diminution pour atteindre un taux de 66,2%. La 5<sup>ème</sup> année s'est avérée similaire à l'année précédente en comportement de production de bourgeons fructifères et végétatifs, avec des taux respectifs de 38,9% et 59,8%. Cependant, le taux de mortalité a connu une légère diminution (1,25%). La 6<sup>ème</sup> année s'est marquée par une augmentation de la production fruitière avec un taux de 61,6%, suivi de la production végétative (37,3%) et finalement un taux de mortalité négligeable de 1,11%.

Concernant *Opuntia inermis*, en 1<sup>ère</sup> année de plantation, on a enregistré un taux de 85,1% pour le bourgeonnement végétatif et 14,9% pour la mortalité, avec une absence de production fruitière. Durant la 2<sup>ème</sup> année, tout comme les autres espèces précitées, un taux de mortalité élevé de 93,8%, et une baisse du taux de production végétative de 6,25 avec manque de production fructifère est observé. La 3<sup>ème</sup> année s'est caractérisée par un arrêt de la production. Quant au début de la production fruitière, elle n'est apparue que vers la 4<sup>ème</sup> année de plantation avec un taux 2%, cette dernière s'est marquée par une augmentation de la production végétative (89,2%) et une diminution de la mortalité (8,85%). La 5<sup>ème</sup> et 6<sup>ème</sup> année de plantation ont fait apparaître une dominance de la production végétative en produisant respectivement (93,5%) et (57,3%), suivi de la production fruitière avec (5,09%) et (42,4%).

Pour *Opuntia leucotricha*, la 1<sup>ère</sup> année de plantation, est déterminée par une production végétative avec un taux élevé de 94,6%, alors que la production fruitière s'est manifestée par un taux de 3,04%, tandis que la mortalité n'a présenté que 2,38% des taux. La 2<sup>ème</sup> année a



dévoilé une baisse de la production végétative pour atteindre un taux de 40%, cependant la production en bourgeons fructifères et en bourgeons morts, a connu une augmentation notable avec un taux de 60% partagé équitablement entre les deux. Remarquablement, la 3<sup>ème</sup> année s'est caractérisé par une production purement végétative (100%). La 4<sup>ème</sup>, 5<sup>ème</sup> et 6<sup>ème</sup> année de plantation ont fait apparaitre une dominance de la production végétative en produisant respectivement (80,4%), (78,9%) et (50,6%), suivi de la production fruitière avec (6,1%), (21,1%) et (49,4%).

Concernant *Opuntia megacantha*, la 1<sup>ère</sup> année de production s'est montrée semblable à celle d'*Opuntia leucotricha*, avec un taux de bourgeonnement végétatif important de 90,5%, suivi de 3,7% et 5,85% respectivement pour la production fruitière et la mortalité des bourgeons. Tandis que dans la 2<sup>ème</sup> année, la partie majoritaire des taux s'est partagée entre la production végétative avec un taux de 52,8% et la mortalité avec un taux de 41,1%, alors que la production fruitière n'a présenté que 6,11% des taux. La 3<sup>ème</sup> année de plantation s'est caractérisée par un taux de production de 93% en bourgeons végétatifs, suivi des taux de bourgeonnement fructifère et mortalité avec des taux respectivement 1,46% et 5,49%. La 4<sup>ème</sup>, la 5<sup>ème</sup> et la 6<sup>ème</sup> année de plantation ont dévoilé une dominance de la production végétative en produisant respectivement (79,1%), (76,1%) et (39,4%), suivi de la production fruitière avec (11%), (23%) et (58,7%).

Finalement, pour *Opuntia robusta*, La 1<sup>ère</sup> année s'est caractérisée par une production exclusivement végétative (100%). A partir de la 2<sup>ème</sup> année un éteignement de la production s'est manifester pour atteindre la 5<sup>ème</sup> année. Au-delà, une production dominante en bourgeons végétatifs s'est dévoilée (73,3%), suivi d'une production fruitière de 26,7% avec une absence de mortalité.



Figure 57 : Retraçage de l'évolution de production phénologique en taux bourgeons végétatifs, fructifère et mort chez les 7 espèces de cactus genre Opuntia sur 6 ans de plantation au cactétum d'Ain Nzagh (INRA-CRRA de Settat).

#### 1.2.4 Production phénologique en bourgeons végétatifs, fructifère et mort chez les écotypes de cactus genre *Opuntia* en 1<sup>ère</sup> année de plantation :

La 1<sup>ère</sup> année de plantation a été marquée chez tous les écotypes, par une production végétative importante, une production assez moyenne de bourgeons fructifères, et une mortalité faible de bourgeons.

Les écotypes 163, 752 et 113 d'*Opuntia ficus indica*, ont produit largement de bourgeons indéterminés, avec une moyenne par plante entre 13 et 15,75, suivi de K3, K2 d'*Opuntia megacantha* qui ont produit entre 9 et 12 bourgeons indéterminés. Quant aux autres écotypes, ils ont exprimé une production moyenne à faible (entre 1 et 8 bourgeons indéterminés).

L'écotype 163 (*OFI*) a produit le plus grand nombre de bourgeons végétatifs avec plus de 15 bourgeons. En termes de bourgeons fructifères, l'écotype 751 (*OFI*) a exprimé 3,75 fruits en moyenne. L'écotype 171 (*Opuntia acuatorialis*) a été distingué par la mortalité des bourgeons avec une moyenne de 4,25 bourgeons morts.

Une meilleure homogénéité (92% ; CV=8%) en production de bourgeons indéterminés a été observée chez l'écotype 221 (*OFI*), tandis que l'écotype B2 exprime une homogénéité de 100% pour la production de bourgeons végétatifs. Quant au bourgeons fructifères et morts, notés respectivement chez A1 et A2 d'OM dont 52,86% et 61,51% d'homogénéité respectives (Figure 58, Tableau : 48 – Annexe 5).

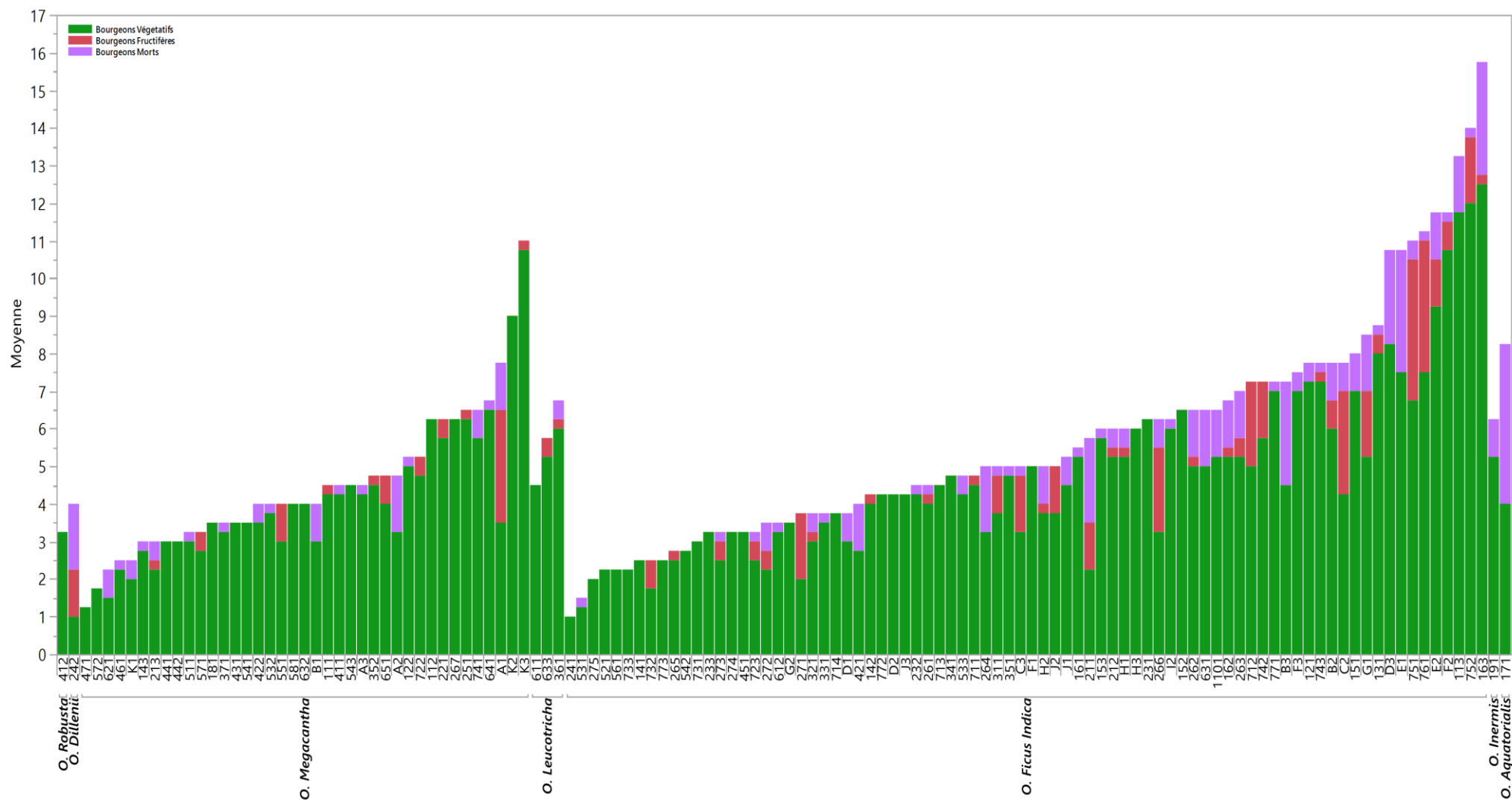


Figure 58 : Production phénologique moyenne en bourgeons végétatifs, fructifère et mort chez les écotypes de cactus genre Opuntia en 1ère année de plantation au cactétum d’Ain Nzagh (INRA-CRRA de Settat).

### 1.2.5 Production phénologique moyenne en bourgeons végétatifs, fructifère et mort chez les écotypes de cactus genre *Opuntia* en 2<sup>ème</sup> année de plantation :

Une baisse notable de la production de bourgeons végétatifs est enregistrée par rapport à la mortalité qui a marqué la deuxième année des autres. Cependant, la production fruitière reste médiocre.

La meilleure production a été observée chez K3 et K2 d'*OM* avec une moyenne de 27 bourgeons indéterminés, suivi de 752 et I2 d'*OFI* de 23,5 à 25,75 bourgeons respectifs. Alors que chez les autres écotypes, cette production s'est dévoilée fluctuante entre une faible production à nulle.

Par ailleurs, on a enregistré le plus grand nombre de BV chez K3 d'*OM* (plus de 27 bourgeons en moyenne). Quant aux BF, 251 et 242 appartenant respectivement à *Opuntia megacantha* et *Opuntia dillenii* ont produit plus de 2 fruits en moyenne. Alors que la mortalité des bourgeons a été bien marquée chez la plupart des écotypes, la plus grande valeur a été notée chez F2 et 752 d'*OFI* (entre 11 et 15 bourgeons en moyenne).

Une meilleure homogénéité en production de bourgeons indéterminés (91,85%) et végétatives (91,84%) a été observée chez l'écotypes I2 (*OM*), tandis que celle de la production de bourgeons fruitiers (14%) a été exprimée chez l'écotype 211 (*OFI*). Quant au bourgeons morts, H3 d'*OFI* a noté une homogénéité de 77% (Figure 59, Tableau : 49 – Annexe 6).



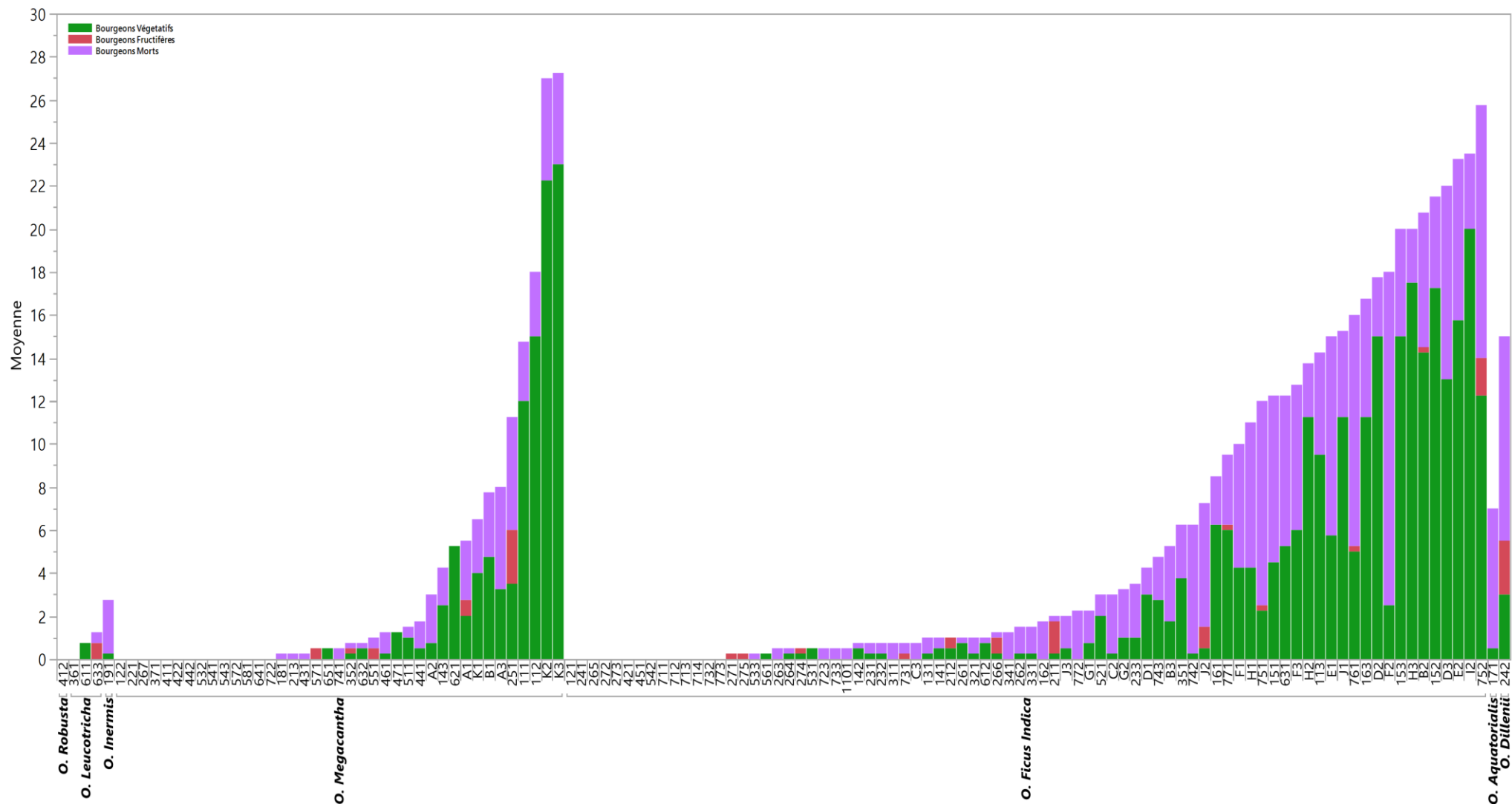


Figure 59 : Production phénologique moyenne en bourgeons végétatifs, fructifère et mort chez les écotypes de cactus genre Opuntia en 2<sup>ème</sup> année de plantation au cactétum d'Ain Nzagh (INRA-CRRA de Settat).

### 1.2.6 Production phénologique moyenne en bourgeons végétatifs, fructifère et mort chez les écotypes de cactus genre *Opuntia* en 3<sup>ème</sup> année de plantation :

La 3<sup>ème</sup> année s'est caractérisée par la reprise de la production végétative, dont a noté une augmentation par rapport à la production fruitière et la mortalité, avec une diminution notable de cette dernière.

La meilleure production a été enregistrée chez K2 et K3 d'*OM*, à côté de 242 d'*Opuntia dillenii*, une moyenne de production entre 17 et 20 bourgeons indéterminés a été relevée, suivi par H3 et I2 d'*OFI* avec une moyenne de 16 bourgeons. Par contre, les autres écotypes ont eu entre 0 et 15 bourgeons.

L'écotype K2 (*OM*) a produit le plus grand nombre de bourgeons végétatifs avec une moyenne de 17,75. En termes de bourgeons fructifères, la production chez l'écotype 733 (*OFI*) a été de 5,75 fruits en moyenne. Les écotype 751 et I2 (*OFI*) ont été distingués par la mortalité des bourgeons avec une moyenne de 3,25 bourgeons.

Une meilleure homogénéité en production de bourgeons indéterminés (78,40%) et végétatives (70,06%) a été observée chez l'écotypes K2 (*OM*), tandis que les écotype B3 (29,29%) et 752 (31,77%) d'*OFI* ont exprimé respectivement une homogénéité de production de bourgeons fruitiers et morts (Figure 60, Tableau : 50 – Annexe 7).

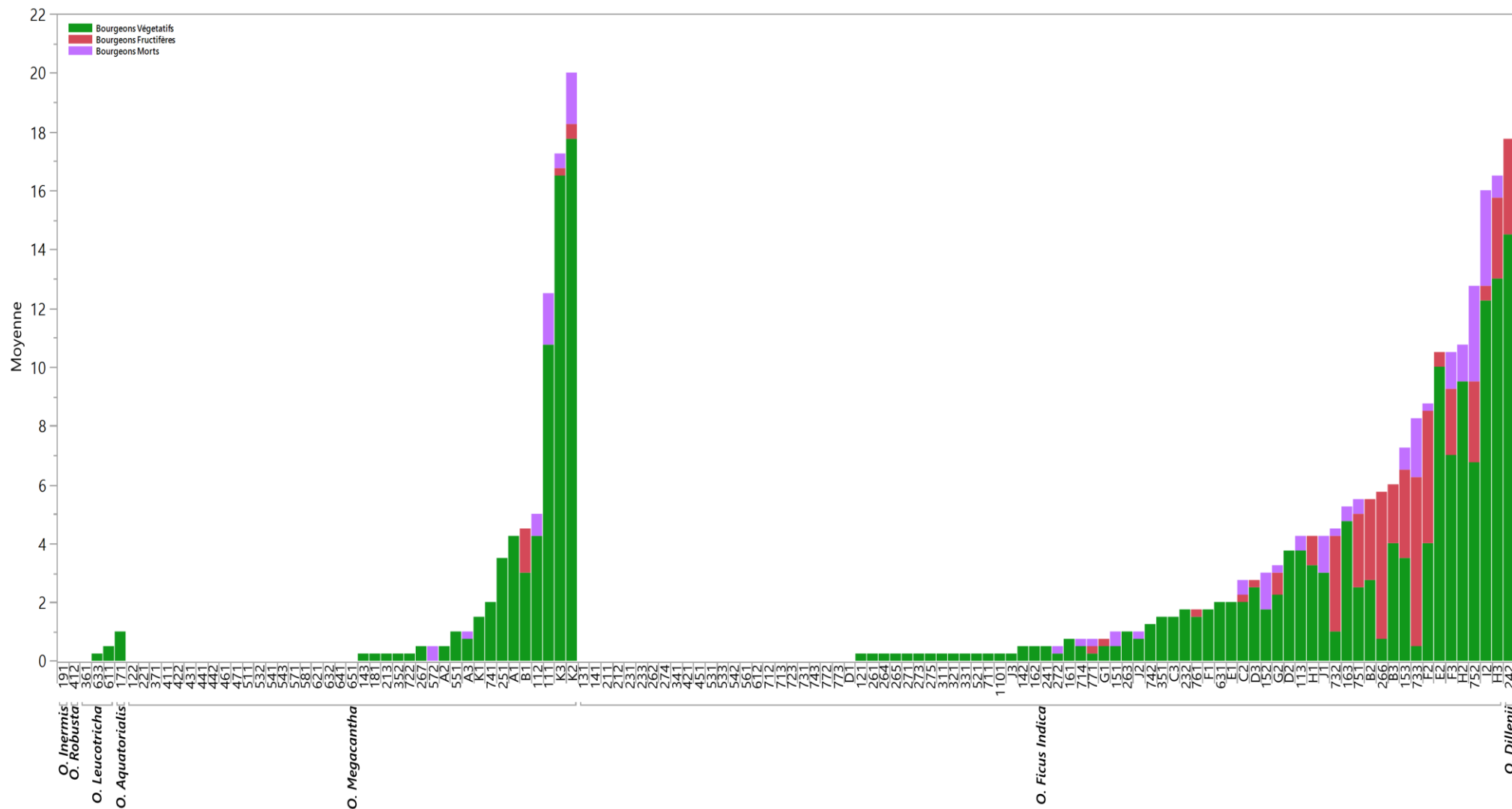


Figure 60 : Production phénologique moyenne en bourgeons végétatifs, fructifère et mort chez les écotypes de cactus genre Opuntia en 3<sup>ème</sup> année de plantation au cactétum d'Ain Nzagh (INRA-CRRA de Settat).

### 1.2.7 Production phénologique moyenne en bourgeons végétatifs, fructifère et mort chez les écotypes de cactus genre *Opuntia* en 4<sup>ème</sup> année de plantation :

La 4<sup>ème</sup> année de plantation a été marquée par la production à la fois des bourgeons végétatifs et fructifères, associée à une faible mortalité.

La meilleure production a été enregistrée chez K2 d'*OM* avec 165 bourgeons indéterminés, suivi de 752 (135,75 bourgeons) et E2 (131,5 bourgeons) d'*OFI*. Alors que les autres écotypes ont révélé une production inférieure à 130 bourgeons.

L'écotype K2 (*OM*) a produit le plus grand nombre de bourgeons végétatifs avec 81 bourgeons en moyenne. Pour la production fructifère, les écotypes 752 et E2 d'*OFI* ont exprimé respectivement 89,5 et 90,5 fruits. En outre, les bourgeons morts durant cette année ont été remarqués chez la plupart des écotypes, dont K3 d'*OM* a enregistré la plus grande valeur (24,75 bourgeons).

Une meilleure homogénéité en production de bourgeons indéterminés (89,55%) a été observée chez l'écotype B2 (*OFI*), tandis que l'écotype 761 (*OFI*) a exprimé une homogénéité de 90,38% pour la production de bourgeons végétatifs. Quant au bourgeons fructifères et morts, ils ont été reportés respectivement chez F1 d'*OFI* dont on note respectivement une homogénéité de 92,65% et 86,39% (Figure 61, Tableau : 51 – Annexe 8).

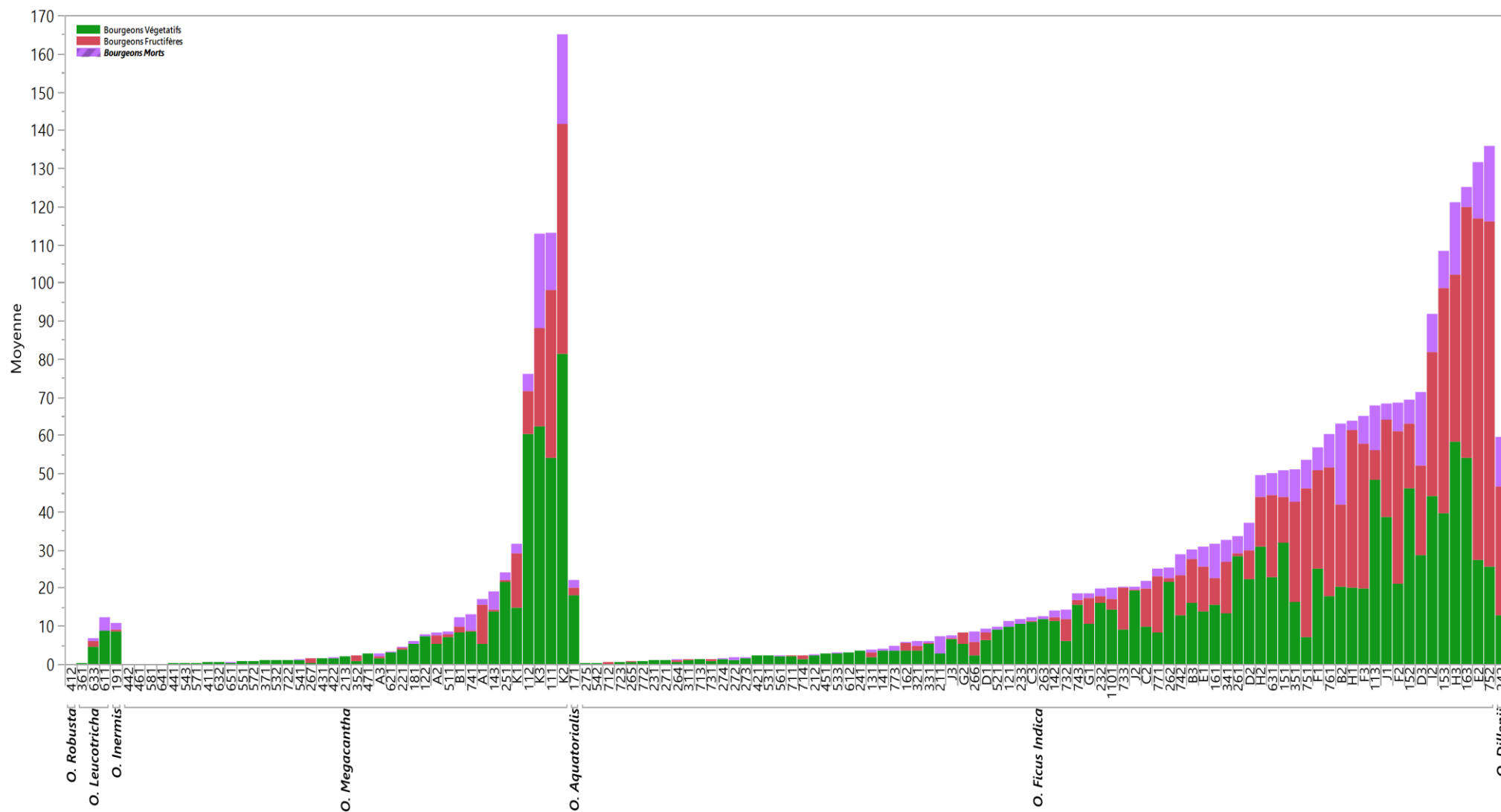


Figure 61 : Production phénologique moyenne en bourgeons végétatifs, fructifère et mort chez les écotypes de cactus genre Opuntia 4<sup>ème</sup> année de plantation au cactétum d'Ain Nzagh (INRA-CRRA de Settat).



### 1.2.8 Production phénologique moyenne en bourgeons végétatifs, fructifère et mort chez les écotypes de cactus genre *Opuntia* en 5<sup>ème</sup> année de plantation :

La 5<sup>ème</sup> année de plantation s'est caractérisée par une production de bourgeons fructifère marquante, la production les bourgeons végétatifs a été moyenne pour tous les écotypes, alors que la mortalité a été faible durant cette année.

La meilleure production de bourgeons indéterminés a été enregistrée chez K2 d'*OM* avec dominance de 500 bourgeons en moyenne, suivi de 163 d'*OFI* qui a produit 308 bourgeons. Pour les autres écotypes la production a été importante pour certains (jusqu'à 295 bourgeons) à faible pour d'autres.

L'écotype I2 (*OFI*) a produit le plus grand nombre de bourgeons végétatifs (109 bougeons en moyenne) et K2 d'*OM* le plus grand nombre de bourgeons fructifères (437 fruits). L'écotype B2 d'*OFI* a enregistré la plus grande valeur de bourgeons morts (5 bourgeons).

Une bonne homogénéité (82,34%) en production de bourgeons indéterminés a été observée chez l'écotype 171 d'*Opuntia acquatorialis*, tandis que l'écotype I2 d'*OFI* a exprimé une homogénéité de 91,9% pour la production de bourgeons végétatifs. Quant à l'homogénéité en bourgeons fructifères et morts, les écotypes 733 et D3 d'*OFI* ont exprimé respectivement 79,85% et 76,91% (Figure 62, Tableau : 52 – Annexe 9).

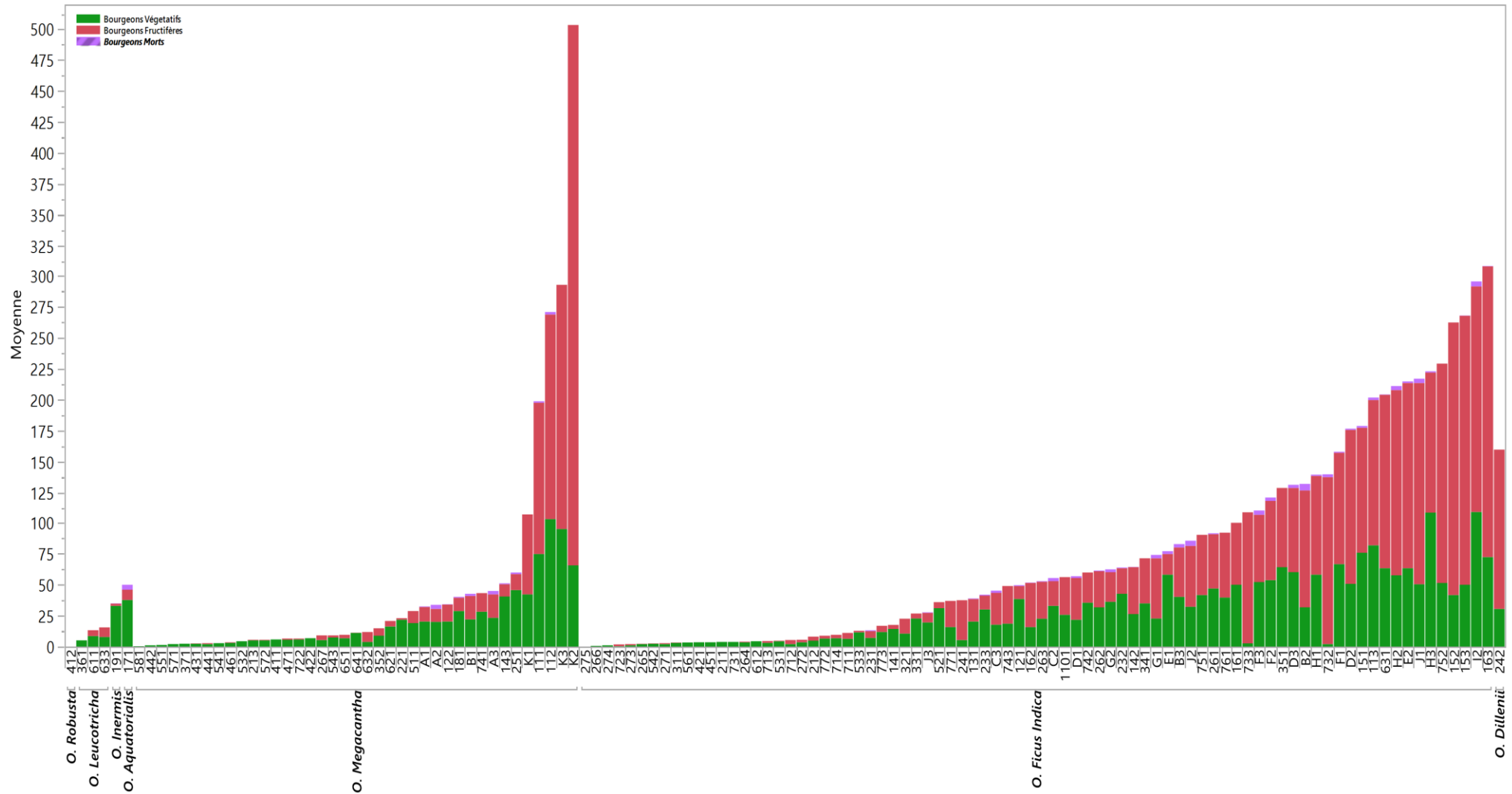


Figure 62 : Production phénologique moyenne en bourgeons végétatifs, fructifère et mort chez les écotypes de cactus genre *Opuntia* en 5<sup>ème</sup> année de plantation au cactéum d’Ain Nzagh (INRA-CRRA de Settat).

### 1.2.9 Production phénologique moyenne en bourgeons végétatifs, fructifère et mort chez les écotypes de cactus genre *Opuntia* en 6<sup>ème</sup> année de plantation :

La 6<sup>ème</sup> année de plantation peut être considérée comme une année particulièrement fructifère avec une production très exceptionnelle, une production végétative moyenne et une mortalité très limitée des bourgeons.

L'écotype K3 d'*OM* a enregistré la meilleure production de bourgeons indéterminés (529 bourgeons en moyenne), suivi de I2 d'*OFI* (481,25 bourgeons). Par ailleurs, les autres écotypes ont révélé une production moyenne pour certains (jusqu'à 411 bourgeons), à faible pour d'autres.

La meilleure production de bourgeons végétatifs a été enregistrée pour K2 (*OM*) avec une moyenne de 88,25. Quant aux bourgeons fructifères, I2 d'*OFI* a produit 466 fruits. Cependant Les bourgeons morts ont été faibles, l'écotype 171 d'*Opuntia acuatorialis* a produit 8,75 bourgeons.

Une meilleure homogénéité en production de bourgeons indéterminés (94,99%) et fruitiers (95,21%) a été observée chez l'écotype I2 (*OFI*), tandis que l'écotype 122 (*OM*) a exprimé une homogénéité de 88,05% pour la production de bourgeons végétatifs. Quant au bourgeons morts, 171 d'*Opuntia acuatorialis* a exprimé une homogénéité de 80,48% (Figure 63, Tableau : 53-Annexe 10).

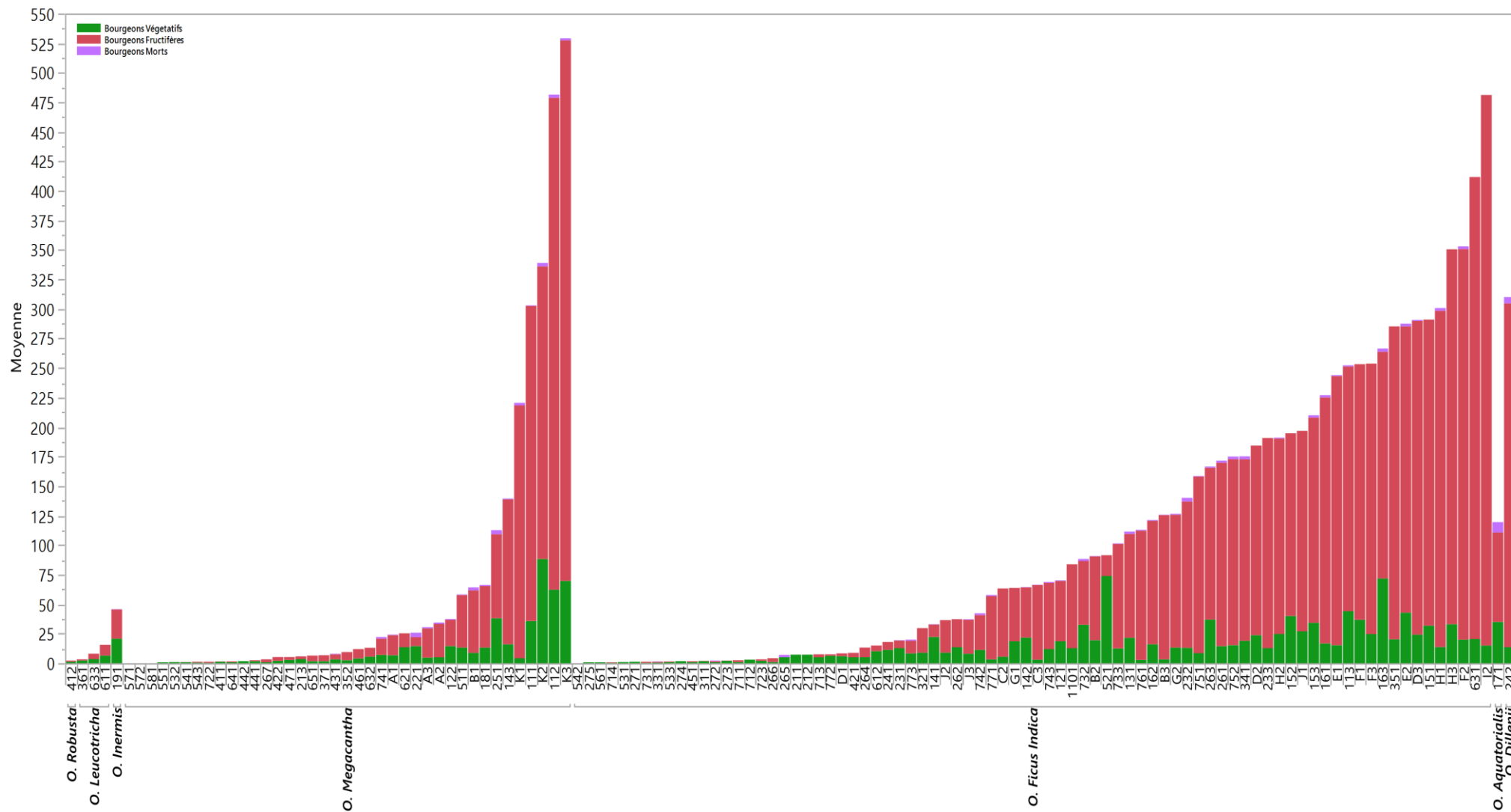


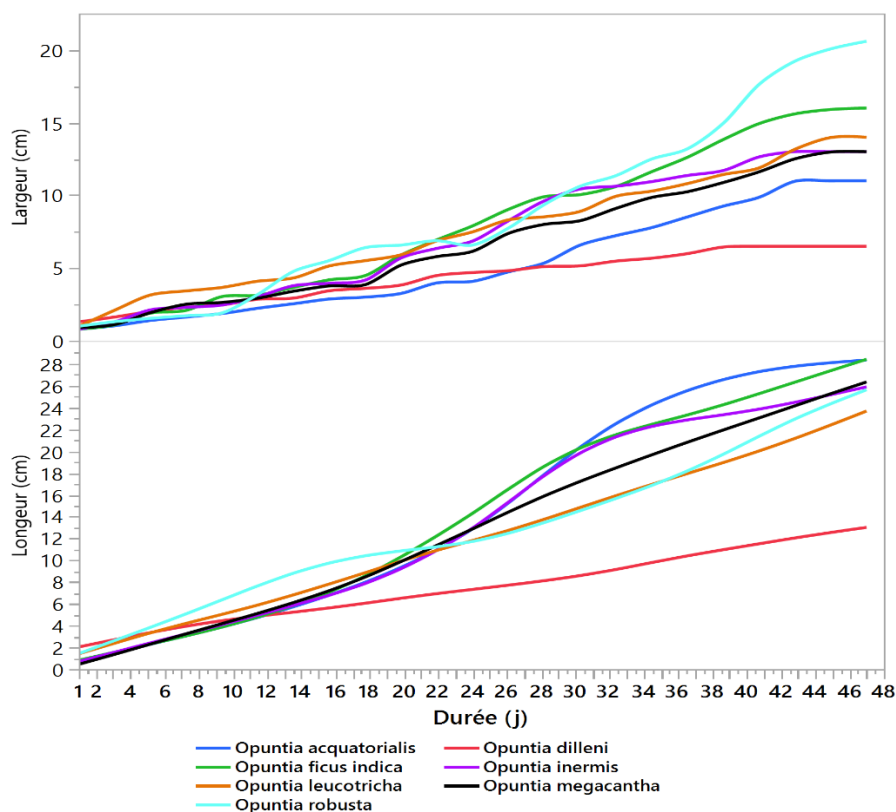
Figure 63 : Production phénologique moyenne en bourgeons végétatifs, fructifère et mort chez les écotypes de cactus genre *Opuntia* en 6<sup>ème</sup> année de plantation au cactétum d'Ain Nzagh (INRA-CRRA de Settat).

### 1.2.10 Evolution des bourgeons végétatifs chez les 7 espèces de cactus genre *Opuntia* :

Chez les différentes espèces de cactus, le développement des paramètres biométriques (longueur et largeur) des bourgeons végétatifs se fait de manière hétérogène.

Ainsi, ce développement est normal pour la longueur des raquettes, chez les différentes espèces avec domination d'*Opuntia robusta* par rapport aux autres espèces jusqu'à 21<sup>ème</sup> jours. Au-delà du 22<sup>ème</sup> jours et à l'exception d'*Opuntia dillenii*, une augmentation exponentielle jusqu'à la valeur maximale de la longueur a été notée chez *Opuntia ficus indica* suivi d'*Opuntia acquatorialis* et *Opuntia megacantha*.

Du côté de la largeur des raquettes, durant les 12 premiers jours, le développement des bourgeons s'est réalisé avec un surassement d'*Opuntia leucotricha* par rapport aux autres espèces. Au-delà du 14<sup>ème</sup> jours et sauf *Opuntia dillenii*, *Opuntia robusta* a pris le relai avec une augmentation remarquable jusqu'à arriver à la valeur maximale, de la largeur notée chez *Opuntia robusta* suivi d'*Opuntia ficus indica*, *Opuntia leucotricha* et *Opuntia megacantha* (Figure 64).



**Figure 64 :** Evolution des bourgeons végétatifs chez les 7 espèces de cactus genre *Opuntia* au cactétum d'Ain Nzagh (INRA-CRRA de Settat).

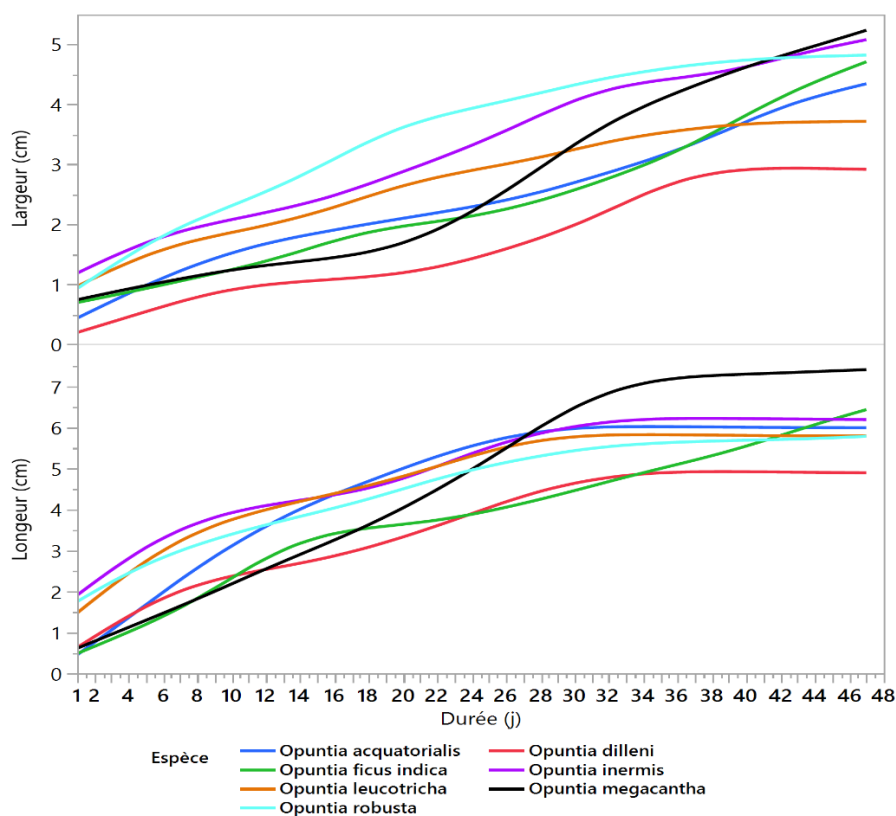


### 1.2.11 Evolution des bourgeons fructifères chez les 7 espèces de cactus genre *Opuntia* :

Comme pour les bourgeons végétatifs, l'évolution des paramètres biométriques (longueur et largeur) des bourgeons de type fructifères est différente chez les espèces de cactus.

Concernant la longueur du fruit, le développement des bourgeons évolue positivement dans le temps chez les différentes espèces, avec dominance d'*Opuntia leucotricha* jusqu'à 12<sup>ème</sup> jours. Au-delà du 15<sup>ème</sup> jours, *Opuntia acuatorialis* prend le relai en longueur du fruit jusqu'à 26<sup>ème</sup> jours, ensuite *Opuntia megacantha* atteint la maximale suivi d'*Opuntia ficus indica*.

Du côté de la largeur du fruit, un meilleur accroissement est observé chez *Opuntia robusta* à partir du 6<sup>ème</sup> jours jusqu'au 41<sup>ème</sup> jours où il commence à se stabiliser, au-delà du 42<sup>ème</sup> jours *Opuntia megacantha* prend le relai, jusqu'à arriver à la valeur maximale suivi d'*Opuntia inermis*, *Opuntia robusta* et *Opuntia ficus indica* (Figure 65).



**Figure 65 :** Evolution des bourgeons fructifères chez les 7 espèces de cactus genre *Opuntia* au cactétum d'Ain Nzagh (INRA-CRRA de Settat).

### 1.3 Etude de la production en biomasse des écotypes de cactus genre *Opuntia* :

L'estimation de la biomasse de la plante entière par des mesures indirectes non destructives est essentielle pour la gestion des vergers de cactus. Cette étude permet de distinguer les écotypes hautement productifs en matière de biomasse et ainsi déduire l'estimation de cette dernière en fonctions des divers paramètres biométriques de la raquette en établissant diverses relations statistiques spécifiques.

#### 1.3.1 Production en matière verte et matière sèche pour les différents écotypes de cactus genre *Opuntia* :

L'analyse de la variance (ANOVA) a révélé une différence de la production en matière verte et matière sèche. L'effet de l'écotype est très hautement significatif (Tableau 16).

**Tableau 16** : L'analyse de la variance (ANOVA) de la matière verte et la matière sèche en fonction de l'écotype.

Source de variation	DLL	Somme des Carrés	
		Matière verte (g)	Matière sèche (g)
Modèle	125	25156319***	129375,44***
Erreur	252	5074422	30588,09
Total corrigé	377	30230741	159963,53

\*\*\* : Significatif au seuil 0.1%. DLL : Degrée de liberté.

Pour la production en matière verte, une hétérogénéité de production chez les différents écotypes est constatée. En effet 742 d'*Opuntia ficus indica* a révélé une production exceptionnelle par rapport à tous les écotypes du cactétum puisque ce dernier a pu produire une moyenne de 1781,37 (g) de MV, suivi de K1 et K2 d'*Opuntia megacantha* produisant respectivement 1299,67 (g) et 1161,6 (g) de MV. Du côté de la production en matière sèche, aussi une divergence du point de vue teneur a été aussi remarquée. L'écotype 742 d'*OFI* garde toujours son avance avec une production de 151,27 (g) de MS, suivi de 743 et 752 appartenant aussi à la même espèce, et qui ont produit respectivement 94 (g) et 89,7 (g) de MS.

Les écotypes 711 et 1101 d'*OFI* ont exprimé une homogénéité respectivement pour la production en matière verte et matière sèche (Figure 66, Tableau : 54 – Annexe 11).

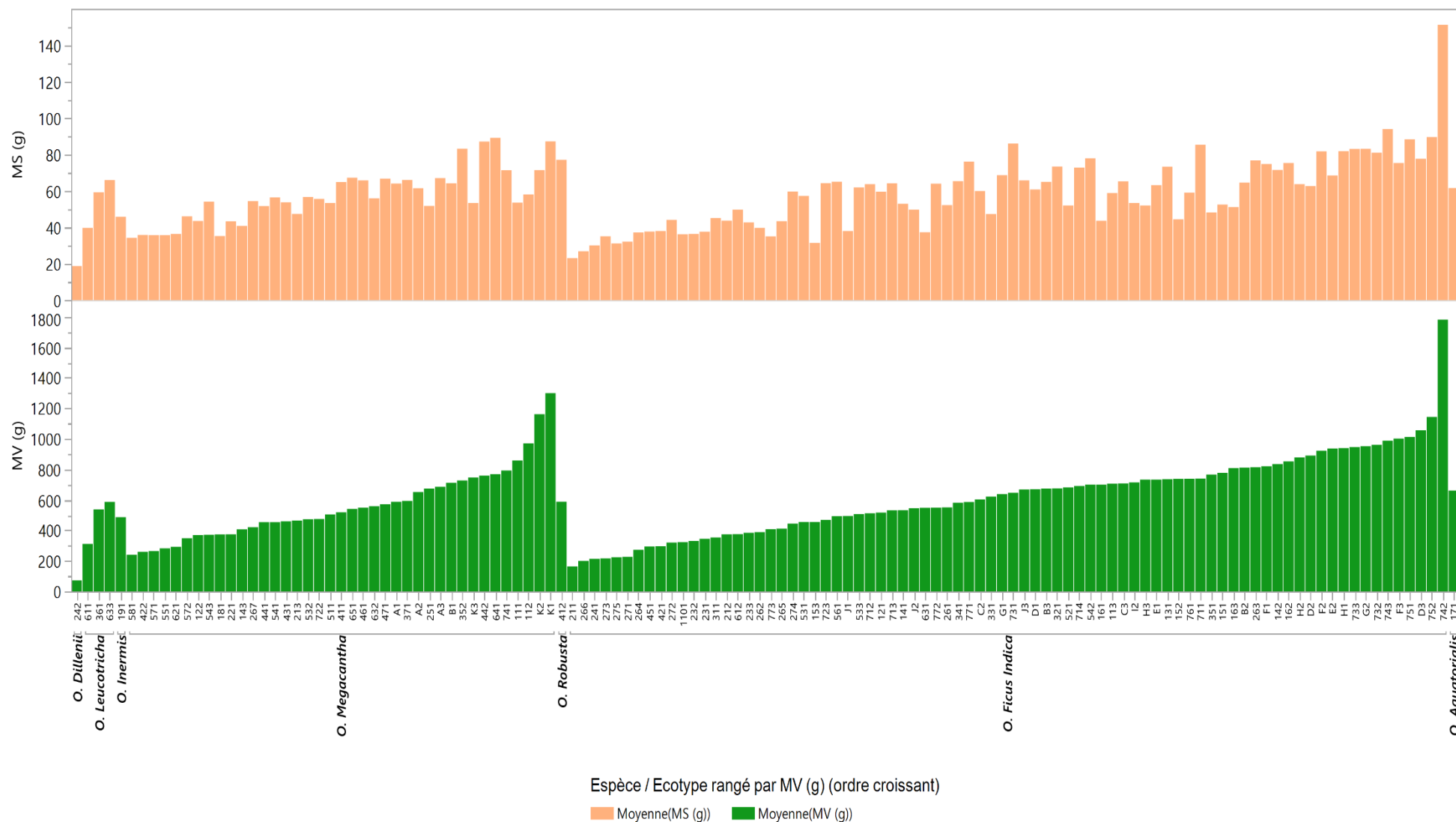


Figure 66 : Production en matière verte et matière sèche pour les différents écotypes de cactus genre *Opuntia* (INRA-CRRA de Settat).

**1.3.2 Relation entre les paramètres biométriques de la raquette et la production de matière verte et matière sèche :**

**1.3.2.1 Prédiction de la matière verte et matière sèche en fonction de la longueur de la raquette :**

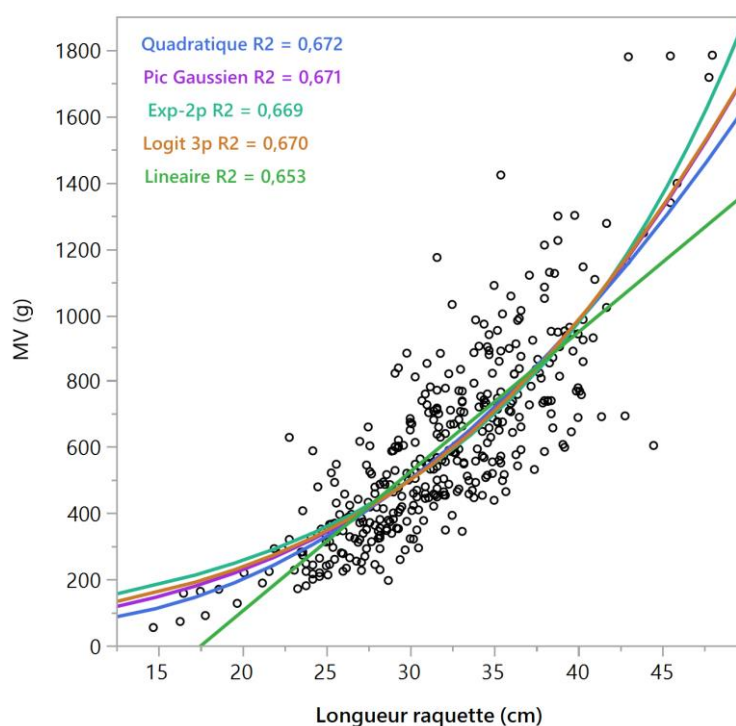
Le meilleur modèle adopté pour l'estimation de la MV est le modèle d'ajustement Quadratique, car ce dernier présente le plus faible critère d'information d'Akaike (AIC) (4927,38). En plus de son coefficient de détermination R<sup>2</sup>, il présente une pondération élevée (AICc = 0,352) par rapport aux autres modèles d'ajustement à savoir les modèles Pic gaussien, Exponentielle 2 paramètres, Logistique à 3 paramètres, et Linéaire. L'estimation de la matière verte en fonction de la longueur de la raquette peut se faire par la formule suivante (Tableau 17, Figure 67) :

$$y = 116.62 - 13.29 * LgR + 0.87 * LgR^2$$

**Tableau 17 :** Modèles d'ajustement de la matière verte en fonction de la longueur de la raquette.

Modèle	AICc	Poids d'Akaike corrigé (AICc)	Somme des carrés des écarts (SSE)	Erreur quadratique moyenne (MSE)	RMSE	R <sup>2</sup>	Formule
Quadratique	4927,38	0,352	9928839,8	26467,91	162,72	0,672	$y = 116.62 - 13.29 * LgR (cm) + 0.87 * LgR (cm)^2$
Pic gaussien	4927,70	0,300	9937243	26499,31	162,79	0,671	$y = 5634.73 * e^{-(0.5*((LgR (cm) - 96.43) / 30.17)^2)}$
Exponentielle 2 paramètres	4928,61	0,190	10015242	26636,28	163,21	0,669	$y = 67.59 * e^{(0.07 * LgR (cm))}$
Logistique à 3 paramètres	4928,97	0,159	9970769,8	26588,72	163,06	0,670	$y = 4454.64 / (1 + e^{(-0.08 * (LgR (cm) - 55.66)})}$
Linéaire	4945,77	0,000	10480551	27873,81	166,95	0,653	$y = -739.77 + 42.14 * LgR (cm)$

AICc : Le critère d'information d'Akaike - RMSE : L'erreur quadratique moyenne - LgR : Longueur de la raquette



**Figure 67 :** Ajustement de la matière verte en fonction de la longueur de la raquette.

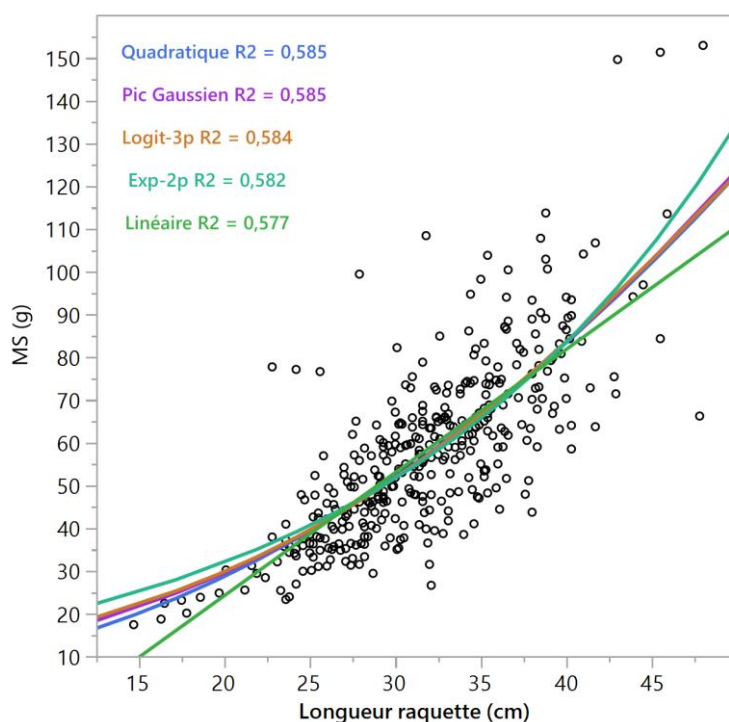
Pour la prédiction de la matière sèche en fonction de la longueur de la raquette, le modèle le mieux adapté pour l'estimation de la MS est le modèle d'ajustement Quadratique, avec un AIC plus faible (3034,59) et une pondération (AICc) de 0,279 et un R<sup>2</sup> d'une valeur de 0,585, suivi par le modèle Pic gaussien. L'estimation de la matière sèche en fonction de la longueur de la raquette peut se faire par la formule suivante (Tableau 18, Figure 68) :

$$y = 6.50 + 0.29 * LgR + 0.04 * LgR^2$$

**Tableau 18** : Modèles d'ajustement de la matière sèche en fonction de la longueur de la raquette.

Modèle	AICc	Poids d'Akaike corrigé (AICc)	Somme des carrés des écarts (SSE)	Erreur quadratique moyenne (MSE)	RMSE	R <sup>2</sup>	Formule
Quadratique	3034,59	0,279	66408,09	177,09	13,307	0,585	$y = 6.50 + 0.29 * LgR (cm) + 0.04 * LgR (cm)^2$
Pic gaussien	3034,76	0,256	66438,84	177,17	13,311	0,585	$y = 256.70 * e^{-(0.5 * (LgR (cm) - 91.55) / 34.39)^2}$
Logistique à 3 paramètres	3035,00	0,227	66480,76	177,28	13,315	0,584	$y = 250.04 / (1 + e^{-(0.06 * (LgR (cm) - 50.50)})}$
Exponentielle 2 paramètres	3035,15	0,211	66867,29	177,84	13,336	0,582	$y = 12.23 * e^{(0.04 * LgR(cm))}$
Linéaire	3039,32	0,026	67610,01	179,81	13,409	0,577	$y = (-33.47 + 2.88 * LgR(cm))$

AICc : Le critère d'information d'Akaike - RMSE : L'erreur quadratique moyenne - LgR : Longueur de la raquette



**Figure 68** : Ajustement de la matière sèche en fonction de la longueur de la raquette.



**1.3.2.2 Prédiction de la matière verte et matière sèche en fonction de la largeur de la raquette :**

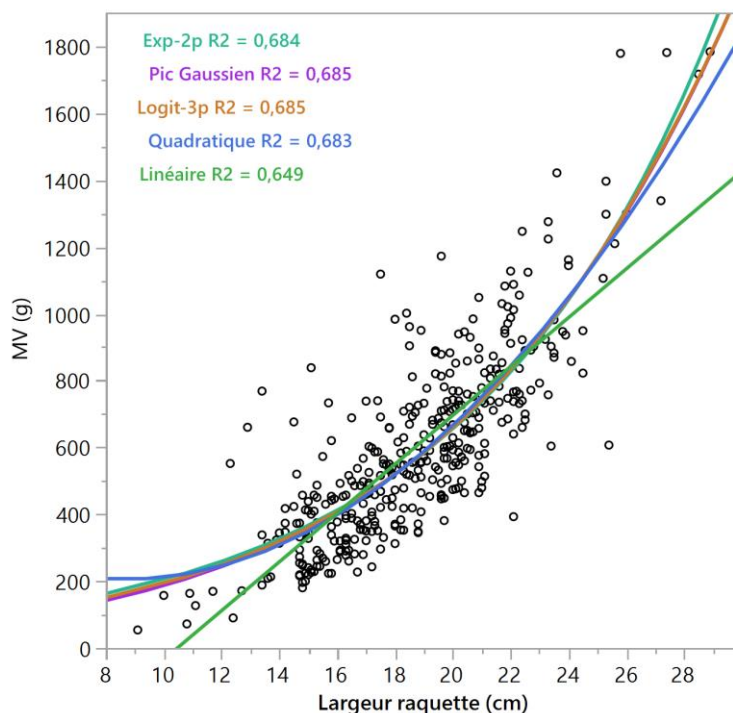
Le modèle le mieux adapté pour l'estimation de la MV est le modèle d'ajustement Exponentielle à 2 paramètres. Par rapport aux autres modèles de prédiction, ce model présente le plus faible AIC avec une valeur de (4910,30), et surtout une forte pondération de 0,451 et un R<sup>2</sup> élevé d'une valeur de 0,672. L'estimation de la matière verte en fonction de la largeur de la raquette peut se faire par la formule suivante (Tableau 19, Figure 69) :

$$y = 64.52 * e^{(0.11 * LrR \text{ (cm)})}$$

**Tableau 19 :** Prédiction de la matière verte en fonction de la largeur de la raquette.

Modèle	AICc	Poids d'Akaike corrigé (AICc)	Somme des carrés des écarts (SSE)	Erreur quadratique moyenne (MSE)	RMSE	R <sup>2</sup>	Formule
Exponentielle 2 paramètres	4910,30	0,451	9541693,8	25376,85	159,30	0,672	$y = 64.52 * e^{(0.11 * LrR \text{ (cm)})}$
Pic gaussien	4911,41	0,259	9518167,3	25381,78	159,32	0,671	$y = 53560.57 * e^{(-0.5 * ((LrR \text{ (cm)} - 94.45) / 25.10)^2)}$
Logistique à 3 paramètres	4911,70	0,224	9525517,7	25401,38	159,38	0,669	$y = (8911.29 / (1 + e^{(-0.12 * (LrR \text{ (cm)} - 39.79)}))$
Quadratique	4914,14	0,066	9587081,5	25565,55	159,89	0,670	$y = (475.72 + (-62.20 * LrR \text{ (cm)}) + (3.58 * LrR \text{ (cm)})^2)$
Linéaire	4950,35	0,000	10608267	28213,47	167,97	0,653	$y = ((-764.35) + 73.03 * LrR \text{ (cm)})$

AICc : Le critère d'information d'Akaike - RMSE : L'erreur quadratique moyenne - LrR : Largeur de la raquette



**Figure 69 :** Ajustement de la matière verte en fonction de la largeur de la raquette.

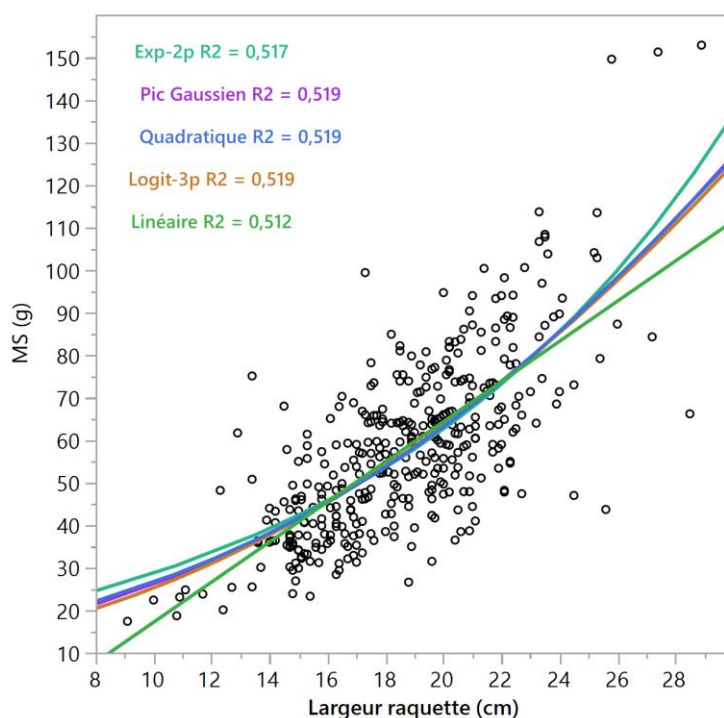
Pour la prédiction de la matière sèche en fonction de la largeur de la raquette, le modèle d'ajustement Exponentielle 2 paramètres présente le modèle le mieux adapté pour l'estimation de la MS une meilleure pondération par rapport aux autres modèles de prédiction, dont il présente un AIC le plus faible (3089,45), avec une pondération élevée de 0,313 et un R<sup>2</sup> moyen d'une valeur de 0,517. L'estimation de la matière sèche en fonction de la largeur de la raquette peut se faire par la formule suivante (Tableau 20, Figure 70) :

$$y = 13.1 * e^{(0.07 * LrR \text{ (cm)})}$$

**Tableau 20** : Modèles d'ajustement de la matière sèche en fonction de la largeur de la raquette.

Modèle	AICc	Poids d'Akaike corrigé (AICc)	Somme des carrés des écarts (SSE)	Erreur quadratique moyenne (MSE)	RMSE	R <sup>2</sup>	Formule
Exponentielle 2 paramètres	3089,45	0,313	77196,49	205,31	14,33	0,517	$y = 13.1 * e^{(0.07 * LrR \text{ (cm)})}$
Pic gaussien	3090,15	0,220	76923,33	205,13	14,32	0,519	$y = 340.13 * e^{-(0.5 * (LrR \text{ (cm)} - 62.59) / 23.21)^2}$
Quadratique	3090,15	0,220	76924,48	205,13	14,32	0,519	$y = (10.47 + 0.30 * LrR \text{ (cm)}) + 0.11 * (LrR \text{ (cm)})^2$
Logistique à 3 paramètres	3090,30	0,204	76955,25	205,21	14,33	0,519	$y = (295.0 / (1 + e^{(-0.10 * LrR \text{ (cm)} - 32.86)}))$
Linéaire	3093,43	0,043	78014,12	207,48	14,40	0,512	$y = ((-30.02) + 4.71 * LrR \text{ (cm)})$

AICc : Le critère d'information d'Akaike - RMSE : L'erreur quadratique moyenne - LrR : Largeur de la raquette



**Figure 70** : Ajustement de la matière sèche en fonction de la largeur de la raquette.

**1.3.2.3 Prédiction de la matière verte et matière sèche en fonction de la surface de la raquette :**

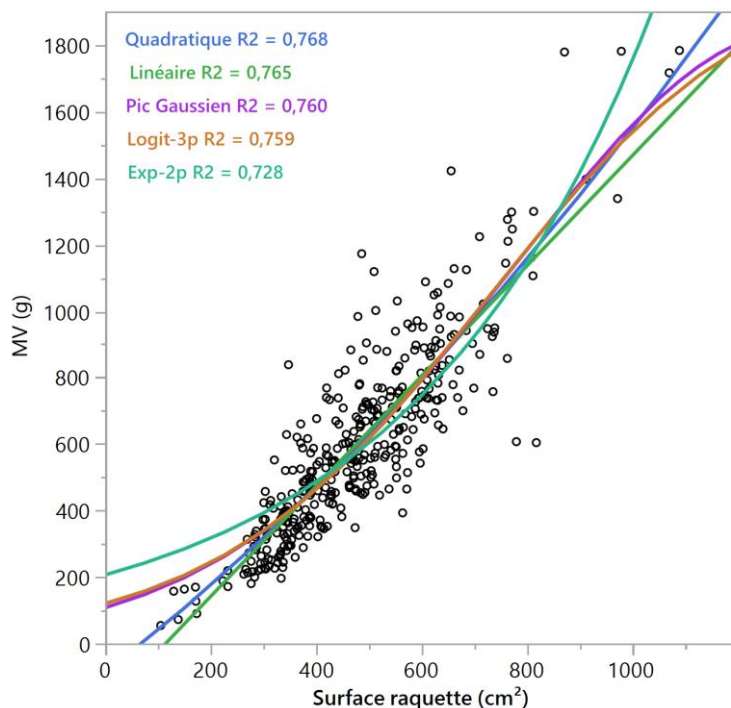
Le modèle le mieux adapté pour l'estimation de la MV est le modèle d'ajustement Quadratique. Ce modèle présente AIC le plus faible avec une valeur de 4796,75, et un R<sup>2</sup> supérieur d'une valeur de 0,768, avec une meilleure pondération (AICc) de 0,768 par rapport aux autres modèles de prédiction. L'estimation de la matière verte en fonction de la surface de la raquette peut se faire par la formule suivante (Tableau 21, Figure 71) :

$$y = ((-86.38) + 1.22 * \text{SrfR} (\text{cm}^2) + 0.0004 * (\text{SrfR} (\text{cm}^2))^2)$$

**Tableau 21** : Prédiction de la matière verte en fonction de la surface de la raquette.

Modèle	AICc	Poids d'Akaike corrigé (AICc)	Somme des carrés des écarts (SSE)	Erreur quadratique moyenne (MSE)	RMSE	R <sup>2</sup>	Formule
Quadratique	4796,75	0,768	7027711,3	18740,56	136,90	0,768	$y = ( (-86.38) + 1.22 * (\text{SrfR} (\text{cm}^2)) + 0.0004 * (\text{SrfR} (\text{cm}^2))^2 )$
Linéaire	4799,17	0,229	7111209,6	18912,79	137,52	0,765	$y = (-188.96) + 1.65 * (\text{SrfR} (\text{cm}^2))$
Pic gaussien	4808,66	0,002	7252701,4	19340,54	139,07	0,760	$y = (1850.07 * e^{(-0.5 * ((\text{SrfR} (\text{cm}^2)) - 1323.66) / 555.53)^2})$
Logistique à 3 paramètres	4811,02	0,001	7298122,5	19461,66	139,51	0,759	$y = (2073.05 / (1 + e^{(-0.003 * \text{SrfR} (\text{cm}^2) - 724.06)}))$
Exponentielle 2 paramètres	4854,35	0,000	8228877,2	21885,31	147,94	0,728	$y = (206.81 * e^{(0.002 * (\text{SrfR} (\text{cm}^2))})$

AICc : Le critère d'information d'Akaike - RMSE : L'erreur quadratique moyenne - SrfR : Surface de la raquette



**Figure 71** : Ajustement de la matière verte en fonction de la surface de la raquette.

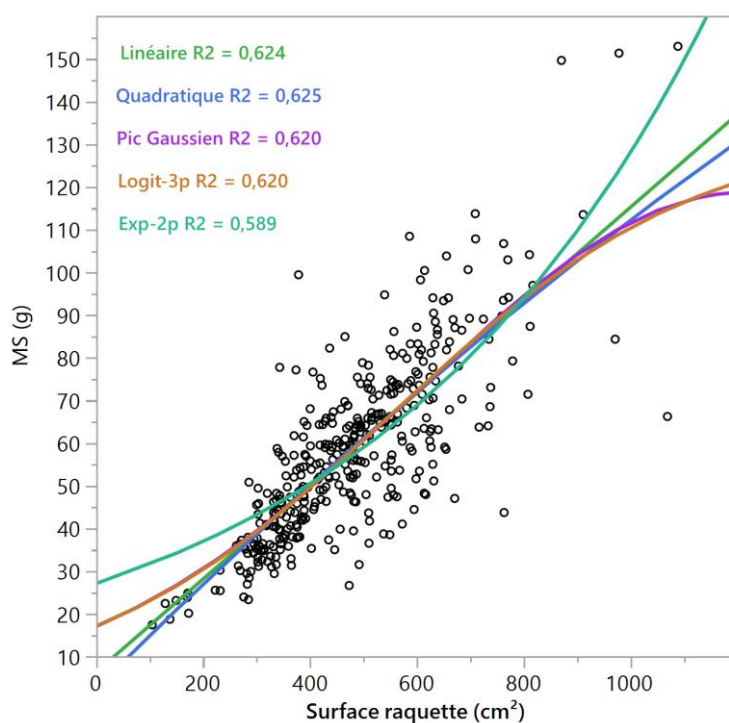
Concernant la prédiction de la matière sèche en fonction de la surface de la raquette, le modèle le mieux adapté pour l'estimation de la MS est le modèle d'ajustement Linéaire. Ce model présente une qualité de prédiction supérieur aux autres modèles avec un AICc d'une valeur de 2995,09 et une pondération très élevée (AICc = 0,618), en plus d'un coefficient de détermination R<sup>2</sup> d'une valeur de 0,624. L'estimation de la matière sèche en fonction de la surface de la raquette peut se faire par la formule suivante (Tableau 22, Figure 72) :

$$y = (6.30+ 0.10* (SrfR (cm^2)))$$

**Tableau 22** : Modèles d'ajustement de la matière sèche en fonction de la surface de la raquette.

Modèle	AICc	Poids d'Akaike corrigé (AICc)	Somme des carrés des écarts (SSE)	Erreur quadratique moyenne (MSE)	RMSE	R <sup>2</sup>	Formule
Linéaire	2995,09	0,618	60144,04	159,96	12,65	0,624	$y = (6.30+ 0.10* (SrfR (cm^2)))$
Quadratique	2996,41	0,320	60028,49	160,08	12,65	0,625	$y = (2.48+ 0.12* (SrfR (cm^2)) -0.00001*(SrfR (cm^2)^2))$
Pic gaussien	3001,06	0,031	60771,36	162,06	12,73	0,620	$y = (118.73* e^{-(0.5 * ((SrfR (cm^2)) - 1217.70) /617.31)^2})$
Logistique à 3 paramètres	3001,14	0,030	60784,96	162,09	12,73	0,620	$y = (134.10 / (1+ e^{(-0.003* (SrfR (cm^2)) - 555.98)}))$
Exponentielle 2 paramètres	3028,67	0,000	65731,07	174,82	13,22	0,589	$y = (27.03* e^{(0.001* (SrfR (cm^2)))})$

AICc : Le critère d'information d'Akaike - RMSE : L'erreur quadratique moyenne - SrfR : Surface de la raquette



**Figure 72** : Ajustement de la matière sèche en fonction de la surface de la raquette.

**1.3.2.4 Prédiction de la matière verte et matière sèche en fonction du volume de la raquette :**

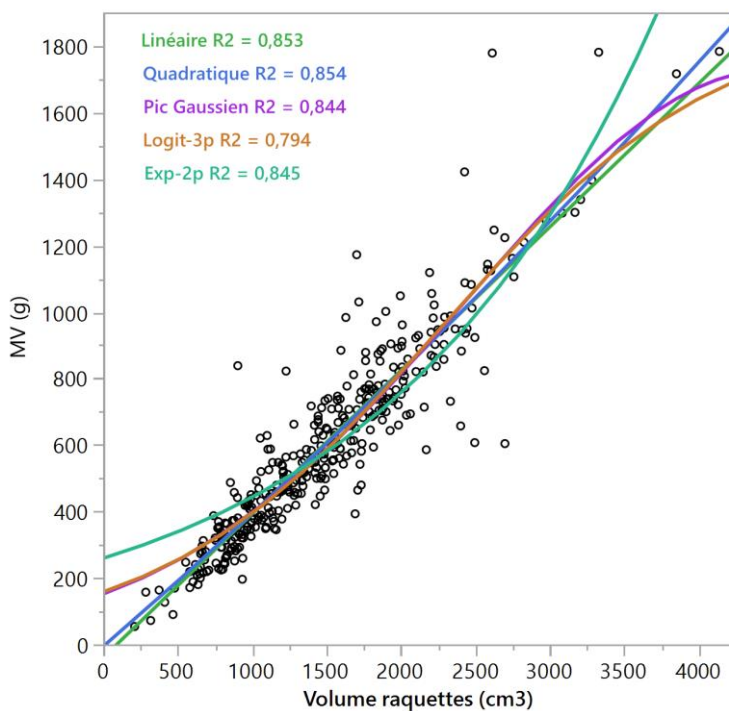
Le modèle d’ajustement Linéaire est le mieux adapté pour l’estimation. Il présente un critère d’information AICc d’une valeur de 4621,39 avec une forte pondération (AICc = 0,522) par rapport aux autres modèles de prédiction, en plus d’un coefficient de détermination R<sup>2</sup> d’une valeur de 0,853. L’estimation de la matière verte en fonction du volume de la raquette peut se faire par la formule suivante (Tableau 23, Figure 73) :

$$y = -38.26 + 0.43 * \text{VolR (cm}^3\text{)}$$

**Tableau 23 :** Modèles d’ajustement de la matière verte en fonction du volume de la raquette.

Modèle	AICc	Poids d’Akaïke corrigé (AICc)	Somme des carrés des écarts (SSE)	Erreur quadratique moyenne (MSE)	RMSE	R <sup>2</sup>	Formule
Linéaire	4621,39	0,522	4443188,3	11816,99	108,71	0,853	$y = ((-38.26) + 0.43 * (\text{VolR (cm}^3\text{)}))$
Quadratique	4621,57	0,478	4421295,2	11790,12	108,58	0,854	$y = (-5.11) + 0.38 * \text{VolR (cm}^3\text{)} + 0.00001 * (\text{VolR (cm}^3\text{)})^2$
Pic gaussien	4642,93	0,000	4678277,6	12475,41	111,69	0,845	$y = (1729.66 * e^{-(0.5 * \text{VolR (cm}^3\text{)} - 4510.76) / 2046.61})^2$
Logistique à 3 paramètres	4645,12	0,000	4705461,7	12547,90	112,02	0,844	$y = (1902.40 / (1 + e^{(-0.001 * (\text{VolR (cm}^3\text{)} - 2262.98)}))$
Exponentielle 2 paramètres	4749,68	0,000	6238671,3	16592,21	128,81	0,794	$y = (259.64 * e^{(0.0005 * (\text{VolR (cm}^3\text{)}))}$

AICc : Le critère d’information d’Akaïke - RMSE : L’erreur quadratique moyenne - VolR : volume de la raquette



**Figure 73 :** Ajustement de la matière verte en fonction du volume de la raquette.



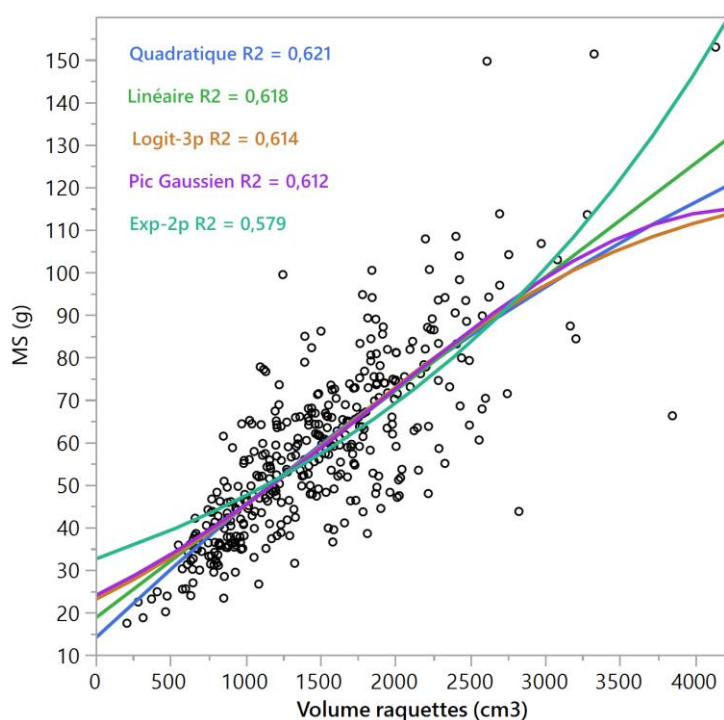
Pour la prédiction de la matière sèche en fonction du volume de la raquette, le modèle d'ajustement Quadratique se révèle plus adéquat. Ce model présente un AICc d'une valeur de 3000,22 et forte pondération (AICc) de 0,573 par rapport aux autres modèles, en plus de son coefficient de détermination R<sup>2</sup> de 0,621. L'estimation de la matière sèche en fonction du volume de la raquette peut se faire par la formule suivante (Tableau 24, Figure 74) :

$$y = 13.90 + 0.03 * \text{VolR (cm}^3) - 0.000001 * \text{VolR (cm}^3)^2$$

**Tableau 24** : Modèles d'ajustement de la matière sèche en fonction du volume de la raquette.

Modèle	AICc	Poids d'Akaike corrigé (AICc)	Somme des carrés des écarts (SSE)	Erreur quadratique moyenne (MSE)	RMSE	R <sup>2</sup>	Formule
Quadratique	3000,22	0,573	60636,84	161,70	12,72	0,621	$y = (13.90 + 0.03 * \text{VolR (cm}^3) - 0.000001 * (\text{VolR (cm}^3))^2$
Linéaire	3000,93	0,402	61080,24	162,45	12,75	0,618	$y = (18.61 + 0.02 * (\text{VolR (cm}^3))$
Logistique à 3 paramètres	3007,31	0,017	61784,56	164,76	12,84	0,614	$y = (123.97 / (1 + e^{-(0.0009 * (\text{VolR (cm}^3)) - 1612.91)}))$
Pic gaussien	3008,60	0,009	61995,94	165,32	12,86	0,612	$y = (115.08 * e^{-(0.5 * (\text{VolR (cm}^3)) - 4370.01) / 2464.36})^2$
Exponentielle 2 paramètres	3037,46	0,000	67277,69	178,93	13,38	0,579	$y = (32.46 * e^{(0.0003 * (\text{VolR (cm}^3))})$

AICc : Le critère d'information d'Akaike - RMSE : L'erreur quadratique moyenne - VolR : volume de la raquette



**Figure 74** : Ajustement de la matière sèche en fonction du volume de la raquette.

#### 1.4 Discussion :

Au Maroc, le paysage « cactérifère » devient de plus en plus répandu et les études qui ont été réalisées sur ce type de plante ne proposent pas un système de production qui intègre les savoirs locaux et s'insère parfaitement dans son environnement, notamment, le choix des écotypes les mieux adaptés ayant une plus-value économique.

Du point de vue étymologie, la phénologie est une discipline qui étudie les relations entre les phénomènes climatiques et les caractères morphologiques externes du développement annuel des végétaux (**Galoux et al., 1967**), dans cette étude, nous avons essayé d'approfondir nos connaissances sur l'aptitude des *Opuntias*, en étudiant le comportement agro-phénologique des différents écotypes récoltés des différentes régions du Maroc, et installés sous les mêmes conditions climato-édaphique. Le but est la sélection parmi ces écotypes, ceux potentiellement intéressants du point de vue productivité, qui pourront être sélectionnés à travers leurs traits d'intérêt, pour un objectif de revégétalisation et repeuplement des milieux dégradés. Cette approche a été appliquée avec succès à 126 écotypes d'*Opuntia* provenant de 8 régions marocaines de différents étages bioclimatiques. Les résultats ont montré que le comportement phénologique des différents écotypes est très hétérogène, cette hétérogénéité est due essentiellement à la précocité ou la tardivité de l'apparition des bourgeons. Certains de ces écotypes ont produits plus de bourgeons (végétatifs, fructifères et morts) que d'autres. En effet, au sein des écotypes de cactus *Opuntia* de la même provenance et appartenant à la même espèce, il a été remarqué que lorsqu'ils sont installés sous les mêmes conditions pédoclimatiques (Cactétum d'Ain Nzagh, INRA-CRRA de Settat), leur productivité présente une variation (**El Kharrassi, 2015**).

Il est connue que les conditions climatiques affectent de manière remarquable les végétaux qui y confèrent, et donc impacte directement la phénologie des plantes (**Quénol et al., 2010**). Ainsi, la phénologie des végétaux dépend de plusieurs facteurs, tels que les variations climatiques, dont la température et les précipitations, en plus de l'espèce et le site géographique de plantation (**Woog, 2003; Schwendenmann et al., 2010; Carl et al., 2013**). Les effets directes des conditions climatiques sur les *Opuntias* ont été cités par plusieurs auteurs tels que **Bendhifi et al. (2013)**, **Cota-Sánchez et al. (2013)**, **Chalak et al. (2014)**, **Dehbi et al. (2014)**, **Albano et al. (2015)**, **El Kharrassi (2015)**, **Roghelia and Panchal (2016)**. Dans notre retraçage phénologique et durant les 6 ans d'installation du cactétum au site de Ain Nzagh, le passage de l'année 2012 vers l'année 2013 a connu une baisse de température. À partir de 2014, une hausse a été remarquée, pour atteindre la valeur la plus élevée enregistrée pour l'année de 2017. Concernant les précipitations, une faible variation a été notée entre 2012 et 2014, suivi par une

augmentation considérable du volume à partir de l'année 2016, et une diminution pour l'année 2017. Une régression a été enregistrée pour l'humidité à partir de 2012, jusqu'à 2017. Ces données permettront de ressortir qu'on est dans une zone aride (100 à 300 mm) à semi-aride (300 à 800) mm selon **FAO (1992)**, et met en évidence l'impact du changement climatique sur le rendement des végétations, ce qui influence en outre, leur distribution naturelle (**Piedallu et al., 2009**).

Les études qui ont pour objet d'étudier le comportement phénologique des cactus marocains sont rares, à l'exception de celles réalisées par **El Kharrassi (2015)** et **Arba (2017)**. Pour les écotypes qui ont donné la meilleure production annuelle moyenne au fur des 6 ans de plantations, en matière de bourgeons indéterminés, nous avons constaté que les écotypes K2 et 112 d'*Opuntia megacantha*, ainsi que I2 d'*Opuntia ficus indica* ont produit entre 142,95 et 177,25 bourgeons en moyenne par plante. Du point de vue bourgeons végétatifs, K2, 112 et K3 d'*Opuntia megacantha*, ont eu une production moyenne respectivement 47,37, 41,87 et 46,25 ; à côté de l'écotype H3 (39,37) d'*Opuntia ficus indica*. En termes de fructification, K2, 112 et K3 d'*Opuntia megacantha*, ont produit respectivement 124,38, 98,92 et 113,62 fruits, en plus de I2 (114,54) d'*Opuntia ficus indica*. Cette hétérogénéité de production a été reportée par **El Kharrassi (2015)** qui a mentionné que les écotypes d'*Opuntias* provenant de huit régions du Maroc et plantés dans le même cadre biogéographique ont un comportement phénologique très hétérogène, et que certains écotypes produisent plus de bourgeons que d'autres. La même confirmation est rapportée par **Arba (2017)**, qui a cité que les espèces de cactus présentent une hétérogénéité de prolificité.

Ces résultats expliquent que la phénologie d'*Opuntia* est directement associée à l'environnement qu'ils occupent (**Scheinvar, 1985; Del Carmen Mandujano et al., 1997**). La différence décelée en matière de bourgeonnement est le résultat d'une variabilité génétique inhérente à l'espèce *Opuntia* (**El Kharrassi et al., 2017**). Ceci a été aussi confirmé par les études menées par **Arba (2017)**, où il a noté que la différence de production végétative et fructifère chez le cactus explique qu'il est doté d'une diversité génétique non négligeable, qui varie d'une variété à l'autre et d'une localité à une autre. Les mêmes observations ont été rapportées par (**Boujghagh and Chajia, 2001**) au Maroc, et en Algérie, **Chaouche and Abdul-Hussain (2008)** ont révélé l'existence d'une grande variabilité génétique entre les écotypes d'*Opuntia* aussi bien pour leurs fruits que leurs raquettes. Les écotypes fortement productifs en matière de fructification pourront être orientés vers les activités agro-industriels, que ce soit dans la production alimentaire (fruits comestibles), ou dans l'utilisation pharmaco-médicinale

à savoir, huiles essentiels, produits cosmétiques, molécules bioactives : polyphénols et phytostérols à spécificité recherchée (El Kharrassi, 2015; Mounir *et al.*, 2020).

En matière de mortalité des bourgeons, le nombre moyen le plus élevé a été constaté chez l'espèce *Opuntia ficus indica* représentée par les écotypes 752, D3 et B2 qui ont produit respectivement 6,21, 5,71 et 5,67 bourgeons ; à côté de l'écotype K2 (5,50) d'*Opuntia megacantha*. Ces données confirment que les écotypes *Opuntias* (non amendés et non irrigués) fournissent assez d'énergie pour produire les bourgeons, on suppose qu'après avoir produit un nombre important de bourgeons pendant la période du printemps, la plante ne trouve pas assez de réserves pour sauver tous les bourgeons produits durant la période d'été, alors elle catalyse ces réserves vers certains de ces bourgeons et condamne d'autre, ce qui met en évidence le rôle des amendements et de l'irrigation dans l'optimisation de la production chez les *Opuntia* (Arba, 2017). Les études concernant l'évaluation de la mortalité des bourgeons en phénologies chez les *Opuntias* sont inexistantes en littérature, ressortant ainsi l'originalité de ce trait étudié, alors que chez d'autres espèces, les études menées par Lemieux (2010), sur la phénologie de l'épinette noire dans le Haut Boréal, ont montré qu'une augmentation des températures dans l'optique du changement climatique, peut augmenter la mortalité des bourgeons. En effet, lorsque le printemps arrive plus tôt, les bourgeons ont la possibilité d'entamer leur débourrement, les menant ainsi à une augmentation d'exposition aux gels tardifs, ce qui augmente le risque de mortalité (Hänninen, 2006). D'autre étude ont signalé aussi que l'avortement des bourgeons floraux est provoqué par les jours courts (Goi *et al.*, 1978).

Par ailleurs, nous avons constaté aussi, chez les différents écotypes une hétérogénéité de production en matière verte (biomasse végétale). En effet l'écotype 742 d'*Opuntia ficus indica* a révélé une production exceptionnelle par rapport aux autres écotypes du cactétum. Cette production a pu atteindre une moyenne de 1781,37 (g) de MV, suivi des écotypes K1 et K2 d'*Opuntia megacantha*, produisant respectivement 1299,67 (g) et 1161,6 (g). Pour la matière sèche, on retrouve l'écotype 742 avec une production moyenne de 151,27 (g), suivi de 743 et 752 d'*Opuntia ficus indica*, respectivement 94 (g) et 89,7 (g) en moyenne de MS. D'après les résultats ressortis, nous avons pu établir des modèles d'estimation de la matière verte et sèche à travers les paramètres biométriques des raquettes, permettant ainsi de déduire les formules d'estimations de la biomasse sans avoir recours à la méthode destructive. Le modèle d'estimation Quadratique est démarqué efficace pour l'estimation de la matière verte et matière sèche en fonction de la longueur de la raquette, ceci est appuyé surtout par une faible valeur du critère d'information d'Akaike, avec une grande pondération par rapport aux autres modèles de prédiction. Ces mêmes critères du choix de model ont permis d'adopter le model adéquat pour

chaque paramètre. Pour l'estimation de la MV et la MS en fonction de la largeur de la raquette, le modèle d'ajustement Exponentielle à 2 paramètres a été validé. Pour le paramètre surface de la raquette, le modèle d'ajustement Quadratique se révèle adéquat pour l'estimation de MV, alors que le modèle Linéaire est dévoilé convenable pour l'estimation MS. L'estimation de la MV et la MS en fonction du volume peut être atteinte respectivement par les modèles d'ajustement Linéaire et Quadratique. Ces modèles d'ajustement ne sont pas reportés en littérature et constituent une originalité pour l'estimation de la matière verte et la matière sèche chez les *Opuntias*. Pour la production en biomasse, nos résultats sont en accord avec ceux trouvés par **El Kharrassi (2015)** réalisé sur la même population à l'âge de 2 ans, décrivant que la teneur en eau varie légèrement entre les différents écotypes (entre 86,67 à 92,14%), mais sont différente du fait que, la valeur la plus élevée a été observée chez *O. ficus indica* du Moyen Atlas, tandis que la valeur la plus basse était chez *O. ficus indica* de Rhamna. Puisque pour un cactétum de l'âge de 6 ans, nos résultats ont montré une production très particulière pour l'écotype 742 d'*Opuntia ficus indica* et provenant de la région du Sous et montagnes d'Ait Baâmrane, alors que la valeur la plus faible a été enregistrée chez l'écotype 242 d'*Opuntia Dillenii*, issue de de la région du plateau de Phosphate et zone de Khouribga. La différence entre le poids de matière verte et matière sèche met en évidence une capacité inégale de rétention d'eau pour les divers écotypes, mais aussi la richesse en fibre. Les écotypes ayant produit une biomasse importante pourront être recommandés dans la protection des sols contre l'érosion éolienne, la pluie, et l'éboulement des terres ainsi que le phénomène de désertification (avancement des sables) vu leur croissance de manière efficace en longueur et en largeur. En outre, ces écotypes peuvent constituer une source fourragère pour les animaux issus d'élevage en période de sécheresse (**Nefzaoui and Salem, 1996; Chriyaa, 1998; Mounir et al., 2020**). En effet, le *Figuier de Barbarie*, lorsqu'il est utilisé comme fourrage, peut garantir la survie des animaux pendant une longue période, lorsqu'on les élève dans les régions caractérisées par des climats arides ou semi-arides. Le manque d'eau peut déterminer en effet, une baisse dans l'ingestion de la ration alimentaire de la part des animaux et donc provoquer une chute du poids corporel (**Mulas and Mulas, 2004**). Ainsi l'alimentation du bétail avec *Opuntia* peut combler en partie le manque, car le contenu en eau des raquettes tourne autour de 85% du poids frais. Dans le cas d'agneaux élevés avec d'abondantes quantités d'*Opuntia*, les besoins en eau sont pratiquement nuls (**Woodward et al., 1915; Cottier, 1934**). D'autres études réalisées par **Mulas and Mulas (2004)**, ont démontré que animaux élevés pendant de longues périodes (de 400 à 500 jours) avec une quantité abondante de raquettes, cessent de boire.

Toutes ces activités confèrent aux espèces du genre *Opuntia* une place importante sur les plans environnemental et socio-économique et confirment la suggestion faite par **Boujghagh and**



**Chajia (2001)** et **Mounir *et al.* (2020)** quant à l'utilisation du cactus comme alternative de premier choix au Maroc. En effet, cet auteur stipule que ces espèces possèdent une très grande adaptation aux conditions de milieu les plus critiques (aridité du climat, chaleur, terrains pauvres...) et possèdent, outre des qualités technologiques et nutritionnelles, une production en biomasse très efficace et une valeur fourragère acceptable. Sur le plan environnemental, elles peuvent aussi jouer un grand rôle non seulement dans la protection et la restauration du sol, mais aussi dans la prolifération de la faune et la flore sous le microclimat qu'il constitue à leur base.

## **2 Contribution de la Télédétection spatiale et des SIG dans l'étude et l'évolution spatiotemporelle des plantations de cactus dans la Région de Rhamna :**

L'analyse qualitative et quantitative de l'évolution rapide du paysage, et plus particulièrement l'évolution des étendues de cactus dans les communes territoriales de la province de Rhamna, s'avère très intéressante, dans la mesure où elle permet de localiser les terrains à cactus et dresser un bilan sur l'état actuel de la zone d'étude. A l'aide de cette analyse nous pouvons localiser et quantifier les dégâts causés par la cochenille, permettant ainsi de sensibiliser la population, les élus locaux à côté des décideurs sur l'ampleur du phénomène de ravages des cactus par la cochenille, afin de permettre la réalisation des plans d'action stratégiques en se basant sur des données plus fiable et réalistes.

### **2.1 Distribution des étendues de cactus en 2014 :**

A partir des images satellitaires datant de l'année 2014 et après le balayage exhaustif de la zone d'étude moyennant les points repères, et digitalisation des terrains à cactus, on a pu établir la carte de leur répartition illustrant ainsi l'emplacement des terrains plantés jusqu'à l'année 2014.

On remarque d'après les cartes (Figure 75 et 76), que la répartition des plantations de cactus est hétérogène du point de vue distribution spatiale, avec une concentration de petites plantations en ligne au nord de province au niveau de la commune de Sidi Ghanem. Plus en allant vers le centre de la province, les étendues commencent à s'élargir et prendre de la surface, puis en progressant vers le sud, on remarque que les superficies de ces derniers régressent, avec une répartition moins abondante.

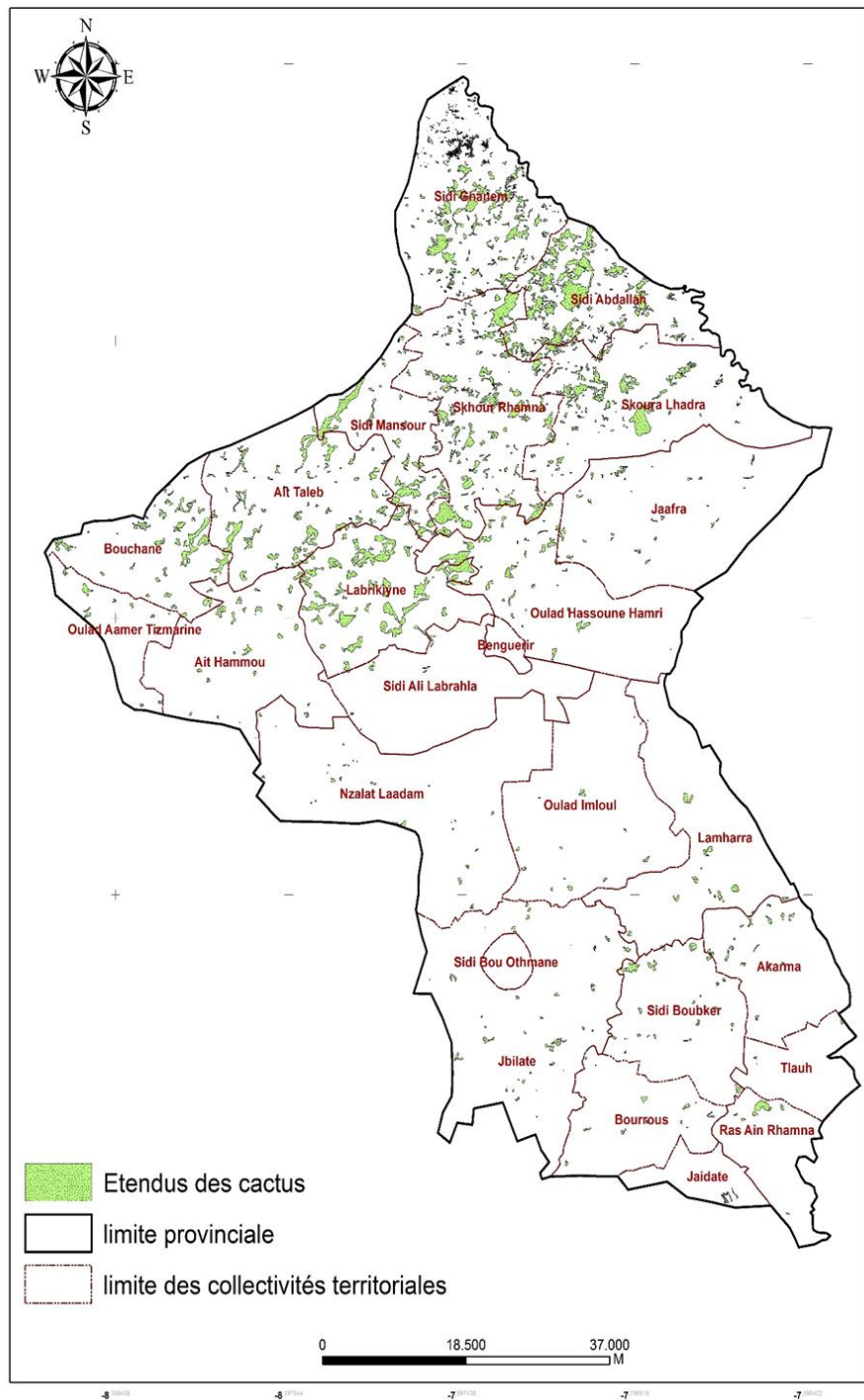


Figure 75 : Carte de distribution spatiale des étendues de cactus en l'année 2014 via le logiciel ArcGis.



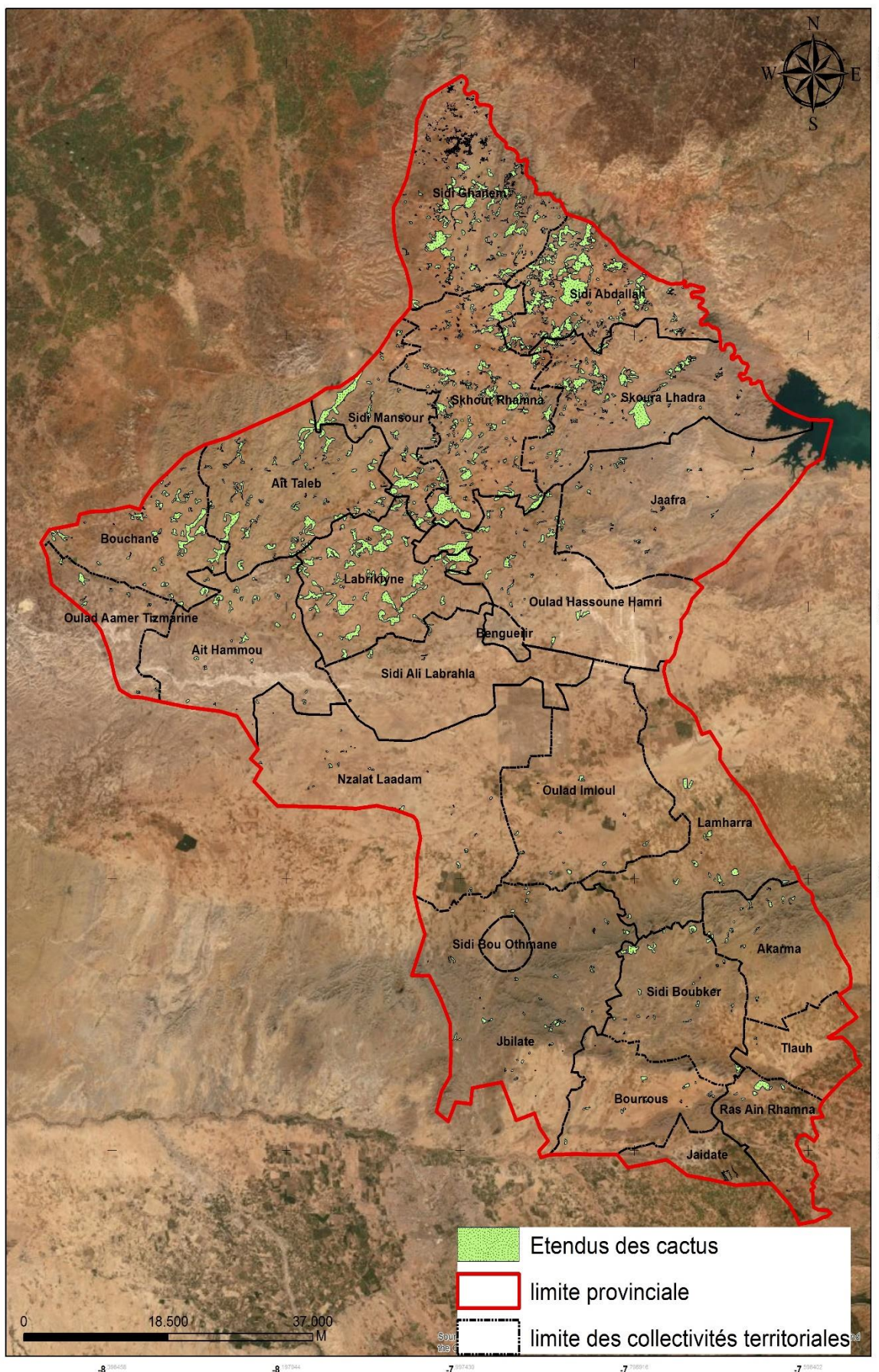


Figure 76 : Carte de distribution des étendues de cactus en l'année 2014 sur fond satellitaire via le logiciel ArcGis.

## 2.2 Réalisation de la carte de distribution des densités des étendues de cactus en 2014 :

Quant à la densité des plantations, la carte représentée dans la figure 77, illustre la répartition par classe de densité des exploitations agricoles à base des cactacées. D'après la carte, on remarque que la majorité des étendues de cactus denses se concentrent au nord avec les petites superficies, et au centre de la province avec des étendues assez importantes en termes de superficie (Grandes exploitations). Le reste des terrains plantés en cactus est de densité moyenne à l'instar de ce qui est en vigueur en matière de plantations similaires.

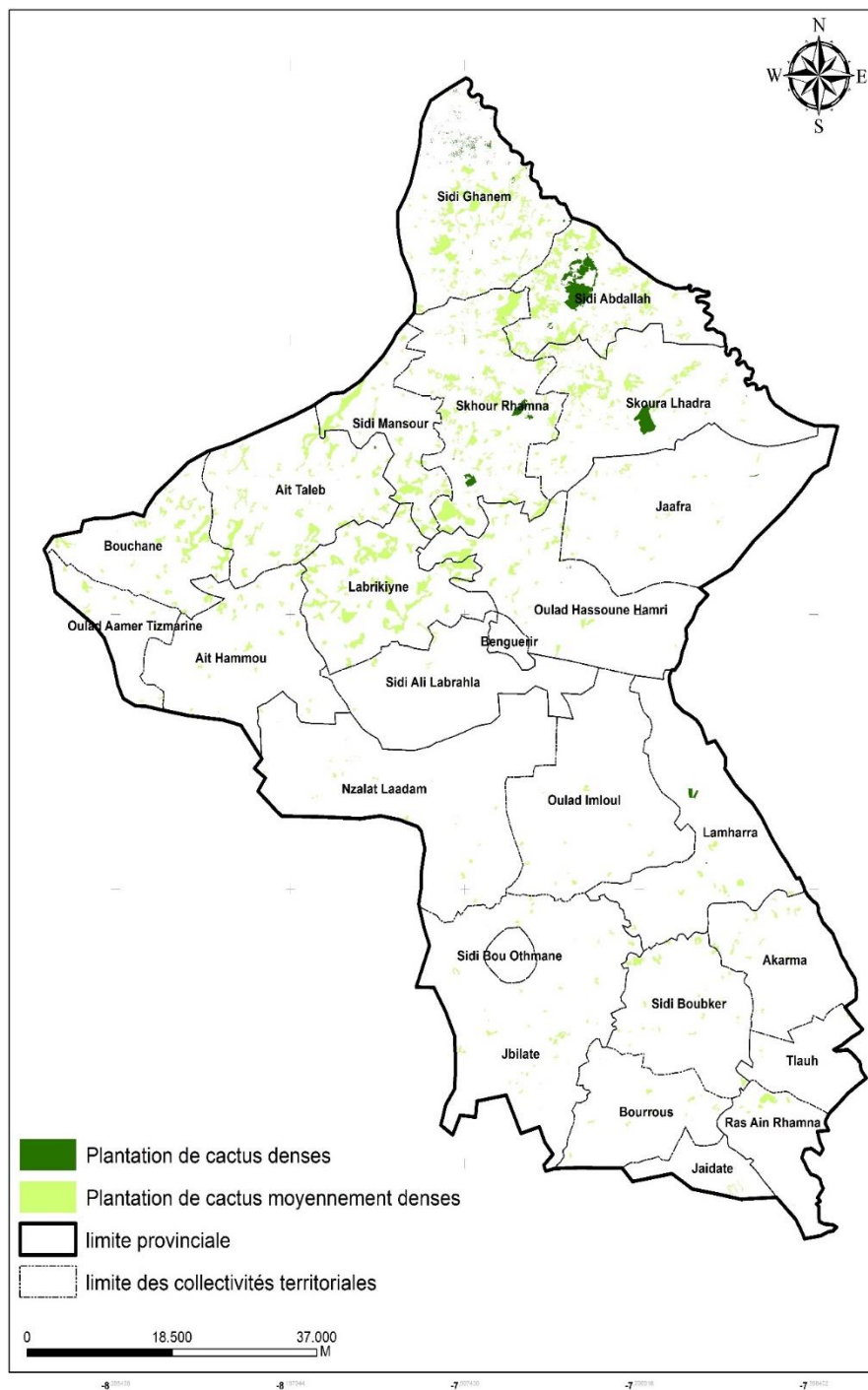


Figure 77 : Carte de distribution des densités des étendues de cactus à l'année 2014 via le logiciel ArcGis.



### 2.3 Analyse des superficies de distribution des étendues de cactus en 2014 :

Les calculs géométriques nous ont permis de rapprocher la taille des exploitations à cactus. En effet, sur 1285 polygones digitalisés, cette taille varie de 3m<sup>2</sup> à plus de 1 000 ha, soit une moyenne de 18 ha par exploitation agricole à base de cactus. Cette hétérogénéité dépend, entre autres, du régime foncier, des objectifs de plantation, de la nature des exploitations, etc... De point de vue surface plantée par le cactus jusqu'à l'année 2014, les calculs géométriques nous ont rendu possible l'estimation de la superficie globale à 23 326 ha répartie selon les classes de densité présentées dans le tableau suivant :

**Tableau 25** : Résultats de l'analyse des superficies de distribution des étendues de cactus par types de plantation en 2014.

CLASSES DE DENSITE	SUPERFICIES PLANTEES (HA)
CACTUS MOYENNEMENT DENSE	21 199,00
CACTUS DENSE	2 127,00
TOTAL	<b>23 326,00</b>

### 2.4 Analyse des superficies de distribution des étendues de cactus en 2014 dans les communes territoriales de la province de Rhamna :

Si on considère la répartition territoriale des superficies plantées par les cactus (Tableau 26), on remarque que les communes de Skhour Rhamna et Labrikiyne ont enregistré des superficies très importantes en termes de plantation moyennement dense qui sont respectivement de l'ordre de 3 339 et 3 062 Ha. Pour les plantations à haute densité la commune de Sidi Abdallah vient en premier lieu en enregistrant une superficie de 1 129 Ha.

**Tableau 26** : Répartition par collectivité territoriale des superficies plantées par les cactus en 2014

COLLECTIVITES TERRITORIALES	DENSITE DE PLANTATION	SUPERFICIES (HA)
AIT HAMMOU	Cactus moyennement dense	418
AIT TALEB	Cactus à haute densité	7
AIT TALEB	Cactus moyennement dense	1797
AKARMA	Cactus moyennement dense	179
BOUCHANE	Cactus à haute densité	4
BOUCHANE	Cactus moyennement dense	1279
BOURROUS	Cactus moyennement dense	116
JAAFRA	Cactus à haute densité	10
JAAFRA	Cactus moyennement dense	248
JAIDATE	Cactus moyennement dense	35
JBILATE	Cactus moyennement dense	329
LABRIKIYNE	Cactus moyennement dense	3062

LAMHARRA	Cactus à haute densité	72
LAMHARRA	Cactus moyennement dense	225
NZALAT LAADAM	Cactus moyennement dense	157
OULAD AAMER TIZMARINE	Cactus moyennement dense	171
OULAD HASSOUNE HAMRI	Cactus à haute densité	6
OULAD HASSOUNE HAMRI	Cactus moyennement dense	927
OULAD IMLOUL	Cactus moyennement dense	116
RAS AIN RHAMNA	Cactus moyennement dense	184
SIDI ABDALLAH	Cactus à haute densité	1129
SIDI ABDALLAH	Cactus moyennement dense	2646
SIDI ALI LABRAHLA	Cactus moyennement dense	86
SIDI BOUBKER	Cactus moyennement dense	362
SIDI GHANEM	Cactus à haute densité	176
SIDI GHANEM	Cactus moyennement dense	2501
SIDI MANSOUR	Cactus moyennement dense	1503
SKHOUR RHAMNA	Cactus à haute densité	294
SKHOUR RHAMNA	Cactus moyennement dense	3339
SKOURA LHADRA	Cactus à haute densité	430
SKOURA LHADRA	Cactus moyennement dense	1504
TLAUH	Cactus moyennement dense	14
<b>TOTAL DES SUPERFICIES PLANTEES</b>		<b>23 326</b>

## 2.5 Distribution des étendues de cactus en 2020 :

A partir des images satellitaires datant de l'année 2020 et après le balayage absolu de la zone d'étude moyennant les points repères, et après digitalisation des terrains à cactus, on a pu établir la carte de répartition des étendues du cactus illustrant ainsi l'emplacement des terrains qui sont plantés en cactus et non ravagé à l'année 2020.

On remarque d'après les cartes (Figure 78 et 79), une régression très marquante et alarmante des plantations de cactus avec une hétérogénéité du point de vue distribution, les plantations de cactus qui ont survécu et résister sont répartie en petites superficies chez quelques communes territoriales.

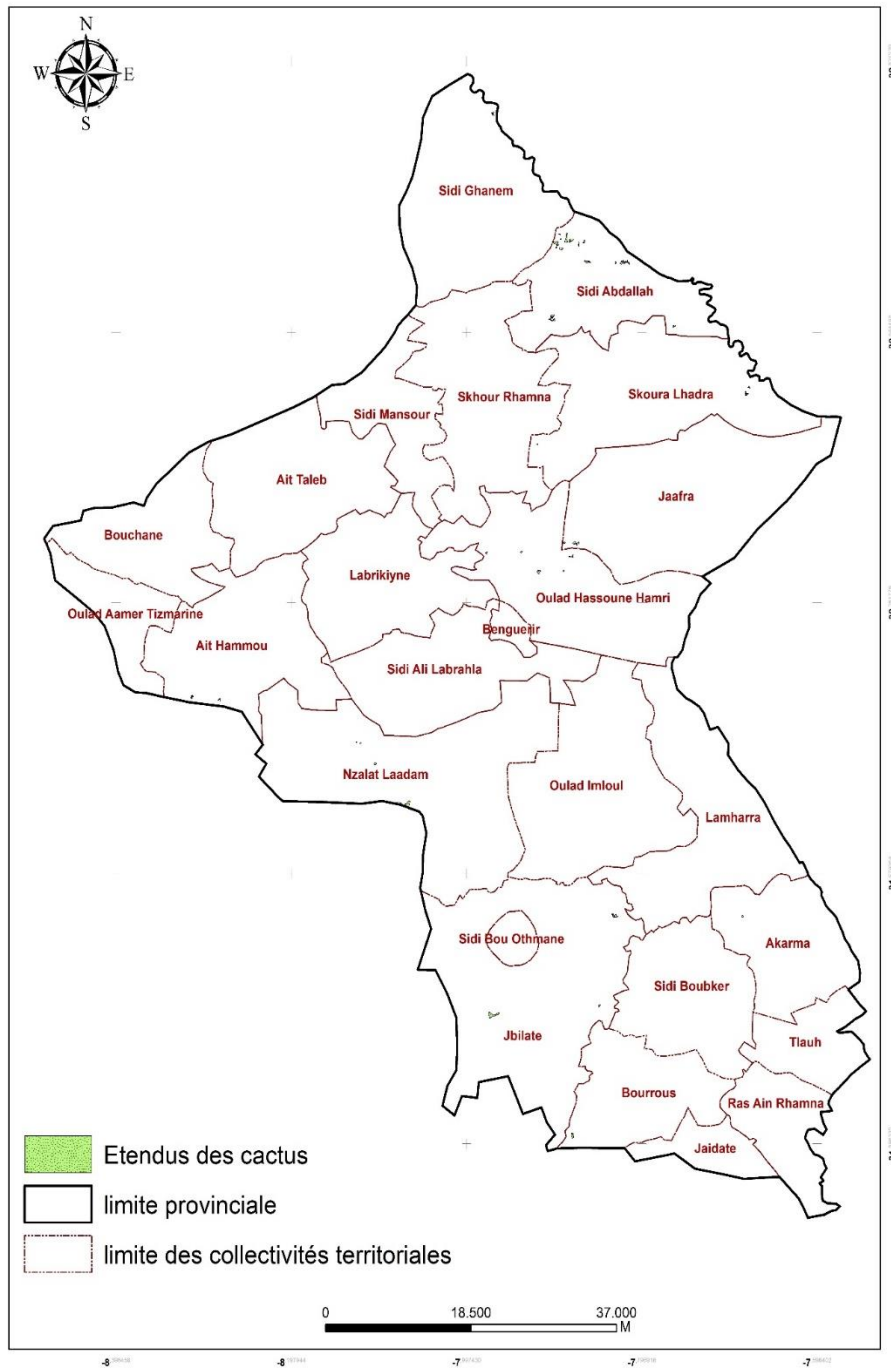


Figure 78 : Carte de distribution des étendues de cactus à l'année 2020 via le logiciel ArcGis.



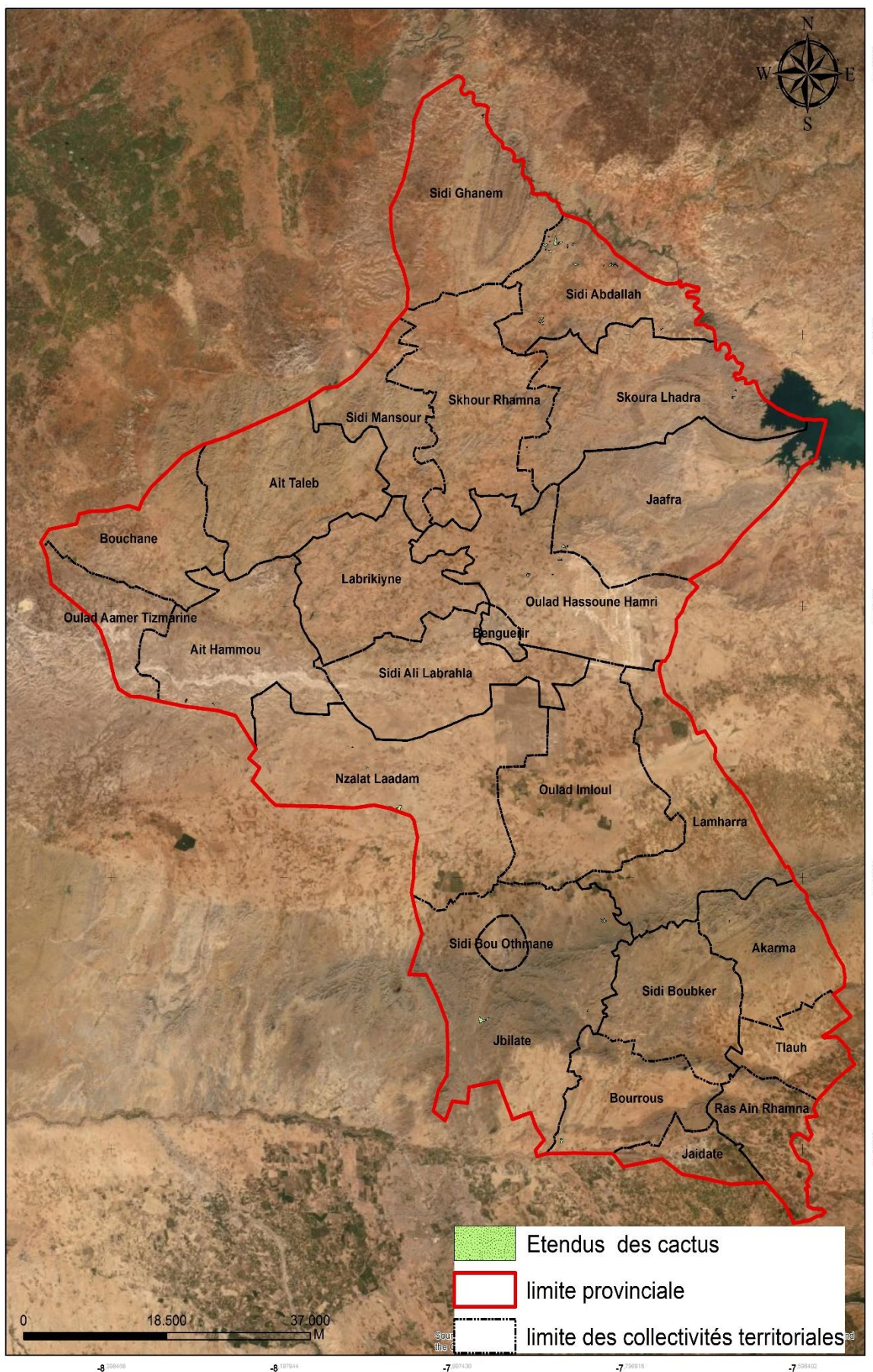


Figure 79 : Carte de distribution des étendus de cactus à l'année 2020 sur fond satellitaire via le logiciel ArcGis.

## 2.6 Réalisation de la carte de distribution des densités des étendues de cactus en 2020 :

La carte représentée dans la figure 80, représente la répartition des densités des étendues de cactus en 2020. On remarque que le reste des étendues de cactus non ravagé et à haute densité se résume en quelque périmètre au centre avec des petites superficies. Les plantations moyennement denses représentent le reste des terrains à cactus indemne de ravage, et qui se manifeste de manière éparpiller dans le reste de la province.

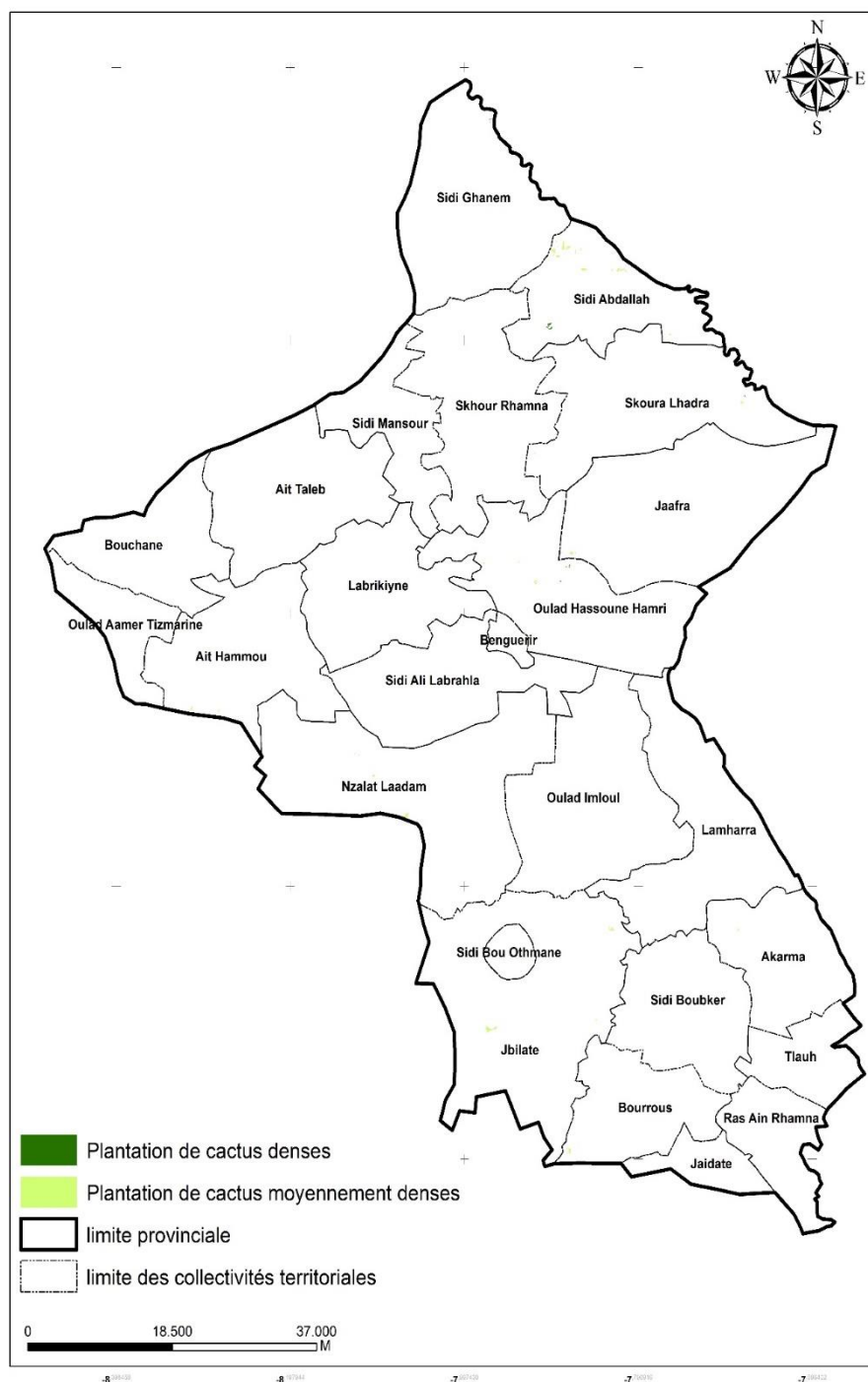


Figure 80 : Carte de distribution des densités des étendues de cactus à l'année 2020 via le logiciel ArcGis.



## 2.7 Analyse des superficies de distribution des étendues de cactus en 2020 :

L'analyse des superficies plantées par les cactus en 2020 via ArcGis, a permis de distinguer deux classes en se basant sur la densité des plantations qui ont survécu au ravage de la cochenille. La superficie des étendues de cactus moyennement dense s'est étalée sur une superficie 240 Ha, alors que les plantations de cactus à haute densité ont été réparties sur 27Ha (Tableau 27).

**Tableau 27** : Résultats de l'analyse des superficies de distribution des étendues de cactus par types de plantation en 2020.

TYPE DE PLANTATION DU CACTUS	SUPERFICIES PLANTEES EN HA
CACTUS A HAUTE DENSITE	27,00
CACTUS MOYENNEMENT DENSE	240,00
<b>TOTAL</b>	<b>267,00</b>

## 2.8 Analyse des superficies de distribution des étendues de cactus en 2020 dans les communes territoriales de la province de Rhamna :

D'après le tableau 28, les parcelles plantées en cactus sont restées répandues seulement sur 10 communes territoriales de la province. La commune de Sidi Abdallah s'est démarquée des autres communes, en enregistrant une superficie de 88 Ha et 18 Ha respectivement pour les plantations à moyenne et haute densité.

**Tableau 28** : Résultats de l'analyse des superficies de distribution des étendues de cactus par types de plantation et dans chaque commune territoriale en 2020.

COLLECTIVITES TERRITORIALES	DENSITE DE PLANTATION	SUPERFICIES EN HA
AIT HAMMOU	Cactus moyennement dense	7
AKARMA	Cactus moyennement dense	3
BOURROUS	Cactus moyennement dense	11
JAAFRA	Cactus moyennement dense	13
JBILATE	Cactus moyennement dense	44
NZALAT LAADAM	Cactus moyennement dense	53
OULAD HASSOUNE HAMRI	Cactus à haute densité	6
OULAD HASSOUNE HAMRI	Cactus moyennement dense	13
SIDI ABDALLAH	Cactus à haute densité	18
SIDI ABDALLAH	Cactus moyennement dense	88
SIDI GHANEM	Cactus à haute densité	1
SKOURA LHADRA	Cactus à haute densité	2
SKOURA LHADRA	Cactus moyennement dense	8
<b>TOTAL DES SUPERFICIES PLANTEES</b>		<b>267</b>

### 2.9 Evolution des étendus à cactus entre l'année 2014 et 2020 (6 ans) :

La carte représentée dans la figure 81, schématise la distribution des étendus de cactus en 2014 par rapport à 2020. D'après cette carte, une différence très marquante des étendus de cactus entre les deux années, puisque les terrains cultivés par les cactus en 2014 étaient dénombrés en centaines, alors qu'en 2020, on aperçoit juste quelques périmètres qui sont restées intactes et indemne de ravage.

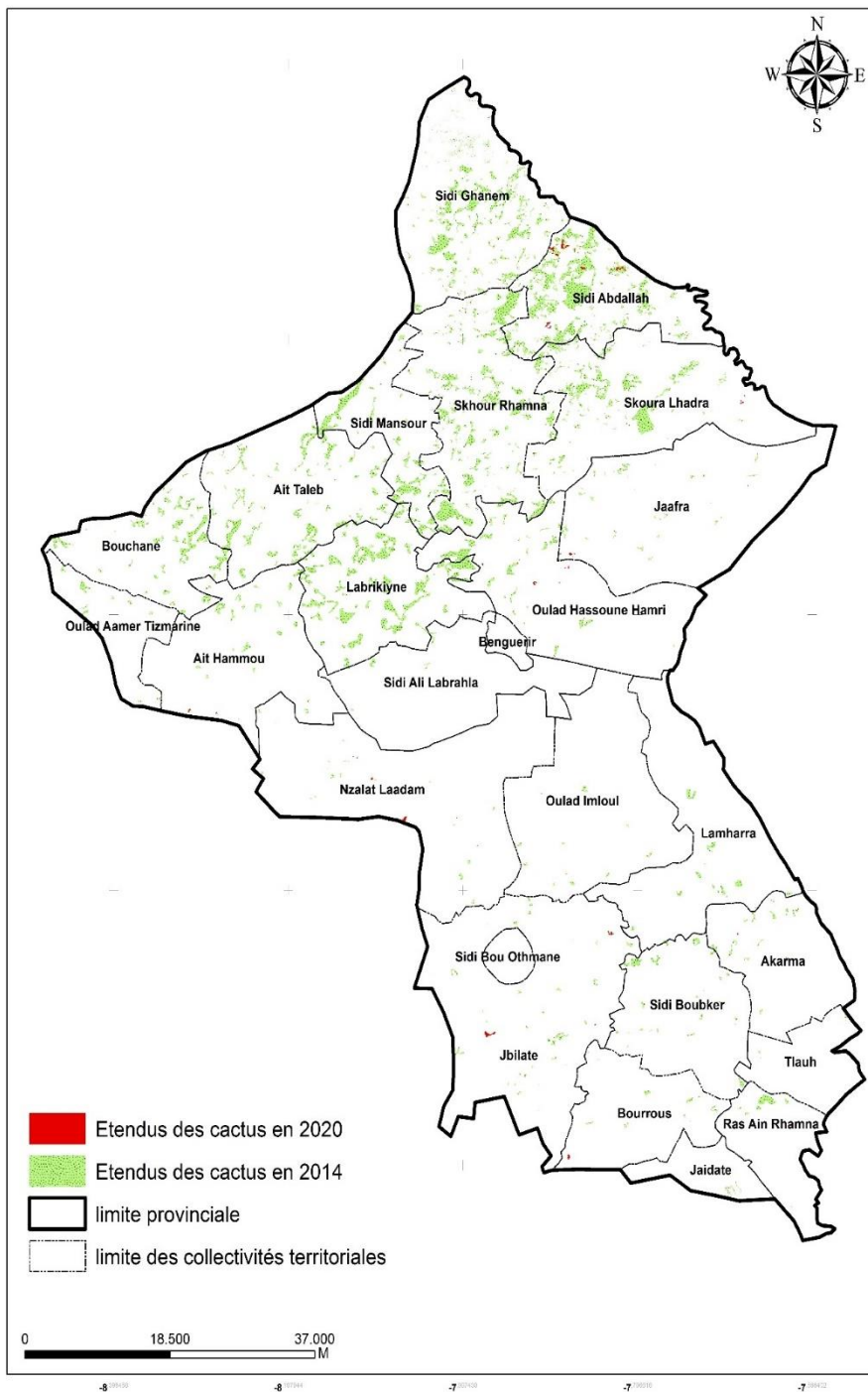


Figure 81 : Carte de distribution des étendus de cactus entre 2014 et 2020 via le logiciel ArcGis.

Par ailleurs, En 2014, 23 collectivités territoriales sont occupées en cactus (Figure 82), avec une dominance en termes de superficies pour les communes de Sidi Abdallah, Skhour Rhamna, Labrikiyne, par des valeurs dépassant 2600 Ha, jusqu'à 3800 Ha. Alors qu'en 2020, les étendues de cactus qui ont survécus, figurent seulement sur 10 communes territoriales avec des superficies très réduites. La collectivité de Nzalat Laadam suivi de Jbilate et Bourrous viennent en premier, en termes de pourcentage de cactus indemne par rapport à la superficie initiale.

Quant au pourcentage des densités de cactus en 2014 (Figure 83), seules 9 collectivités territoriales qui comprennent des étendues de cactus de haute densité sont dénombrées. La dominance a été bien visible dans les collectivités de Sidi Abdallah, Lamharra, et Skoura Lhadra, avec des pourcentages de superficies dépassant les 22,2% de la superficie globale plantée ; le reste des parcelles est occupées par les cactus moyennement dense arrivant jusqu'à 100% pour certaines collectivités. Cependant en 2020, les étendues de cactus impérissable à hautes densité sont observées dans les collectivités de Sidi Ghanem suivi de Oulad Hassoune Hamri, Skoura Lhadra et Sidi Abdallah, le reste est occupé par les cactus moyennement dense, alors que 13 collectivités n'en contiennent plus.

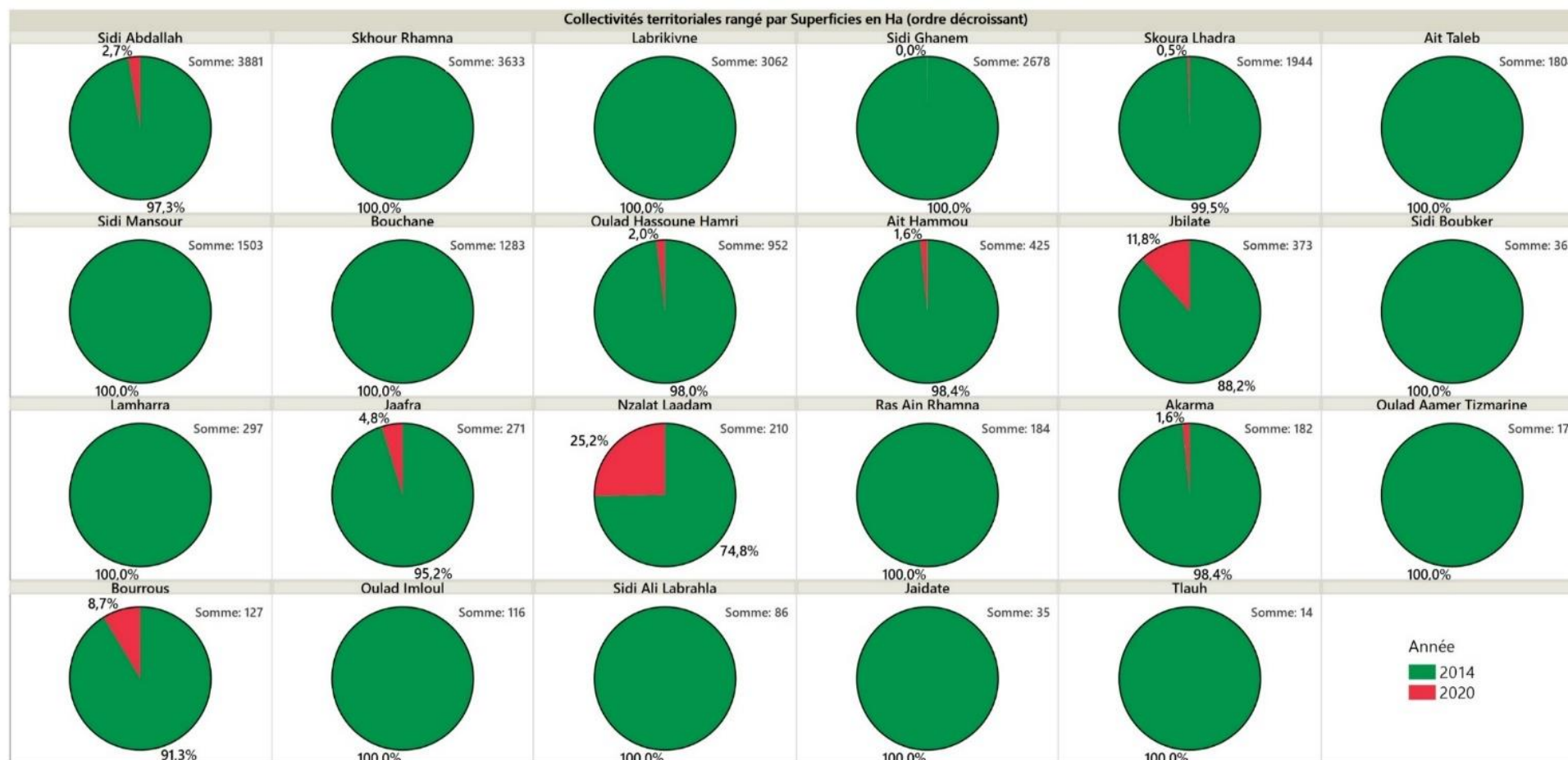


Figure 82 : Pourcentage des superficies occupées en cactus entre 2014 et 2020 par collectivités territoriales.



Figure 83 : Pourcentage des densités de superficies occupées en cactus entre 2014 et 2020 par collectivités territoriales.



## 2.10 Etat récapitulatif de l'évaluation de l'analyse des superficies de distribution des étendues de cactus par types de plantation et dans chaque commune territoriale entre 2014 et 2020 :

Le tableau 29 dresse un récapitulatif, dans chaque commune, de l'évaluation de l'analyse des superficies de distribution des étendues de cactus entre 2014 et 2020, il montre que toutes les communes territoriales ont connu des ravages, mais ceux dont figure les pertes les plus saillantes sont les communes de Sidi Abdallah, Skhour Rhamna et Labrikiyne, avec une perte respective de 3669 Ha, 3633 Ha et 3062 Ha. Ces données étant convertit en pertes monétaires permettront d'estimer une perte globale de fruits de l'ordre 261.966,38 tonnes, de biomasse de l'ordre 1.457.075 tonnes, avec un cout global de perte estimé à 230.590.000 MAD.

**Tableau 29 :** Etat récapitulatif de l'évaluation de l'analyse des superficies de distribution des étendues de cactus par types de plantation et dans chaque commune territoriale entre 2014 et 2020.

COLLECTIVITES TERRITORIALES	SUP 2014 (HA)	SUP 2020 (HA)	ECART (HA)	% DES PERTES EN SUP	PERTES DE PRODUCTION EN FRUITS (TONNE)	PERTES DE PRODUCTION EN RAQUETTE (TONNE)	PERTES MONETAIRES (MAD)
AIT HAMMOU	418	7	-411	98,33	4.669,25	24.660	4.110.000
AIT TALEB	1.804	0	-1.804	100	20.494,70	108.485	18.040.000
AKARMA	179	3	-176	98,32	1.999,48	10.560	1.760.000
BOUCHANE	1283	0	-1.283	100	14.575,78	77.120	12.830.000
BOURROUS	116	11	-105	90,52	1.192,87	6.300	1.050.000
JAAFRA	258	13	-245	94,96	2.783,37	15.050	2.450.000
JAIDATE	35	0	-35	100	397,62	2.100	350.000
JBILATE	329	44	-285	86,63	3.237,80	17.100	2.850.000
LABRIKIYNE	3.062	0	-3062	100	34.786,46	183.720	30.620.000
LAMHARRA	297	0	-297	100	3.374,13	20.340	2.970.000
NZALAT LAADAM	157	53	-104	66,24	1.181,51	6.240	1.040.000
OULAD AAMER TIZMARINE	171	0	-171	100	1.942,68	10.260	1.710.000
OULAD HASSOUNE HAMRI	933	19	-914	97,96	10.383,68	54.840	9.140.000
OULAD IMLOUL	116	0	-116	100	1.317,84	6.960	1.160.000
RAS AIN RHAMNA	184	0	-184	100	2.090,37	11.040	1.840.000
SIDI ABDALLAH	3.775	106	-3.669	97,19	41.682,41	259.025	36.690.000
SIDI ALI LABRAHLA	86	0	-86	100	977,02	5.160	860.000
SIDI BOUBKER	362	0	-362	100	4.112,57	21.720	3.620.000
SIDI GHANEM	2677	1	-2.676	99,96	30.401,23	166.685	26.760.000
SIDI MANSOUR	1.503	0	-1.503	100	17.075,13	90.180	15.030.000
SKHOUR RHAMNA	3.633	0	-3.633	100	41.273,42	228.270	36.330.000
SKOURA LHADRA	1.934	10	-1.924	99,48	21.857,99	130.420	19.240.000

---

<b>TLAUH</b>	14	0	-14	100	159,05	840	140.000
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>23.326</b>	<b>267</b>	<b>-23.059</b>	<b>98,86</b>	<b>261.966,38</b>	<b>1.457.075</b>	<b>230.590.000</b>

## 2.11 Discussion :

Pour faire face à la rareté des ressources naturelles et aux fragilités socio-économiques et écologiques, le Maroc a choisi de promouvoir un développement durable de qualité, à travers un ensemble d'initiatives économiquement rentables et qui peuvent générer richesse et progrès, grâce à une meilleure utilisation du territoire à travers plusieurs vecteurs essentiels dont l'utilisation des ressources locales (**Faouzi, 2015**). L'établissement de systèmes de production durable basés sur le cactus *Opuntia* ou ses dérivés, peut contribuer à la sécurité alimentaire des populations dans les régions où l'agriculture est marginalisée (**Nefzaoui et al., 2014**). La région de Rhamna est considérée parmi les régions pionnières de production de cactus et ses dérivés (**Bendaou and Ait Omar, 2013**). Cependant, tous les efforts pour le développement durable de la filière cactus ont été anéanties par l'introduction de la cochenille en 2014 (**Bouharroud et al., 2016**).

Cette étude vise à combler les déficiences d'information de répartition géospatiale des étendues de cactus dans la province cible de Rhamna, en localisant les terrains à cactus, et dresser un bilan sur l'état initial et actuel de végétation à base d'*Opuntia*.

A l'échelle national, et d'après la littérature, la superficie plantée de cactus est estimée à plus de 150 000 Ha avec une production de fruit évaluée à plus de 1 000 000 tonnes (**Bendaou and Ait Omar, 2013**). Concernant les superficies réellement occupées en cactus dans la province de Rhamna, plusieurs chiffres ont été prononcés avant l'impact de la cochenille, **Boutakiout et al. (2015)** ont énoncé une superficie de 50 000 Ha, ainsi que 40 000 Ha par **Zammar and Abdelbaki (2016)**, alors que les chiffres officiels communiqués par le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime, ont été de 26 000 Ha, concentré dans les communes de Sidi Abdallah, Jaafra, Skoura Lhadra, Skhour Rhamna, Sidi Ghanem et Sidi Mansour (**MAPM, 2014**). Cependant aucune étude scientifique basée sur des méthodes fiables d'estimation de la superficie n'a été décrite en littérature afin d'estimer la superficie occupée ou détruite par la cochenille. Dans ce travail, on s'est basé sur la télédétection et le SIG afin de contrecarrer cette confusion et donner des chiffres qui reflètent plus la réalité sur la distribution diachronique des sols par l'espèce cible. D'après les résultats obtenus, en 2014 la superficie réellement plantée par les cactus dans la province de Rhamna, était de 23 326 Ha, réparties en 21 199 Ha de plantation à moyenne densité et 2 127 Ha de plantation à haute densité. Au niveau de la zone d'étude, environ toutes les communes territoriale (23 communes territoriales) étaient plantées par les cactus avec une différence marquante de superficie et de densité, alors que les chiffres officielles énoncés par le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime ne dépassent pas 6 communes dont figuraient les étendues de cactus (**MAPM, 2014**). Également, les résultats

obtenus sont en désaccord avec ceux rapportés dans la littérature, et mettent en évidence le rôle des techniques de télédétection et SIG dans l'estimation des superficies de cactus dans les zones d'étude. Ceci ne peut constituer qu'une valeur ajoutée dans l'aide à la prise de décision en matière de lutte et préservation des cactus à Rhamna avec possibilité de transfert d'échelle vers d'autres régions du Maroc.

En 2013, au niveau de la région de Rhamna, la production annuelle de fruit de cactus était d'environ 265 000 tonnes (**Bendaou and Ait Omar, 2013**), soit en moyenne, 11,36 tonnes/Ha si on se réfère à la superficie recensée dans notre étude en 2014. En se projetant dans l'avenir, on s'attendait à ce que ce chiffre évolue significativement. Cependant, avec l'avènement de la cochenille (2014-2020), la production estimée en fruit ne dépasse pas les 3 033,12 tonnes de fruit pour l'année 2020, donc une différence globale de 261 950,24 tonnes par rapport à 2014.

En ce qui concerne la biomasse, des rendements de raquettes élevés de 400 à 500 tonnes de matière fraîche par hectare (40 à 50 tonne de matière sèche/ha) sont obtenus avec une densité élevée de 24 plants/m<sup>2</sup> (**De Cortázar and Nobel, 1992**). A Skhour Rhamna et selon **Boujghagh (2015)**, dans une parcelle de cactus bien entretenue, un rendement annuel en cladode a été estimé à 95 tonnes/ Ha pour la forte densité de 40cm x 40cm et à 60 tonnes/ Ha pour la moyenne densité de 50cm x 50cm. En effet en 2014, une production annuelle en cladodes de 1 271 880 tonnes sera estimée en parcelles moyennement denses, et de 202 160 tonnes sera estimée en parcelles à haute densité, soit un total de production annuelle de 1 474 040 tonnes dans l'ensemble de la province de Rhamna. En revanche, en 2020 et après rétrécissement des étendues de cactus, on considère que la production annuelle en raquettes dans les parcelles à haute densité est de 2 565 tonnes, et de 14 400 tonnes pour les étendues à moyennes densité, soit une différence annuelle respective de 199 595 tonnes et de 1 257 480 tonnes par rapport à l'année 2014, et selon **De Cortázar and Nobel (1992)**, nos chiffres étant converties en matière sèche seront de 147 404 tonnes en 2014 et de 1 696,5 tonnes en 2020.

Pour ce qui est unités fourragères perdues, et étant donné que la valeur énergétique des raquettes est proche de celle de la luzerne avec 0,12 UF (unité fourragère)/kg (**Arba, 2009a**), on estime qu'en 2014 un total annuel de 176 884 800 UF, et de 2 035 800 UF en 2020 ont été produites, soit une différence de 174 849 000 UF. Selon **Boudet and Rivière (1968)** et **Mrabet et al. (2020)**, puisque la valeur fourragère en UF est obtenue en comparant l'énergie nette déterminée de l'échantillon à l'énergie nette de 1 kg d'orge (1UF = 1Kg orge), ceci peut nous mener alors à estimer une perte de 174 849 000 Kg d'orge.

En terme monétaire, un hectare rapporte à son exploitant plus de 10 000 MAD de bénéfice, contre 1 500 MAD pour les céréales (**Faouzi, 2015**). Afin d'évaluer la valeur de la production

en 2014, un chiffre 233 260 000 MAD de bénéfice sera enregistré en rendement, par contre en 2020, le bénéfice sera estimé seulement à 2 670 000 MAD, et donc une perte monétaire estimée à 230 590 000 MAD.

Au regard de ces chiffres alarmants, il est clair que *Dactylopius coccus* a mis en péril l'avenir des cactus dans la région de Rhamna tout en engendrant une crise économique basée sur la réduction des revenus des populations qui exploitent ce genre de culture. Actuellement, et suite aux résultats obtenus, seuls 1,14% de la superficie recensée en 2014 qui a pu survivre au fléau. Il pourrait s'agir d'étendues où des génotypes se sont avérés impérissables à la cochenille, ou encore les traitements préconisés par les agriculteurs qui n'ont montré qu'une partie de leur efficacité. Ces observations nous interpellent pour repenser l'avenir de cette plante à usages multiples et qui est spécifique des zones aride et semi-aride. D'où l'intérêt de conjuguer les efforts en matière de recherche afin de mettre au point, soit des traitements efficaces ou des génotypes productifs et résistants à la cochenille. Ce qui permettra de redresser la situation et participer à la pérennité des cactus dont les rôles environnemental et socio-économique sont indéniables.



### 3 Multiplication *in vitro* d'*Opuntia* Spp (Micropropagation) :

La réalisation de la micropropagation dans notre étude a été subdivisée en 4 phases :

1. Phase de désinfection.
2. Phase de culture primaire et de son optimisation.
3. Phase de multiplication (subculture 1).
4. Phase d'acclimatation et sevrage.

#### 3.1 Phase de désinfection :

La désinfection des explants de cactus est une étape clé pour une culture *in vitro* réussie. Concevoir un protocole de désinfection pour fournir des explants sains, assure leur survie durant ce processus. Cette phase est caractérisée par l'obtention d'explants sains et vivants mais aussi d'explants nécrosés et contaminés.

##### 3.1.1 Effet de la combinaison de désinfection :

Les résultats obtenus via le *test G* (Tableau 30), montrent un effet significatif de la combinaison de désinfection sur l'explant CWA ( $P = <0,0001$ ) et ASG ( $P = <0,0005$ ), alors que pour l'explant AIG, cet effet reste non significatif.

**Tableau 30** : Analyse statistique des différents facteurs étudiés.

Effet	Paramètres	Taux de réussite (%)			Taux de nécrose (%)		
		Dll	G	Valeur P	Dll	G	Valeur P
Effet de la combinaison pour chaque type d'explant	AIG	11	17,366	0,0975ns	11	18,142	0,0784ns
	ASG	11	33,260	0,0005**	11	35,516	0,0002**
	CWA	11	42,231	<,0001***	11	67,795	<,0001***
Effet du type d'explant pour chaque combinaison	C1	2	4,489	0,106ns	2	----	----
	C2	2	8,035	0,0180*	2	2,224	0,3288ns
	C3	2	8,972	0,0113*	2	6,845	0,0326*
	C4	2	6,198	0,0451*	2	2,224	0,3288ns
	C5	2	14,933	0,0006**	2	15,298	0,0005**
	C6	2	15,064	0,0005**	2	8,398	0,0150*
	C7	2	40,545	<,0001***	2	20,791	<,0001***
	C8	2	8,398	0,0150*	2	4,505	0,1051ns
	C9	2	3,387	0,1839ns	2	0,304	0,8589ns
	C10	2	12,843	0,0016**	2	2,224	0,3288ns
	C11	2	9,365	0,0093**	2	13,184	0,0014**
	C12	2	9,431	0,0090**	2	11,719	0,0029**

ddl= degré de liberté; ns= non significatif et \*= significatif (au seuil 5%) ; \*\*= significatif (au seuil 1%) et \*\*\*= significatif (au seuil 1%).

##### 3.1.1.1 Taux de réussite et de nécrose :

Pour la phase de désinfection pour toute combinaison et tout explant confondu, le taux de réussite est de 84% alors que le taux de nécrose est de 6,82% (Figure 85).

Concernant le taux de réussite entre les combinaisons (Tableau 57- Annexe 15, Figure 84), ce dernier révèle une fluctuation qui passe de 94, 67% pour la C1 à 72% pour la C11, alors que

dans la partie d'explant le taux de réussite passe de 100% pour le type d'explants AIG en C1, C2, C4, C5, C6, C8, C10 et C12, à 28% pour la CWA en C7.

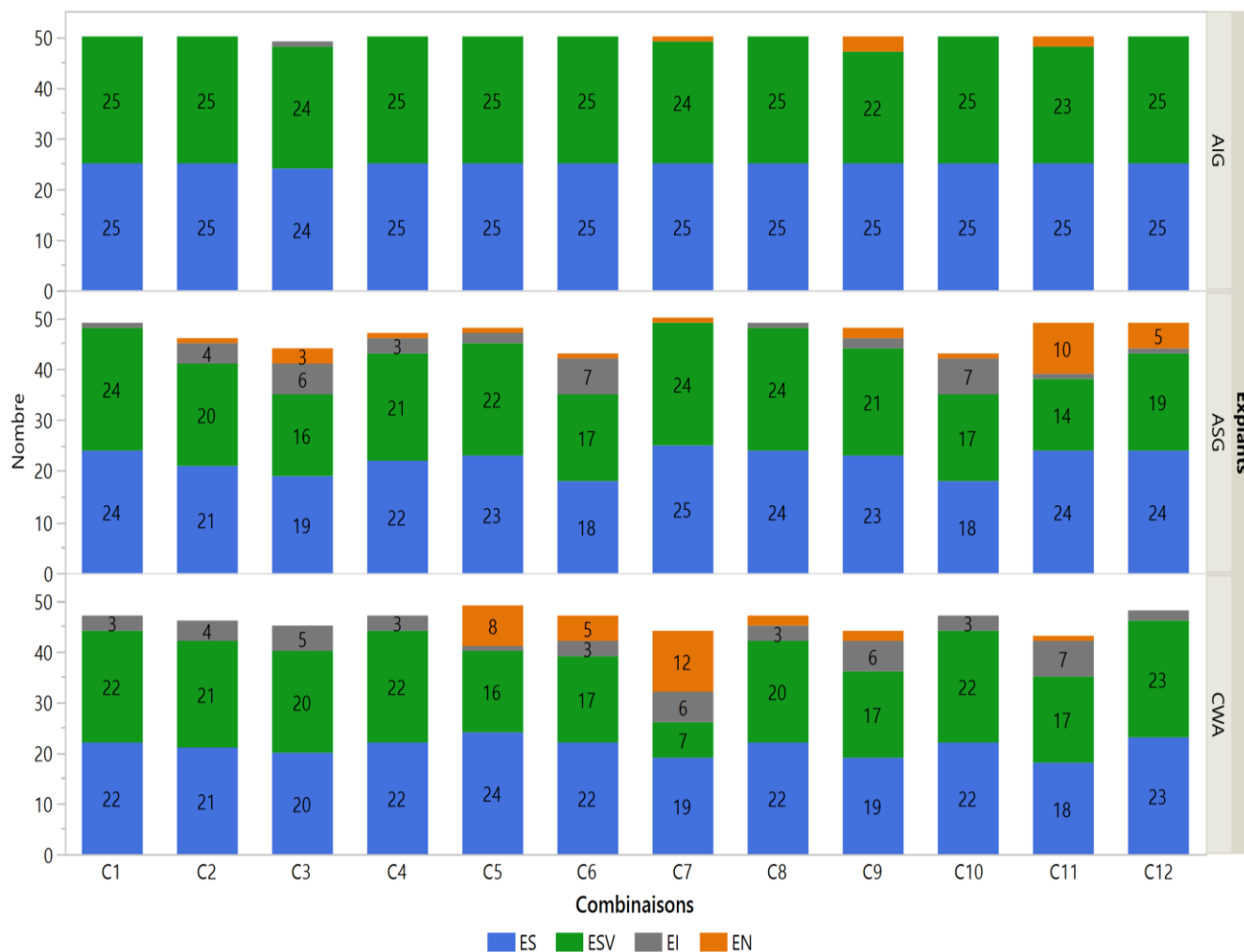


Figure 84 : Nombre explants sains vivants, explants infestés et nécrosés en fonction la combinaison hormonale.



Figure 85 : Exemple de d'explants de cactus contaminés et nécrosés (photo, Achraf Mabrouk).

**3.1.2 Effet du type d'explant :**

Pour toutes combinaisons confondues, Les résultats présentés dans le tableau 31, montrent clairement que le taux de réussite chez le type d'explants AIG est supérieurs aux types d'explants ASG et CWA, respectivement 97,67%, 79,67% et 74,67%, le taux de nécrose est très faible de 2% (AIG), 8,67% (ASG) et 10% (CWA).

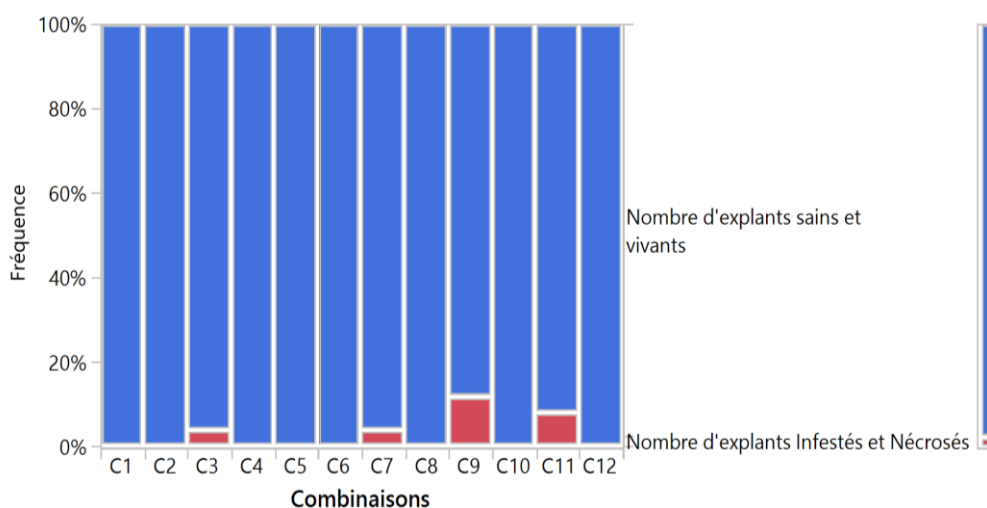
**Tableau 31 :** Taux en pourcentage, toutes solutions de désinfection confondues, d'explants indemnes de contaminations et vivants ainsi que le pourcentage de leurs nécroses chez différents types d'explants mis en culture primaire.

Explants	Nombre d'explants mis en culture	Nombre d'explants sains et vivants	Taux de réussite (%)	Nombre d'explants infestés	Nombre d'explants Nécrosés	Taux de nécrose (%)
AIG	300	293	97,67	1	6	2
ASG	300	239	79,67	35	26	8,67
CWA	300	224	74,67	46	30	10
<b>Tout</b>	<b>900</b>	<b>756</b>	<b>84</b>	<b>82</b>	<b>62</b>	<b>6,89</b>

**3.1.2.1 Taux de réussite :**

Le taux de réussite chez l'explant de type AIG est très remarquable pour toutes les combinaisons de la solution de désinfection. Les explants de type ASG et CWA révèlent une grande fluctuation de ce taux de réussite, ceci est traduit par l'obtention d'un grand nombre d'explants infestés et nécrosés pour ces derniers types d'explants.

Le taux de réussite le plus faible a été enregistré chez CWA pour la combinaison C7, (28%), alors que pour l'explant ASG ce taux est de 56% pour la C11, tandis que ce faible taux n'est que de 88% chez l'explant AIG enregistré pour la combinaison C9 (Tableau 57- Annexe 15 ; Figures 86, 87 et 88).



**Figure 86 :** Taux de réussite en pourcentage pour l'explant AIG en fonction des différentes combinaisons de la solution de désinfection.

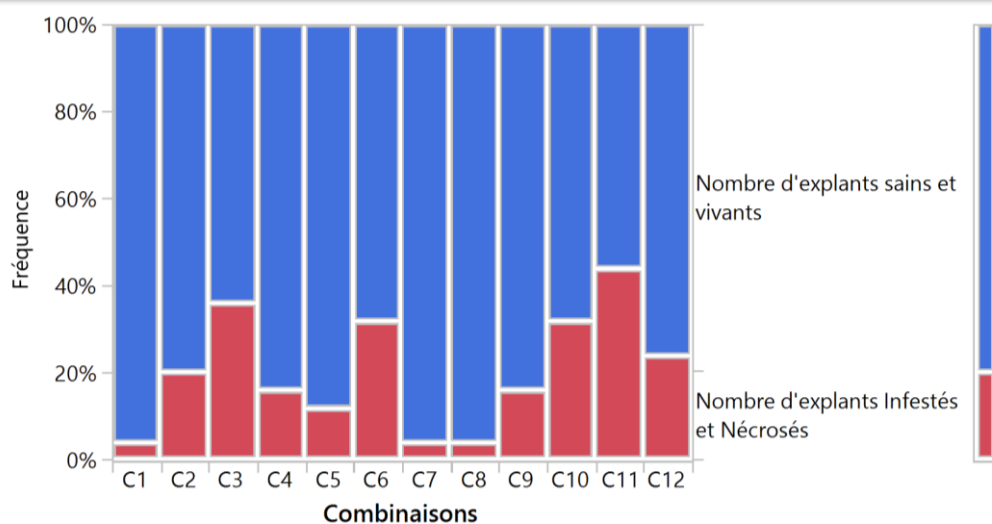


Figure 87 : Taux de réussite en pourcentage pour l'explant ASG en fonction des différentes combinaisons de la solution de désinfection.

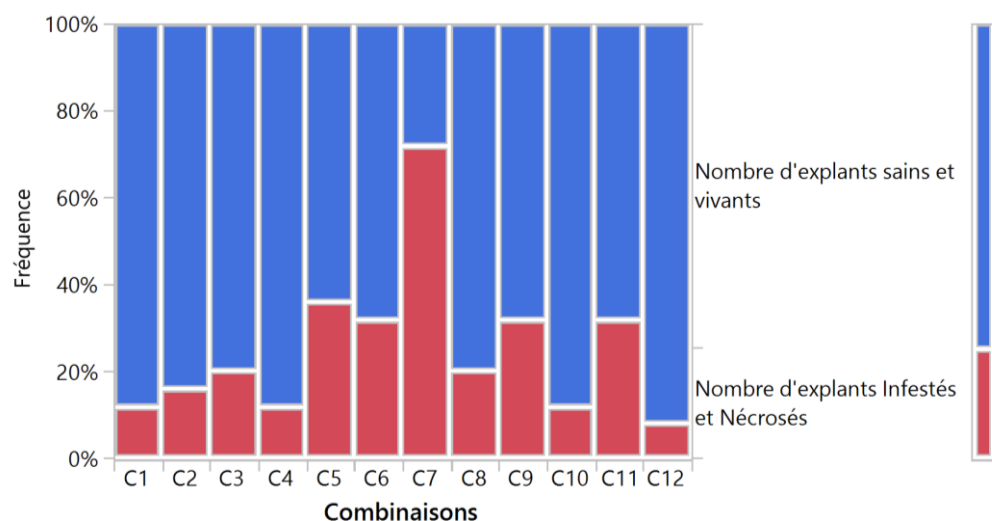


Figure 88 : Taux de réussite en pourcentage pour l'explant CWA en fonction des différentes combinaisons de la solution de désinfection.

### 3.1.2.2 Taux de Nécrose :

Le taux de nécrose est très faible pour l'explant de type AIG par rapport aux explants de type ASG et CWA. Ceci est traduit par l'obtention d'un nombre important d'explants nécrosés pour ces derniers types d'explants.

En effet, le taux de nécrose, pour l'explant de type AIG est nulle pour toutes les concentrations sauf pour la C9 suivi de C11 et C7, avec respectivement 12%, 8% et 4%. Pour les explants de type ASG et CWA, le taux le plus élevé est respectivement de 40% pour la C11 et de 48% pour la C7. (Tableau 57- Annexe 15 ; Figures 89, 90 et 91).

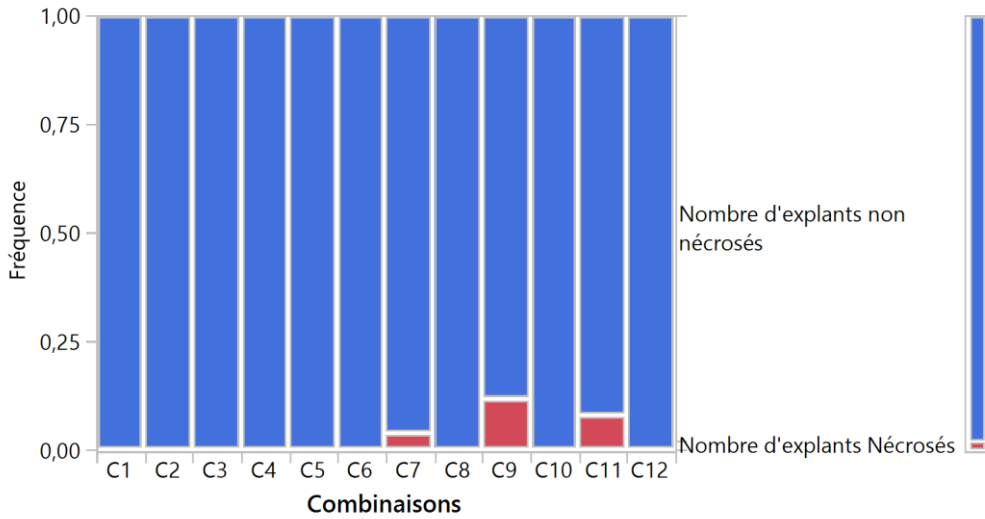


Figure 89 : Taux de nécrose en pourcentage pour l'explant AIG en fonction des différentes combinaisons de la solution de désinfection.

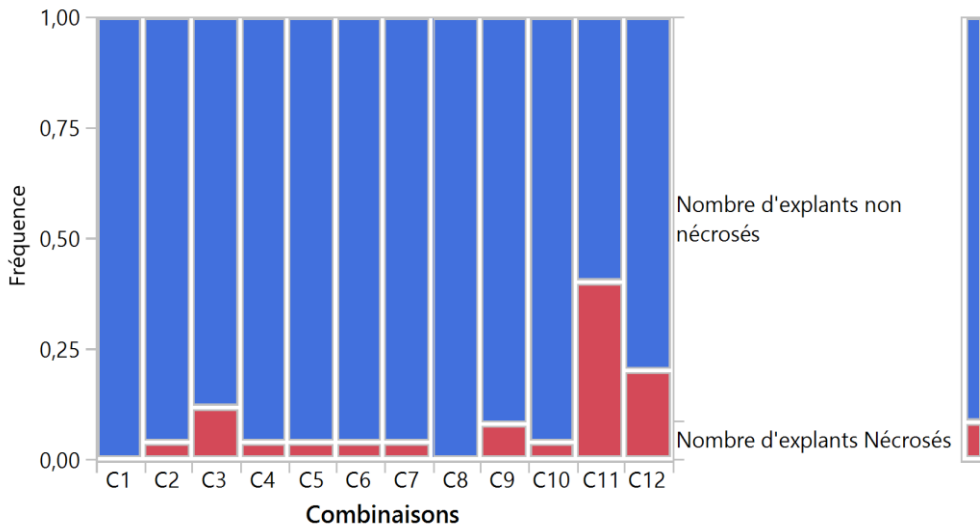


Figure 90 : Taux de nécrose en pourcentage pour l'explant ASG en fonction des différentes combinaisons de la solution de désinfection.

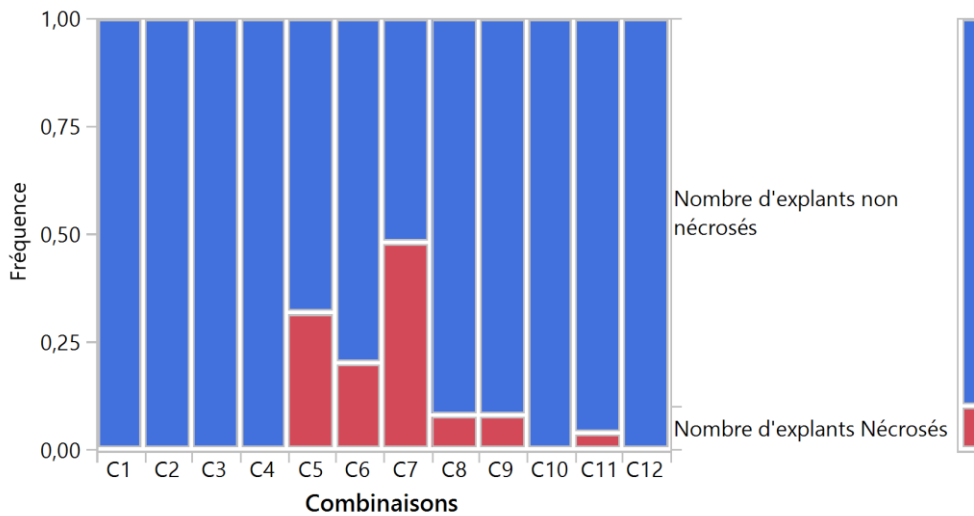
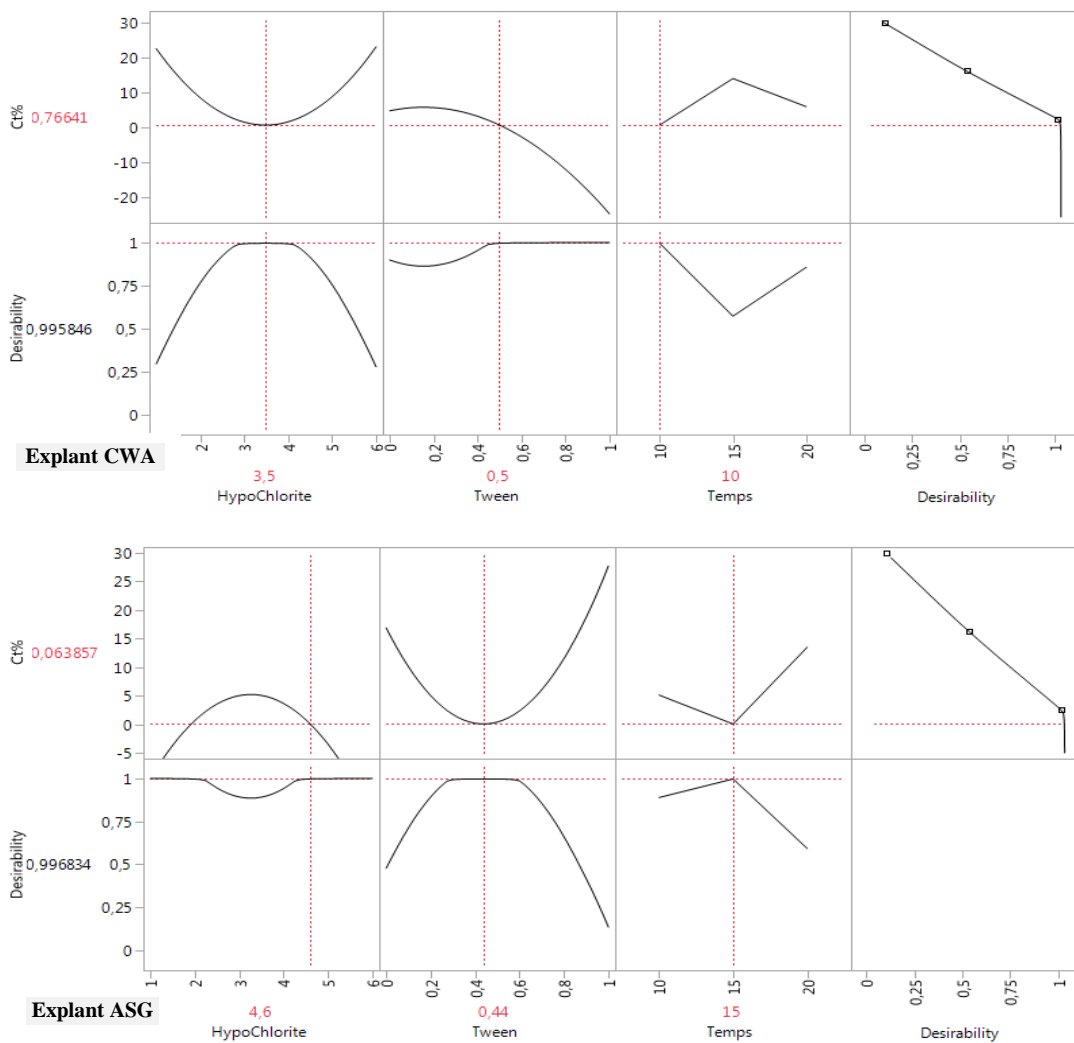


Figure 91 : Taux de nécrose en pourcentage pour l'explant CWA en fonction des différentes combinaisons de la solution de désinfection.



**3.1.3 Prédiction de la solution de désinfection optimale :**

À l'aide du profileur de prédiction, nous avons sélectionné la combinaison d'hypochlorite de calcium : Tween 20 et du temps de désinfection pour chaque type d'explant qui minimiserait le plus efficacement les taux de contamination. En utilisant l'explant CWA, la contamination moyenne la plus faible (0,77%) a été obtenue par une combinaison de 3,5% de  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  et de 0,5% de Tween 20 pendant 10 minutes. A l'inverse, pour l'explant ASG, la combinaison de 4,6%  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  et 0,44% Tween 20 pendant 15 minutes a généré la moyenne la plus faible de contamination (0,064%). L'utilisation d'explant AIG et une combinaison de 4,23% de  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  et 0,4% de Tween 20 pendant 10 minutes, a diminué les taux de contamination à moins de 0,002% (Figure 92, Tableau 32).



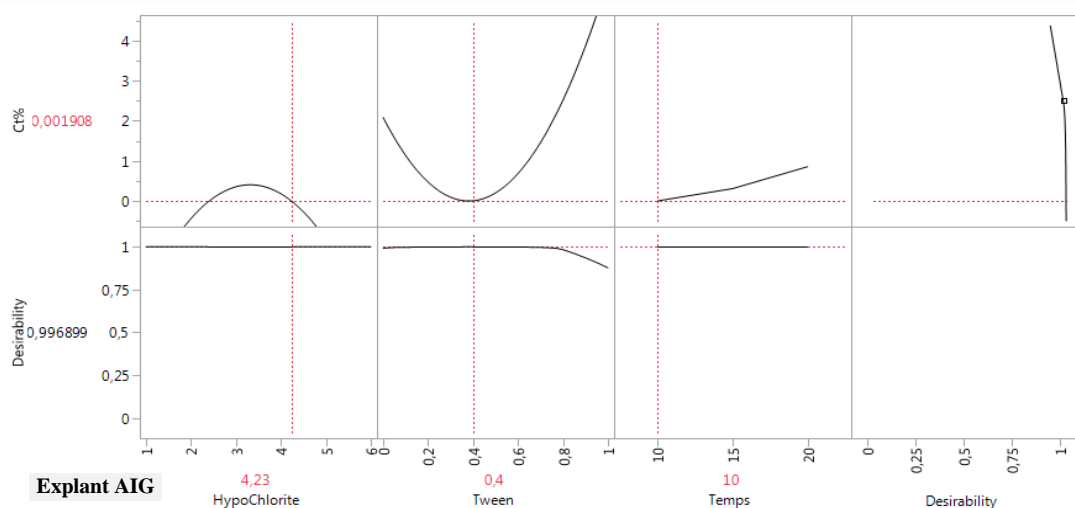


Figure 92 : Profileur de prédiction pour les composants du mélange de désinfection avec la combinaison optimale et la désirabilité maximale pour les trois types d'explants.

Tableau 32 : Désirabilité des protocoles en fonction des types d'explants et des combinaisons (Ca(ClO)<sub>2</sub> - Tween 20 - durée du traitement).

Paramètres	Explant		
	CWA	ASG	AIG
Ca (ClO) <sub>2</sub> (%)	3,5	4,6	4,23
Tween 20 (%)	0,5	0,44	0,4
Temps (min)	10	15	10
Contamination minimale (%)	0,77	0,064	0,002
Désirabilité	0,996	0,997	0,997
Moyenne des réponses	15,33	11,67	0,33
Observations (ou sommes pondérées)	12	12	12

### 3.2 Phase de la culture primaire :

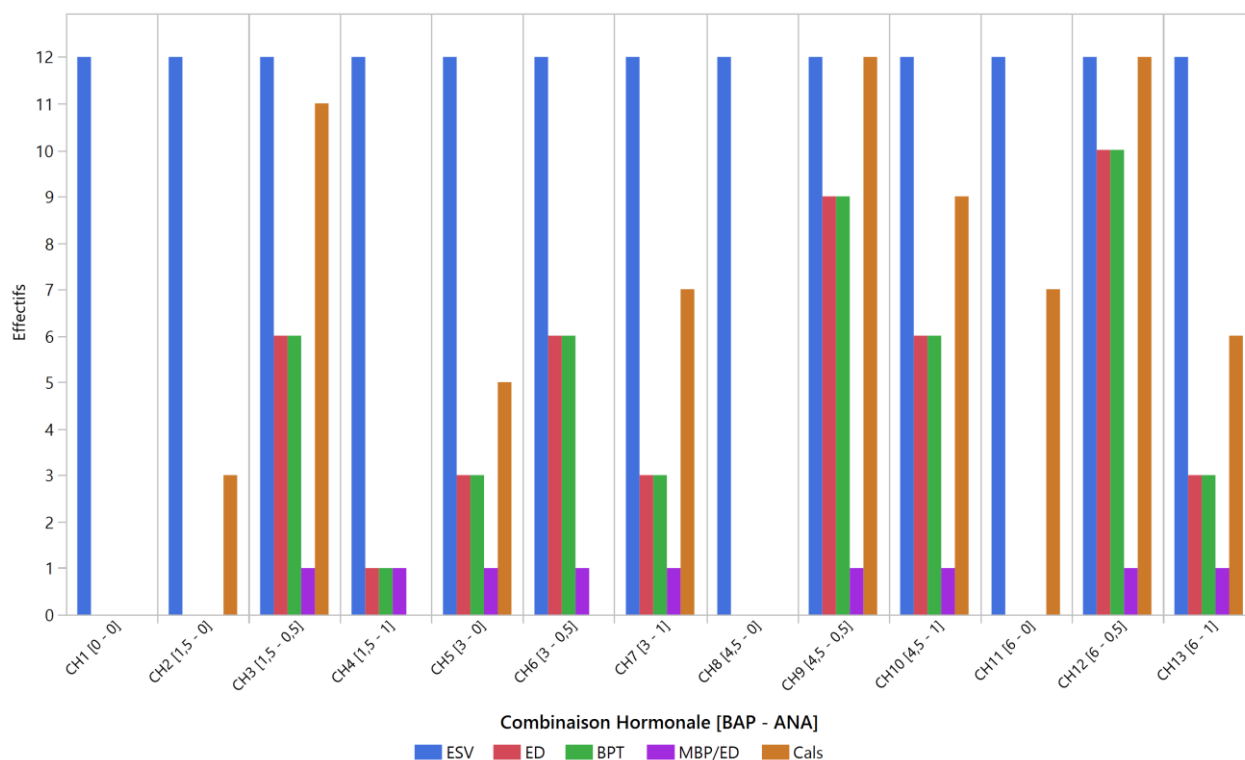
Toutes combinaisons hormonales et explants confondus, les résultats du tableau 33 montrent que le taux de réussite est de 100% pour tous les types d'explants, on remarque aussi de manière claire que le seul type d'explant ayant produit des bourgeons ainsi que des cals est l'explant AIG avec une moyenne de 1 bourgeon produit par explant ayant débourré, par contre les explants de type ASG et CWA n'ont pas pu produire de bourgeons.

Tableau 33 : Taux en pourcentage, toutes combinaisons hormonales confondus, des types d'explants sur le développement des bourgeons ainsi que le pourcentage de leurs callogenèse en culture primaire.

Explants	Nombre d'explants mis en culture	Nombre d'explants sains	Taux de réussite (%)	Nombre d'explants ayant débourrés	Nombre de bourgeons produits au total	Nombre moyen de bourgeons produits par explants ayant débourrés	Nombre de Cals	Callogenèse (%)
AIG	156	156	100	47	47	1	72	46,15
ASG	156	156	100	0	0	0	0	0
CWA	156	156	100	0	0	0	0	0
Tout	468	468	100	47	47	1	72	15,38

Pour tous types d'explants confondu, on remarque une grande fluctuation des réponses dans les paramètres étudiés pour les combinaisons hormonales utilisés, cette fluctuation dont le nombre

d'explant ayants débourrés est flanquée en 0 et 10, tandis que le taux de callogenèse s'achemine de 0 à 100% (Tableau 58- Annexe 16 ; Figure 93).



**Figure 93 :** Nombre d'explants sains et vivants, d'explants ayant débourrés et Nombre de bourgeons produits au total, Nombre moyen de bourgeons produits par explants ayant débourré et Nombre de cals seulement pour l'explant AIG.

### 3.2.1 Le débourement :

#### 3.2.1.1 Effet de l'explant :

L'analyse statistique des différents facteurs étudiés (*test G*) (Tableau 34) a permis de ressortir, un effet significatif ( $P < 0,0001$ ) du type d'explants, ainsi que la combinaison hormonale sur le débourement.

**Tableau 34 :** Analyse statistique des différents facteurs étudiés.

Effet	Test	Nombre d'observations	Degrés de liberté	G	Prob. > khi deux
Effet Combinaison Hormonale	Test G	156	12	69,339	<,0001*
Explant	Test G	468	2	114,228	<,0001*

Pour le taux de débourement et à la différence des explants ASG et CWA, seul AIG a permis le débourement de 30,1% des explants mis en culture (Figure 94).

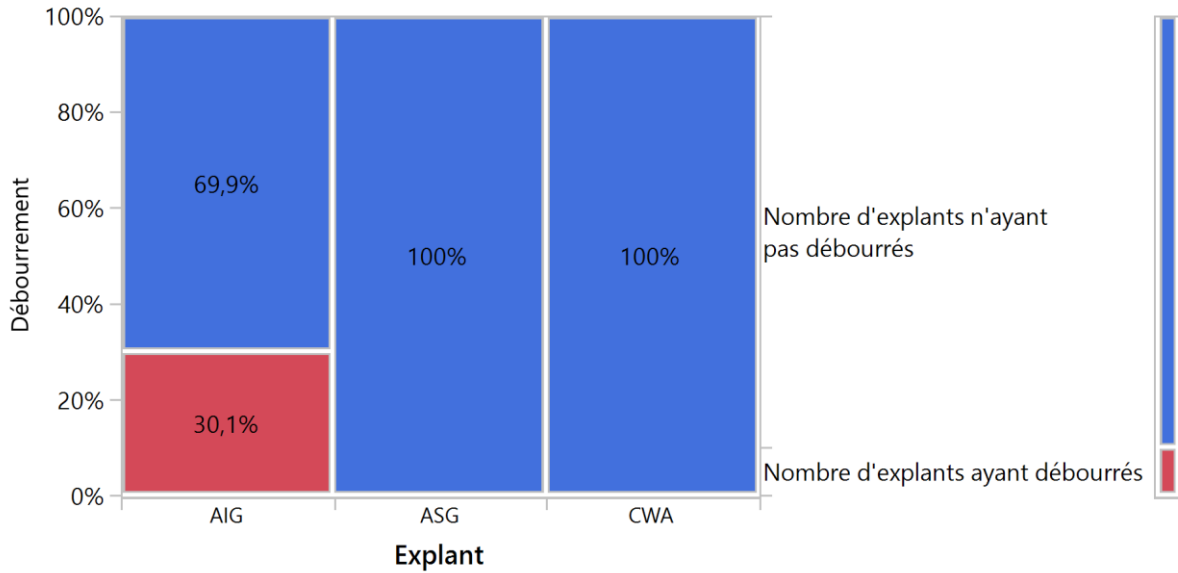


Figure 94 : Effet du type d'explants sur le taux de débourement.

3.2.1.2 Effet de la combinaison hormonale :

Vue que l'explant AIG a été le seul explant qui répondu pour les paramètres étudiés, l'effet de la combinaison hormonale est limité pour ce dernier.

Les résultats obtenus (Figure 95 ; Tableau 58- Annexe 16) montrent que le débourement le plus élevé a été obtenu avec les combinaisons hormonales CH12 (6-0,5) et CH9 (4,5-0,5) avec respectivement 83,3% et 75%. Tandis que les combinaisons hormonales CH1, CH2, CH8 et CH11 n'ont pas abouti au débourement des explants.

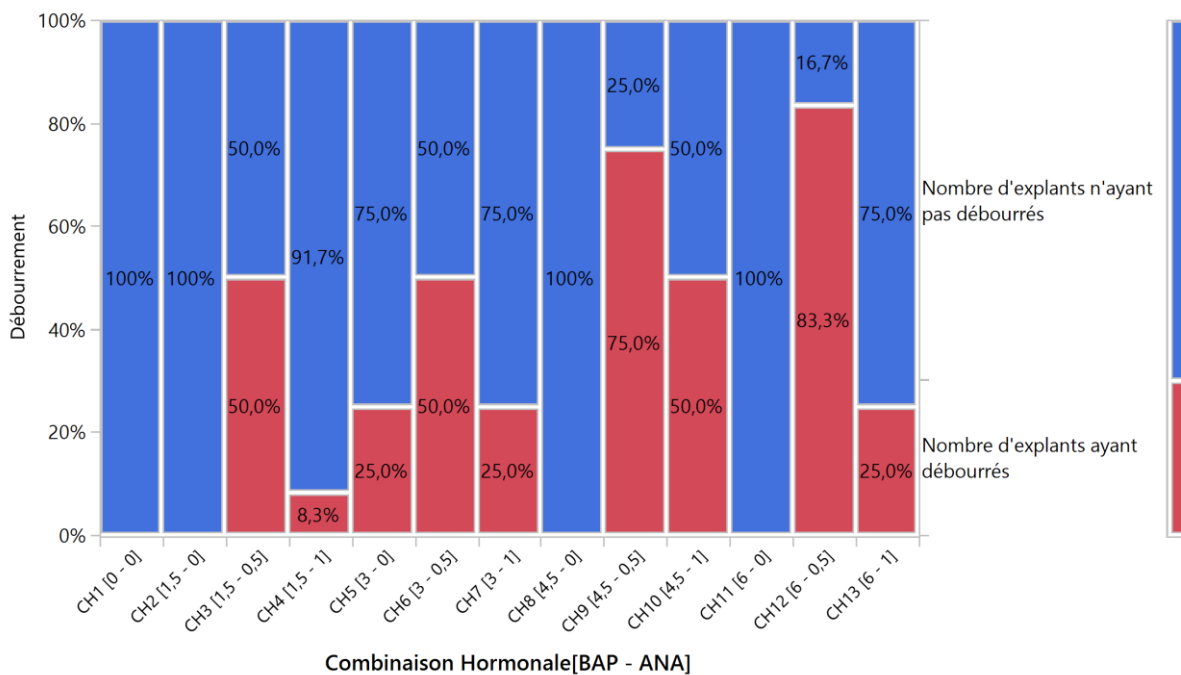


Figure 95 : Effet de la combinaison hormonale sur le taux de débourement chez les explants de type AIG.

### 3.2.2 La callogenèse

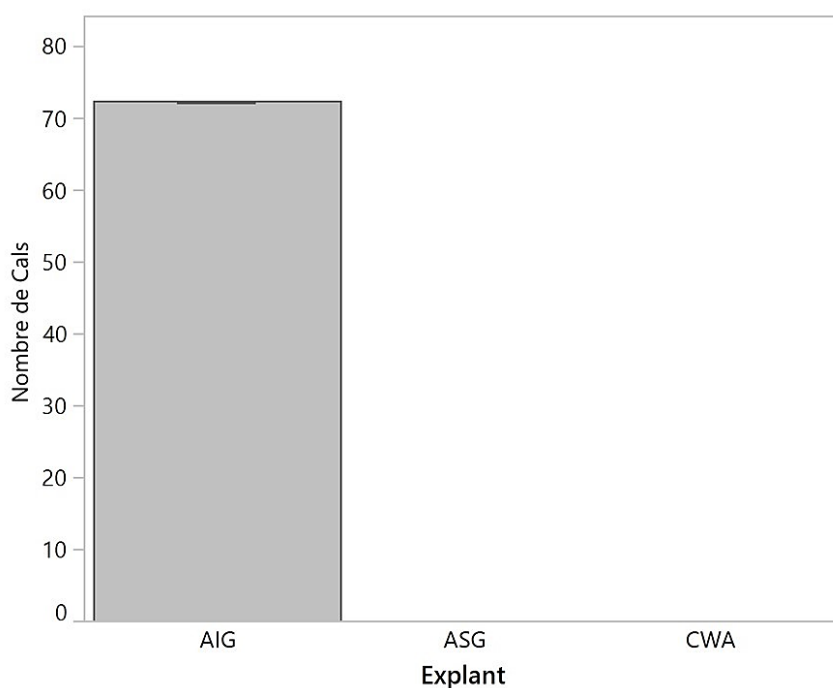
#### 3.2.2.1 Effet explant :

Le test de probabilité (*test G*) (Tableau 35), a permis de mettre en évidence l'effet significatif de l'explant sur la callogenèse. On remarque aussi que seuls les explants de type AIG ont pu produire des cals (72 pour 156 explants mis en culture) par rapport aux autres types d'explants (Figure 96 ; Tableau 58- Annexe 16).

**Tableau 35** : Test de probabilité (*test G*).

Niveau	Dénombrement	Prob. Estimée	Prob. de l'erreur standard	Prob. de référence	Prob. Cumulée
AIG	72	1	0	0,3333	1
ASG	0	0	0	0,3333	1
CWA	0	0	0	0,3333	1
Total	72	1	0	1	1

Test	Khi deux	Degrés de liberté	Prob. > khi deux
Test G	158,20	2	<,0001*



**Figure 96** : Taux de callogenèse produits chez les différents types d'explants.

#### 3.2.2.2 Effet combinaison hormonale :

L'analyse statistique (*test G*) a permis de ressortir un effet significatif ( $P < 0,0001$ ) de la combinaison hormonale sur la réponse (callogenèse) (Tableau 36).

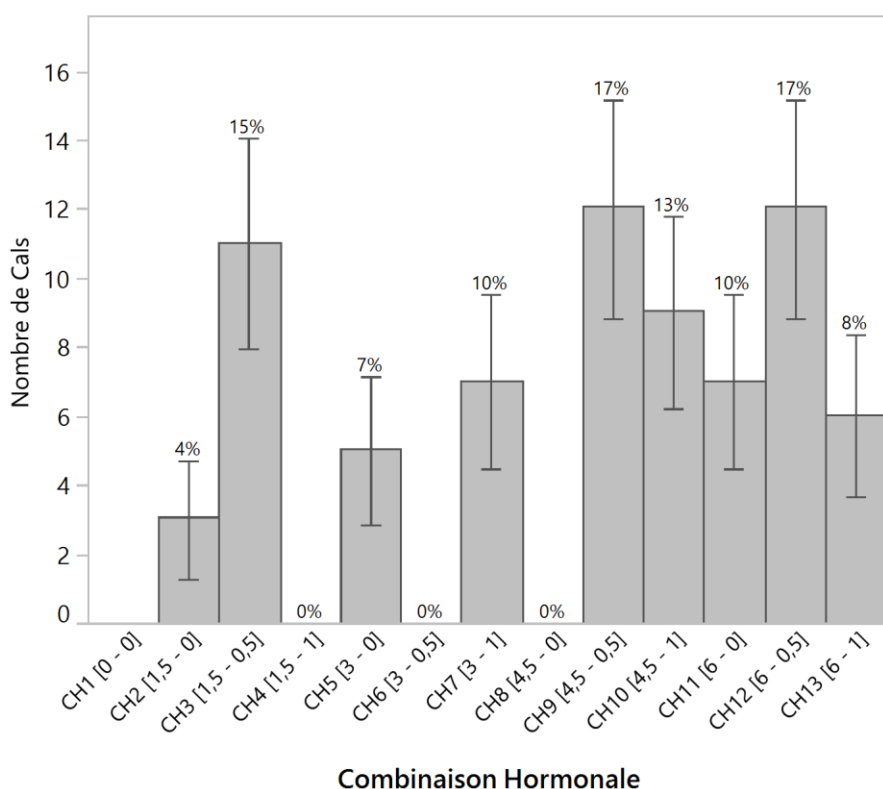
Sur la totalité des cals produits, les combinaisons hormonales CH9 [4,5 - 0,5], CH12 [6 - 0,5] et CH3 [1,5 - 0,5] ont produit la majorité (49%), alors que la CH1 [0 - 0], CH4 [1,5 - 1], CH6 [3 - 0,5] et CH8 [4,5 - 0] n'ont pas pu aboutir à la production des cals (Figure 97).



**Tableau 36** : Test de probabilité (*test G*).

Combinaison Hormonale [BAP - ANA]	Dénombrement	Prob. Estimée	Prob. de l'erreur standard	Prob. de référence	Prob. Cumulée
CH1 [0 - 0]	0	0,0000	0,0000	0,076923077	0,0000
CH2 [1,5 - 0]	3	0,0417	0,0235	0,076923077	0,0417
CH3 [1,5 - 0,5]	11	0,1528	0,0424	0,076923077	0,1944
CH4 [1,5 - 1]	0	0,0000	0,0000	0,076923077	0,1944
CH5 [3 - 0]	5	0,0694	0,0300	0,076923077	0,2639
CH6 [3 - 0,5]	0	0,0000	0,0000	0,076923077	0,2639
CH7 [3 - 1]	7	0,0972	0,0349	0,076923077	0,3611
CH8 [4,5 - 0]	0	0,0000	0,0000	0,076923077	0,3611
CH9 [4,5 - 0,5]	12	0,1667	0,0439	0,076923077	0,5278
CH10 [4,5 - 1]	9	0,1250	0,0390	0,076923077	0,6528
CH11 [6 - 0]	7	0,0972	0,0349	0,076923077	0,7500
CH12 [6 - 0,5]	12	0,1667	0,0439	0,076923077	0,9167
CH13 [6 - 1]	6	0,0833	0,0326	0,076923077	1,0000
<b>Total</b>	<b>72</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

Test	Khi deux	Degrés de liberté	Prob. > khi deux
Test G	63,765	12	<.0001*



**Figure 97** : Nombre de cals produit par combinaison hormonale chez les explants de type AIG.

### 3.2.3 Prédiction de la combinaison hormonale optimale auxine / cytokinine :

Seuls les résultats des explants (AIG) ont été utilisés pour la micropropagation. L'optimisation de cette phase visait à maximiser les réponses, et cela en identifiant les meilleures combinaisons ANA / BAP.

À l'aide du profileur de prédiction, nous avons pu déduire la combinaison hormonale optimale de 5,3 mg/L BAP et 0,59 mg/L ANA comme étant celle qui a produit le taux de caulogénèse le plus élevé (71,74%), tandis que le taux de callogénèse le plus élevé de 94,45% a été obtenu dans le milieu à combinaison hormonale de 6 mg/L de BAP et 0,59 mg/L d'ANA (Figure 98).

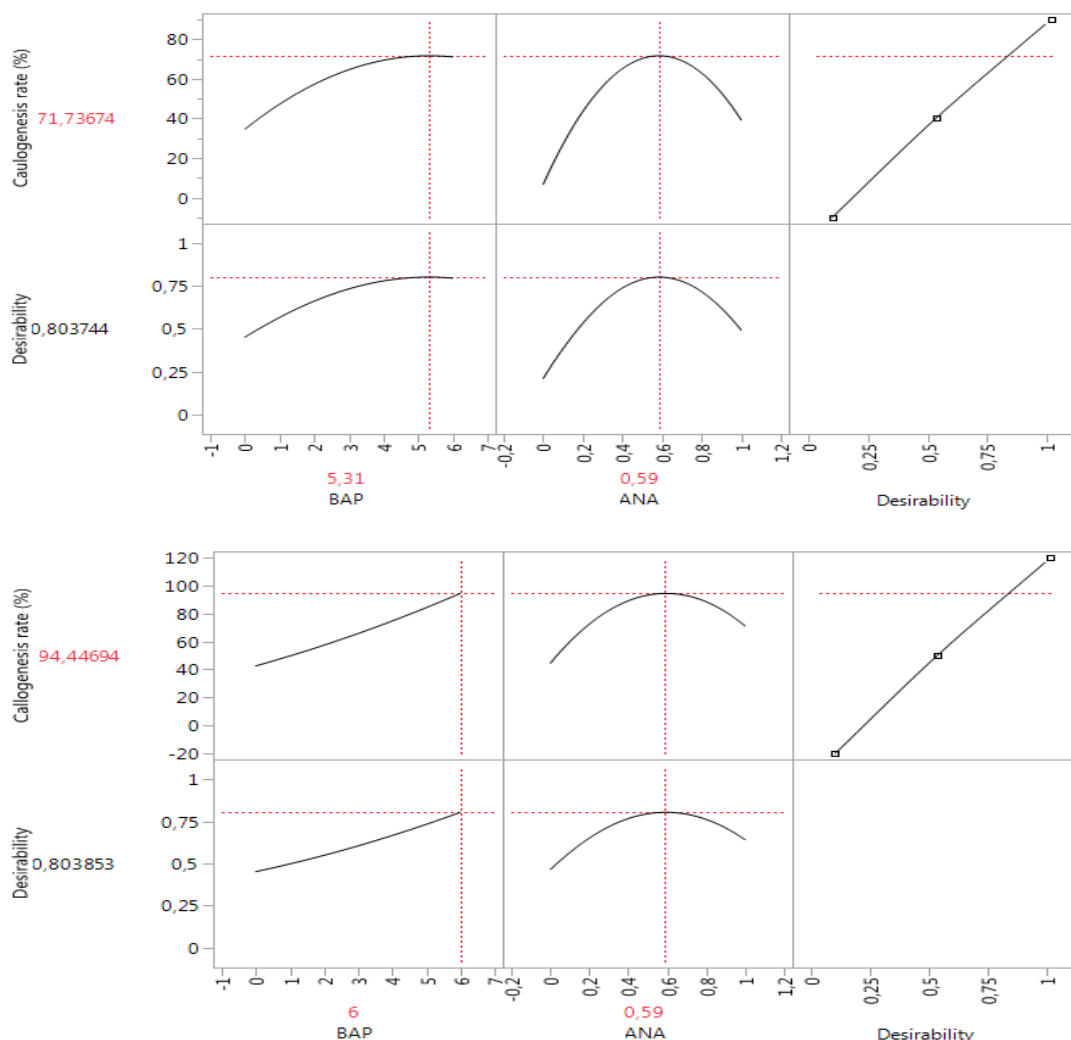


Figure 98 : Profileur prédictif des meilleures combinaisons hormonales d'ANA et de BAP (culture primaire) pour une réponse optimale.

### 3.3 Phase de la culture primaire optimisée :

#### 3.3.1 Effet de la combinaison, de la saison et de l'espèce :

L'étude des effets de la combinaison, saison et espèce dans cette partie sera limitée pour le paramètre de débourrement.

##### 3.3.1.1 Taux de réussite et taux de callogénèse :

En culture primaire optimisée (Tableau 59 - Annexe 17), pour toutes saisons, toutes espèces confondues, le taux de réussite le plus élevé a été enregistré pour la combinaison (0.4/5)

avec un taux de 94,12%. Le nombre de cals le plus important a été retenu pour la combinaison (0.8/4.5) avec un nombre de 35 cals soit un taux de 68,63%.

Pour la saison automne-hiver et pour toutes espèces confondues, le taux de réussite le plus élevé a été marqué pour la combinaison (0.6/4.5) avec un taux de 90,48%. La combinaison (0.4/4.5) a permis d'obtenir la valeur la plus grande en nombre de cals (19) soit un taux de 90,48%. Tandis qu'en saison printemps-été, le meilleur taux de réussite a été enregistré pour les combinaisons (0/4.5) et (0.8/4.5) avec un taux de 100%, la combinaison (0.4/5) a permis d'obtenir un nombre de 29 cals, soit un taux de 96,67%.

Pour l'espèce *Opuntia ficus indica*, en saison automne-hiver, le meilleur taux de réussite a été enregistré pour la combinaison (0.4/5) avec un taux de 91,67%. La combinaison (0.4/4.5) a permis d'obtenir la meilleure production en cals (16) soit un taux de 133,33%. Alors que du côté de l'espèce *Opuntia megacantha*, pour la même saison, un taux de réussite de 100% a été noté pour la combinaison (0.6/4.5). Quant au nombre de cals les combinaisons (0.4/0), (0.6/4.5) et (0/6) ont permis la production de (3) cals soit un taux de 33,33%.

Chez l'espèce *Opuntia ficus indica*, en saison printemps\_été, le meilleur taux de réussite (100%) a été enregistré pour les combinaisons (0/0), (0.6/0), (0/4.5), (0.8/4.5), (0/5), (0.6/5). La combinaison (0.8/4.5) a permis d'obtenir la meilleure production en cals (22) soit un taux de 146,67%. Cependant chez l'espèce *Opuntia megacantha*, pour la même saison, un taux de réussite (100%) a été noté pour les combinaisons (0.8/0), (0/4.5), (0.8/4.5), (0.4/5), (0.8/5). La combinaison (0.4/5) a permis d'obtenir un nombre de 22 cals, soit un taux de 146,67%.

### 3.3.1.2 Le débourrement :

L'analyse statistique (*test G*) des différents facteurs étudiés (Tableau 37), a permis de révéler un effet hautement significatif ( $P < 0,0001$ ) de la combinaison hormonale, de la saison et de l'espèce sur le débourrement.

**Tableau 37** : Analyse statistique des différents facteurs étudiés.

Effet	Test	Nombre d'observations	Degrés de liberté	G	Prob. > khi deux
Combinaison Hormonale	Test G	817	19	153,587	<,0001*
Saison	Test G	817	1	111,822	<,0001*
Espèce	Test G	817	1	25,166	<,0001*

#### 3.3.1.2.1 La combinaison hormonale :

D'après les résultats obtenus dans le tableau 59 - annexe 17 ; figure 99, le meilleur débourrement a été obtenu chez la combinaison hormonale (0,4/4,5) suivi de (0,4/5) avec le débourrement respectif de 26 et 24 explants sur 51 explants au total mis en culture, avec un

pourcentage de 60,5% et 50% d'explants débourrés. Tandis que les combinaisons (0.8/0), (0.4/5.5) n'ont pas permis la production de bourgeons.

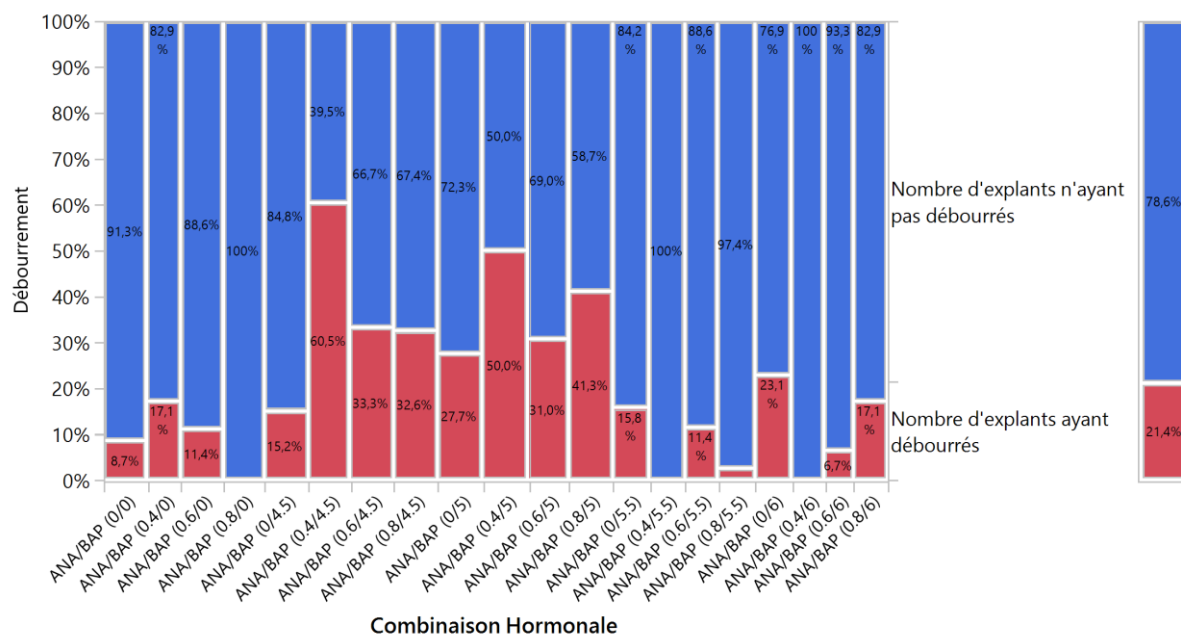


Figure 99 : Analyse de contingence de débourement par combinaison hormonale.

3.3.1.2.2 La saison :

Suite aux résultats obtenus dans le tableau 59 - annexe 17 ; figure 100. Sur l'ensemble des explants, et pour toute saison confondue, le nombre d'explants ayant débourés est de 21,4%, contrairement à 78,6% des explants restants. La saison printemps\_été a permis le débourement de 33,3% des bourgeons, alors que dans la saison automne\_hiver le taux de débourement n'est que de 4,7%.

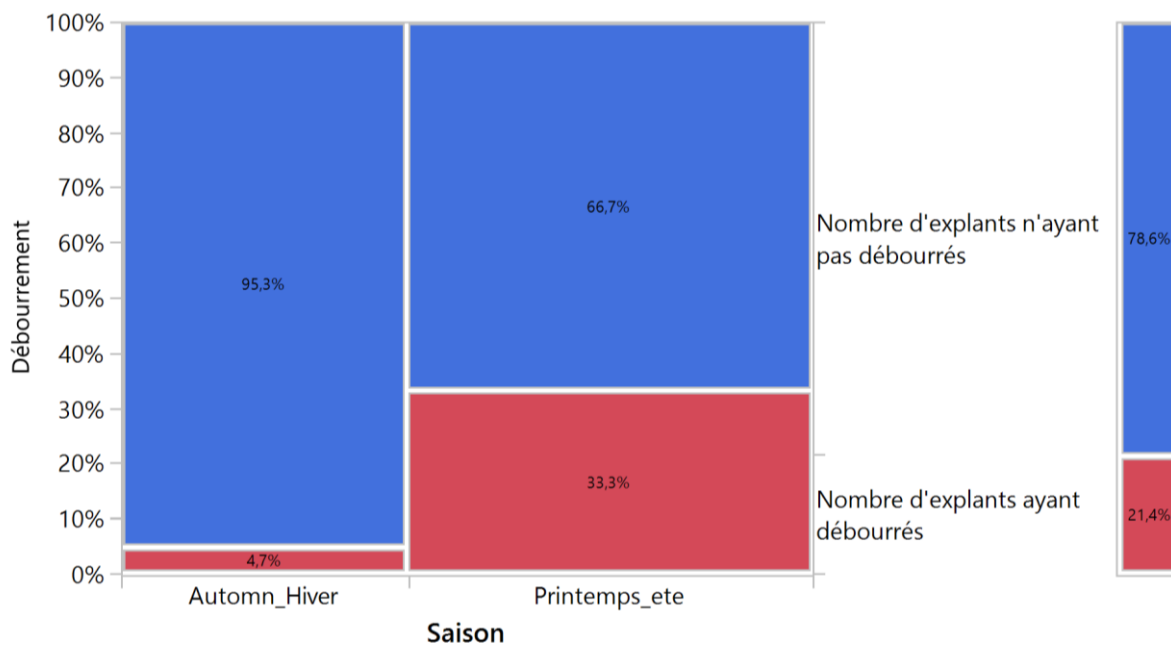


Figure 100 : Analyse de contingence de débourement par saison.

3.3.1.2.3 L'espèce :

À partir des résultats obtenus dans le tableau 59 - annexe 17 ; figure 101, on constate que 28,5% des explants d'*Opuntia megacantha* ont pu débourrer, alors que à *Opuntia ficus indica* n'a pu débourrer que 14,3% de ses explants.

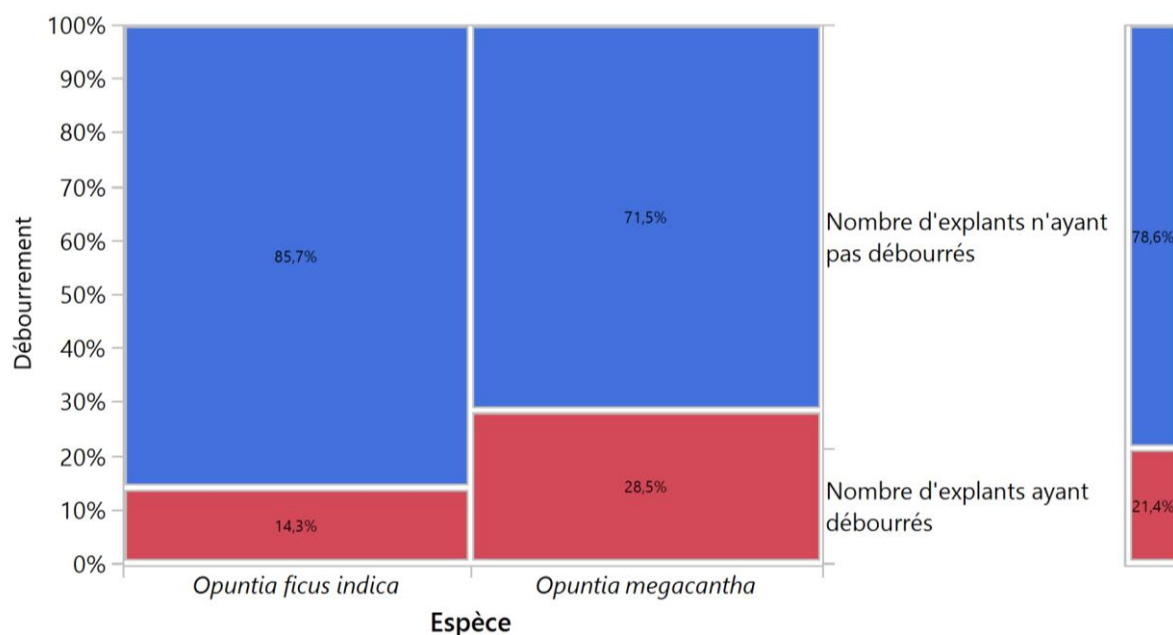


Figure 101 : Analyse de contingence de débourrement par espèce.

3.4 Phase de subculture :

3.4.1 Effet de l'espèce, l'hormone et la partie d'explant :

L'analyse de la variance a été utilisée pour dévoiler les effets des différents facteurs sur les paramètres étudiés (Tableau 38). L'analyse a montré que non seulement la présence ou l'absence de l'hormone a un effet hautement significatif ( $P < 0,0001$ ) sur le taux de débourrement, mais aussi un effet très hautement significatif sur le degré d'enracinement des explants. Cependant, leur interaction n'a pas montré d'effet significatif pour les 2 paramètres étudiés.

Tableau 38 : Analyse de la variance (ANOVA) des paramètres mesurés, en fonction de l'espèce, l'hormone et la partie d'explant et leur interaction.

Source	Degrés de liberté	Somme des carrés	
		Taux de débourrement (%)	Degrée d'enracinement
Espèce	1	373,46 <sup>ns</sup>	2,84*
Hormones	1	9336,42**	12,72***
Espèce*Hormones	1	373,46 <sup>ns</sup>	0,005 <sup>ns</sup>
Partie explant	2	1876,54 <sup>ns</sup>	8,42**
Espèce*Partie explant	2	691,36 <sup>ns</sup>	0,95 <sup>ns</sup>
Hormones*Partie explant	2	691,36 <sup>ns</sup>	1,31 <sup>ns</sup>
Espèce*Hormones*Partie explant	2	1876,54 <sup>ns</sup>	2,75 <sup>ns</sup>
Modèle	11	15154,32*	41,07***
Erreur	78	46388,89	51,55
Total corrigé	89	61543,21	92,62

\* : Significatif ; \*\* : Hautement significatif ; \*\*\* : Très hautement significatif ; ns : non significatif, au seuil 5%.



### 3.4.1.1 La présence ou absence de l'hormone :

Chez le témoin sans hormones, le taux de débourrement est de 66,67%, alors que l'ajout de l'hormone influence de manière positive cette production, puisque le taux de débourrement est passé à 92,12%. La même remarque a été faite pour le nombre moyen de racines par vitroraquettes, puisqu'on a noté une moyenne respective de 2,58 et 1,63 racines pour celui avec l'hormone et le témoin (Tableau 39).

### 3.4.1.2 Les parties des explants :

Le tableau 39 met en évidence une hétérogénéité dans la production des différentes parties des explants mis en culture. Ainsi, pour toutes espèces et tout hormones confondues, et sur 90 explants mis en culture pour les différentes parties, la partie qui apicale a permis le débourrement de 83 explants, menant à la production de 93 bourgeons au total, suivi de la partie basale 77 et enfin la partie centrale 75 explants débourrés avec une production respective de 81 et 80 bourgeons au total.

### 3.4.1.3 Les espèces :

Pour toutes parties d'explants et hormones confondues, le taux de débourrement chez *OFI* dépasse celui d'*OM* respectivement de 81,94% et 76,85% (Tableau 39). De même, pour le nombre de bourgeons produits au total, en présence d'hormone, 116 bourgeons ont pu débourrés chez *OFI*, pour seulement 102 pour *OM*. A noter que ce nombre est équitable pour le témoin.

### 3.4.2 Le coefficient de multiplication :

Chez le témoin sans hormones, le nombre de fragments ayant débourrés est de 18 menant à produire 18 bourgeons. Cela conduit à déduire un coefficient de multiplication global par rapport à une vitro raquette mis en culture au départ de (6) pour *Opuntia ficus indica* et de (6,01) pour *Opuntia megacantha*.

En ajoutant les hormones, on remarque que pour *Opuntia ficus indica*, le coefficient de multiplication global par rapport à une vitro raquette mise en culture au départ s'est élevée à 9,67, réparti à 3,5, 3,17 et 3 respectivement pour les parties apicales, centrales et basales. Aussi pour *Opuntia megacantha*, dont le coefficient de multiplication global par rapport à une vitro raquette mise en culture au départ est de 8,5, réparti à 3,08, 2,67 et 2,75 respectivement pour les parties apicales, centrales et basales (Tableau 39).

**Tableau 39 :** Moyennes des paramètres étudiés en fonction de l'espèce, l'hormone et la partie d'explant. Valeur en moyenne ( $\pm$ erreur standard).

Espèces	Hormones	Partie explant	Nombre de vitro raquettes fragmentées mises en culture	Nombre d'explants (fragments) obtenu après fragmentation de vitroraquettes	Taux de débournement (%)	Nombre de fragments ayant débourrés	Nombre de Bourgeons produits au total	Nombre moyen de bourgeons par fragment mis en culture	Coefficient de multiplication par rapport à une vitro raquette mis en culture au départ	Nombre moyen de racines par vitro raquettes
<i>Opuntia ficus indica</i>	Avec Hormones	Apicale	12	36	97,22 $\pm$ 2,78	35	42	1,19 $\pm$ 0,05	3,5	3,58 $\pm$ 0,22
<i>Opuntia ficus indica</i>	Avec Hormones	Centrale	12	36	97,22 $\pm$ 2,78	35	38	1,08 $\pm$ 0,06	3,17	2,40 $\pm$ 0,12
<i>Opuntia ficus indica</i>	Avec Hormones	Basale	12	36	97,22 $\pm$ 2,78	35	36	1,03 $\pm$ 0,03	3	2,39 $\pm$ 0,20
<b>Tout</b>	<b>Tout</b>	<b>Tout</b>	<b>36</b>	<b>108</b>	<b>97,22<math>\pm</math>2,78</b>	<b>105</b>	<b>116</b>	<b>1,1<math>\pm</math>0,04</b>	<b>9,67</b>	<b>2,79<math>\pm</math>0,16</b>
<i>Opuntia megacantha</i>	Avec Hormones	Apicale	12	36	94,44 $\pm$ 5,56	34	37	1,08 $\pm$ 0,04	3,08	3,06 $\pm$ 0,40
<i>Opuntia megacantha</i>	Avec Hormones	Centrale	12	36	83,33 $\pm$ 11,24	30	32	0,89 $\pm$ 0,13	2,67	2,24 $\pm$ 0,14
<i>Opuntia megacantha</i>	Avec Hormones	Basale	12	36	83,33 $\pm$ 11,24	30	33	0,92 $\pm$ 0,14	2,75	1,81 $\pm$ 0,28
<b>Tout</b>	<b>Tout</b>	<b>Tout</b>	<b>36</b>	<b>108</b>	<b>87,03<math>\pm</math>9,34</b>	<b>94</b>	<b>102</b>	<b>0,96<math>\pm</math>0,10</b>	<b>8,5</b>	<b>2,37<math>\pm</math>0,27</b>
<b>Total</b>			<b>72</b>	<b>216</b>	<b>92,12<math>\pm</math>6,06</b>	<b>199</b>	<b>218</b>	<b>1,03<math>\pm</math>0,07</b>	<b>9,08</b>	<b>2,58<math>\pm</math>0,16</b>
<i>Opuntia ficus indica</i>	Sans Hormones	Apicale	3	9	88,89 $\pm$ 11,11	8	8	1,00 $\pm$ 0,00	2,67	2,11 $\pm$ 0,31
<i>Opuntia ficus indica</i>	Sans Hormones	Centrale	3	9	55,56 $\pm$ 11,11	5	5	1,00 $\pm$ 0,00	1,67	2,17 $\pm$ 0,44
<i>Opuntia ficus indica</i>	Sans Hormones	Basale	3	9	55,56 $\pm$ 11,11	5	5	1,00 $\pm$ 0,00	1,67	1,33 $\pm$ 0,33
<b>Tout</b>	<b>Tout</b>	<b>Tout</b>	<b>9</b>	<b>27</b>	<b>66,67<math>\pm</math>11,11</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>1,00<math>\pm</math>0,00</b>	<b>6,01</b>	<b>1,87<math>\pm</math>0,36</b>
<i>Opuntia megacantha</i>	Sans Hormones	Apicale	3	9	66,67 $\pm$ 19,25	6	6	1,00 $\pm$ 0,00	2	1,83 $\pm$ 0,17
<i>Opuntia megacantha</i>	Sans Hormones	Centrale	3	9	55,56 $\pm$ 11,11	5	5	1,00 $\pm$ 0,00	1,67	0,78 $\pm$ 0,40
<i>Opuntia megacantha</i>	Sans Hormones	Basale	3	9	77,78 $\pm$ 11,11	7	7	1,00 $\pm$ 0,00	2,33	1,61 $\pm$ 0,45
<b>Tout</b>	<b>Tout</b>	<b>Tout</b>	<b>9</b>	<b>27</b>	<b>66,67<math>\pm</math>13,82</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>1,00<math>\pm</math>0,00</b>	<b>6,00</b>	<b>1,40<math>\pm</math>0,34</b>
<b>Total</b>			<b>18</b>	<b>54</b>	<b>66,67<math>\pm</math>12,46</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>1,00<math>\pm</math>0,00</b>	<b>6,00</b>	<b>1,63<math>\pm</math>0,35</b>

### 3.5 Phase du sevrage :

#### 3.5.1 Effet du substrat :

L'analyse de la variance (ANOVA) du taux de réussite en fonction du substrat de sevrage (Tableau 40), a ressorti un effet significatif du substrat sur la réussite.

**Tableau 40** : Analyse de la variance (ANOVA à un facteur) du taux de réussite en fonction du substrat de sevrage.

Source	Degrés de liberté	Somme des carrés	Rapport F	Prob. > F
Modèle	1	3472,22	7,8947	0,0308*
Erreur	6	2638,89		
Total corrigé	7	6111,11		

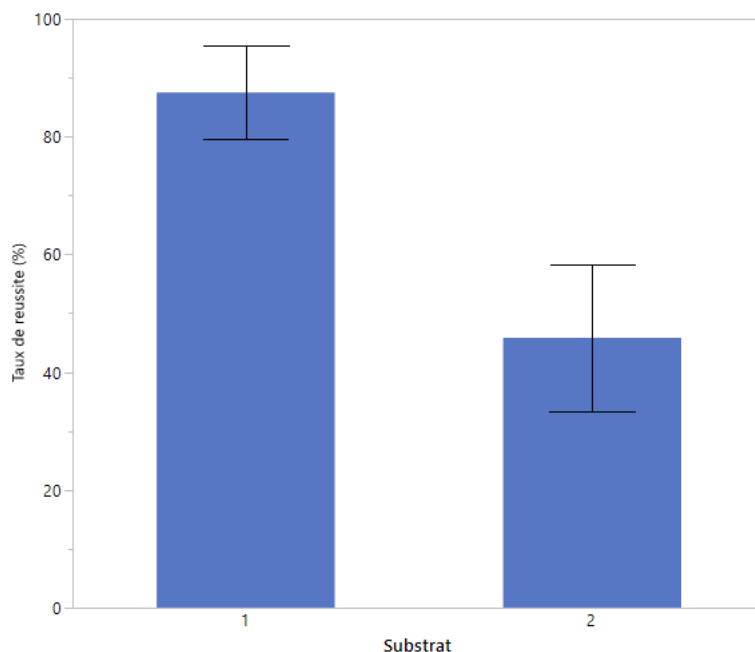
\* : Significatif au seuil 5%.

Ainsi, le substrat 1 permet la reprise de 21 mini-raquettes sevrées soit taux de réussite de 87,50%, alors que le substrat 2 n'a permis de reprendre qu'à 11 mini-raquettes sevrées, soit un taux de réussite de 45,83% (Tableau 41 ; Figure 102), (Tableau 60, Annexe 18).

**Tableau 41** : Moyennes des paramètres étudiés en fonction du substrat de sevrage. Valeur en moyenne ( $\pm$ erreur standard).

Substrat	Nombre de plantules « mini-raquettes » sevrées		Nombre de plantules « mini-raquettes » sevrées ayant repris		Taux de réussite (%)
	Moyenne	Somme	Moyenne	Somme	Moyenne
1	6,00 $\pm$ 0,00	24	5,25 $\pm$ 0,48	21	87,50 $\pm$ 7,98a
2	6,00 $\pm$ 0,00	24	2,75 $\pm$ 0,75	11	45,83 $\pm$ 12,50b
Moyenne / Somme	6,00 $\pm$ 0,00	48	4,00 $\pm$ 0,63	32	66,67 $\pm$ 10,45

Pour chaque paramètre, les moyennes connectées par la même lettre ne sont pas significativement différentes à  $P = 0.05$ . les valeurs sont présentées en moyenne ( $\pm$ Erreur standard).



**Figure 102** : Taux de réussite du sevrage des mini-raquettes en fonction du substrat de sevrage. Valeur en moyenne ( $\pm$ erreur standard).

3.5.2 Effet du type d'irrigation

L'analyse de la variance (ANOVA) du taux de réussite en fonction du type d'irrigation (Tableau 42), a démontré l'effet non significatif du type d'irrigation sur la réussite.

**Tableau 42 :** Analyse de la variance (ANOVA à un facteur) du taux de réussite en fonction du type d'irrigation.

Source	Degrés de liberté	Somme des carrés	Rapport F	Prob. > F
Modèle	1	555,56	0,60	<b>0,4680<sup>ns</sup></b>
Erreur	6	5555,56		
Total corrigé	7	6111,11		

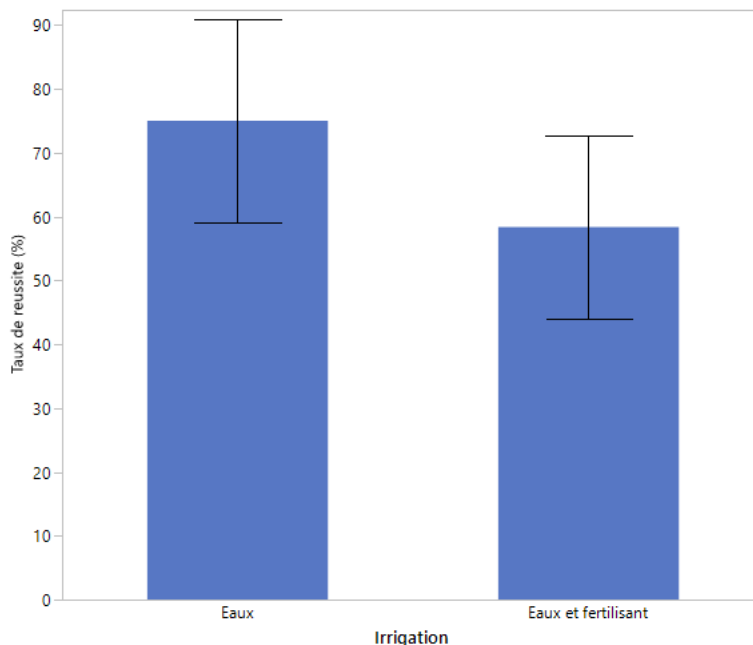
ns : Non-significatif au seuil 5%.

Ainsi, l'irrigation par l'eau seule a permis à 18 mini-raquettes sevrées de reprendre soit un taux de réussite de 75,00%, alors que l'irrigation par l'eau et fertilisant n'a permis qu'à 14 mini-raquettes sevrées de reprendre, soit un taux de réussite de 58,33% (Tableau 43 ; Figure 103), (Tableau 60, Annexe 18).

**Tableau 43 :** Moyennes des paramètres étudiés en fonction du type d'irrigation. Valeur en moyenne ( $\pm$ erreur standard).

Irrigation	Nombre de mini-raquettes sevrées		Nombre de mini-raquettes sevrées ayant repris		Taux de réussite (%)
	Moyenne	Somme	Moyenne	Somme	Moyenne
Eaux	6,00 $\pm$ 0,00	24	4,50 $\pm$ 0,96	18	75,00 $\pm$ 15,96
Eaux et fertilisant	6,00 $\pm$ 0,00	24	3,50 $\pm$ 0,87	14	58,33 $\pm$ 14,43
<b>Moyenne / Somme</b>	<b>6,00<math>\pm</math>0,00</b>	<b>48</b>	<b>4,00<math>\pm</math>0,63</b>	<b>32</b>	<b>66,67<math>\pm</math>10,45</b>

Pour chaque paramètre, les moyennes connectées par la même lettre ne sont pas significativement différentes à  $P = 0.05$ . les valeurs sont présentées en moyenne ( $\pm$ Erreur standard).



**Figure 103 :** Taux de réussite du sevrage des mini-raquettes en fonction du type d'irrigation. Valeur en moyenne ( $\pm$ erreur standard).

### 3.6 Discussion :

La micropropagation est un outil incontournable pour la multiplication végétative et de conservation. Malgré ses avantages, elle reste limitée par des facteurs tels que le génotype et la saison. De plus, la standardisation d'un protocole de désinfection reste un départ primordial pour la réussite de cette technique, et l'addition des phytohormones dans le milieu de culture contrôle le sort des explants vers une orientation désirée (callogenèse et/ou caulogenèse) (**Lema-Rumińska and Kulus, 2014**). Les protocoles de désinfection décrits dans la littérature pour *Opuntias* (**Escobar et al., 1986; Palomino et al., 1999**) sont divers, mais la majorité d'entre eux utilisent 70 % d'éthanol, d'éthanol absolu, de  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  ou d'eau de Javel commerciale. Dans d'autres recherches, **Katja et al. (2003)**, **Aliyu and Mustapha (2007)**, **Khalafalla et al. (2007)**, **Ramirez-Malagon et al. (2007)** et **Ghaffari et al. (2013)**, ont rapporté que l'utilisation de concentrations élevées du désinfectant peut modifier la réponse cellulaire des explants après la stérilisation. Nous avons également essayé le protocole adopté par **Ghaffari et al. (2013)**, en utilisant 5% d'hypochlorite de sodium et 0,1% de tween 20 pendant 15 min pour la désinfection des cladodes d'*Opuntia ficus indica*, mais nous avons perdu ces explants à cause de la nécrose. De même, nous avons testé le protocole de stérilisation utilisé par **Clayton et al. (1990)**, **De Oliveira et al. (1995)**, **Eugenio and Carlos Antonio (2002)**, **Giusti et al. (2002)**, **De Medeiros et al. (2006)**, constitué d'éthanol et de  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  de 0,25 à 6% ; ce protocole nous a permis de constater une nette diminution du taux de contamination, mais le taux de nécrose est resté élevé, allant de 80 à 100%. Ces protocoles exprimaient la non efficacité d'offrir un tissu viable, d'où la nécessité de développer et d'optimiser un protocole de désinfection pour notre laboratoire.

En effet, il a été démontré que l'ajout de quelques gouttes de Tween 20 à une solution désinfectante à base de  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  permettait un meilleur contact de l'agent stérilisant avec les surfaces traitées et protégerait contre les dommages du tissu végétal (**Dabekaussen et al., 1991; Karimi et al., 2010**).

Le problème pour ces protocoles, c'est de trouver la combinaison adéquate pour une désinfection optimale et une viabilité garantie de l'explant. Le plan expérimental (*Experimental design*), nous a permis d'optimiser un protocole de désinfection basé sur les ingrédients suivant  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  et le Tween 20 conjugués avec le temps et le type d'explant, ce dernier constitue la clé de la réussite du protocole de désinfection. En effet, nous avons constaté que les contaminations commençaient toujours au niveau des aréoles, qui hébergent une grande variété de micro-organismes en accord avec ce qui a été rapporté par **García-Saucedo et al. (2005)**, **Gratton and Fay (1999)** et (**El Finti et al., 2012**). Ainsi 3 types d'explants ont été adoptés selon le type d'aréoles [absence, présence et aréoles déchiquetées ; Explant 1 : Cladodes sans



aréoles (CWA), Explant 2 : Aréoles avec glochides déchiquetés (ASG), et Explant 3 : aréoles avec glochides intacts (AIG)], pour mettre en évidence le rôle des glochides dans la préservation du tissu méristématique. De plus, la combinaison des concentrations de désinfection avec la durée d'exposition et donc la productibilité et la régénération de l'explant dans les diverses combinaisons hormonales ont été testées. Les résultats de cette étude ont montré que les concentrations de  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  et Tween 20 obtenues pour les trois types d'explants ont été assez proches. Ils ont varié entre 3,5 et 4,6% pour  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  et de 0,4 à 0,5% pour Tween 20. Les meilleurs résultats de désinfection ont été obtenus en adoptant l'explant 3 (AIG) avec l'utilisation d'une combinaison de désinfection de 4,23%  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  et 0,4% Tween 20 pour une durée de 10 min. Le taux de contamination et de nécrose était presque nul (0,002%) et par conséquent, les explants ont été sains et complètement désinfectés, ceci a été soutenu par **Juárez and Passera (2002)**, qui ont démontré que chez le genre *Opuntia*, l'isolement des aréoles après la désinfection des cladodes entiers, est plus efficace que la désinfection effectuée après l'isolement des méristèmes. L'explant AIG, a donné des résultats très convaincants à partir de la 3<sup>ème</sup> semaine de culture et des vitroplants complets après la 5<sup>ème</sup> semaine, en comparaison avec les résultats de **Ramirez-Malagon et al. (2007)**, **Karimi et al. (2010)**, **El Finti et al. (2012)** et **Ghaffari et al. (2013)**, qui ont estimé un intervalle de réponse de 4 à 12 semaines.

En culture *in vitro*, plusieurs cactus peuvent produire de grandes quantités d'auxines, stimulant ainsi la prolifération callogène, ce qui pourrait inhiber la micropropagation (**Clayton et al., 1990**). La nécrose remarquée les explants cactus, est due à la sécrétion de composés phénoliques et leurs oxydation (**Balch et al., 1998; Vidican, 2012**), ce problème peut être résolu en ajoutant des antioxydants au milieu de culture (**Lema-Rumiska and Kulus, 2014**). Chez les explants ASG et CWA, et puisque le milieu de culture dispose déjà de charbon actif cette hypothèse ne peut avoir lieu, la nécrose dans notre cas peut être traduite par la cytotoxicité du chlore accumulé au niveau des cellules méristématiques à cause de leur exposition directe, mais aussi, au phénomène d'oxydation. A la différence, l'explant AIG met en évidence le rôle des glochides dans la protection et la préservation des tissus méristématiques contre les dommages causés par les désinfectants, ainsi plusieurs auteurs ont cité l'utilisation d'aréoles intactes lors de la désinfection tels que **Monostori et al. (2010)** et **Viñas et al. (2012)**.

La production des bourgeons et/ou des cals reste limitée par le choix de la combinaison hormonale tel rapporté par **Bustamante and Heras (1990)**, **Feng et al. (2000)** et **Rosas et al. (2001)**, qui ont conclu que l'application d'une combinaison de BAP et d'ANA à différentes concentrations était un facteur limitant pour la formation des pousses. Dans notre étude, plusieurs combinaisons hormonales ont été testées, seule la combinaison hormonale 5,3 mg/L BAP et 0,59 mg/L ANA ressortie à travers le profileur de prédiction lors de la culture primaire,

peut conduire à la meilleure réponse, permettant ainsi la formation d'un grand nombre de pousses chez *Opuntia ficus indica*. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par **Jaiswal and Amin (1987)**, **Martínez-Vázquez and Rubluo (1989)**, **Mohamed-Yasseen et al. (1995)**, **De Medeiros et al. (2006)**, **Khalafalla et al. (2007)**, **Estrada-Luna et al. (2008)** et **El Finti et al. (2012)**. Par ailleurs, le plan d'expériences nous a permis non seulement de réduire l'intervalle de la combinaison hormonale adéquate, mais aussi, de minimiser le coût par l'utilisation d'un nombre limité des essais. Dans cette phase, nous avons mis en évidence l'effet significatif de la saison, l'espèce et de la combinaison hormonale sur la production des bourgeons ainsi que des cals, tels rapportés par **Guettouchi et al. (2011)**, **Hammami et al. (2016)**, **Prasad and Chaturvedi (1988)**, **Das and Mitra (1990)** et **Martini et al. (2013)**.

Ainsi, en phase de la culture primaire optimisée, chez les 2 espèces mises en expérimentation, la saison printemps-été a donné la meilleure production des bourgeons 33,3%, par rapport à la saison automne-hiver qui n'a permis que le débourrement de 4,7% des bourgeons. L'espèce *Opuntia ficus indica* a montré une meilleure aptitude pour le débourrement et la callogenèse pendant la saison automne-hiver, au contraire de l'espèce *Opuntia megacantha*. Ceci met en évidence l'interaction entre le génotype et la saison de culture et la concordance de nos résultats avec ceux de **Papafotiou et al. (2001)** et **Karimi et al. (2012)**. Les résultats obtenus ont démontré que pour avoir une meilleure productivité en bourgeons pendant la saison automne-hiver chez l'espèce *Opuntia ficus indica*, on devra appliquer une combinaison de 0,4 mg/L ANA et 4,5 mg/L BAP, tandis que pour *Opuntia megacantha*, la production optimale a été enregistrée en appliquant la combinaisons 0 mg/L ANA et 5,5 mg/L BAP. La saison printemps-été a favorisé la production des bourgeons chez les 2 espèces, puisque la combinaison 0,4 mg/L ANA et 4,5 mg/L BAP, a permis le débourrement de 11 explants, menant à produire 14 bourgeons produits au total chez *O.F.I*. Tandis que pour *OM* la combinaison 0,8 mg/L ANA et 5 mg/L BAP, a permis le débourrement de 15 explants, produisant ainsi 17 bourgeons au total. Ceci concorde parfaitement avec l'hypothèse selon laquelle, l'utilisation de la cytokinine BAP à haute concentration (4,5 à 5 mg/L) en combinaison avec ANA à faible concentration (0,1 à 0,8 mg/L) engendre une meilleure synergie qui augmenterait les processus métaboliques menant à la formation d'un grand nombre de pousses (**Sawsan et al., 2005**). Ainsi les cytokinines telle que la BAP jouent un rôle crucial dans le développement des bourgeons axillaires chez plusieurs espèces, et plus spécifiquement chez les cactacées (**Dabekaussen et al., 1991**; **Khalafalla et al., 2007**; **El Finti et al., 2012**). En se basant sur ces résultats, une combinaison hormonale commune et adéquate pour une meilleure productivité des deux espèces de « 0,4 mg/L d'ANA et 4,5 mg/L de BAP » a été estimée, permettant ainsi de minimiser le coût et le temps, tout en perfectionnant le débourrement.

En phase de subculture, pour les fragments découpés en se basant sur le géotropisme (apicale, centrale et basale) des explants, et mis en culture sur milieu avec ou sans la combinaison hormonale estimée, on a déduit alors, que chez le témoin sans hormones chez *OM* la partie basale a donné plus de bourgeons que les autres parties avec un taux de 77,78%. Alors que chez *OFI*, la partie apicale a montré un débourrement avantageux par rapport aux autres parties en produisant un taux de 88,89%. Ainsi pour les deux espèces le nombre de fragments ayant débourrés est de 18 menant à produire 18 bourgeons avec une moyenne de 1 bourgeon par explant débourré. Ceci présume que la teneur en hormones endogène diffère d'une espèce à une autre, et d'une partie de la plante à une autre (**Hopkins, 2003**). L'ajout des hormones a permis de stimuler de manière positive la production de bourgeons chez les 2 espèces, puisque chez *OFI*, le taux de débourrement s'est élevé à 97,22% pour toutes parties confondues, avec un débourrement total de 105 fragments soit une moyenne de 35 fragments pour chaque partie. Ces derniers ont pu produire au total 116 bourgeons, réparties en 42 pour la partie apicale, 38 bourgeons pour la partie centrale et 36 bourgeons pour la partie basale. De même chez *OM*, le taux de débourrement a connu un accroissement puisqu'il a enregistré pour toutes parties confondues 87,03%, avec un débourrement total de 94 fragments soit une moyenne de 31 fragments pour chaque partie. Le nombre de bourgeons produits au total est de 102 bourgeons répartis en 37 bourgeons pour la partie apicale, 32 bourgeons pour la partie centrale et 33 bourgeons pour la partie basale. Ceci démontre clairement le rôle des hormones dans l'amélioration du taux de débourrement des cactus *Opuntias* (**Escobar et al., 1986; Ault and Blackmon, 1987; Clayton et al., 1990; Mohamed-Yasseen et al., 1995; Aliyu and Mustapha, 2007; Desfayes, 2007b; Khalafalla et al., 2007; Serrano and da Silva, 2008; El Finti et al., 2012; Lema-Rumiska and Kulus, 2014; Pérez-Molphe-Balch et al., 2015; Badreddine, 2020**), ces résultats ne sont pas spécifiques pour les cactacées, mais c'est le cas aussi pour d'autres espèces, comme rapporté par **El Kbiach et al. (2002)** pour l'espèce *Quercus suber L.*, **Sadek and Ykhlef (2018)** pour *Solanum tuberosum L.*, ainsi que (**Lelu et al., 1987**) pour *Picea abies (L.) Karst.*.

Le paramètre le plus important de cette partie est le coefficient de multiplication, pour le témoin sans hormones, le coefficient de multiplication global par rapport à une *vitro* raquette mis en culture au départ est de 6 pour *Opuntia ficus indica* et de 6,01 pour *Opuntia megacantha*. Avec l'ajout de l'hormone, le coefficient de multiplication global a progressé afin d'atteindre 9,67 et 8,5 respectivement pour *OFI* et *OM*. Sachant bien que le nombre d'aréoles chez *OFI* et *OM* est d'environ 150 aréoles en moyenne par cladode (**Desfayes, 2007b; Badreddine, 2020**), le nombre de bourgeons qu'on peut produire est de 150 bourgeons en culture primaire, si on suppose que chaque aréole produira 1 bourgeon en moyenne. Ensuite, en passant à la subculture

1 et en considérant que le coefficient de multiplication global est de 9,67 et 8,5 respectivement pour *OFI* et *OM*, ajoutant à cela que le taux de sevrage est de 100%, et que la durée de la culture primaire ainsi que de la subculture est de 10 semaines, cela mènera à estimer une production de 1450 plants pour *OFI* et 1275 plants pour *OM*. Ce nombre augmentera de manière exponentielle au fur et à mesure qu'on avance les subcultures et en stabilisant le coefficient de multiplication. Donc avec des moyens humains et matériels bien appropriés (laboratoire de production, chambre de culture, serre de production, personnels qualifiés), on pourra bien aboutir à la production d'un nombre de 12.678.211 plants pour *Opuntia ficus indica* et 6.655.236 plants pour *OM* pour une durée de 50 semaine soit la durée d'une année, et cela à partir d'une seule raquette. Avec l'utilisation de plusieurs raquettes, cela aboutira à produire des milliers de plants annuellement, qui seront saines, exemptes d'agents pathogènes (**Johnson and Emino, 1979; Smith et al., 1991**) et génétiquement stables (**Potter and Jones, 1991**). En comparant nos résultats avec la production naturelle du cactus, en phénologie et en première année de production, la meilleure production était de 16 bourgeons végétatifs en moyenne par pied, et en 6<sup>ème</sup> année la meilleure production était de 88 bourgeons végétatifs en moyenne par pied. Ceci démontre clairement le progrès considérables par rapport aux méthodes traditionnelles de multiplication avec un taux de multiplication élevé allant de 100 à 1000 fois (**Ochatte, 2005**).

Sur milieu sans hormones et chez *Opuntia ficus indica* toutes les parties d'explants confondues, le nombre moyen de racines par vitro raquettes est de 1,87. Soulignons que la partie centrale a montré une capacité élevée de production de racines par rapport aux parties apicales et basales avec un nombre moyen de racines par vitro raquettes de  $2,17 \pm 0,44$ . Chez *Opuntia megacantha* le nombre moyen de racines par vitro raquettes est de 1,40, la partie apicale a enregistré une moyenne de  $1,83 \pm 0,17$ , et a montré une aptitude à produire plus de racines que la partie centrale et basale. Ceci peut être expliqué par la différence de la teneur endogène en phytohormones (**Hopkins, 2003**). L'ajout de la combinaison hormonal (0,4 mg/L d'ANA et 4,5 mg/L de BAP) a augmenté significativement cette capacité. Pour toutes parties d'explants, le nombre moyen de racines par vitro raquettes est de 2,79 et 2,37 respectivement pour *OFI* et *OM*. Cependant, les parties apicales des deux espèces ont montré une capacité de production de racines par rapport aux autres parties, Ceci pourra être expliqué par le niveau élevé d'auxines endogènes chez les *Opuntia* spp., mais aussi chez d'autres espèces tels que *Cephalocereus senilis*, *Coryphantha elephantiden*. Ce facteur permet d'éliminer ainsi la nécessité d'un milieu d'enracinement et permet de réduire les coûts et les délais de production (**Clayton et al., 1990; Bhau, 1999; Choreño-Tapia et al., 2002; El Finti et al., 2012**). D'autres études réalisées par **Monteuuis and Bon (1987)** sur d'autres espèces forestière tels que *Sequoiadendron giganteum* *Buchholz*, ont cité que l'addition de charbon actif dans le milieu de culture peut favoriser

l'enracinement spontané des vitroplants forestiers en l'absence de quelconque régulateur de croissance. Cette hypothèse peut aussi favoriser l'enracinement des cactus mis en cultures, mais reste à prouver chez les cactacées.

Par ailleurs, l'étape d'acclimatation est une étape clé pour la réussite du sevrage, les vitroplants peuvent souffrir d'un stress biotique et/ou abiotique puisqu'ils étaient élevés sur des milieux riches en sucres dans lesquels ils profitent des nutriments mis à leur disposition (**Boxus et al., 1995**). D'autres études réalisées par **Resende et al. (2010)** sur l'effet du substrat et de l'acclimatation sur l'enracinement des produits issus de la micropropagation chez *Melocactus glaucescens*, ont révélé que le meilleur substrat devrait être constitué de 50% de terre et 50% de sable, alors que d'autres études ont mentionné un ratio de la terre de jardin autoclavée et du sable au rapport 3 : 1 (**Khalafalla et al., 2007**), alors que **Sawsan et al. (2005)** ont reporté que tous les vitroplants issus de la culture *in vitro* de *Cereus peruvianus. L* ont montré une capacité de survie plus élevée (100%) lorsqu'ils ont été transplantés sur tourbe, sable ou une combinaison entre eux à la proportion de 1 : 1 (v / v). Spécifiquement pour les cactus, notre étude nous a permis de tester plusieurs modes de sevrage comprenant plusieurs substrats avec différents modes d'arrosage, les résultats obtenus ont montrés que le meilleur substrat à utiliser est le substrat 1 puisqu'il a permis la reprise de 21 mini-raquettes sevrées soit taux de réussite de 87,50%. Du côté de l'irrigation, celle exercé par l'eaux seule, a permis la reprise de 18 de mini-raquettes, soit taux de réussite de 75,00%. Et afin de ressortir une combinaison adéquate de sevrage menant à la reprise de 100% des plantules cette formule sera composée du substrat 1 A (1/5 terreau forestier, 1/5 sable, 3/5 sol de la région) combiné à l'arrosage par l'eau seule.

En cause des ravagement et dégâts causés par la cochenille à l'échelle national (**Sbaghi et al., 2019**), et vue la forte demande sur les plants de cactus, et le besoin intense de repeupler le paysage dans les zones arides et semi-arides du Maroc, et comme la multiplication par les méthodes traditionnelles classiques nécessitera beaucoup de biomasse et de temps, le passage ainsi à la culture *in vitro* permettra sans aucun doute, de garantir, en un temps court, la production d'un nombre illimités de plants saines et ayant des caractéristiques fortement recherchées (résistance, production). De plus, la création d'une banque de gènes assurera la préservation du patrimoine génétique existant contre l'extinction, et la stabilité génétique de leurs descendances (**Potter and Jones, 1991; Lema-Rumiska and Kulus, 2014**).



**CONCLUSION  
ET  
PERSPECTIVES**

Les travaux réalisés dans le cadre de cette thèse ont été consacrés à la caractérisation et la valorisation du germoplasme national du cactus de point de vue agronomique et phénologique, à l'étude et l'évolution spatiotemporelle du couvert végétal à base de peuplements de cactus dans la région de Rhamna et à la multiplication *in vitro* d'*Opuntia* spp (Micropropagation). Tels sont les objectifs que nous nous sommes fixés.

L'étude phénologique des écotypes installés dans le cactétum Ain Nzagh, à l'INRA-CRRA de Settat a mis en évidence un comportement très hétérogène des différents écotypes. Deux espèces parmi les sept du cactétum, se sont distinguées en production de bourgeons indéterminés, végétatifs et fructifères : K2 d'*Opuntia megacantha* suivi de I2 d'*Opuntia ficus indica*. Pour la biomasse (production en matière verte et sèche), l'écotype 742 d'*Opuntia ficus indica*, a montré une bonne production par rapport aux autres, en révélant en MV et MS une moyenne respective de 1781,37 g et 151,27 g.

La contribution de la télédétection spatiale et des SIG dans l'étude et l'évolution spatiotemporelle des plantations de cactus dans la région de Rhamna, a permis d'évaluer la superficie réellement plantée par les cactus en 2014 et ravagée par la cochenille en 2020. En effet, la superficie qui s'élevait à 23.326 Ha, réparties en 21.199 Ha de plantation à moyenne densité et 2.127 Ha à haute densité, répandues sur toutes les communes territoriales de la province (23 communes) en 2014 est passée à 267 Ha en 2020, a été réduite à seulement 10 communes dont 27 Ha à haute densité et 240 Ha moyennement dense, soit une perte annuelle de 230.590.000 MAD.

Dans le dernier chapitre, après avoir déterminé une solution adéquate de désinfection (4,23%  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  et 0,4% Tween 20, 10min) et le type d'explant (AIG) qui garantit une viabilité, nous avons réalisé ensuite une série d'expérimentations de culture *in vitro* en fonction de la saison, de l'espèce, de la combinaison hormonale et de géotropisme. Ces études nous ont permis :

- De ressortir la différence de production entre des différentes parties (apicale, centrale et basale), et de déduire les taux de débourement et les coefficients de multiplication pour chaque espèce. Une combinaison optimale estimée de BAP et d'ANA en fonction de la saison et de l'espèce a été donc déduite pour une bonne réussite de la micropropagation.

Grace à ce travail, le volet phénologie a fait ressortir les meilleurs écotypes en termes de production de fruit et de raquettes, ainsi que ceux disposant d'une biomasse intéressante, ces écotypes peuvent être considérés comme un choix approprié dans les programmes de réimplantation et de production des cactus surtout dans les zones marginales et les plus hostiles. La partie SIG et télédétection, nous a permis d'établir une étude pilote sur un parc à pied mère de cactus et qui est la province de Rhamna. Moyennant ces techniques récentes et innovantes,

nous avons pu connaître exactement les superficies occupées par les cactus, et ainsi montré l'ampleur des ravages causés par la cochenille en terme monétaire, et permettant ainsi la réalisation de plans proactives visant à améliorer les conditions socioéconomiques des populations ayant comme capital les plantations de cactus. La partie culture *in vitro*, nous a permis tout d'abord de concevoir une méthode de désinfection originale, et par laquelle nous avons pu multiplier nos explants et créer ainsi une banque de gènes pour la sauvegarde des écotypes encore préservés ainsi que de produire à grand échelle un nombre important de plantes destinées à restaurer cette plante dans son biotope dévasté.

A ce point de notre travail, il serait intéressant de compléter cette étude par :

- Des études moléculaires et biochimiques plus approfondies pour la labélisation du germoplasme conservé *in vitro*.
- En culture *in vitro*, essayer de pousser les subcultures, pour voir jusqu'à quel niveau le milieu reste efficace.
- Bien que les vitroraquettes produites *in vitro* soient génétiquement similaires aux plantes mères du départ, une étude agrophénologique des vitroplants est souhaitable pour voir est ce que ces derniers gardent la même production que les plantes mères.
- D'autres techniques de multiplications non-conformes peuvent être envisagées, en passant à travers les cals, dans un but de créer une certaine variabilité qui se traduit par l'apparition de nouveaux caractères recherchés, tels que la résistance aux phénomènes biotiques ou abiotiques. Ainsi que la fusion des protoplastes, dans un but de création variétale, en se basant sur le germoplasme déjà existant à l'état naturel, et qui a montré une résistance à la cochenille et les vitroplants conservés *in vitro* issues d'écotypes très productifs.
- Réplication de l'étude SIG menée sur le territoire de Rhamna vers d'autres régions du Maroc, afin de pouvoir créer une plateforme SIG nationale qui comprendra une base de données spécifique au cactus.

## References

- Ahmed, M. S., Tanbouly, N. D. E., Islam, W. T., Sleem, A. A., & Senousy, A. S. E. (2005). Antiinflammatory flavonoids from *Opuntia dillenii* (Ker-Gawl) Haw. flowers growing in Egypt. *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 19(9), 807-809.
- Ait Hammou, A. (1998). *La culture de cactus dans la zone de DPA d'El Kelaà des Sraghna*. 1er journée Nat Cult. Cact. DPA EL Kelaà. Avril 1998.
- Ait Hamou, A. (2007). An overview on medicinal and cosmetic uses of cactus in Morocco. *Cactus net, Newsletter*, 11, 51-56.
- Albano, C., Negro, C., Tommasi, N., Gerardi, C., Mita, G., Miceli, A., . . . Blando, F. (2015). Betalains, phenols and antioxidant capacity in cactus pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.] fruits from Apulia (South Italy) genotypes. *Antioxidants*, 4(2), 269-280.
- Alimi, H., Hfaiedh, N., Bouoni, Z., Hfaiedh, M., Sakly, M., Zourgui, L., & Rhouma, K. B. (2010). Antioxidant and antiulcerogenic activities of *Opuntia ficus indica* f. *inermis* root extract in rats. *Phytomedicine*, 17(14), 1120-1126.
- Aliyu, B. S., & Mustapha, Y. (2007). Effect of different media on the in vitro growth of cactus (*Opuntia ficus-indica*) explants. *African Journal of Biotechnology*, 6(11). doi: <https://doi.org/10.5897/AJB2007.000-2185>
- Anderson, E. F., & Brown, R. (2001). *The cactus family* (Vol. 776): Timber press Portland.
- Andrews, H. C., & Hunt, B. R. (1977). Digital Image Restoration Prentice Hall. INC., Englewood Press, New Jersey.
- Angulo-Bejarano, P. I., & Paredes-López, O. (2011). Development of a regeneration protocol through indirect organogenesis in prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill). *Scientia Horticulturae*, 128(3), 283-288.
- Arba, M. (2000). Les Opuntias à fruits comestibles dans certaines régions du Maroc. *IIème journée nationale sur la culture du cactus*.
- Arba, M. (2009a). *Le cactus Opuntia, une espèce fruitière et fourragère pour une agriculture durable au Maroc*. Paper presented at the Actes du Symposium International AGDUMED-durabilité des systèmes de culture en zone méditerranéenne et gestion des ressources en eau et en sol.
- Arba, M. (2009b). *ROOTING OF ONE YEAR AND SECOND YEAR OLD CLADODES OF CACTUS PEAR*, International Society for Horticultural Science (ISHS), Leuven, Belgium.
- Arba, M. (2017). Effets de la fertilisation NP et de l'irrigation à des périodes critiques sur le rendement et la qualité des fruits du figuier de Barbarie (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.).
- Arbaoui, S., Soufi, S., & Bettaieb, T. (2018). In vitro control of oxidative browning: Case of amaryllis (*Amaryllis belladonna* L.) Contrôle du brunissement enzymatique en culture in vitro: Cas de l'amaryllis (*Amaryllis belladonna* L.). *Journal of New Sciences*, 60 pp.3850-3855 ref.10.
- Arias-Estévez, M., López-Periago, E., Martínez-Carballo, E., Simal-Gándara, J., Mejuto, J.-C., & García-Río, L. (2008). The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources. *Agriculture, ecosystems & environment*, 123(4), 247-260.
- Arruda, E., & Melo-de-Pinna, G. (2016). Areolar structure in some Opuntioideae: Occurrence of mucilage cells in the leaf-glochid transition forms in *Opuntia microdasys* (Lhem.) Pfeiff. *Adansonia*, 38, 267-274. doi: 10.5252/a2016n2a10
- Astello-García, M. G., Robles-Martínez, M., Barba-de la Rosa, A. P., & del Socorro Santos-Díaz, M. (2013). Establishment of callus from *Opuntia robusta* Wendl., a wild and medicinal cactus, for phenolic compounds production. *African Journal of Biotechnology*, 12(21).
- Augé, R., Beauchesne, G., Boccon-Gibod, J., Decourtye, L., Digat, B., Jalouzot, R., . . . Strullu, D. (1989). *La culture in Vitro et ses applications horticoles*. 3ème édition revue, corrigée augmentée. *Tech. Doc. Lavoisier*.

- Ault, J. R., & Blackmon, W. J. (1987). In vitro propagation of *Ferocactus acanthodes* (Cactaceae). *HortScience*, 22, 126-127.
- Avery, T. E. (1966). *Forester's guide to aerial photo interpretation*: US Department of Agriculture, Forest Service.
- Ayadi, M. A., Abdelmaksoud, W., Ennouri, M., & Attia, H. (2009). Cladodes from *Opuntia ficus indica* as a source of dietary fiber: Effect on dough characteristics and cake making. *Industrial Crops and Products*, 30(1), 40-47. doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.01.003>
- Baccini, A., Besse, P., Déjean, S., Martin, P. G. P., Robert-Granié, C., & San Cristobal, M. (2005). Stratégies pour l'analyse statistique de données transcriptomiques. *Journal de la société française de statistique*, 146(1-2), 5-44.
- Badii, M. H., & Flores, A. E. (2001). Prickly pear cacti pests and their control in Mexico. *Florida Entomologist*, 503-505.
- Badreddine, M. (2020). *Les Propriétés Biologiques d'Extraits des Cladodes d'Opuntia ficus indica (L.)*. UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS MOSTAGANEM.
- Bakali, A. H., Alem, C., Ichir, L. L., & El Mzouri, H. (2016). Cladode planting methods improves the initial growth and production of cactus pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.). *Advances in Agriculture & Botany*, 8(3), 111-128.
- Balch, E. P. M., Reyes, M. E. P., Amador, E. V., Rangel, E. M., Ruiz, L. d. R. M., Viramontes, H. J. L. J. I. V. C., & Plant, D. B.-. (1998). Micropropagation of 21 species of Mexican cacti by axillary proliferation. 34(2), 131-135. doi: <https://doi.org/10.1007/bf02822777>
- Balen, B., Milosevic, J., & Krsnik-Rasol, M. (2002). Protein and glycoprotein patterns related to morphogenesis in *Mammillaria gracillis* Pfeiff. tissue culture. *Food technology and biotechnology*, 40(4), 275-280.
- Ballouche, A., & Taïbi, A. N. (2013). Le «dessèchement» de l'Afrique sahélienne: un leitmotiv du discours d'expert revisité. *Autrepart*(2), 47-66.
- Barbera, G., Carimi, F., & Inglese, P. (1992). Past and present role of the Indian-fig prickly-pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller, Cactaceae) in the agriculture of Sicily. *Economic Botany*, 46(1), 10-20.
- Barbera, G., Inglese, P., & Pimienta-Barrios, E. (1995). *Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear* (Vol. 132). Italy: FAO Italy.
- Bariagabre, S. A., Asante, I. A., Gordon, C., & Ananng, T. Y. (2016a). Cactus Pear (*Opuntia ficus-indica* L): A Future Asset for Sustainability of Drylands in Northern Ethiopia. *International Journal of Science, Environment and Technology*.
- Bariagabre, S. A., Asante, I. K., Gordon, C., & Ananng, T. Y. (2016b). Cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L.) a valuable crop for restoration of degraded soils in Northern Ethiopia. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 6(8), 11-18.
- Barthlott, W. (2001). Foreword. In: Anderson EF. (ed.) *The cactus family*. Timber Press, Portland, Oregon, pp. 9.
- Belaizi, M., & Boxus, P. (1995). In vitro shoot multiplication of cork oak (*Quercus suber* L.). Influence of different carbohydrates. *Bulletin des Recherches Agronomiques de Gembloux (Belgium)*.
- Bendaou, M., & Ait Omar, M. B. (2013). Une nouvelle technologie d'alimentation utilisant des cactus pour l'engraissement des ovins: Application dans des petites exploitations de la région de Rhamna, Maroc. *Opt. Méditerran*, 108, 279-284.
- Bendhifi, M., Baraket, G., Zourgui, L., Soud, S., & Salhi-Hannachi, A. (2013). Assessment of genetic diversity of Tunisian Barbary fig (*Opuntia ficus indica*) cultivars by RAPD markers and morphological traits. *Scientia Horticulturae*, 158, 1-7.
- Benson, L., & Walkington, D. L. (1965). The southern Californian prickly pears-invasion, adulteration, and trial-by-fire. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 52(3), 262-273.
- Bhau, B. S. (1999). Regeneration of *Coryphantha elephantidens* (Lem.) Lem.(Cactaceae) from root explants. *Scientia Horticulturae*, 81(3), 337-344.



- Blanco-Macías, F., Magallanes-Quintanar, R., Valdez-Cepeda, R. D., Vázquez-Alvarado, R., Olivares-Sáenz, E., Gutiérrez-Ornelas, E., . . . Murillo-Amador, B. (2010). Nutritional reference values for *Opuntia ficus-indica* determined by means of the boundary-line approach. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 173(6), 927-934.
- Bouamama, B., Ben Salem, A., Zoghلامي, N., Zemni, H., Mliki, A., & Ghorbel, A. (2011). Somatic embryogenesis and plantlet regeneration from immature anthers of *Opuntia ficus-indica*. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 86(4), 313-318. doi: 10.1080/14620316.2011.11512766
- Boudet, G., & Rivière, R. (1968). Emploi pratique des analyses fourragères pour l'appréciation des pâturages tropicaux.
- Bougdaoua, H., & El Mtili, N. (2020). In vitro regeneration of two northern Moroccan *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. genotypes. *Moroccan Journal Of Biology*, 17(2020).
- Bouharroud, R., Amarrague, A., & Qessaoui, R. (2016). First report of the *Opuntia cochineal* scale *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) in Morocco. *EPPO Bulletin*, 46(2), 308-310.
- Boujghagh, M. (2011). Atlas du cactus (*Opuntia* spp.) de différentes provenances marocaines. *INRA, Rabat*.
- Boujghagh, M. (2015). GUIDE DE BONNES PRATIQUES DE PLANTATION ET DE CONDUITE TECHNIQUE DU CACTUS EN CULTURE PLUVIALE DANS LES ZONES ARIDES, Projet d'Accès aux Marchés pour les Produits Agroalimentaires et du Terroir. In O. d. N. U. p. 1. d. i. (ONUDI) (Ed.).
- Boujghagh, M., & Chajia, L. (2001). Le cactus: outil de gestion de la sécheresse dans le Sud Marocain. *Terre et vie*, 52, 1-7.
- Boutakiout, A., Elothmani, D., Mostafa, M., Hmid, I., & Hanine, H. (2015). Phytochemical Constituents And In Vitro Radical Scavenging Activity Of Different Cladodes Juice of Cactacea Cultivars From Different Areas In Morocco. *INTERNATIONAL JOURNAL OF TECHNOLOGY ENHANCEMENTS AND EMERGING ENGINEERING RESEARCH*, 3, 56-66.
- Boxus, P., Jemmali, A., & Piéron, S. (1995). Multiplication végétative: La Micropropagation. Chapitre X. Stade II: Multiplication par organogenèse ou néoformation de bourgeons. *Biotechnologies végétales*. Demarly Y. & E. Picard (eds.). *UNISA T, CNED/AUPELF-UREF. BV*, 93, 63-78.
- Boxus, P., & Terzi, J. M. (1987). BIG LOSSES DUE TO BACTERIAL CONTAMINATIONS CAN BE AVOIDED IN MASS PROPAGATION SCHEME. *Acta Hort.* 212, 91-94.(212), 91-94. doi: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1987.212.12>
- Bravo-Hollis, H., & Scheinvar, L. (1995). *El interesante mundo de las cactáceas*.
- Bravo Hollis, H., & Sánchez Mejorada, H. (1978). Las cactáceas de México.
- Brutsch, M. O. (1997). The beles or cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) in Tigray, Ethiopia. *Proceedings of the Professional Association for Cactus Development*, 2, 130-141.
- Brutsch, M. O., & Zimmermann, H. G. (1993). The prickly pear (*Opuntia ficus-indica* [Cactaceae]) in South Africa: Utilization of the naturalized weed, and of the cultivated plants. *Economic Botany*, 47(2), 154-162.
- Bulot, L. G. (2007). Les espèces d'*Opuntia* (Cactaceae)(Cactaceae) naturalisées dans la haute vallée de l'Allier (Haute de l'Allier (Haute-Loire).
- Bustamante, M. A., & Heras, M. G. (1990, 1990). *Tissue culture of Cacti species*.
- Cantwell, M. (1991, 1991). *Quality and postharvest physiology of "nopalitos" and "tunas."*
- Carl, G., Doktor, D., Koslowsky, D., & Kühn, I. (2013). Phase difference analysis of temperature and vegetation phenology for beech forest: a wavelet approach. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 27(5), 1221-1230.
- Casas, A., & Barbera, G. (2002). Mesoamerican domestication and diffusion. *Cacti: biology and uses*, 143, 62.
- Cassells, A. C. (1986). *Production of healthy plants*. Paper presented at the proceedings of the Institute of Horticultural Symposium: Micropropagation in culture, Nottingham.

- Cassells, A. C. (1991). Problems in tissue culture: culture contamination. In P. C. Debergh & R. H. Zimmerman (Eds.), *Micropropagation: Technology and Application* (pp. 31-44). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Castillo, I. O., Hernández, A. F., González, M. R., Martínez, J. G., & Arellano, J. d. J. E. (2003). Productividad del agua en el cultivo de nopal con riego por goteo en la Comarca Lagunera. *Terra Latinoamericana*, 21(2), 195-201.
- Chalak, L., Younes, J., Roupael, S., & Hamadeh, B. (2014). Morphological characterization of prickly pears (*Opuntia ficus indica* (L.) Mill.) cultivated in Lebanon. *International Journal of Science and Research*, 3(6), 2319-7064.
- Chaouche, F. Z., & Abdul-Hussain, M. S. (2008). Contribution to the study of opuntia and prospects for improvement in the steppe region. *Agricultura-Revistă de Scedilla~ tiintcedilla~ ă scedilla~ i Practică Agricolă*, 17(1/2), 24-31.
- Cheriot, S. (2007). *Rôle des produits de la réaction de Maillard dans l'inhibition de l'oxydation enzymatique des phénols et des lipides : Doctorat de l'institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement, France*, 214., AgroParisTech.
- Chessa, I. (2010). Cactus pear genetic resources conservation, evaluation and uses. *FAO Cactusnet Newsletter, Special*(12), 43-53.
- Choreño-Tapia, J. M., González-Rosas, H., Terrazas-Salgado, T., & Hernández-Livera, A. (2002). Propagación in vitro de *Cephalocereus senilis* Haworth Pfeiffer a partir de aréolas. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 8(2), 183-196.
- Chouard, P. (1946). Sur le photopériodisme chez les plantes vivaces. *Bulletin de la Société Botanique de France*, 93(9), 373-377.
- Chougui, N., Tamendjari, A., Hamidj, W., Hallal, S., Barras, A., Richard, T., & Larbat, R. (2013). Oil composition and characterisation of phenolic compounds of *Opuntia ficus-indica* seeds. *Food Chemistry*, 139(1-4), 796-803.
- Chriyaa, A. (1998). Techniques culturales du cactus et son utilisation dans l'alimentation des ovins en zones arides. *Compte rendu et recommandations de la journée nationale sur la culture du cactus. Direction provinciale d'agriculture. El kelaa des Sraghna, Maroc*.
- Clark, W. D., Brown, G. K., & Mays, R. L. (1980). Flower flavonoids of *Opuntia* subgenus *Cylindropuntia*. *Phytochemistry*, 19(9), 2042-2043. doi: [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(80\)83039-1](https://doi.org/10.1016/0031-9422(80)83039-1)
- Clayton, P. W., Hubstenberger, J. F., Phillips, G. C., & Butler-Nance, S. A. (1990). Micropropagation of members of the Cactaceae subtribe Cactinae. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 115(2), 337-343. doi: <https://doi.org/10.21273/JASHS.115.2.337>
- Colwell, R. N. (1961). Some practical applications of multiband spectral reconnaissance. *American Scientist*, 49(1), 9-36.
- Coppin, P. R., & Bauer, M. E. (1996). Digital change detection in forest ecosystems with remote sensing imagery. *Remote sensing reviews*, 13(3-4), 207-234.
- Corneanu, M., Corneanu, G., Marinescu, G., Babeanu, C., & Morariu, V. (2004). In vitro explant development in the presence of some extraterrestrial factors. *Analele Stiintifice ale Universitatii "Alexandru Ioan Cuza" din Iasi Sec. II a. Genetica si Biologie Moleculara*, 5(1).
- Coşkuner, Y. n., & Tekin, A. (2003). Monitoring of seed composition of prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L) fruits during maturation period. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(8), 846-849.
- Cota-Sánchez, J. H., Almeida, O. J. G., Falconer, D. J., Choi, H. J., & Bevan, L. (2013). Intriguing thigmonastic (sensitive) stamens in the Plains Prickly Pear *Opuntia polyacantha* (Cactaceae). *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 208(5-6), 381-389.
- Cottier, H. (1934). Quelques aliments de disette, leur valeur et leur emploi. *La Tunisie Agricole*, 37, 127-141.

- Coupe, S. A., Palmer, B. G., Lake, J. A., Overy, S. A., Oxborough, K., Woodward, F. I., . . . Quick, W. P. (2006). Systemic signalling of environmental cues in Arabidopsis leaves. *Journal of Experimental Botany*, 57(2), 329-341. doi: 10.1093/jxb/erj033
- Dabekaussen, M. A. A., Pierik, R. L. M., van der Laken, J. D., & Hoek Spaans, J. (1991). Factors affecting areole activation in vitro in the cactus *Sulcorebutia alba* Rausch. *Scientia Horticulturae*, 46(3), 283-294. doi: [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(91\)90051-Y](https://doi.org/10.1016/0304-4238(91)90051-Y)
- Das, T., & Mitra, G. C. (1990). Micropropagation of *Eucalyptus tereticornis* Smith. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 22(2), 95-103.
- De Cortázar, V. G., & Nobel, P. S. (1992). Biomass and fruit production for the prickly pear cactus, *Opuntia ficus-indica*. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 117(4), 558-562.
- De Leo, M., De Abreu, M. B., Pawlowska, A. M., Cioni, P. L., & Braca, A. (2010). Profiling the chemical content of *Opuntia ficus-indica* flowers by HPLC–PDA–ESI–MS and GC/EIMS analyses. *Phytochemistry Letters*, 3(1), 48-52.
- De Lotto, G. (1974). On the status and identity of the cochineal insects (Homoptera: Coccoidea: Dactylopiidae). *Journal of the Entomological Society of Southern Africa*, 37(1), 167-193.
- De Medeiros, L. A., de Ribeiro, R. C. S., Gallo, L. A., de Oliveira, E. T., & Demattê, M. E. S. P. (2006). In vitro propagation of *Notocactus magnificus*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 84(2), 165-169. doi: <https://doi.org/10.1007/s11240-005-9014-x>
- De Oliveira, S. A., da Silva, M. d. F. P., Prioli, A. J., & Mangolin, C. A. (1995). In vitro propagation of *Cereus peruvianus* mill.(cactaceae). *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 31(1), 47-50. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02632226>
- De Wit, M., Nel, P., Osthoff, G., & Labuschagne, M. T. (2010). The effect of variety and location on cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) fruit quality. *Plant foods for human nutrition*, 65(2), 136-145.
- Debergh, P. C., & Vanderschaeghe, A. M. (1988). SOME SYMPTOMS INDICATING THE PRESENCE OF BACTERIAL CONTAMINANTS IN PLANT TISSUE CULTURES. *Acta Hortic.* 212, 91-94.(225), 77-82. doi: 10.17660/ActaHortic.1988.225.8 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1988.225.8>
- Dehbi, F., Hasib, A., Ouattmane, A., Elbatal, H., & Jaouad, A. (2014). Physicochemical characteristics of Moroccan prickly pear juice (*Opuntia ficus indica* L.). *Int J Emerg Technol Adv Eng*, 4(4), 300-306.
- Del Carmen Mandujano, M., Golubov, J., & Montana, C. (1997). Dormancy and endozoochorous dispersal of *Opuntia rastrera* seeds in the southern Chihuahuan Desert. *Journal of Arid Environments*, 36(2), 259-266.
- Desfayes, M. (2007a). Les opuntias du Valais, un problème épineux. *Bulletin de la Murithienne*(125), 29-40.
- Desfayes, M. (2007b). Les opuntias du Valais, un problème épineux: espèces et nomenclature. *Bulletin de la Murithienne*(125), 29-40.
- DGM. (2017). Ministère de l'Équipement, du Transport, de la Logistique et de l'Eau : Direction Générale de la Météorologie, données climatiques 2012-2017.
- Diguet, L. (1928). *Les cactacées utiles du Mexique: Par Léon Diguet. Ouvrage posthume revu par André Guillaumin. Avec une notice nécrologique sur Léon Diguet par D. Bois: Société Nationale d'Acclimatation de France.*
- Druart, P., & Samyn, G. (1995). Carbohydrates and in vitro organogenesis [results of the activities of the COST 87 group 1990-1994]. *Bulletin des Recherches Agronomiques de Gembloux (Belgium)*.
- Dubeux, J., J.C.B., dos Santos, D. C., Lira, M. d. A., dos Santos, M. V. F., Lima, G. F. d. C., de Mello, A. C. L., . . . da Cunha, M. V. (2015 a). *Global use of cactus as livestock feed. In H.O. De Waal, M. Louhaichi, M. Taguchi, H.J. Fouche & M. de Wit, eds. Development of cactus pear*

- agroindustry for the sub-Saharan African Region. Proceedings of the International Workshop, 27–28 January 2015, University of the Free State, Bloemfontein, South Africa. 96 pp.*
- Dubeux, J., J.C.B., , dos Santos, M. V. F., De Mello, A. C. L., Da Cunha, M. V., Ferreira, M. D. A., Dos Santos, D. C., . . . Silva, M. D. C. (2015 b). *Forage potential of cacti on drylands. Acta Horti., 1067: 181–186.*
- Düring, H., & Harst, M. (1996). Stomatal behaviour, photosynthesis and photorespiration of in vitro-grown grapevines: Effects of light and CO<sub>2</sub>. *Vitis, 35(4)*, 163-167.
- Echchgadda, G., Errami, Y., & Greche, H. ( 2007). Multiplication et caractérisation chémotypique de l'armoise blanche (*Artemisia inculata* Del.). *Recherches sur les plantes aromatiques et médicinales*, 71.
- El-Mostafa, K., El Kharrassi, Y., Badreddine, A., Andreoletti, P., Vamecq, J., El Kebbaj, M. H., . . . Cherkaoui-Malki, M. (2014). Nopal cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a source of bioactive compounds for nutrition, health and disease. *Molecules, 19(9)*, 14879-14901.
- El Finti, A., El Boullani, R., Belayadi, M., Ait Aabd, N., & El Mousadik, A. (2012). MICROPROPAGATION IN VITRO OF OPUNTIA FICUS-INDICA IN SOUTHERN MOROCCO. *Acta Horti.* 212, 91-94.(995), 93-98. doi: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.995.11>
- El Goumi, Y., Fakiri, M., Benbachir, M., Essayagh, S., & Lamsaouri, O. (2017). Effect of cold pretreatment, Anthers orientation, spikelet position and donor tiller on the callusing response in barley anther. *Int. J. Med. Biotechnol. Genetics, 3(S2)*, 33-38.
- El Goumi, Y., Fakiri, M., Lamsaouri, O., Benchekroun, M., & Hassani, M. F. (2014). Analyse de la capacité androgénétique de trois cultivars de blé dur (*Triticum durum*) et trois cultivars de blé tendre (*Triticum aestivum*). *Lebanese Science Journal (Leb.Sci.J.)*, 15, 85-98.
- El Hachimi, F., El Antari, A., Boujnah, M., Bendrisse, A., & Alfaiz, C. (2015). Comparaison des huiles des graines et de la teneur en acides gras de différentes populations marocaines de jujubier, de grenadier et de figuier de barbarie. *Journal of Materials and Environmental Science, 6(5)*, 1488-1502.
- El Kbiach, M. L., Lamarti, A., Abdali, A., & Badoc, A. (2002). Culture in vitro des bourgeons axillaires de chêne-liège (*Quercus suber* L.) I-Influence des cytokinines sur l'organogenèse et la callogenèse de noeuds de plantules. *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux, 141(1-4)*, 73-88.
- El Kharrassi, Y. (2015). *Mise en évidence de la diversité des populations de cactus (Opuntia spp.) au Maroc et de la modulation du métabolisme lipidique par des extraits naturels et de phytostérols issues de cactus ou d'huile d'Argan dans les cellules microgliales BV2.*
- El Kharrassi Y, Sedra MH, Mazri MA, El Mzouri EH, & Nasser B. (2015). *Genetic diversity of the cactus pear (Opuntia spp) in Morocco as revealed by morphological descriptors and molecular markers. 4th International conference on agriculture and horticulture. Beijing, China, 13-15 July 2015.*
- El Kharrassi, Y., Mazri, M. A., Sedra, M. H., Mabrouk, A., Nasser, B., & El Mzouri, E. (2017). Characterization of genetic diversity of cactus species (*Opuntia spp.*) in Morocco by morphological traits and molecular markers. *Current Agriculture Research Journal, 5(2)*, 149-159.
- Ennouri, M., Evelyne, B., Laurence, M., & Hamadi, A. (2005). Fatty acid composition and rheological behaviour of prickly pear seed oils. *Food Chemistry, 93(3)*, 431-437. doi: 10.1016/j.foodchem.2004.10.020
- Escobar, A., Hugo, A., Villalobos, A., Víctor, M., Villegas, M., & Angel. (1986). *Opuntia* micropropagation by axillary proliferation. *Plant Cell, Tissue Organ Culture, 7(3)*, 269-277. doi: <https://doi.org/10.1007/BF00037744>
- Estes, J. E. (1980). *Attributes of a well-trained remote sensing technologist. Proceedings, Conference of Remote Sensing Educators (CORSE-78), Stanford University, California, 26-30 June 1978; NASA Scientific and Technical Information Office, Conference Publication 2102, 1980, pp. 103-118.*



- Estrada-Luna, A. A., Martínez-Hernández, J. d. J., Torres-Torres, M. E., & Chablé-Moreno, F. (2008). In vitro micropropagation of the ornamental prickly pear cactus *Opuntia lanigera* Salm-Dyck and effects of sprayed GA3 after transplantation to ex vitro conditions. *Scientia Horticulturae*, 117(4), 378-385. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.05.042>
- Etienne, H., Solano, W., Pereira, A., Bertrand, B., & Berthouly, M. (1997). Protocole d'acclimatation de plantules de caféiers produites in vitro. Protocolo de aclimatación de plántulas de cafetos producidas in vitroCoffee in vitro plantlet acclimatization protocol. *Plantations, Recherche, Développement (France)* v. 4 (5) p. 304-311.
- Eugenio, P.-M.-B., & Carlos Antonio, D.-F. (2002). In vitro propagation of *Pelecypora aselliformis* Ehrenberg and *P. strobiliformis* Werdermann (cactaceae). *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, 38(1), 73-78. doi: <https://doi.org/10.1079/IVP2001248>
- FAO. (1992). Foresterie en zones arides - Guide à l'intention des techniciens de terrain Cahier FAO : Conservation 20. Rome, Italie. 144. M-33.
- Faouzi, H. (2015). Le figuier de Barbarie (l'*Opuntia ficus-indica*) : un produit de terroir pour le développement local ? Aknari des Aït Baâmrane (Anti-Atlas occidental, Maroc). *Les Cahiers d'Outre-Mer*, 271(3), 375-400.
- Feng, F., Li, H., Lu, Q., & Xie, J. (2000). Tissue culture of *Aloe* spp. *Journal of Southwest Agricultural University*, 22(2), 157-159.
- Fernández-López, J., Almela, L., Obón, J. M., & Castellar, R. (2010). Determination of Antioxidant Constituents in Cactus Pear Fruits. *Plant foods for human nutrition (Dordrecht, Netherlands)*, 65, 253-259. doi: 10.1007/s11130-010-0189-x
- Fernandez, M. L., Lin, E. C. K., Trejo, A., & McNamara, D. J. (1994). Prickly pear (*Opuntia* sp.) pectin alters hepatic cholesterol metabolism without affecting cholesterol absorption in guinea pigs fed a hypercholesterolemic diet. *The Journal of nutrition*, 124(6), 817-824.
- Fernandez, M. L., Trejo, A., & McNamara, D. J. (1990). Pectin isolated from prickly pear (*Opuntia* sp.) modifies low density lipoprotein metabolism in cholesterol-fed guinea pigs. *The Journal of nutrition*, 120(11), 1283-1290.
- Feugang, J. M., Konarski, P., Zou, D., Stintzing, F. C., & Zou, C. (2006). Nutritional and medicinal use of Cactus pear (*Opuntia* spp.) cladodes and fruits. *Frontiers in Bioscience*, 11(1), 2574-2589. doi: 10.2741/1992
- Filip, S., Hribar, J., & Vidrih, R. (2011). Influence of natural antioxidants on the formation of trans-fatty-acid isomers during heat treatment of sunflower oil. *European journal of lipid science and technology*, 113(2), 224-230.
- Flores Barrera, S. (2013). Fertilización y frecuencia de riego en la producción de nopal verdura (*Opuntia ficus indica* L.) en túnel de plástico Postgrado de Recursos Genéticos y Productividad, Fruticultura. Montecillo, Texcoco, Edo. de México (MSc thesis). 66 pp Barrera, Sofía.
- Fontanel, A., Blanchet, C., & Lallemand, C. (1975). Enhancement of Landsat imagery by combination of multispectral classification and principal component analysis. NASA Earth Resources Surv. Symp. July 1975, Houston, Texas. NASA-TMX-58168, pp. 991-1012.
- Fosnight, E. A. (1988). *Applications of spatial postclassification models. International Symposium on Remote Sensing of Environment, 21st, Ann Arbor, Michigan, October 1987. Ann Arbor, Environmental Research Institute of Michigan, pp. 469-485.*
- Foundi, M. (1998). Cartographie et évaluation de la dégradation des suberaies du Rif Central (cas de la Suberaie de Jbel Asri). *Mém. 3e cycle ENFI, Maroc*.
- Franquin, P. (1976). Formulation des phénomènes apparents de photoperiodisme en conditions naturelles. *Physiologie Vegetale*14, 179-191.
- Frati-Munari, A. C., Gordillo, B. E., Altamirano, P., & Ariza, C. R. (1988). Hypoglycemic effect of *Opuntia streptacantha* Lemaire in NIDDM. *Diabetes Care*, 11(1), 63-66.
- Gago, J., Martínez-Núñez, L., Landín, M., Flexas, J., & Gallego, P. P. (2014). Modeling the effects of light and sucrose on in vitro propagated plants: a multiscale system analysis using artificial intelligence technology. *PLOS ONE*, 9(1), e85989.



- Gallo, K. P., & Daughtry, C. S. T. (1987). Differences in vegetation indices for simulated Landsat-5 MSS and TM, NOAA-9 AVHRR, and SPOT-1 sensor systems. *Remote Sensing of Environment*, 23(3), 439-452.
- Galloway, T., & Handy, R. (2003). Immunotoxicity of organophosphorous pesticides. *Ecotoxicology*, 12(1), 345-363.
- Galoux, A., Schnock, G., & Grulois, J. (1967). RECHERCHES SUR L'ÉCOSYSTÈME FORÊT SÉRIE B: LA CHÊNAIE MÉLANGÉE CALCICOLE DE VIRELLES-BLAIMONT: Contribution n o 5: LA VARIABILITÉ PHÉNOLOGIQUE ET LES CONDITIONS CLIMATIQUES. *Bulletin de la Société Royale de Botanique de Belgique/Bulletin van de Koninklijke Belgische Botanische Vereniging*, 309-314.
- Gamborg, O. L. c., Miller, R. A., & Ojima, K. (1968). Nutrient requirements of suspension cultures of soybean root cells. *Experimental cell research*, 50(1), 151-158.
- García-Rubio, O., & Malda-Barrera, G. (2010). Micropropagation and reintroduction of the endemic *Mammillaria mathildae* (Cactaceae) to its natural habitat. *HortScience*, 45(6), 934-938. doi: <https://doi.org/10.21273/hortsci.45.6.934>
- García-Saucedo, P. A., Valdez-Morales, M., Elena Valverde, M., Cruz-Hernández, A., & Paredes-López, O. (2005). Plant regeneration of three *Opuntia* genotypes used as human food. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 80(2), 215-219. doi: <https://doi.org/10.1007/s11240-004-9158-0>
- Gene Albrigo, L., & Galán Saúco, V. (2002 2002). *Flower bud induction, flowering and fruit-set of some tropical and subtropical fruit tree crops with special reference to citrus*.
- Gersani, M., Graham, E. A., & Nobel, P. S. (1993). Growth responses of individual roots of *Opuntia ficus-indica* to salinity. *Plant, Cell & Environment*, 16(7), 827-834.
- Ghaffari, A., Hasanloo, T., & Nekouei, M. K. (2013). Micropropagation of tuna (*Opuntia ficus-indica*) and effect of medium composition on proliferation and rooting. *International Journal of Biosciences*, 3(11), 129-139. doi: <http://dx.doi.org/10.12692/ijb/3.11.129-139>
- Giusti, P., Vitti, D., Fiocchetti, F., Colla, G., Saccardo, F., & Tucci, M. (2002). In vitro propagation of three endangered cactus species. *Scientia Horticulturae*, 95(4), 319-332. doi: [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(02\)00031-6](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(02)00031-6)
- Goi, M., Hasegawa, A., Ideguchi, Y., & Nakasugi, T. (1978). Studies on the flowering behavior in *Clematis*. II. An anatomical study of flower bud abortion induced by short days. *Kagawa Daigaku Nogaku-bu gakujutsu hokoku Technical bulletin of Faculty of Agriculture, Kagawa University*.
- Gommes, R., El Hairech, T., Rosillon, D., Balaghi, R., & Kanamaru, H. (2009). Impact of climate change on agricultural yields in Morocco. World Bank-Morocco study on the impact of climate change on the agricultural sector. Food and Agriculture Organization of the United Nations(FAO). Roma, Italy. 105p.
- Goussot, E., Brou, Y. T., Laouina, A., Chaker, M., Emram, A., Machouri, N., . . . Bi, Z. A. T. (2014). Dynamique de l'occupation du sol et statistiques agricoles sur le bassin versant du Bouregreg au Maroc. *European Journal of Scientific Research*, 126(2), 191-205.
- Grant, V., & Grant, K. A. (1982). Natural pentaploids in the *Opuntia lindheimeri*-*phaeacantha* group in Texas. *Botanical Gazette*, 143(1), 117-120.
- Gratton, J., & Fay, M. F. (1999). In vitro propagation of succulent plants. *Plant Cell Culture Protocols – Methods in Molecular Biology*, 111, 135-140. doi: 10.1385/1-59259-583-9:135
- Gregory, R. A., & Felker, P. (1992). Crude protein and phosphorus contents of eight contrasting *Opuntia* forage clones. *Journal of Arid Environments*, 22(4), 323-331.
- Griffith, M. P. (2003). Using molecular evidence to elucidate reticulate evolution in *Opuntia* (Cactaceae). *Madroño*, 162-169.
- Griffith, M. P. (2004). The origins of an important cactus crop, *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae): new molecular evidence. *American Journal of Botany*, 91(11), 1915-1921.

- GRIN. (2007). Opuntiaceae information from NPGS (National plant germplasm system) of GRIN (Germplasm resources information network). Taxonomic information on cultivated plants in the USA. National genetic resources program. United States Department of Agriculture, Agricultural research service. Maryland, USA.
- Guettouchi, A., Bouzerzour, H., & Djekoun, A. (2011). ETUDE COMPARATIVE DE LA REPONSE DE CINQ VARIETES PORTES GREFFES DE VIGNE (*Vitis vinifera* L.) A LA CULTURE IN VITRO. *Sciences & Technologie. C, Biotechnologies*, 40-47.
- Gutterman, Y. (1995). Environmental factors affecting flowering and fruit development of *Opuntia ficus-indica* cuttings during the three weeks before planting. *Israel Journal of Plant Sciences*, 43(2), 151-157.
- Haberlandt, G. (1902). *Ueber die Statolithenfunktion der Stärkekörner*: Borntraeger.
- Hammami, R., Friero, E., Jouve, N., & González, J. M. (2016). Embryogenèse somatique et régénération des plantules à partir des embryons immatures chez trois cytotypes de *B. distachyon* : Effet du génotype et du milieu de culture. *Journal of New Sciences*, 31.
- Hänninen, H. (2006). Climate warming and the risk of frost damage to boreal forest trees: identification of critical ecophysiological traits. *Tree physiology*, 26(7), 889-898.
- Havel, L., & Kolář, Z. (1983). Microexplant isolation from Cactaceae. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 2(4), 349-353. doi: <https://doi.org/10.1007/BF00039882>
- Hayet, C., Motri, S., Zied, B., & Khantouche, L. (2015). Comparaison des Huiles des Graines du Laurier, de Pen d'Alep et de Figuier de Barbarie. *IOSR Journal of Environmental Science Toxicology and Food Technology*. doi: 10.9790/2402-091113033
- Helmuth, G. Z., & Granata, G. (1997). Insect Pests and Diseases. *Cacti Biology and Uses*, 235-254.
- Hill, M. J. (2013). Vegetation index suites as indicators of vegetation state in grassland and savanna: An analysis with simulated SENTINEL 2 data for a North American transect. *Remote Sensing of Environment*, 137, 94-111.
- Hoagland, D. R., & Snyder, W. C. (1933, 1933). *Nutrition of strawberry plant under controlled conditions: (a) effects of deficiencies of boron and certain other elements: (b) susceptibility to injury from sodium salts*.
- Hopkins, W. G. (2003). Les feuilles et les échanges gazeux. *Physiologie végétale. Édition De Bock Université, Bruxelles*, 156-157.
- Hunt, D., Taylor, N. P., & Charles, G. (2006). The new cactus lexicon DH Books, Milborne Port. Great Britain.
- Hussey, G. S., N. J. . (1981). In vitro propagation of potato (*Solanum tuberosum*) of potato of photoperiod on in vitro tuberisation of potato- *S. tuberosum*. In -. J. S. s. m. C. l. . (Ed.).
- Infante, R. (1992). In vitro axillary shoot proliferation and somatic embryogenesis of yellow pitaya *Mediocalcoccus coccineus* (Salm-Dyck). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 31(2), 155-159. doi: <https://doi.org/10.1007/BF00037700>
- Inglese, P., Barbera, G., La Mantia, T., & Portolano, S. (1995). Crop production, growth, and ultimate size of cactus pear fruit following fruit thinning. *HortScience*, 30(2), 227-230.
- Inglese, P., Liguori, G., & De La Barrera, E. (2017). *Ecophysiology and reproductive biology of cultivated cacti*. In: *FAO & ICARDA (eds.): Crop ecology, cultivation and uses of cactus pear. Rome, Italy. p. 30-41*.
- Inglese, P., Saenz, C., Mondragon, C., Nefzaoui, A., & Louhaichi, M. (2018). *ÉCOLOGIE, CULTURE ET UTILISATIONS DU FIGUIER*. Rome: FAO-ICARDA.
- Jacob, S. (2017). ANALYSE Filière cactus: Tour des régions et des labels [Press release]
- Jaiswal, V. S., & Amin, M. N. (1987). In Vitro Propagation of Guava from Shoot Cultures of Mature Trees. *Journal of Plant Physiology*, 130(1), 7-12. doi: [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(87\)80296-1](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(87)80296-1)
- Jenkins, M. (1993). The wild plant trade in Europe—results of a traffic Europe survey of European nurseries. *Traffic Europe*, 3-17.

- Jensen, J. R. (1986). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. Prentice Hall, New Jersey.
- Jiménez-Aguilar, D. M., Escobedo-Avellaneda, Z., Martín-Belloso, O., Gutiérrez-Urbe, J., Valdez-Fragoso, A., García-García, R., . . . Welti-Chanes, J. (2015). Effect of high hydrostatic pressure on the content of phytochemical compounds and antioxidant activity of prickly pears (*Opuntia ficus-indica*) beverages. *Food engineering reviews*, 7(2), 198-208.
- Johnson, J. L., & Emimo, E. R. (1979). Tissue culture propagation in the Cactaceae. *Cactus and Succulent Journal*, 51, 275-277.
- Jost, J.-P., & Jost-Tse, Y.-C. (2016). *Stratégies de défense des plantes contre les maladies et les parasites et Quelques applications pratiques*.
- Juárez, M. C., & Passera, C. B. (2002). In vitro propagation of *Opuntia ellisiana* Griff. and acclimatization to field conditions. *Biocell : official journal of the Sociedades Latinoamericanas de Microscopia Electronica ... et. al*, 26(3), 319-324.
- Kaanane, A. (2000). Techniques de valorisation industrielle des figues de Barbarie. *Le cactus (l'Opuntia à fruit comestible) appelé communément Figuier de Barbarie. Acte de la deuxième journée nationale sur la culture du cactus. El Kalaa des Sragna. Maroc*, 13-14.
- Kalegowda, P., Haware, D. J., Rajarathnam, S., & Shashirekha, M. N. (2015). Minerals of cactus (*Opuntia dillenii*): cladode and fruit. *Current Science*, 2295-2298.
- Kamenicka, A., Lanakova, M., & Cerna, K. (2002). The influence of stress conditions on acclimation of magnolia *Magnolia x soulangiana* Soul.-Bod. *Zeszyty Problemowe Postepow Nauk Rolniczych*, 481(1).
- Karimi, N., Kianamiri, S., Mousavi, E., & Barkhordar, M. (2012). Study of genotype effect, different media and time of explanting on callus induction in *Cereus peruvianus* Mill.(Cactaceae). *Trakia Journal of Sciences*, 10(3), 19-22.
- Karimi, N., Mofid, M. R., Ebrahimi, M., & Naderi, R. (2010). Effect of areole and culture medium on callus induction and regeneration *Cereus peruvianus* Mill.(Cactaceae). *Trakia Journal of Sciences*, 8(2), 31-35.
- Katja, G., Moebius-Goldammer., Martín, M.-R., & Victor M, C.-A. (2003). Organogenesis and somatic embryogenesis in *Ariocarpus kotschoubeyanus* (Lem.) K. Schum. (Cactaceae), an endemic and endangered Mexican species. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, 39(4), 388-393. doi: <https://doi.org/10.1079/IVP2003427>
- Keeley, J. E. (1998). CAM photosynthesis in submerged aquatic plants. *The Botanical Review*, 64(2), 121-175.
- Khalafalla, M. M., Abdellatef, E., Ahmed, M. M. M., & Osman, M. G. (2007). Micropropagation of cactus (*Opuntia ficus-indica*) as strategic tool to combat desertification in arid and semi arid regions. *International Journal of Sustainable Crop Production*, 2(4), 1-8.
- Kharrassi, Y. E., Mazri, M. A., Mabrouk, A., Nasser, B., & Mzouri, E. H. E. (2015). Flowering and fruiting phenology, and physico-chemical characteristics of 2-year-old plants of six species of *Opuntia* from eight regions of Morocco. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 90(6), 682-688. doi: 10.1080/14620316.2015.11668731
- Kidiss, A. (2016). Cochenille du cactus: la «handia» marocaine en péril? [Press release]. Retrieved from <http://fr.le360.ma/economie/cochenille->
- Kielland-Lund, J. (1994). Syntaxonomy of Norwegian forest vegetation 1993. *Phytocoenologia*, 299-310.
- Kiesling, R. (1998). Origen, domesticación y distribución de *Opuntia ficus-indica*. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 3, 50-59.
- King, R. (1957). Studies on the tissue culture of cacti. *Cactus and Succulent Journal*, 29, 102-104.
- Kluge, M., & Ting, I. P. (2012). *Crassulacean acid metabolism: analysis of an ecological adaptation* (Vol. 30): Springer Science & Business Media.

- Kossori, E., Lamghari, R., Villaume, C., El Boustani, E., Sauvaire, Y., & Méjean, L. (1998). Composition of pulp, skin and seeds of prickly pears fruit (*Opuntia ficus indica* sp.). *Plant foods for human nutrition*, 52(3), 263-270.
- Kumschick, S., Bacher, S., Dawson, W., Heikkilä, J., Sendek, A., Pluess, T., . . . Ingolf, K. (2012). A conceptual framework for prioritization of invasive alien species for management according to their impact. *Neobiota*(2013-02-05), 69-100. doi: 10.3897/neobiota.15.3323
- Lagabrielle, E., Metzger, P., Martignac, C., Lortic, B., & Durieux, L. (2007). Les dynamiques d'occupation du sol à La Réunion (1989-2002).
- Lambert, J. G. (1997). Cacti of Argentina: Concordia-Roeselare, Belgium.
- Lara, F. M., Corbo, A., Figueira, L. K., & Stein, C. P. (2004). Resistência de genótipos de batata ao pulgão. *Horticultura Brasileira*, 22, 775-779.
- Lauer, D. T., Breton, L., Dayan, P., Delmas, J.-P., Jacqmin, A., & Denègre, J. (1994). Processus d'extraction d'informations à partir des données satellites *Thematic Mapping from Satellite Imagery: a Guidebook* (pp. 215-231): Elsevier.
- Laughton, M. J., Evans, P. J., Moroney, M. A., Hoult, J. R. S., & Halliwell, B. (1991). Inhibition of mammalian 5-lipoxygenase and cyclo-oxygenase by flavonoids and phenolic dietary additives: relationship to antioxidant activity and to iron ion-reducing ability. *Biochemical pharmacology*, 42(9), 1673-1681.
- Lavorel, S., Lebreton, J.-D., & Le Maho, Y. (2017). Les mécanismes d'adaptation de la biodiversité aux changements climatiques et leurs limites. *Rapport de l'Académie des Sciences*, 1-157.
- Le Houérou, H. N. (1992). *The role of cacti in the agricultural development of Mediterranean arid zones*. In *Proceedings of the Second International Cactus Pear and Cochineal Congress*, 22–25 September 1992, Santiago, Chile.
- Le Houérou, H. N. (1996). The role of cacti (*Opuntiaspp.*) in erosion control, land reclamation, rehabilitation and agricultural development in the Mediterranean Basin. *Journal of Arid Environments*, 33(2), 135-159.
- Le Houérou, H. N. (2000, 2000). *CACTI (OPUNTIA SPP.) AS A FODDER CROP FOR MARGINAL LANDS IN TH MEDITERRANEAN BASIN*.
- Leifert, C., Ritchie, J. Y., & Waites, W. M. (1991). Contaminants of plant-tissue and cell cultures. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 7(4), 452-469. doi: <https://doi.org/10.1007/BF00303371>
- Leifert, C., & Waites, W. M. (1990a). *Bacteria and yeasts; important contaminants in micropropagated plant cultures*. Abstracts VIIth International Congress on Plant Tissue and Cell Culture ed. NIJKAMP H.J.J., VAN DER PLAS L.H.W. & VAN AARTRIJK J. p. 112 Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Leifert, C., & Waites, W. M. (1990b). Contaminants of plant tissue cultures. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 7 60(1991), 452–469. doi: <https://doi.org/10.1007/BF00303371>
- Leifert, C., & Waites, W. M. (1994). Dealing with microbial contaminants in plant tissue and cell culture: hazard analysis and critical control points. In P. J. Lumsden, J. R. Nicholas, & W. J. Davies (Eds.), *Physiology, Growth and Development of Plants in Culture* (pp. 363-378). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Lelu, M.-A., Boulay, M., & Arnaud, Y. (1987). Obtention de cals embryogènes a partir de cotyledons de *Picea abies* (L.) Karst. prelevés sur de jeunes plantes âgées de 3 a 7 jours après germination. *CR Acad. Sci. Paris*, 305, 105-109.
- Lema-Rumińska, J., & Kulus, D. (2012). Induction of somatic embryogenesis in *Astrophytum asterias* (Zucc.) Lem. in the aspect of light conditions and auxin 2, 4-D concentrations. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus*, 11(4), 77-87.
- Lema-Rumińska, J., & Kulus, D. (2014). Micropropagation of cacti—a review. *Haseltonia*, 2014(19), 46-63.



- Lema-Rumiska, J., & Kulus, D. (2014). Micropropagation of Cactia Review. *Haseltonia*, 18, 46-63. doi: <https://doi.org/10.2985/026.019.0107>
- Lemieux, J. (2010). Phénologie de l'épinette noire dans le haut boréal: un patron de la croissance intra-annuelle primaire et secondaire en relation avec la température de l'air journalière.
- Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2015). *Remote sensing and image interpretation*: John Wiley & Sons.
- Londe, L. C. N., Viana, W. S., Rocha, S. S., de AraÃjo, P. G. M., & JÃlio, C. (2019). Use of temporary immersion bioreactors on in vitro culture of cactus pear. *African Journal of Agricultural Research*, 14(32), 1487-1492.
- Lopes, E. B., Brito, C. H. d., Albuquerque, I. C. d., & Batista, J. d. L. (2009). Desempenho do óleo de laranja no controle da cochonilha-do-carmim em palma gigante. *Engenharia Ambiental*, 6(1), 252-258.
- Lüttge, U. (1993). The role of crassulacean acid metabolism (CAM) in the adaptation of plants to salinity. *New Phytologist*, 125(1), 59-71.
- Machado, M. d. F. P. S., & Prioli, J. (1996). Micropropagation of *Cereus peruvianus* mill. (cactaceae) by areole activation. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, 32(3), 199-203. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02822766>
- Magallanes-Quintanar, R., Valdez-Cepeda, R. D., Blanco-Macías, F., Márquez-Madrid, M., Ruíz-Garduño, R. R., Pérez-Veyna, O., . . . Martínez-Rubín de Celis, E. (2004). Compositional nutrient diagnosis in nopal (*Opuntia ficus-indica*). *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 6(1), 78-89.
- Majure, L. C., Puente, R., Griffith, M. P., Judd, W. S., Soltis, P. S., & Soltis, D. E. (2012). Phylogeny of *Opuntia* ss (Cactaceae): clade delineation, geographic origins, and reticulate evolution. *American Journal of Botany*, 99(5), 847-864.
- Malainine, M. E., Dufresne, A., Dupeyre, D., Mahrouz, M., Vuong, R., & Vignon, M. R. (2003). Structure and morphology of cladodes and spines of *Opuntia ficus-indica*. Cellulose extraction and characterisation. *Carbohydrate Polymers*, 51(1), 77-83.
- Malda, G., Suzán, H., & Backhaus, R. (1999). In vitro culture as a potential method for the conservation of endangered plants possessing crassulacean acid metabolism. *Scientia Horticulturae*, 81(1), 71-87. doi: [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(98\)00250-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(98)00250-7)
- MAPM. (2014). Produits du terroir du Maroc-Catalogue national Edition 2014, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime -Direction de Développement des Filières de Production.
- Margara, J. (1989). Bases de multiplication végétative : les méristèmes et l'organogenèse . Ed INRA Paris 262p.
- Marín, L., & Cisneros, V. F. (1977). Biología y morfología de la cochinilla del carmín, *Dactylopius coccus* Costa (Homopt.: Dactylopiidae). (*Jun 1977*) v. 20 (1) p. 115-120.
- Martínez-Vázquez, O., & Rubluo, A. (1989). In-vitro mass propagation of the near-extinct *Mammillaria san-angelensis* Sánchez-Mejorada. *Journal of Horticultural Science*, 64(1), 99-105. doi: <https://doi.org/10.1080/14620316.1989.11515933>
- Martini, A. N., Papafotiou, M., & Vemmos, S. N. (2013). Season and Explant Origin Affect Phenolic Content, Browning of Explants, and Micropropagation of *Malosorbus florentina* (Zucc.) Browicz. *HortScience horts*, 48(1), 102. doi: 10.21273/hortsci.48.1.102
- Mauseth, J. D. (1984). Effect of growth rate, morphogenic activity, and phylogeny on shoot apical ultrastructure in *Opuntia polyacantha* (Cactaceae). *American Journal of Botany*, 71(9), 1283-1292.
- Mauseth, J. D., & Halperin, W. (1975). Hormonal control of organogenesis in *Opuntia polyacantha* (Cactaceae). *American Journal of Botany*, 62(8), 869-877.
- Mazinga, K., Mario, G., Baboy, L., Useni, S., Nyembo, K., Kasongo, L., & Van, K. (2014). Effets des sources de carbone (sucrose, glucose), et des doses de saccharose sur l'induction de la



- rhizogénèse chez l'hybride FHIA-01 (AAAB) du bananier en culture in vitro. *Journal of Applied Biosciences*, 73, 5991-6001.
- McLeod, M. G. (1975). A new hybrid fleshy-fruited prickly-pear in California. *Madroño*, 23(2), 96-98.
- Mdarhri Alaoui, M., Boukmou, J., & Bouzoubaa, Z. (2011). Application de la biotechnologie pour la sauvegarde de l'arganeraie: étude de la multiplication in vitro: Actes du Premier Congrès International de l'Arganier, Agadir.
- Medina, E. M. D., Rodríguez, E. M. R., & Romero, C. D. (2007). Chemical characterization of *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus indica* fruits. *Food Chemistry*, 103(1), 38-45. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.06.064>
- Meyer, B. N., & McLaughlin, J. L. (1981). Economic uses of *Opuntia* [Prickly pears, medicinal uses]. *Cactus and Succulent Journal*.
- Milne, B. T. (1988). Measuring the fractal geometry of landscapes. *Applied Mathematics and Computation*, 27(1), 67-79.
- Mohamed-Yasseen, Y. (2002). Micropropagation of pitaya (*Hylocereus undatus* Britton et rose). *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, 38(5), 427-429. doi: <https://doi.org/10.1079/IVP2002312>
- Mohamed-Yasseen, Y., Barringer, S. A., Splittstoesser, W. E., & Schnell, R. J. (1995). Rapid propagation of tuna (*Opuntia ficus-indica*) and plant establishment in soil. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 42(1), 117-119. doi: <https://doi.org/10.1007/BF00037690>
- Moik, J. G. (1980). Digital Processing of Remotely Sensed Images. NASA Scientific and Technical Information Branch. NASA-SP-431. US Government Printing Office, Washington, D.C.
- Mondragón Jacobo, C., & Pimienta Barrios, E. (1990). Fertilización del nopal tunero.
- Monostori, T., Tanács, L., & Mile, L. (2010). *Studies on in vitro propagation methods in cactus species of the genera Melocactus, Cereus and Lobivia*. Paper presented at the XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): International Symposium on 937.
- Monteuuis, O., & Bon, M.-C. (1987). *Enracinement et acclimatation de vitro-plants forestiers*.
- Mounir, B., Asmaa, M., Abdeljalil, Z., & Abdellah, A. (2020). Physico-chemical changes in cladodes of *Opuntia ficus-indica* as a function of the growth stage and harvesting areas. *Journal of Plant Physiology*, 153196.
- Mrabet, R., Acherkouk, M., & Maatougui, A. (2020). La fertilisation améliore la production des prairies humides naturelles dans la montagne du haut Atlas oriental du Maroc: cas de la région d'Imilchil. *African and Mediterranean Agricultural Research Journal-Al-Awamia*(128).
- Mulas, M., & Mulas, G. (2004). Potentialités d'utilisation stratégique des plantes des genres *Atriplex* et *Opuntia* dans la lutte contre la désertification. *Short and Medium, Term Priority Environmental Action Programme (SMAP) février, 91p*.
- Muller, B., Pantin, F., Génard, M., Turc, O., Freixes, S., Piques, M., & Gibon, Y. (2011). Water deficits uncouple growth from photosynthesis, increase C content, and modify the relationships between C and growth in sink organs. *Journal of Experimental Botany*, 62(6), 1715-1729. doi: 10.1093/jxb/erq438
- Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia plantarum*, 15(3), 473-497. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>
- Nabhan, H. (2003). *Gestion de la fertilité des sols pour la sécurité alimentaire en Afrique subsaharienne*: Food & Agriculture Org.
- Nassar, A. (2008). Chemical Composition and Functional Properties of Prickly Pear (*Opuntia ficus indica*) Seeds Flour and Protein Concentrate. *World Journal of Dairy and Food Sciences*, 3.
- Nefzaoui, A., & Ben Salem, H. (2001). *Opuntia*: A strategic fodder and efficient tool to combat desertification in the WANA region. *Cactus (Opuntia species) as Forage*. C. Mondragon and S. Perez (eds.), 73-90.

- Nefzaoui, A., & Chermiti, A. (1991). Place et rôles des arbustes fourragers dans les parcours des zones arides et semi-arides de la Tunisie. *Options méditerranéennes*, 16, 119-125.
- Nefzaoui, A., Louhaichi, M., & Ben Salem, H. (2014). Cactus as a tool to mitigate drought and to combat desertification. *Journal of Arid Land Studies*, 24(1), 121-124.
- Nefzaoui, A., & Salem, H. B. (1996, 1996). *Nutritive value of diets based on spineless cactus (Opuntia ficus indica var inermis) and atriplex (Atriplex nummularia)*.
- Nerd, A., Karadi, A., & Mizrahi, Y. (1991). Salt tolerance of prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica*). *Plant and Soil*, 137(2), 201-207.
- Nerd, A., Mesika, R., & Mizrahi, Y. (1993). Effect of N fertilizer on autumn floral flush and cladode N in prickly pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.). *Journal of Horticultural Science*, 68(3), 337-342.
- Nobel, P. S. (1983). Nutrient levels in cacti—relation to nocturnal acid accumulation and growth. *American Journal of Botany*, 70(8), 1244-1253.
- Nobel, P. S. (2002). *Cacti: biology and uses*: Univ of California Press.
- Nobel, P. S., & Bobich, E. G. (2002). Environmental biology. *Cacti: biology and uses*, 57-74.
- Nobel, P. S., & Castañeda, M. (1998). Prickly Pear Cactus *Opuntia ficus-indica*. *J, AMER, Soc. HoRT, SCI*, 123(1), 47-51.
- Novoa, A., Le Roux, J. J., Robertson, M. P., Wilson, J. R. U., & Richardson, D. M. (2015). Introduced and invasive cactus species: a global review. *AoB Plants*, 7.
- Ochatte, C. (2005). Growth, quality and biotechnology. *WFL Publisher, Meri-Rastilan tie 3c .Finland., 980*, 1038-1067.
- Palomino, G., Dolezel, J., Cid, R., Brunner, I., Méndez, I., & Rubluo, A. (1999). Nuclear genome stability of *Mammillaria san-angelensis* (Cactaceae) regenerants induced by auxins in long-term in vitro culture. *Plant Science*, 141(2), 191-200. doi: [https://doi.org/10.1016/s0168-9452\(98\)00216-7](https://doi.org/10.1016/s0168-9452(98)00216-7)
- Papafotiou, M., Balotis, G. N., Louka, P. T., & Chronopoulos, J. (2001). In vitro plant regeneration of *Mammillaria elongata* normal and cristate forms. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 65(2), 163-167. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1010601328667>
- Passioura, J. B. (1988). Water transport in and to roots. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 39(1), 245-265.
- Pelah, D., Kaushik, R. A., Mizrahi, Y., & Sitrit, Y. (2002). Organogenesis in the vine cactus *Selenicereus megalanthus* using thidiazuron. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 71(1), 81-84. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1016585108094>
- Pérez-Molphe-Balch, E., & Dávila-Figueroa, C. A. (2002). In vitro propagation of *Pelecypora aselliformis* Ehrenberg and *P. strobiliformis* Werdermann (cactaceae). *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, 38(1), 73-78. doi: <https://doi.org/10.1079/IVP2001248>
- Pérez-Molphe-Balch, E., Pérez-Reyes, M. E., & Rosa-Carrillo, M. D. L. D. L. (2012). In Vitro Conservation of *Turbinicarpus* (Cactaceae) Under Slow Growth Conditions. *Haseltonia*, 2012(17), 51-57, 57. doi: <https://doi.org/10.2985/1070-0048-17.1.6>
- Pérez-Molphe-Balch, E., Santos-Díaz, M. d. S., Ramírez-Malagón, R., & Ochoa-Alejo, N. (2015). Tissue culture of ornamental cacti. *Scientia Agricola*, 72, 540-561. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0012>
- Pichon, G., & Gayral, P. (1979). Comparaison nomocénologique de deux méthodes de piégeage des moustiques. *Cahiers ORSTOM.Série Entomologie Médicale et Parasitologie*(4), 243-247
- Piedallu, C., Perez, V., Gégout, J.-C., Lebourgeois, F., & Bertrand, R. (2009). Impact potentiel du changement climatique sur la distribution de l'Épicéa, du Sapin, du Hêtre et du Chêne sessile en France. *Revue Forestière Française*.
- Piga, A. (2004). Cactus Pear: a Fruit of nutraceutical and functional importance. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 9-22.

- Pilate, G., Pâques, M., Leple, J.-C., & Plomion, C. (2002). Les Biotechnologies chez les arbres forestiers. *Revue Forestière Française*.
- Pimienta-Barrios, E. (1993). Vegetable cactus (Opuntia). *Pulses and Vegetables, Chapman & Hall, London, 1993*, 177-191.
- Pimienta-Barrios, E. (1994). Prickly pear (Opuntia spp.): a valuable fruit crop for the semi-arid lands of Mexico. *Journal of Arid Environments*, 28(1), 1-11.
- Pimienta-Barrios E. (1993). *Vegetable cactus (Opuntia)*. In *Underutilized Crops: Pulses and Vegetables*, p. 177–191. Ed J. Williams. London, UK.
- Pinkava, D. J., Baker, M. A., Parfitt, B. D., Mohlenbrock, M. W., & Worthington, R. D. (1985). Chromosome numbers in some cacti of western North America-V. *Systematic Botany*, 471-483.
- Pinkava, D. J., McLeod, M. G., McGill, L. A., & Brown, R. C. (1973). Chromosome numbers in some cacti of western North America—II. *Brittonia*, 25(1), 2-9.
- Pinkava, D. J., Parfitt, B. D., Baker, M. A., & Worthington, R. D. (1992). Chromosome numbers in some cacti of western North America-VI, with nomenclatural changes. *Madroño*, 98-113.
- Pinson, L. J., & Lankford, J. P. (1981). Research on Image Enhancement Algorithms: TENNESSEE UNIV SPACE INST TULLAHOA-Technical Report RG-CR-81-3.
- Portillo, L. (2009). Biogeography of dactylopiidae and human factor. *Acta Horticulturae*, 811, 235-240. doi: 10.17660/ActaHortic.2009.811.29
- Portillo, M. I., & Viguera, A. L. (2004). A review on the cochineal species in Mexico, hosts and natural enemies. In *V International Congress on Cactus Pear and Cochineal 728* (pp. 249-256).
- Pospíšilová, J., Tichá, I., Kadleček, P., Haisel, D., & Plzáková, Š. (1999). Acclimatization of Micropropagated Plants to Ex Vitro Conditions. *Biologia plantarum*, 42(4), 481-497. doi: <https://doi.org/10.1023/a:1002688208758>
- Potter, R., & Jones, M. G. K. (1991). An assessment of genetic stability of potato in vitro by molecular and phenotypic analysis. *Plant Science*, 76(2), 239-248.
- Poupon, J. E. (1975). Cactus et ressources fourragères. *Amélioration et aménagement des parcours forestiers*.
- Prasad, R. N., & Chaturvedi, H. C. (1988). Effect of season of collection of explants on micropropagation of *Chrysanthemum morifolium*. *Biologia plantarum*, 30(1), 20-24.
- Prat L, Franck N, & Sudzuki F. (2017). *Morphology and anatomy of Platyopuntiae*. In: *FAO & ICARDA (eds.): Crop ecology, cultivation and uses of cactus pear*. Rome, Italy. p. 22-28. .
- Quénot, H., Dubreuil, V., Mimet, A., Pellissier, V., Aguejad, R., Clergeau, P., & Bridier, S. (2010). Climat urbain et impact sur la phénologie végétale printannière. *La Météorologie*.
- Quijala, E., Matos, J., Montalvo, G., de Fera, M., Chávez, M., Capote, A., . . . Kowalski, B. (2009). In vitro propagation of *Pilosocereus robinii* (Lemaire) Byles et Rowley, endemic and endangered cactus. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 11, 18-25.
- Raghavan, V., & Torrey, J. G. (1963). Growth and morphogenesis of globular and older embryos of *Capsella* in culture. *American Journal of Botany*, 50(6Part1), 540-551.
- Ramadan, M. F., & Mörsel, J.-T. (2003). Recovered lipids from prickly pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill] peel: a good source of polyunsaturated fatty acids, natural antioxidant vitamins and sterols. *Food Chemistry*, 83(3), 447-456. doi: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00128-6](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00128-6)
- Ramirez-Malagon, R., Aguilar-Ramirez, I., Borodanenko, A., Perez-Moreno, L., Barrera-Guerra, J. L., Nuñez-Palenius, H. G., & Ochoa-Alejo, N. (2007). In vitro propagation of ten threatened species of *Mammillaria* (Cactaceae). *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, 43(6), 660-665. doi: <https://doi.org/10.1007/s11627-007-9076-z>
- Ramírez-Moreno, E., Córdoba-Díaz, D., de Cortes Sánchez-Mata, M., Díez-Marqués, C., & Goñi, I. (2013). Effect of boiling on nutritional, antioxidant and physicochemical characteristics in cladodes (*Opuntia ficus indica*). *LWT-Food Science and Technology*, 51(1), 296-302.

- Resende, S. V., Lima-Brito, A., & Santana, J. R. F. d. (2010). Effect of substrate and rooting on acclimatization of in vitro propagated *Melocactus glaucescens* Buining & Brederoo. *Revista Ceres*, 57(6), 803-809.
- Retamal, N., Durán, J. M., & Fernández, J. (1987). Seasonal variations of chemical composition in prickly pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) miller). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 38(4), 303-311.
- Robinson, H. (1974). Scanning electron microscope studies of the spines and glochids of the Opuntioideae (Cactaceae). *American Journal of Botany*, 61(3), 278-283.
- Rodríguez-Felix, A., & Cantwell, M. (1988). Developmental changes in composition and quality of prickly pear cactus cladodes (nopalitos). *Plant foods for human nutrition*, 38(1), 83-93.
- Roghelia, V., & Panchal, J. (2016). Physicochemical characteristics of cactus pear fruits. *J. Pharm. Chem. Biol. Sci*, 4(1), 119-125.
- Rosas, M. M., De la Rosa, M. A. M., Goldammer, K. M., & Avila, V. M. C. (2001). Micropropagation of *Turbinicarpus laui* Glass et Foster, an endemic and endangered species. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 37(3), 400-404.
- Royaume du Maroc- Ministère de l'Intérieur, D. G. d. C. L. (2015). *La Région de Marrakech-Safi, MONOGRAPHIE GENERALE, Extrait du rapport de la Commission Consultative de la Régionalisation/Rapport sur la régionalisation avancée/Livre II : Découpage régional- Février 2011*.
- Rubluo, A., Marín-Hernández, T., Duval, K., Vargas, A. n., & Márquez-Guzmán, J. (2002). Auxin induced morphogenetic responses in long-term in vitro subcultured *Mammillaria san-angelensis* Sánchez-Mejorada (Cactaceae). *Scientia Horticulturae*, 95(4), 341-349. doi: [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(02\)00040-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(02)00040-7)
- Rubluo, A., Reyes, J., Rodriguez-Garay, B., Pimienta-Barrios, E., & Brunner, I. (1996). *Metodos de propagacion biotecnologicas y convencionales en cactaceas para zonas aridas*. (J. Izquierdo & G. Palomino Eds. Vol. 9). Santiago, Chile: FAO.
- Russel, C. E. (1986). *Cactus, ecology and range management during drought. Proceeding of the symposium on livestock and wild life management during drought (R D Brown ed). Caesar Kleberg wildlife researches Institute, Univ. Kingsville, Texas, p. 59-69*.
- Russell, C., & Felker, P. (1987a). Comparative cold-hardiness of *Opuntia* spp. and cvs grown for fruit, vegetable and fodder production. *Journal of Horticultural Science*, 62(4), 545-550.
- Russell, C., & Felker, P. (1987b). The prickly-pears (*Opuntia* spp., Cactaceae): a source of human and animal food in semiarid regions. *Economic Botany*, 41(3), 433-445.
- Saadi, A. (1991). *Régénération de plantes de pois Pisum sativum L par embryogenèse somatique, Thèse de doctorat. Paris Grignon 162p*.
- Saadi, A., & Hamdani, F.-Z. (2007). Régénération in vitro du *Scorpiurus muricatus* ssp. *subvillosus* via la caulogenèse. *BASE*, 11.
- Sadek, C., & Ykhlef, N. (2018). Amélioration de l'aptitude à la callogenèse chez la pomme de terre *Solanum tuberosum* L somatique de la pomme de terre par la sélection de meilleurs équilibres hormonaux.
- Salem, H. B., & Nefzaoui, A. (2003). Feed blocks as alternative supplements for sheep and goats. *Small Ruminant Research*, 49(3), 275-288.
- Samia, G. (2015). *RECUEIL DES TRAVAUX PRATIQUES DE LA CULTURE IN VITRO VEGETALE. DEPARTEMENT DES SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT, FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE*.
- SAS, J. (2018). SAS Institute Inc. 2018. JMP® 14 Design of Experiments Guide. Cary, Caroline du Nord: SAS Institute Inc.
- Sawsan, S. S., Abou-Dahab, T. A., & Youssef, E. M. A. (2004). In vitro propagation of cactus (*Cereus peruvianus* L.). *Horticulture Research Institute, Ornamental Horticulture Department, Faculty of agriculture, Cairo University, Egypt*.



- Sawsan, S. S., Abou-Dahab, T. A., & Youssef, E. M. A. (2005). In vitro propagation of cactus (*Cereus peruvianus* L.). *Arab J Biotech*, 8(1), 169-176.
- Sbaghi, M., Bouharroud, R., Boujghagh, M., & Bouhssini, M. E. (2019). Sources de résistance d'*Opuntia* spp. contre la cochenille à carmin, *Dactylopius opuntiae*, au Maroc. *EPPO Bulletin*.
- Scheinvar, L. (1985). Cactáceas. Flora Ilustrada Catarinense (CACT): Itajaí, Herbário Barbosa Rodrigues.
- Scheinvar, L. (1995). *Taxonomy of utilized Opuntias*. In: Barbera G, Inglese P and Pimienta-Barrios E (Eds) *Agroecology, cultivation and uses of cactus pear*, FAO Plant Production and Protection Paper 132. Rome, Italy, p. 20-27.
- Schenk, R. U., & Hildebrandt, A. C. (1972). Medium and techniques for induction and growth of monocotyledonous and dicotyledonous plant cell cultures. *Canadian Journal of Botany*, 50(1), 199-204. doi: 10.1139/b72-026
- Schowengerdt, R. A. (2012). *Techniques for image processing and classifications in remote sensing*: Academic Press.
- Schwendenmann, L., Veldkamp, E., Moser, G., Hölscher, D., Koehler, M., Clough, Y., . . . Hertel, D. (2010). Effects of an experimental drought on the functioning of a cacao agroforestry system, Sulawesi, Indonesia. *Global Change Biology*, 16(5), 1515-1530.
- Sepulveda, E., & Saenz, C. (1990). Note. Chemical and physical characteristics of prickly pear (*Opuntia ficus indica*) pulp. *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (Spain)*.
- Sepúlveda, E., & Sáenz, C. (1988). Industrialización de la tuna (*Opuntia ficus-indica*). I. Aceite de la semilla. *Alimentos*, 13(1), 35-38.
- Serrano, A., Sousa, M., Hallett, J., Lopes, J., & Oliveira, M. (2011). Analysis of natural red dyes (cochineal) in textiles of historical importance using HPLC and multivariate data analysis. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 401, 735-743. doi: 10.1007/s00216-011-5094-0
- Serrano, A., Sousa, M., Hallett, J., Simmonds, M., Nesbitt, M., & Lopes, J. (2013). Identification of *Dactylopius cochineal* species with high-performance liquid chromatography and multivariate data analysis. *The Analyst*, 138. doi: 10.1039/c3an00052d
- Serrano, C. R., & da Silva, J. A. T. (2008). Micropropagation of Cactus Plants (Cactaceae). *Floriculture, Ornamental and Plant Biotechnology*, 5, 119-226.
- Shine, C., Williams, N., & Gündling, L. (2000). *A guide to designing legal and institutional frameworks on alien invasive species*. Gland, Switzerland, Cambridge, Bonn, International Union for Conservation of Nature (IUCN). 138 pp.
- Shishkova, S., García-Mendoza, E., Castillo-Díaz, V., Moreno, N. E., Arellano, J., & Dubrovsky, J. G. (2007). Regeneration of roots from callus reveals stability of the developmental program for determinate root growth in Sonoran Desert Cactaceae. *Plant Cell Reports*, 26(5), 547-557. doi: <https://doi.org/10.1007/s00299-006-0269-4>
- Sibi, M. (1981). *Hérédité de variants épigéniques obtenus par culture de tissus in vitro chez les végétaux supérieurs*, Univ Paris Sud, Orsay, 280 p.
- Singh, A. (1989). Review article digital change detection techniques using remotely-sensed data. *International journal of remote sensing*, 10(6), 989-1003.
- Smith, R. H., Burdick, P. J., Anthony, J., & Reilley, A. A. (1991). In vitro propagation of *Coryphantha macromeris*. *HortScience*, 26(3), 315-315. doi: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.26.3.315>
- Sokal, R. R., & Rohlf, F. J. (1969). *Biometry : the principles and practice of statistics in biological research*. San Francisco: W.H. Freeman.
- Spodek, M., Ben-Dov, Y., Protasov, A., Carvalho, C. J., & Mendel, Z. (2014). First record of *Dactylopius opuntiae* (Cockerell)(Hemiptera: Coccoidea: Dactylopiidae) from Israel. *Phytoparasitica*, 42(3), 377-379.
- Staritsky, G., & Van Hasselt, G. (1981). *The synchronised mass propagation of Coffea canephora in vitro*. Paper presented at the Neuvieme Colloque Scientifique International sur le Cafe, Londres, 16-20 juin, 1980.



- Steinhart, C. E. (1962). Tissue Cultures of a Cactus. *Science*, 137(3529), 545-546. doi: <https://doi.org/10.1126/science.137.3529.545>
- Sudzuki, F., Muñoz, C., & Berger, H. (1993). El cultivo de la tuna (Cactus pear).
- Sudzuki Hills, F. (1995). Anatomy and morphology. 28-35, in : G.Barbera, P. Inglese and E. Pimienta-Barios (eds) Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO Plant production and protection. Paper, 132. *FAO Plant Production and Protection Paper (FAO)*.
- Sutton, B. G., Ting, I. P., & Sutton, R. (1981). Carbohydrate metabolism of cactus in a desert environment. *Plant physiology*, 68(3), 784-787.
- Tijani M. (2000). «Hydromasse et biomasse des Opuntias», Dossier : Le Cactus (l'Opuntia à fruit Comestible) appelé communément Figuier de Barbarie (Actes de la deuxième journée nationale sur la culture du cactus) El Kelaa des Sraghna Maroc, 30 mai 2000, pp 22-26. .
- Trachtenberg, S., & Mayer, A. M. (1982). Mucilage Cells, Calcium Oxalate Crystals and Soluble Calcium in *Opuntia ficus-indica*. *Annals of Botany*, 50(4), 549-557.
- Uchoa, A. F., Souza, P. A. S., Zarate, R. M. L., Gomes-Filho, E., & Campos, F. A. P. (1998). Isolation and characterization of a reserve protein from the seeds of *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae). *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 31, 757-761.
- USDA. (2014). *Field guide for managing prickly pear in the Southwest. Forest service, Southwest region, 7p.*
- Valdez-Cepeda, R. D., Blanco-Macías, F., Magallanes-Quintanar, R., Vázquez-Alvarado, R. E., & Reveles-Hernández, M. (2009). Avances en la nutrición del nopal en México. *Memorias del VIII Simposium-Taller Nacional y Ier Internacional de Producción y Aprovechamiento del Nopal. Campus de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma de Nuevo León, Escobedo, NL, México*, 1-14.
- Valdez-Cepeda, R. D., Méndez-Gallegos, S. d. J., Magallanes-Quintanar, R., Ojeda-Barrios, D. L., & Blanco-Macías, F. (2014). Fruit yield per cladode depends on its physical attributes in *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller variety 'Rojo Pelón'. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 20(2), 131-146.
- Valente, L. M. M., da Paixão, D., Do Nascimento, A. C., dos Santos, P. F. P., Scheinvar, L. A., Moura, M. R. L., . . . da Silva, J. F. M. (2010). Antiradical activity, nutritional potential and flavonoids of the cladodes of *Opuntia monacantha* (Cactaceae). *Food Chemistry*, 123(4), 1127-1131.
- Vasconcelos, A. G. V. d., Lira, M. d. A., Cavalcanti, V. L. B., Santos, M. V. F. d., & Willadino, L. (2009). Seleção de clones de palma forrageira resistentes à cochonilha-do-carmim (*Dactylopius* sp). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(5), 827-831.
- Vásquez Alvarado, R., Valdez Cepeda, R. D., & Blanco Macías, F. (2009). Riego y fertilización del nopal verdura. . *Rev. Salud Publica Nutr.*, 2[Edición Especial]:, 19–35.
- Veen, H. (1963). The effect of various growth-regulators on embryos of *Capsella bursa-pastoris* growing in vitro. *Acta botanica neerlandica*, 12(2), 129-171.
- Vidalis, H., Augé, R., & Beauchesne, G. (1989). La culture in vitro et ses applications horticoles. *Lavoisier, Tec et Doc (ed)*. 7- 24.
- Vidican, I. (2012). Studiens on the influence of acid concentration- $\beta$  indolilbutiric (IBA) on regenerative capacity and organogenesis of explants of *Opuntia* (Tournef.) Mill. fragilis var. fragilis. *Analele Universității din Oradea, Fascicula: Protecția Mediului*, 19, 312-319.
- Vidican, I., & Urdea, O. (2011). Determination in assimilating pigment content of the *Echinocactus* (Pfiff.) mihanovichii from exposed vitrocultures to light of different colors and wavelengths emitted by fluorescent tubes or light-emitting diode (LED). *Analele Universității din Oradea, Fascicula: Protecția Mediului*, 17, 297-304.
- Vidican, T., & Cachita-Cosma, D. (2010). Determination of assimilator pigment content in cladodes of *Opuntia fragilis* var. fragilis exposed to light of different colors emitted by LEDs. *Studia Universitatis Vasile Goldis, Stiintele Vietti* 20, 49–54.

- Viñas, M., Fernández-Brenes, M., Azofeifa, A., & Jiménez, V. M. (2012). In vitro propagation of purple pitahaya (*Hylocereus costaricensis* [F.A.C. Weber] Britton & Rose) cv. Cebrá. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, 48(5), 469-477. doi: <https://doi.org/10.1007/s11627-012-9439-y>
- Vyskot, B., & JáRa, Z. (1984). Clonal propagation of cacti through axillary buds in vitro. *Journal of Horticultural Science*, 59(3), 449-452. doi: <https://doi.org/10.1080/00221589.1984.11515217>
- Walali, L. D. (1997). *Le figuier de barbarie. Espèce fruitière d'intérêt secondaire cultivée au Maroc. BLPNTT. MADRPM/DERD. 35 : 1-2.*
- Walker, D. R., & Parrott, W. A. (2001). Effect of polyethylene glycol and sugar alcohols on soybean somatic embryo germination and conversion. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 64(1), 55-62.
- Warren-Hammack, D. (2019). *Use of Micropropagation Techniques to Improve Germination Success in Six Species of Cacti*. Sam Houston State University.
- Wessels, A. B. (1988). *Spineless prickly pears: Perskor*.
- Wessels, A. B. (1989). Morfogenese en potensiaal van die turksvyvrug *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.
- Williams, J. M. (1979). *Geometric Correction of Satellite Imagery. Farnborough, Hants, United Kingdom. Technical Report 79121, Royal Aircraft Establishment.*
- Woodward, T. E., Turner, W. F., & Griffiths, D. (1915). Prickly pear as a feed for dairy cows. *Journal of Agricultural Research*, 4(5).
- Woog, F. (2003). Distribution and timing of nesting in Hawaiian Geese in relation to food phenology in scrublands. *WILDFOWL-SLIMBRIDGE-*, 79-106.
- Yakoub-Bougdal, S., Chérifi, D., & Bonaly, J. (2007). Production de vitroplants d'*Olea europea* var. Chemlal. *Cahiers Agricultures*, 16(2), 125-127 (121).
- Zammar, N., & Abdelbaki, R. (2016). La Responsabilité Globale des Entreprises: Cas du Site Benguéir de l'Office Chérifien de Phosphates (OCP). *Revue de Gestion et d'Économie*, 4(3), 247-260.
- Zimmermann, H. G., Moran, V. C., & Hoffmann, J. H. (2009). Invasive cactus species (Cactaceae). *Biological control of tropical weeds using arthropods. Cambridge University Press, Cambridge, UK*, 108-129.
- Zito, P., Sajeve, M., Bruno, M., Rosselli, S., Maggio, A., & Senatore, F. (2012). Essential oils composition of two Sicilian cultivars of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae) fruits (prickly pear). *Natural product research*, 27. doi: 10.1080/14786419.2012.734823
- Zryd, J. P. (1988). Culture de cellules, tissus et organes végétaux, Fondement théorique et utilisation pratique. *Ed. Presses Polytechniques Romandes, Suisse*.

# **ANNEXES**

## Annexe 1

**Tableau 44 :** Production phénologique moyenne (Moy) en bourgeons indéterminés chez les écotypes de cactus genre *Opuntia* durant 6 ans de plantation au cactétum d'Ain Nzagh (INRA-CRRA de Settat).

Ecotype	Moyenne des moindres carrés	Lettres
K2	177,25000	a
K3	165,08333	ab
I2	152,41667	abc
112	142,95833	abcd
163	122,91667	bcde
H3	122,83333	bcde
631	114,45833	bcdef
E2	113,20833	bcdef
111	107,75000	cdefg
153	103,29167	cdefgh
752	98,75000	defghi
F2	96,79167	defghi
242	94,29167	defghij
152	92,91667	defghijk
113	92,25000	defghijk
151	90,29167	defghijkl
D3	88,08333	efghijklm
H1	87,50000	efghijklmn
J1	84,45833	efghijklmno
F1	80,75000	efghijklmnop
H2	80,16667	efghijklmnopq
351	79,58333	efghijklmnopq
F3	76,62500	efghijklmnopqr
D2	70,58333	efghijklmnopqrs
E1	63,29167	fghijklmnopqrst
161	62,25000	fghijklmnopqrstu
K1	61,58333	fghijklmnopqrstu
751	55,16667	ghijklmnopqrstuv
B2	53,25000	hijklmnopqrstuvw
261	50,41667	hijklmnopqrstuvw
761	49,08333	ijklmnopqrstuvw
341	47,54167	ijklmnopqrstuvw
B3	42,87500	jklmnopqrstuvw
233	41,87500	jklmnopqrstuvw
732	41,50000	jklmnopqrstuvw
733	40,25000	klmnopqrstuvw
263	40,08333	klmnopqrstuvw
232	38,45833	lmnopqrstuvw
251	36,33333	mnopqrstuvw
143	36,20833	mnopqrstuvw
171	34,62500	nopqrstuvw
G2	34,54167	opqrstuvw
162	31,29167	pqrstuvw
G1	28,00000	pqrstuvw
1101	27,87500	pqrstuvw
131	27,33333	qrstuvw
J2	25,95833	rstuvw
C2	25,66667	rstuvw
743	24,79167	rstuvw
142	24,75000	rstuvw
742	24,29167	rstuvw
521	23,79167	rstuvw
121	23,20833	stuvw
771	22,87500	stuvw
B1	22,58333	stuvw
262	22,00000	stuvw
C3	21,87500	stuvw
181	19,41667	stuvw
191	16,75000	tuvw
511	16,70833	tuvw
A3	15,29167	tuvw

Ecotype	Moyenne des moindres carrés	Lettres
A1	15,20833	tuvw
741	14,58333	tuvw
A2	14,12500	tuvw
122	14,12500	tuvw
D1	13,75000	tuvw
J3	13,16667	tuvw
321	10,54167	tuvw
241	10,08333	uvw
221	9,91667	uvw
141	9,66667	uvw
621	9,45833	uvw
611	7,79167	vw
773	7,33333	vw
231	6,79167	vw
331	6,62500	vw
633	6,25000	vw
352	5,37500	vw
632	5,00000	vw
612	4,45833	vw
266	4,41667	vw
211	4,33333	vw
212	4,12500	vw
264	4,04167	vw
772	3,91667	vw
533	3,70833	vw
651	3,62500	vw
711	3,45833	vw
267	3,41667	vw
641	3,25000	vw
461	3,20833	vw
421	3,08333	vw
713	2,95833	vw
422	2,95833	vw
714	2,83333	vw
471	2,83333	vw
213	2,79167	vw
712	2,66667	vw
431	2,62500	vw
361	2,54167	vw
543	2,50000	vw
722	2,37500	vw
272	2,25000	vw
371	2,25000	vw
265	2,16667	w
311	2,08333	w
411	2,04167	w
451	1,87500	w
441	1,70833	w
532	1,70833	w
531	1,66667	w
731	1,66667	w
273	1,58333	w
271	1,54167	w
723	1,54167	w
551	1,45833	w
561	1,45833	w
572	1,41667	w
541	1,41667	w
274	1,33333	w
571	1,00000	w
442	0,95833	w
542	0,91667	w
412	0,91667	w
581	0,70833	w
275	0,58333	w



## Annexe 2

**Tableau 45** : Production phénologique moyenne (Moy) en bourgeons végétatifs chez les écotypes de cactus genre *Opuntia* durant 6 ans de plantation au cactétum d'Ain Nzagh (INRA-CRRA de Settat).

Ecotype	Moyenne des moindres carrés	Lettres
K2	47,375000	a
K3	46,250000	ab
112	41,875000	abc
H3	39,375000	abcd
163	37,791667	abcde
I2	34,375000	abcdef
113	33,208333	bcdefg
111	31,958333	cdefgh
E2	28,083333	defghi
152	25,541667	efghij
151	25,250000	efghijk
153	24,666667	efghijkl
F1	23,250000	fghijklm
H2	22,958333	fghijklmn
D3	22,791667	fghijklmno
J1	22,458333	fghijklmnop
752	20,541667	ghijklmnopq
D2	19,958333	ghijklmnopqr
631	19,833333	ghijklmnopqr
251	19,750000	ghijklmnopqrs
521	19,708333	ghijklmnopqrs
F3	19,458333	hijklmnopqrst
F2	18,666667	hijklmnopqrstu
351	18,458333	hijklmnopqrstu
H1	17,458333	ijklmnopqrstuv
E1	17,083333	ijklmnopqrstuvw
171	16,041667	ijklmnopqrstuvw
261	15,791667	ijklmnopqrstuvwxy
161	15,750000	ijklmnopqrstuvwxyz
B2	15,750000	ijklmnopqrstuvwxyz
232	13,000000	ijklmnopqrstuvwxyza1
263	12,916667	ijklmnopqrstuvwxyza1
143	12,625000	ijklmnopqrstuvwxyza1
242	12,541667	ijklmnopqrstuvwxyza1
121	12,375000	ijklmnopqrstuvwxyza1
761	12,375000	ijklmnopqrstuvwxyza1
262	12,000000	klmnopqrstuvwxyza1
341	12,000000	klmnopqrstuvwxyza1
B3	11,625000	lmnopqrstuvwxyza1
751	11,458333	lmnopqrstuvwxyza1
K1	11,458333	lmnopqrstuvwxyza1
191	11,291667	lmnopqrstuvwxyza1
742	11,125000	mnopqrstuvwxyza1
J2	10,916667	mnopqrstuvwxyza1
142	10,708333	mnopqrstuvwxyza1
G2	10,250000	mnopqrstuvwxyza1
1101	9,708333	nopqrstuvwxyza1
G1	9,708333	nopqrstuvwxyza1
233	9,583333	nopqrstuvwxyza1
743	9,333333	opqrstuvwxyza1
C2	9,125000	pqrstuvwxyza1
131	8,625000	qrstuvwxyza1
741	8,583333	qrstuvwxyza1
181	8,500000	qrstuvwxyza1
B1	8,291667	qrstuvwxyza1
122	7,833333	qrstuvwxyza1
221	7,625000	qrstuvwxyza1
732	7,208333	qrstuvwxyza1
511	7,208333	qrstuvwxyza1
141	7,166667	qrstuvwxyza1
A1	7,000000	rstuvwxyza1

Ecotype	Moyenne des moindres carrés	Lettres
162	6,833333	rstuvwxyza1
771	6,750000	rstuvwxyza1
D1	6,666667	rstuvwxyza1
621	6,583333	rstuvwxyza1
J3	6,500000	rstuvwxyza1
A3	6,291667	stuvwxyza1
C3	6,083333	tuvwxyza1
A2	5,791667	uvwxyza1
331	5,416667	uvwxyza1
611	4,916667	vwxyza1
231	4,541667	vwxyza1
733	4,458333	vwxyza1
321	4,416667	vwxyza1
773	4,333333	vwxyza1
241	3,583333	wxyza1
612	3,583333	wxyza1
633	3,541667	xyza1
212	3,333333	xyza1
533	3,250000	xyza1
641	3,041667	xyza1
772	2,958333	xyza1
352	2,833333	xyza1
211	2,708333	xyza1
632	2,375000	yzal
711	2,333333	yzal
713	2,291667	yzal
422	2,291667	yzal
421	2,250000	zal
471	2,250000	zal
361	2,250000	zal
651	2,208333	al
213	2,166667	al
267	2,166667	al
264	2,125000	al
714	2,083333	al
543	2,083333	al
722	2,000000	al
411	1,958333	al
451	1,750000	al
431	1,750000	al
265	1,708333	al
712	1,666667	al
532	1,666667	al
311	1,625000	al
461	1,583333	al
531	1,541667	al
561	1,416667	al
371	1,375000	al
266	1,333333	al
541	1,333333	al
731	1,291667	al
272	1,291667	al
274	1,250000	al
441	1,250000	al
572	1,250000	al
273	1,208333	al
551	1,125000	al
271	1,083333	al
442	0,958333	al
542	0,875000	al
723	0,875000	al
571	0,833333	al
412	0,750000	al
581	0,708333	al
275	0,541667	al

## Annexe 3

**Tableau 46 :** Production phénologique moyenne (Moy) en bourgeons fructifères chez les écotypes de cactus genre *Opuntia* durant 6 ans de plantation au cactétum d'Ain Nzagh (INRA-CRRA de Settat).

Ecotype	Moyenne des moindres carrés	Lettres
K2	124,38	a
I2	114,54	ab
K3	113,62	ab
112	98,92	abc
631	92,21	abcd
163	82,25	abcde
E2	80,63	abcdef
H3	79,58	abcdefg
242	76,83	abcdefg
153	75,63	abcdefgh
F2	73,38	bcdefghi
111	72,25	bcdefghij
752	72,00	bcdefghij
H1	67,88	bcdefghijk
152	65,42	bcdefghijkl
151	62,08	cdefghijklm
J1	59,71	cdefghijklmn
D3	59,58	cdefghijklmn
351	59,25	cdefghijklmno
113	55,46	cdefghijklmnop
F1	55,42	cdefghijklmnop
H2	54,79	cdefghijklmnopq
F3	53,96	cdefghijklmnopqr
K1	48,83	cdefghijklmnopqrs
D2	48,79	cdefghijklmnopqrs
161	44,25	defghijklmnopqrs
E1	42,75	defghijklmnopqrs
751	40,63	efghijklmnopqrs
733	35,25	efghijklmnopqrs
341	33,96	efghijklmnopqrs
261	33,38	efghijklmnopqrs
761	33,29	efghijklmnopqrs
732	33,17	efghijklmnopqrs
B2	31,83	fghijklmnopqrs
233	31,54	fghijklmnopqrs
B3	29,29	ghijklmnopqrs
263	26,50	hijklmnopqrs
232	24,42	ijklmnopqrs
162	23,75	ijklmnopqrs
G2	23,38	ijklmnopqrs
143	22,21	jklmnopqrs
131	18,00	klmnopqrs
1101	17,38	lmnopqrs
G1	17,13	lmnopqrs
C3	15,13	lmnopqrs
C2	15,13	lmnopqrs
771	15,00	mnopqrs
743	14,67	mnopqrs
251	14,58	mnopqrs
171	14,33	mnopqrs
142	13,63	mnopqrs
J2	13,21	mnopqrs
B1	12,50	mnopqrs
742	11,00	nopqrs
181	10,46	nopqrs
121	10,29	nopqrs
511	9,17	opqrs
262	9,04	opqrs
A3	7,38	pqrs
A1	7,13	pqrs
A2	6,83	pqrs

Ecotype	Moyenne des moindres carrés	Lettres
241	6,50	pqrs
D1	6,33	pqrs
J3	6,13	pqrs
122	6,00	pqrs
321	5,71	pqrs
741	4,83	qrs
191	4,50	qrs
521	3,79	rs
621	2,71	s
773	2,63	s
632	2,58	s
633	2,50	s
352	2,50	s
266	2,46	s
611	2,29	s
141	2,29	s
231	2,00	s
221	1,63	s
264	1,54	s
461	1,42	s
651	1,38	s
267	1,25	s
711	1,13	s
712	1,00	s
371	0,83	s
331	0,83	s
612	0,79	s
431	0,75	s
714	0,71	s
713	0,67	s
212	0,67	s
421	0,63	s
272	0,58	s
471	0,58	s
772	0,58	s
422	0,54	s
723	0,54	s
213	0,50	s
271	0,46	s
211	0,46	s
543	0,42	s
722	0,38	s
731	0,29	s
311	0,29	s
533	0,29	s
273	0,29	s
441	0,25	s
551	0,25	s
361	0,21	s
412	0,17	s
571	0,17	s
641	0,17	s
451	0,13	s
265	0,13	s
531	0,08	s
572	0,08	s
274	0,04	s
411	0,04	s
541	0,04	s
542	0,04	s
275	0,04	s
561	0,00	s
442	0,00	s
532	0,00	s
581	0,00	s

## Annexe 4

**Tableau 47** : Production phénologique moyenne (Moy) en bourgeons morts chez les écotypes de cactus genre *Opuntia* durant 6 ans de plantation au cactétum d'Ain Nzagh (INRA-CRRA de Settat).

Ecotype	Moyenne des moindres carrés	Lettres
752	6,21	a
D3	5,71	ab
B2	5,67	ab
K2	5,50	abc
K3	5,21	abcd
242	4,92	abcde
F2	4,75	abcdef
E2	4,50	abcdefg
171	4,25	abcdefgh
H3	3,87	abcdefghi
113	3,58	abcdefghij
111	3,54	abcdefghijk
I2	3,50	abcdefghijkl
E1	3,46	abcdefghijklm
761	3,42	abcdefghijklmn
F3	3,21	abcdefghijklmno
751	3,08	abcdefghijklmnop
153	3,00	bcdefghijklmnop
151	2,96	bcdefghijklmnop
163	2,87	bcdefghijklmnop
H2	2,42	cdefghijklmnop
631	2,42	cdefghijklmnop
J1	2,29	defghijklmnop
161	2,25	defghijklmnop
H1	2,17	defghijklmnop
112	2,17	defghijklmnop
742	2,17	defghijklmnop
F1	2,08	defghijklmnop
251	2,00	efghijklmnop
152	1,96	efghijklmnop
B3	1,96	efghijklmnop
351	1,87	efghijklmnop
D2	1,83	efghijklmnop
J2	1,83	efghijklmnop
B1	1,79	efghijklmnop
A3	1,62	fghijklmnop
341	1,58	ghijklmnop
A2	1,50	ghijklmnop
C2	1,42	ghijklmnop
143	1,37	ghijklmnop
K1	1,29	hijklmnop
261	1,25	hijklmnop
741	1,17	hijklmnop
G1	1,17	hijklmnop
211	1,17	hijklmnop
771	1,12	hijklmnop
732	1,12	hijklmnop
A1	1,08	ijklmnop
232	1,04	ijklmnop
262	0,96	ijklmnop
191	0,96	ijklmnop
G2	0,92	ijklmnop
743	0,79	ijklmnop
1101	0,79	ijklmnop
233	0,75	ijklmnop
D1	0,75	ijklmnop
131	0,71	ijklmnop
162	0,71	ijklmnop
221	0,67	ijklmnop
C3	0,67	ijklmnop
263	0,67	ijklmnop



Ecotype	Moyenne des moindres carrés	Lettres
266	0,62	ijklmnop
611	0,58	ijklmnop
121	0,54	ijklmnop
733	0,54	ijklmnop
J3	0,54	ijklmnop
181	0,46	ijklmnop
142	0,42	klmnop
321	0,42	klmnop
772	0,37	lmnop
773	0,37	lmnop
264	0,37	lmnop
272	0,37	lmnop
331	0,37	lmnop
511	0,33	mnop
265	0,33	mnop
521	0,29	nop
122	0,29	nop
231	0,25	op
633	0,21	op
421	0,21	op
441	0,21	op
461	0,21	op
141	0,21	op
533	0,17	op
621	0,17	op
311	0,17	op
723	0,12	op
422	0,12	op
431	0,12	op
213	0,12	op
212	0,12	op
551	0,08	op
572	0,08	op
612	0,08	op
731	0,08	op
273	0,08	op
361	0,08	op
371	0,04	p
541	0,04	p
632	0,04	p
641	0,04	p
352	0,04	p
411	0,04	p
531	0,04	p
532	0,04	p
561	0,04	p
651	0,04	p
714	0,04	p
274	0,04	p
542	-0,00	p
543	-0,00	p
712	-0,00	p
471	-0,00	p
571	-0,00	p
581	-0,00	p
711	-0,00	p
713	-0,00	p
722	-0,00	p
275	-0,00	p
412	-0,00	p
442	-0,00	p
451	-0,00	p
241	-0,00	p
271	-0,00	p
267	-0,00	p

## Annexe 5

**Tableau 48** : Production phénologique moyenne (Moy) en bourgeons végétatifs, fructifère et mort chez les écotypes de cactus genre *Opuntia* en 1<sup>ère</sup> année de plantation au cactétum d'Ain Nzagh (INRA-CRRA de Settat), (Std : standard déviation ; CV : coefficient de variation).

Espèces	Ecotypes	Bourgeons Indéterminés Annuels			Bourgeons Végétatifs Annuels			Bourgeons Fructifères Annuels			Bourgeons Morts Annuels		
		Moy	Std Dev	CV	Moy	Std Dev	CV	Moy	Std Dev	CV	Moy	Std Dev	CV
<i>O. Aquatorialis</i>	171	8,25	3,95	47,85	4,00	0,82	20,41	0,00	0,00	.	4,25	4,27	100,52
<i>O. Dillenii</i>	242	4,00	5,23	130,70	1,00	2,00	200,00	1,25	2,50	200,00	1,75	3,50	200,00
<i>O. Ficus Indica</i>	113	13,25	4,03	30,42	11,75	2,50	21,28	0,00	0,00	.	1,50	3,00	200,00
	121	7,75	1,26	16,24	7,25	1,50	20,69	0,00	0,00	.	0,50	0,58	115,47
	131	8,75	1,26	14,38	8,00	1,83	22,82	0,50	1,00	200,00	0,25	0,50	200,00
	141	2,50	3,32	132,66	2,50	3,32	132,66	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	142	4,25	1,71	40,18	4,00	1,83	45,64	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.
	151	8,00	3,56	44,49	7,00	2,83	40,41	0,00	0,00	.	1,00	0,82	81,65
	152	6,50	1,73	26,65	6,50	1,73	26,65	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	153	6,00	4,69	78,17	5,75	4,27	74,30	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00
	161	5,50	4,43	80,63	5,25	4,57	87,11	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00
	162	6,75	1,71	25,30	5,25	0,96	18,24	0,25	0,50	200,00	1,25	1,89	151,44
	163	15,75	5,19	32,94	12,50	5,92	47,33	0,25	0,50	200,00	3,00	4,69	156,35
	211	5,75	3,10	53,84	2,25	1,71	75,90	1,25	1,26	100,66	2,25	1,71	75,90
	212	6,00	1,83	30,43	5,25	1,26	23,97	0,25	0,50	200,00	0,50	1,00	200,00
	231	6,25	0,96	15,32	6,25	0,96	15,32	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	232	4,50	2,89	64,15	4,25	2,63	61,88	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00
	233	3,25	1,26	38,72	3,25	1,26	38,72	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	241	1,00	2,00	200,00	1,00	2,00	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	261	4,50	1,91	42,55	4,00	1,83	45,64	0,25	0,50	200,00	0,25	0,50	200,00
	262	6,50	1,00	15,38	5,00	2,16	43,20	0,25	0,50	200,00	1,25	1,89	151,44
	263	7,00	2,16	30,86	5,25	1,89	36,06	0,50	0,58	115,47	1,25	0,96	76,59
	264	5,00	3,27	65,32	3,25	2,63	80,92	0,00	0,00	.	1,75	1,26	71,90
	265	2,75	2,99	108,58	2,50	2,52	100,66	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.
	266	6,25	3,40	54,45	3,25	0,50	15,38	2,25	3,20	142,29	0,75	0,50	66,67
	271	3,75	3,30	88,11	2,00	1,83	91,29	1,75	3,50	200,00	0,00	0,00	.
	272	3,50	1,91	54,71	2,25	0,96	42,55	0,50	1,00	200,00	0,75	0,96	127,66
	273	3,25	0,96	29,46	2,50	1,00	40,00	0,50	0,58	115,47	0,25	0,50	200,00
	274	3,25	0,96	29,46	3,25	0,96	29,46	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	275	2,00	1,15	57,74	2,00	1,15	57,74	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	311	5,00	1,63	32,66	3,75	1,50	40,00	1,00	1,15	115,47	0,25	0,50	200,00
	321	3,75	2,63	70,13	3,00	2,16	72,01	0,25	0,50	200,00	0,50	1,00	200,00
	331	3,75	3,10	82,55	3,50	3,11	88,83	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00
	341	4,75	1,71	35,95	4,75	1,71	35,95	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	351	5,00	3,83	76,59	4,75	3,59	75,66	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00
	421	4,00	1,41	35,36	2,75	0,50	18,18	0,00	0,00	.	1,25	1,89	151,44
	451	3,25	1,50	46,15	3,25	1,50	46,15	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	521	2,25	1,71	75,90	2,25	1,71	75,90	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
531	1,50	1,29	86,07	1,25	0,96	76,59	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00	
533	4,75	3,69	77,59	4,25	3,77	88,82	0,00	0,00	.	0,50	1,00	200,00	
542	2,75	3,20	116,42	2,75	3,20	116,42	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
561	2,25	0,50	22,22	2,25	0,50	22,22	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
612	3,50	1,00	28,57	3,25	0,50	15,38	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00	
631	6,50	3,79	58,25	5,00	3,65	73,03	0,00	0,00	.	1,50	3,00	200,00	
711	4,75	2,63	55,37	4,50	2,52	55,92	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	
712	7,25	5,50	75,86	5,00	2,16	43,20	2,25	3,86	171,65	0,00	0,00	.	
713	4,50	2,38	52,90	4,50	2,38	52,90	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
714	3,75	0,50	13,33	3,75	0,50	13,33	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
723	3,25	1,50	46,15	2,50	1,29	51,64	0,50	0,58	115,47	0,25	0,50	200,00	
731	3,00	1,15	38,49	3,00	1,15	38,49	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
732	2,50	0,58	23,09	1,75	1,26	71,90	0,75	0,96	127,66	0,00	0,00	.	
733	2,25	0,50	22,22	2,25	0,50	22,22	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
742	7,25	2,99	41,19	5,75	2,63	45,74	1,50	1,29	86,07	0,00	0,00	.	
743	7,75	4,11	53,07	7,25	3,59	49,57	0,25	0,50	200,00	0,25	0,50	200,00	
751	11,00	7,79	70,81	6,75	3,40	50,42	3,75	5,19	138,35	0,50	1,00	200,00	
752	14,00	5,10	36,42	12,00	3,92	32,63	1,75	1,71	97,59	0,25	0,50	200,00	
761	11,25	7,23	64,25	7,50	1,29	17,21	3,50	6,35	181,45	0,25	0,50	200,00	
771	7,25	5,32	73,31	7,00	5,48	78,25	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00	
772	4,25	3,30	77,74	4,25	3,30	77,74	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
773	2,50	1,73	69,28	2,50	1,73	69,28	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
1101	6,50	1,00	15,38	5,25	1,26	23,97	0,00	0,00	.	1,25	0,96	76,59	
B2	7,75	2,87	37,06	6,00	0,00	0,00	0,75	1,50	200,00	1,00	1,41	141,42	
B3	7,25	2,06	28,44	4,50	1,73	38,49	0,00	0,00	.	2,75	1,50	54,55	
C2	7,75	4,57	59,01	4,25	2,06	48,51	2,75	2,99	108,58	0,75	0,96	127,66	
C3	5,00	2,16	43,20	3,25	1,26	38,72	1,50	2,38	158,70	0,25	0,50	200,00	

Espèces	Ecotypes	Bourgeons Indéterminés Annuels			Bourgeons Végétatifs Annuels			Bourgeons Fructifères Annuels			Bourgeons Morts Annuels		
		Moy	Std Dev	CV	Moy	Std Dev	CV	Moy	Std Dev	CV	Moy	Std Dev	CV
	D1	3,75	1,26	33,55	3,00	0,82	27,22	0,00	0,00	.	0,75	0,50	66,67
	D2	4,25	2,99	70,26	4,25	2,99	70,26	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	D3	10,75	3,50	32,56	8,25	3,40	41,25	0,00	0,00	.	2,50	1,29	51,64
	E1	10,75	4,92	45,81	7,50	4,65	62,06	0,00	0,00	.	3,25	2,22	68,23
	E2	11,75	4,43	37,66	9,25	2,63	28,43	1,25	1,50	120,00	1,25	1,89	151,44
	F1	5,00	3,37	67,33	5,00	3,37	67,33	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	F2	11,75	2,75	23,44	10,75	3,59	33,43	0,75	0,96	127,66	0,25	0,50	200,00
	F3	7,50	3,11	41,46	7,00	2,83	40,41	0,00	0,00	.	0,50	0,58	115,47
	G1	8,50	8,39	98,66	5,25	2,87	54,71	1,75	3,50	200,00	1,50	2,38	158,70
	G2	3,50	0,58	16,50	3,50	0,58	16,50	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	H1	6,00	1,41	23,57	5,25	0,96	18,24	0,25	0,50	200,00	0,50	0,58	115,47
	H2	5,00	2,00	40,00	3,75	0,50	13,33	0,25	0,50	200,00	1,00	1,41	141,42
	H3	6,00	0,82	13,61	6,00	0,82	13,61	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	I2	6,25	1,50	24,00	6,00	1,83	30,43	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00
	J1	5,25	2,63	50,09	4,50	1,29	28,69	0,00	0,00	.	0,75	1,50	200,00
	J2	5,00	3,83	76,59	3,75	2,99	79,63	1,25	1,26	100,66	0,00	0,00	.
	J3	4,25	1,26	29,61	4,25	1,26	29,61	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
<i>O. Inermis</i>	191	6,25	0,96	15,32	5,25	0,50	9,52	0,00	0,00	.	1,00	0,82	81,65
<i>O. Leucotricha</i>	361	6,75	2,06	30,54	6,00	2,16	36,00	0,25	0,50	200,00	0,50	1,00	200,00
	611	4,50	0,58	12,83	4,50	0,58	12,83	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	633	5,75	2,50	43,48	5,25	1,71	32,53	0,50	1,00	200,00	0,00	0,00	.
<i>O. Megacantha</i>	111	4,50	5,45	121,04	4,25	5,32	125,06	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.
	112	6,25	1,50	24,00	6,25	1,50	24,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	122	5,25	0,96	18,24	5,00	1,15	23,09	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00
	143	3,00	2,58	86,07	2,75	2,22	80,63	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00
	181	3,50	1,00	28,57	3,50	1,00	28,57	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	213	3,00	3,56	118,63	2,25	2,63	116,89	0,25	0,50	200,00	0,50	1,00	200,00
	221	6,25	0,50	8,00	5,75	0,50	8,70	0,50	0,58	115,47	0,00	0,00	.
	251	6,50	1,73	26,65	6,25	2,06	32,98	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.
	267	6,25	2,36	37,81	6,25	2,36	37,81	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	352	4,75	2,22	46,68	4,50	1,91	42,55	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.
	371	3,50	1,29	36,89	3,25	1,50	46,15	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00
	411	4,50	1,29	28,69	4,25	0,96	22,53	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00
	422	4,00	1,41	35,36	3,50	1,91	54,71	0,00	0,00	.	0,50	0,58	115,47
	431	3,50	2,89	82,48	3,50	2,89	82,48	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	441	3,00	0,82	27,22	3,00	0,82	27,22	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	442	3,00	0,82	27,22	3,00	0,82	27,22	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	461	2,50	1,91	76,59	2,25	1,71	75,90	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00
	471	1,25	1,50	120,00	1,25	1,50	120,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	511	3,25	3,20	98,51	3,00	2,94	98,13	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00
	532	4,00	1,83	45,64	3,75	1,71	45,54	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00
	541	3,50	1,00	28,57	3,50	1,00	28,57	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	543	4,50	1,00	22,22	4,50	1,00	22,22	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	551	4,00	1,83	45,64	3,00	2,16	72,01	1,00	1,41	141,42	0,00	0,00	.
	571	3,25	1,50	46,15	2,75	1,50	54,55	0,50	1,00	200,00	0,00	0,00	.
	572	1,75	2,06	117,80	1,75	2,06	117,80	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	581	4,00	1,83	45,64	4,00	1,83	45,64	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	621	2,25	1,50	66,67	1,50	1,73	115,47	0,00	0,00	.	0,75	0,96	127,66
	632	4,00	1,83	45,64	4,00	1,83	45,64	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	641	6,75	2,50	37,04	6,50	2,38	36,62	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00
	651	4,75	1,50	31,58	4,00	0,82	20,41	0,75	0,96	127,66	0,00	0,00	.
	722	5,25	0,96	18,24	4,75	1,89	39,85	0,50	1,00	200,00	0,00	0,00	.
	741	6,50	2,38	36,62	5,75	2,22	38,56	0,00	0,00	.	0,75	1,50	200,00
	A1	7,75	3,50	45,16	3,50	1,73	49,49	3,00	1,41	47,14	1,25	0,96	76,59
	A2	4,75	2,22	46,68	3,25	2,50	76,92	0,00	0,00	.	1,50	0,58	38,49
	A3	4,50	1,91	42,55	4,25	1,71	40,18	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00
	B1	4,00	1,15	28,87	3,00	0,82	27,22	0,00	0,00	.	1,00	1,41	141,42
	K1	2,50	2,08	83,27	2,00	1,83	91,29	0,00	0,00	.	0,50	0,58	115,47
	K2	9,00	2,83	31,43	9,00	2,83	31,43	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	K3	11,00	3,56	32,35	10,75	3,77	35,12	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.
<i>O. Robusta</i>	412	3,25	1,26	38,72	3,25	1,26	38,72	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.

## Annexe 6

**Tableau 49** : Production phénologique moyenne (Moy) en bourgeons végétatifs, fructifère et mort chez les écotypes de cactus genre *Opuntia* en 2<sup>ème</sup> année de plantation au cactétum d'Ain Nzagh (INRA-CRRA de Settat), (Std : standard déviation ; CV : coefficient de variation).

Espèces	Ecotypes	Bourgeons Indéterminés Annuels			Bourgeons Végétatifs Annuels			Bourgeons Fructifères Annuels			Bourgeons Morts Annuels		
		Moy	Std Dev	CV	Moy	Std Dev	CV	Moy	Std Dev	CV	Moy	Std Dev	CV
<i>O. Aquatorialis</i>	171	7,00	1,83	26,08	0,50	0,58	115,47	0,00	0,00	.	6,50	1,73	26,65
<i>O. Dillenii</i>	242	15,00	13,74	91,57	3,00	2,16	72,01	2,50	2,89	115,47	9,50	10,34	108,89
<i>O. Ficus Indica</i>	113	14,25	17,06	119,69	9,50	12,01	126,46	0,00	0,00	.	4,75	5,50	115,79
	121	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	131	1,00	1,41	141,42	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,75	1,50	200,00
	141	1,00	0,82	81,65	0,50	0,58	115,47	0,00	0,00	.	0,50	1,00	200,00
	142	0,75	0,96	127,66	0,50	0,58	115,47	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00
	151	12,25	2,50	20,41	4,50	3,70	82,15	0,00	0,00	.	7,75	2,22	28,61
	152	21,50	4,20	19,55	17,25	6,18	35,85	0,00	0,00	.	4,25	5,97	140,36
	153	20,00	18,89	94,43	15,00	15,56	103,71	0,00	0,00	.	5,00	3,56	71,18
	161	8,50	11,85	139,37	6,25	9,25	148,02	0,00	0,00	.	2,25	2,87	127,66
	162	1,75	3,50	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	1,75	3,50	200,00
	163	16,75	15,52	92,67	11,25	15,13	134,49	0,00	0,00	.	5,50	4,80	87,20
	211	2,00	1,41	70,71	0,25	0,50	200,00	1,50	1,29	86,07	0,25	0,50	200,00
	212	1,00	2,00	200,00	0,50	1,00	200,00	0,50	1,00	200,00	0,00	0,00	.
	231	0,75	0,96	127,66	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,50	0,58	115,47
	232	0,75	1,50	200,00	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,50	1,00	200,00
	233	3,50	5,07	144,75	1,00	2,00	200,00	0,00	0,00	.	2,50	3,11	124,37
	241	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	261	1,00	1,15	115,47	0,75	0,96	127,66	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00
	262	1,50	1,00	66,67	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	1,25	0,96	76,59
	263	0,50	1,00	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,50	1,00	200,00
	264	0,50	1,00	200,00	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00
	265	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	266	1,25	1,50	120,00	0,25	0,50	200,00	0,75	0,96	127,66	0,25	0,50	200,00
	271	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.
	272	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	273	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	274	0,50	1,00	200,00	0,25	0,50	200,00	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.
	275	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.
	311	0,75	1,50	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,75	1,50	200,00
	321	1,00	1,41	141,42	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,75	0,96	127,66
	331	1,50	1,29	86,07	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	1,25	1,50	120,00
	341	1,25	1,50	120,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	1,25	1,50	120,00
	351	6,25	7,09	113,42	3,75	4,35	115,98	0,00	0,00	.	2,50	3,11	124,37
	421	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	451	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	521	3,00	2,83	94,28	2,00	3,37	168,33	0,00	0,00	.	1,00	1,41	141,42
531	0,50	0,58	115,47	0,50	0,58	115,47	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
533	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00	
542	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
561	0,25	0,50	200,00	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
612	1,00	1,41	141,42	0,75	0,96	127,66	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00	
631	12,25	8,73	71,28	5,25	6,18	117,80	0,00	0,00	.	7,00	5,10	72,84	
711	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
712	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
713	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
714	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
723	0,50	0,58	115,47	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,50	0,58	115,47	
731	0,75	0,50	66,67	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00	0,50	0,58	115,47	
732	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
733	0,50	0,58	115,47	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,50	0,58	115,47	
742	6,25	4,99	79,87	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	6,00	4,55	75,77	
743	4,75	6,18	130,20	2,75	3,40	123,76	0,00	0,00	.	2,00	2,83	141,42	
751	12,00	7,07	58,93	2,25	2,63	116,89	0,25	0,50	200,00	9,50	5,80	61,08	
752	25,75	6,95	26,98	12,25	7,80	63,71	1,75	2,06	117,80	11,75	4,19	35,69	
761	16,00	6,06	37,85	5,00	6,16	123,29	0,25	0,50	200,00	10,75	2,87	26,72	
771	9,50	13,67	143,95	6,00	10,00	166,67	0,25	0,50	200,00	3,25	3,20	98,51	
772	2,25	3,30	146,85	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	2,25	3,30	146,85	
773	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
1101	0,50	1,00	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,50	1,00	200,00	
B2	20,75	9,43	45,44	14,25	5,91	41,47	0,25	0,50	200,00	6,25	4,86	77,70	
B3	5,25	4,99	95,08	1,75	2,06	117,80	0,00	0,00	.	3,50	3,11	88,83	
C2	3,00	2,58	86,07	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	2,75	2,75	100,14	
C3	0,75	0,96	127,66	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,75	0,96	127,66	

Espèces	Ecotypes	Bourgeons Indéterminés			Bourgeons Végétatifs			Bourgeons Fructifères			Bourgeons Morts		
		Annuels			Annuels			Annuels			Annuels		
		Moy	Std Dev	CV	Moy	Std Dev	CV	Moy	Std Dev	CV	Moy	Std Dev	CV
	D1	4,25	6,13	144,25	3,00	4,24	141,42	0,00	0,00	.	1,25	1,89	151,44
	D2	17,75	11,15	62,80	15,00	8,68	57,86	0,00	0,00	.	2,75	2,50	90,91
	D3	22,00	2,94	13,38	13,00	2,71	20,83	0,00	0,00	.	9,00	3,16	35,14
	E1	15,00	13,37	89,11	5,75	4,50	78,26	0,00	0,00	.	9,25	9,11	98,44
	E2	23,25	10,28	44,20	15,75	10,21	64,83	0,00	0,00	.	7,50	2,38	31,74
	F1	10,00	7,66	76,59	4,25	4,79	112,64	0,00	0,00	.	5,75	4,92	85,64
	F2	18,00	12,94	71,87	2,50	3,32	132,66	0,00	0,00	.	15,50	11,12	71,75
	F3	12,75	11,35	89,05	6,00	8,04	134,03	0,00	0,00	.	6,75	5,25	77,81
	G1	2,25	1,71	75,90	0,75	0,96	127,66	0,00	0,00	.	1,50	1,29	86,07
	G2	3,25	1,26	38,72	1,00	0,82	81,65	0,00	0,00	.	2,25	1,50	66,67
	H1	11,00	2,71	24,62	4,25	4,72	110,99	0,00	0,00	.	6,75	2,50	37,04
	H2	13,75	4,92	35,81	11,25	2,50	22,22	0,00	0,00	.	2,50	2,65	105,83
	H3	20,00	5,23	26,14	17,50	5,74	32,83	0,00	0,00	.	2,50	0,58	23,09
	I2	23,50	1,91	8,15	20,00	1,63	8,16	0,00	0,00	.	3,50	1,91	54,71
	J1	15,25	7,27	47,70	11,25	4,72	41,93	0,00	0,00	.	4,00	3,16	79,06
	J2	7,25	6,18	85,31	0,50	1,00	200,00	1,00	1,41	141,42	5,75	5,91	102,77
	J3	2,00	0,82	40,82	0,50	0,58	115,47	0,00	0,00	.	1,50	1,29	86,07
<i>O. Inermis</i>	191	2,75	3,77	137,27	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	2,50	3,32	132,66
<i>O. Leucotricha</i>	361	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	611	0,75	0,96	127,66	0,75	0,96	127,66	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	633	1,25	0,96	76,59	0,00	0,00	.	0,75	0,96	127,66	0,50	0,58	115,47
<i>O. Megacantha</i>	111	14,75	15,09	102,28	12,00	12,99	108,23	0,00	0,00	.	2,75	2,22	80,63
	112	18,00	5,72	31,75	15,00	5,72	38,10	0,00	0,00	.	3,00	2,16	72,01
	122	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	143	4,25	2,50	58,82	2,50	2,65	105,83	0,00	0,00	.	1,75	1,71	97,59
	181	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00
	213	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00
	221	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	251	11,25	13,23	117,56	3,50	5,20	148,46	2,50	5,00	200,00	5,25	3,59	68,46
	267	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	352	0,75	0,96	127,66	0,25	0,50	200,00	0,25	0,50	200,00	0,25	0,50	200,00
	371	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	411	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	422	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	431	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00
	441	1,75	2,06	117,80	0,50	1,00	200,00	0,00	0,00	.	1,25	1,50	120,00
	442	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	461	1,25	1,50	120,00	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	1,00	1,41	141,42
	471	1,25	0,50	40,00	1,25	0,50	40,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	511	1,50	1,73	115,47	1,00	0,82	81,65	0,00	0,00	.	0,50	1,00	200,00
	532	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	541	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	543	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	551	1,00	0,82	81,65	0,00	0,00	.	0,50	0,58	115,47	0,50	0,58	115,47
	571	0,50	1,00	200,00	0,00	0,00	.	0,50	1,00	200,00	0,00	0,00	.
	572	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	581	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	621	5,25	10,50	200,00	5,25	10,50	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	632	0,75	0,50	66,67	0,50	0,58	115,47	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00
	641	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	651	0,50	0,58	115,47	0,50	0,58	115,47	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	722	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	741	0,50	1,00	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,50	1,00	200,00
	A1	5,50	4,65	84,63	2,00	2,83	141,42	0,75	1,50	200,00	2,75	2,22	80,63
	A2	3,00	2,16	72,01	0,75	0,50	66,67	0,00	0,00	.	2,25	2,22	98,55
	A3	8,00	0,82	10,21	3,25	2,75	84,73	0,00	0,00	.	4,75	2,36	49,75
	B1	7,75	6,70	86,48	4,75	5,12	107,86	0,00	0,00	.	3,00	1,63	54,43
	K1	6,50	12,34	189,88	4,00	8,00	200,00	0,00	0,00	.	2,50	4,36	174,36
	K2	27,00	16,25	60,18	22,25	13,50	60,67	0,00	0,00	.	4,75	3,59	75,66
	K3	27,25	7,46	27,36	23,00	4,83	21,00	0,00	0,00	.	4,25	2,63	61,88
<i>O. Robusta</i>	412	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.



## Annexe 7

**Tableau 50** : Production phénologique moyenne (Moy) en bourgeons végétatifs, fructifère et mort chez les écotypes de cactus genre *Opuntia* en 3<sup>ème</sup> année de plantation au cactétum d'Ain Nzagh (INRA-CRRA de Settat), (Std : standard déviation ; CV : coefficient de variation).

Espèces	Écotypes	Bourgeons Indéterminés Annuels			Bourgeons Végétatifs Annuels			Bourgeons Fructifères Annuels			Bourgeons Morts Annuels		
		Moy	Std Dev	CV	Moy	Std Dev	CV	Moy	Std Dev	CV	Moy	Std Dev	CV
<i>O. Aquatorialis</i>	171	1,00	2,00	200,00	1,00	2,00	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
<i>O. Dillenii</i>	242	17,75	13,89	78,25	14,50	8,54	58,92	3,25	5,85	180,07	0,00	0,00	.
<i>O. Ficus Indica</i>	113	4,25	3,40	80,08	3,75	2,50	66,67	0,00	0,00	.	0,50	1,00	200,00
	121	0,25	0,50	200,00	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	131	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	141	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	142	0,50	0,58	115,47	0,50	0,58	115,47	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	151	1,00	1,15	115,47	0,50	1,00	200,00	0,00	0,00	.	0,50	1,00	200,00
	152	3,00	4,08	136,08	1,75	2,36	135,02	0,00	0,00	.	1,25	1,89	151,44
	153	7,25	6,70	92,44	3,50	2,65	75,59	3,00	4,76	158,70	0,75	1,50	200,00
	161	0,75	1,50	200,00	0,75	1,50	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	162	0,50	0,58	115,47	0,50	0,58	115,47	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	163	5,25	5,12	97,59	4,75	5,50	115,79	0,00	0,00	.	0,50	1,00	200,00
	211	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	212	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	231	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	232	1,75	2,36	135,02	1,75	2,36	135,02	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	233	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	241	0,50	1,00	200,00	0,50	1,00	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	261	0,25	0,50	200,00	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	262	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	263	1,00	2,00	200,00	1,00	2,00	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	264	0,25	0,50	200,00	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	265	0,25	0,50	200,00	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	266	5,75	4,57	79,54	0,75	1,50	200,00	5,00	3,56	71,18	0,00	0,00	.
	271	0,25	0,50	200,00	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	272	0,50	0,58	115,47	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00
	273	0,25	0,50	200,00	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	274	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	275	0,25	0,50	200,00	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	311	0,25	0,50	200,00	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	321	0,25	0,50	200,00	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	331	0,25	0,50	200,00	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	341	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	351	1,50	1,29	86,07	1,50	1,29	86,07	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	421	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	451	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	521	0,25	0,50	200,00	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
531	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
533	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
542	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
561	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
612	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
631	2,00	2,45	122,47	2,00	2,45	122,47	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
711	0,25	0,50	200,00	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
712	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
713	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
714	0,75	0,96	127,66	0,50	0,58	115,47	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00	
723	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
731	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
732	4,50	5,74	127,66	1,00	0,82	81,65	3,25	5,25	161,60	0,25	0,50	200,00	
733	8,25	7,14	86,49	0,50	1,00	200,00	5,75	5,91	102,77	2,00	2,31	115,47	
742	1,25	1,89	151,44	1,25	1,89	151,44	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
743	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
751	5,50	4,20	76,42	2,50	1,73	69,28	2,50	2,52	100,66	0,50	1,00	200,00	
752	12,75	10,24	80,34	6,75	7,27	107,77	2,75	3,10	112,57	3,25	2,22	68,23	
761	1,75	1,26	71,90	1,50	1,00	66,67	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	
771	0,75	0,96	127,66	0,25	0,50	200,00	0,25	0,50	200,00	0,25	0,50	200,00	
772	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
773	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
1101	0,25	0,50	200,00	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
B2	5,50	4,43	80,63	2,75	1,26	45,76	2,75	4,19	152,48	0,00	0,00	.	
B3	6,00	4,69	78,17	4,00	3,65	91,29	2,00	1,41	70,71	0,00	0,00	.	
C2	2,75	1,50	54,55	2,00	0,82	40,82	0,25	0,50	200,00	0,50	1,00	200,00	
C3	1,50	2,38	158,70	1,50	2,38	158,70	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	

Espèces	Ecotypes	Bourgeons Indéterminés			Bourgeons Végétatifs			Bourgeons Fructifères			Bourgeons Morts		
		Moy	Std Dev	CV	Moy	Std Dev	CV	Moy	Std Dev	CV	Moy	Std Dev	CV
	D1	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	D2	3,75	3,59	95,84	3,75	3,59	95,84	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	D3	2,75	2,87	104,45	2,50	2,38	95,22	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.
	E1	2,00	2,16	108,01	2,00	2,16	108,01	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	E2	10,50	8,39	79,87	10,00	7,48	74,83	0,50	1,00	200,00	0,00	0,00	.
	F1	1,75	2,36	135,02	1,75	2,36	135,02	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	F2	8,75	9,32	106,55	4,00	3,46	86,60	4,50	6,61	146,85	0,25	0,50	200,00
	F3	10,50	10,15	96,66	7,00	8,45	120,66	2,25	2,63	116,89	1,25	1,26	100,66
	G1	0,75	0,96	127,66	0,50	1,00	200,00	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.
	G2	3,25	5,25	161,60	2,25	3,86	171,65	0,75	1,50	200,00	0,25	0,50	200,00
	H1	4,25	2,63	61,88	3,25	2,63	80,92	1,00	1,41	141,42	0,00	0,00	.
	H2	10,75	4,57	42,54	9,50	5,26	55,37	0,00	0,00	.	1,25	1,50	120,00
	H3	16,50	10,54	63,85	13,00	6,38	49,05	2,75	4,27	155,35	0,75	0,96	127,66
	I2	16,00	4,69	29,32	12,25	7,23	59,01	0,50	1,00	200,00	3,25	2,36	72,70
	J1	4,25	5,44	127,98	3,00	3,16	105,41	0,00	0,00	.	1,25	2,50	200,00
	J2	1,00	0,82	81,65	0,75	0,96	127,66	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00
	J3	0,25	0,50	200,00	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
<i>O. Inermis</i>	191	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
<i>O. Leucotricha</i>	361	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	611	0,50	0,58	115,47	0,50	0,58	115,47	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	633	0,25	0,50	200,00	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
<i>O. Megacantha</i>	111	12,50	11,68	93,41	10,75	10,44	97,08	0,00	0,00	.	1,75	3,50	200,00
	112	5,00	4,55	90,92	4,25	3,30	77,74	0,00	0,00	.	0,75	1,50	200,00
	122	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	143	0,25	0,50	200,00	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	181	0,25	0,50	200,00	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	213	0,25	0,50	200,00	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	221	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	251	3,50	2,65	75,59	3,50	2,65	75,59	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	267	0,50	1,00	200,00	0,50	1,00	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	352	0,25	0,50	200,00	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	371	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	411	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	422	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	431	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	441	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	442	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	461	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	471	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	511	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	532	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	541	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	543	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	551	1,00	1,41	141,42	1,00	1,41	141,42	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	571	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	572	0,50	1,00	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,50	1,00	200,00
	581	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	621	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	632	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	641	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	651	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	722	0,25	0,50	200,00	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	741	2,00	2,16	108,01	2,00	2,16	108,01	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	A1	4,25	3,20	75,33	4,25	3,20	75,33	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	A2	0,50	0,58	115,47	0,50	0,58	115,47	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	A3	1,00	1,41	141,42	0,75	0,96	127,66	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00
	B1	4,50	5,45	121,04	3,00	2,94	98,13	1,50	3,00	200,00	0,00	0,00	.
	K1	1,50	1,91	127,66	1,50	1,91	127,66	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	K2	20,00	4,32	21,60	17,75	5,32	29,94	0,50	1,00	200,00	1,75	1,71	97,59
	K3	17,25	11,81	68,49	16,50	10,88	65,93	0,25	0,50	200,00	0,50	1,00	200,00
<i>O. Robusta</i>	412	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.

## Annexe 8

**Tableau 51** : Production phénologique moyenne (Moy) en bourgeons végétatifs, fructifère et mort chez les écotypes de cactus genre *Opuntia* en 4<sup>ème</sup> année de plantation au cactétum d'Ain Nzagh (INRA-CRRA de Settat), (Std : standard déviation ; CV : coefficient de variation).

Espèces	Écotypes	Bourgeons Indéterminés Annuels			Bourgeons Végétatifs Annuels			Bourgeons Fructifères Annuels			Bourgeons Morts Annuels		
		Moy	Std Dev	CV	Moy	Std Dev	CV	Moy	Std Dev	CV	Moy	Std Dev	CV
<i>O. Aquatorialis</i>	171	22,00	10,07	45,76	18,00	8,83	49,07	2,00	1,41	70,71	2,00	0,82	40,82
<i>O. Dillenii</i>	242	59,50	33,55	56,39	12,75	8,54	66,97	33,75	24,01	71,13	13,00	8,52	65,57
<i>O. Ficus Indica</i>	113	67,75	34,17	50,44	48,25	18,46	38,27	7,75	10,47	135,07	11,75	14,93	127,07
	121	11,25	6,60	58,68	9,75	7,14	73,19	0,00	0,00	.	1,50	1,00	66,67
	131	3,75	2,63	70,13	1,75	2,36	135,02	1,25	1,50	120,00	0,75	0,96	127,66
	141	4,00	4,69	117,26	3,50	4,12	117,80	0,00	0,00	.	0,50	0,58	115,47
	142	14,00	10,83	77,37	11,25	6,08	54,01	1,00	2,00	200,00	1,75	2,87	164,13
	151	50,75	16,84	33,18	31,75	7,93	24,98	12,00	14,72	122,66	7,00	4,24	60,61
	152	69,25	26,74	38,61	46,00	15,73	34,19	17,00	15,01	88,30	6,25	4,11	65,81
	153	108,25	126,90	117,23	39,50	33,27	84,23	59,00	79,23	134,28	9,75	15,65	160,51
	161	31,50	43,47	138,00	15,50	16,94	109,30	7,00	12,08	172,61	9,00	14,76	164,05
	162	5,75	4,65	80,80	3,50	2,08	59,48	2,00	2,45	122,47	0,25	0,50	200,00
	163	125,00	50,56	40,45	54,00	13,09	24,24	65,75	45,07	68,55	5,25	5,56	105,91
	211	7,25	4,72	65,06	2,75	1,26	45,76	0,00	0,00	.	4,50	4,65	103,44
	212	2,50	2,08	83,27	2,25	1,71	75,90	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00
	231	1,00	2,00	200,00	1,00	2,00	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	232	19,75	17,91	90,70	16,00	13,64	85,24	1,75	3,50	200,00	2,00	2,31	115,47
	233	11,75	13,62	115,94	10,50	11,90	113,36	0,00	0,00	.	1,25	1,89	151,44
	241	3,50	1,29	36,89	3,50	1,29	36,89	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	261	33,50	14,01	41,83	28,25	9,00	31,84	0,75	1,50	200,00	4,50	5,69	126,36
	262	25,25	13,96	55,29	21,50	11,09	51,58	1,00	1,41	141,42	2,75	4,19	152,48
	263	12,50	13,08	104,61	11,75	12,97	110,39	0,00	0,00	.	0,75	0,96	127,66
	264	1,25	0,96	76,59	0,50	0,58	115,47	0,50	1,00	200,00	0,25	0,50	200,00
	265	0,75	0,96	127,66	0,50	1,00	200,00	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.
	266	8,50	4,65	54,76	2,25	0,96	42,55	3,50	3,42	97,59	2,75	2,75	100,14
	271	1,00	0,82	81,65	1,00	0,82	81,65	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	272	1,75	1,50	85,71	1,00	0,82	81,65	0,00	0,00	.	0,75	0,96	127,66
	273	1,75	2,06	117,80	1,50	1,73	115,47	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00
	274	1,50	1,73	115,47	1,25	1,26	100,66	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00
	275	0,25	0,50	200,00	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	311	1,25	1,26	100,66	1,00	1,41	141,42	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.
	321	6,00	10,03	167,22	3,50	5,69	162,46	1,25	2,50	200,00	1,25	1,89	151,44
	331	6,00	8,98	149,69	5,25	7,54	143,70	0,25	0,50	200,00	0,50	1,00	200,00
	341	32,50	30,23	93,01	13,25	14,93	112,68	13,50	23,06	170,80	5,75	5,12	89,10
	351	51,00	52,83	103,58	16,25	12,39	76,26	26,25	36,77	140,09	8,50	10,97	129,05
	421	2,25	1,26	55,92	2,25	1,26	55,92	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	451	2,75	3,77	137,27	2,75	3,77	137,27	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	521	9,75	9,11	93,39	9,00	8,25	91,62	0,00	0,00	.	0,75	0,96	127,66
	531	2,25	2,06	91,62	2,25	2,06	91,62	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	533	3,00	6,00	200,00	2,75	5,50	200,00	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00
	542	0,25	0,50	200,00	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	561	2,25	1,50	66,67	2,00	1,41	70,71	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00
	612	3,00	4,69	156,35	3,00	4,69	156,35	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	631	50,00	46,03	92,06	22,75	13,23	58,13	21,50	33,49	155,77	5,75	7,80	135,74
711	2,25	1,89	84,13	2,00	2,16	108,01	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	
712	0,50	1,00	200,00	0,00	0,00	.	0,50	1,00	200,00	0,00	0,00	.	
713	1,25	1,50	120,00	1,25	1,50	120,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
714	2,25	1,26	55,92	1,25	0,50	40,00	1,00	1,41	141,42	0,00	0,00	.	
723	0,50	1,00	200,00	0,50	1,00	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
731	1,25	1,26	100,66	0,75	0,96	127,66	0,50	0,58	115,47	0,00	0,00	.	
732	14,25	14,80	103,83	6,00	6,06	100,92	5,75	5,19	90,23	2,50	4,36	174,36	
733	20,25	7,72	38,12	9,00	2,16	24,00	11,00	7,96	72,35	0,25	0,50	200,00	
742	28,75	5,38	18,70	12,75	4,19	32,89	10,50	2,65	25,20	5,50	7,19	130,69	
743	18,50	8,10	43,80	15,50	6,95	44,85	1,25	0,96	76,59	1,75	1,50	85,71	
751	53,50	17,08	31,92	7,00	6,68	95,48	39,00	16,21	41,56	7,50	4,04	53,89	
752	135,75	22,20	16,35	25,50	16,05	62,95	90,50	34,03	37,61	19,75	9,36	47,39	
761	60,25	48,47	80,45	17,75	1,71	9,62	33,75	40,09	118,77	8,75	6,99	79,93	
771	25,00	21,18	84,73	8,25	4,19	50,83	14,75	18,66	126,52	2,00	2,83	141,42	
772	0,75	0,50	66,67	0,75	0,50	66,67	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
773	4,75	2,63	55,37	3,50	1,73	49,49	0,00	0,00	.	1,25	0,96	76,59	
1101	20,00	3,27	16,33	14,25	2,06	14,47	2,75	1,89	68,84	3,00	2,00	66,67	
B2	63,00	6,58	10,45	20,25	5,06	24,98	21,50	6,56	30,50	21,25	8,54	40,18	
B3	30,00	11,49	38,30	16,00	6,68	41,77	11,50	10,28	89,39	2,50	3,11	124,37	
C2	21,75	12,45	57,23	9,75	8,38	85,96	10,00	7,70	77,03	2,00	4,00	200,00	
C3	12,25	5,44	44,40	11,00	5,72	51,96	0,25	0,50	200,00	1,00	0,82	81,65	

Espèces	Ecotypes	Bourgeons Indéterminés			Bourgeons Végétatifs			Bourgeons Fructifères			Bourgeons Morts		
		Annuels			Annuels			Annuels			Annuels		
		Moy	Std Dev	CV	Moy	Std Dev	CV	Moy	Std Dev	CV	Moy	Std Dev	CV
	<b>D1</b>	9,25	3,30	35,72	6,25	2,63	42,08	2,00	2,83	141,42	1,00	0,82	81,65
	<b>D2</b>	37,00	24,34	65,80	22,25	15,46	69,47	7,50	7,94	105,83	7,25	6,85	94,48
	<b>D3</b>	71,25	17,08	23,97	28,50	8,10	28,43	23,50	13,92	59,22	19,25	11,90	61,81
	<b>E1</b>	30,75	31,11	101,16	13,75	10,90	79,31	11,75	15,24	129,70	5,25	6,70	127,66
	<b>E2</b>	131,50	117,30	89,20	27,25	8,77	32,18	89,50	102,86	114,93	14,75	18,89	128,08
	<b>F1</b>	56,75	9,00	15,85	25,00	9,90	39,60	25,75	1,89	7,35	6,00	0,82	13,61
	<b>F2</b>	68,50	41,23	60,19	21,00	18,35	87,37	40,00	35,37	88,44	7,50	5,80	77,36
	<b>F3</b>	65,00	58,38	89,82	19,75	13,07	66,19	38,00	38,03	100,07	7,25	9,50	131,03
	<b>G1</b>	18,50	21,25	114,88	10,50	11,90	113,36	6,75	9,43	139,70	1,25	1,89	151,44
	<b>G2</b>	8,25	7,76	94,09	5,25	3,95	75,19	3,00	3,83	127,66	0,00	0,00	.
	<b>H1</b>	63,75	34,79	54,57	20,00	8,04	40,21	41,25	28,83	69,88	2,50	1,91	76,59
	<b>H2</b>	49,50	7,05	14,24	30,75	10,24	33,31	13,00	3,56	27,38	5,75	4,43	76,96
	<b>H3</b>	121,00	86,11	71,16	58,25	53,56	91,95	43,75	29,53	67,51	19,00	14,24	74,93
	<b>I2</b>	91,75	47,57	51,85	44,00	15,64	35,55	37,75	41,81	110,76	10,00	10,23	102,31
	<b>J1</b>	68,25	48,40	70,91	38,50	18,14	47,11	25,50	34,42	135,00	4,25	2,63	61,88
	<b>J2</b>	20,25	15,33	75,69	19,25	15,15	78,71	0,25	0,50	200,00	0,75	0,96	127,66
	<b>J3</b>	7,50	10,15	135,32	6,50	9,81	151,00	0,25	0,50	200,00	0,75	1,50	200,00
<b>O. Inermis</b>	<b>191</b>	10,75	10,72	99,72	8,50	7,51	88,30	0,50	1,00	200,00	1,75	2,36	135,02
<b>O. Leucotricha</b>	<b>361</b>	0,25	0,50	200,00	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	<b>611</b>	12,25	9,84	80,36	8,75	10,97	125,32	0,00	0,00	.	3,50	7,00	200,00
	<b>633</b>	6,75	9,64	142,80	4,50	5,80	128,94	1,50	2,38	158,70	0,75	1,50	200,00
<b>O. Megacantha</b>	<b>111</b>	113,00	110,54	97,82	54,00	41,46	76,79	44,00	65,18	148,13	15,00	14,28	95,22
	<b>112</b>	76,00	25,10	33,03	60,25	17,86	29,64	11,25	6,24	55,45	4,50	2,52	55,92
	<b>122</b>	7,75	5,25	67,77	7,25	4,92	67,92	0,00	0,00	.	0,50	1,00	200,00
	<b>143</b>	19,00	14,76	77,71	13,75	9,54	69,35	0,50	1,00	200,00	4,75	6,85	144,20
	<b>181</b>	6,00	5,94	99,07	5,25	5,44	103,60	0,00	0,00	.	0,75	0,96	127,66
	<b>213</b>	2,00	2,16	108,01	2,00	2,16	108,01	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	<b>221</b>	4,50	3,11	69,09	3,75	2,63	70,13	0,50	1,00	200,00	0,25	0,50	200,00
	<b>251</b>	24,00	4,08	17,01	21,50	4,04	18,80	0,50	1,00	200,00	2,00	2,16	108,01
	<b>267</b>	1,50	1,29	86,07	0,25	0,50	200,00	1,25	1,50	120,00	0,00	0,00	.
	<b>352</b>	2,25	3,30	146,85	0,75	0,96	127,66	1,50	2,38	158,70	0,00	0,00	.
	<b>371</b>	1,00	0,82	81,65	1,00	0,82	81,65	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	<b>411</b>	0,50	1,00	200,00	0,50	1,00	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	<b>422</b>	1,75	0,96	54,71	1,50	1,00	66,67	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00
	<b>431</b>	1,50	2,38	158,70	1,50	2,38	158,70	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	<b>441</b>	0,25	0,50	200,00	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	<b>442</b>	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	<b>461</b>	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	<b>471</b>	2,75	0,50	18,18	2,75	0,50	18,18	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	<b>511</b>	8,50	8,06	94,85	7,00	6,06	86,50	0,75	0,96	127,66	0,75	1,50	200,00
	<b>532</b>	1,00	1,41	141,42	1,00	1,41	141,42	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	<b>541</b>	1,25	0,50	40,00	1,00	0,82	81,65	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00
	<b>543</b>	0,25	0,50	200,00	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	<b>551</b>	0,75	0,96	127,66	0,75	0,96	127,66	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	<b>571</b>	0,25	0,50	200,00	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	<b>572</b>	0,75	1,50	200,00	0,75	1,50	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	<b>581</b>	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	<b>621</b>	3,25	2,50	76,92	3,00	2,71	90,27	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00
	<b>632</b>	0,50	1,00	200,00	0,50	1,00	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	<b>641</b>	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	<b>651</b>	0,50	1,00	200,00	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,25	0,50	200,00
	<b>722</b>	1,00	0,82	81,65	1,00	0,82	81,65	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	<b>741</b>	13,00	11,40	87,71	8,50	4,65	54,76	0,25	0,50	200,00	4,25	7,85	184,65
	<b>A1</b>	17,00	12,54	73,78	5,25	2,87	54,71	10,25	8,30	80,99	1,50	1,73	115,47
	<b>A2</b>	8,25	9,91	120,15	5,25	5,85	111,47	2,25	3,30	146,85	0,75	0,96	127,66
	<b>A3</b>	2,75	3,77	137,27	1,50	1,91	127,66	0,50	1,00	200,00	0,75	0,96	127,66
	<b>B1</b>	12,25	12,18	99,39	8,25	10,24	124,16	1,50	1,91	127,66	2,50	3,70	147,87
	<b>K1</b>	31,50	41,32	131,16	14,75	9,46	64,17	14,25	28,50	200,00	2,50	4,36	174,36
	<b>K2</b>	165,00	80,68	48,89	81,25	34,88	42,93	60,25	46,08	76,47	23,50	9,81	41,77
	<b>K3</b>	112,75	39,17	34,74	62,25	23,88	38,36	25,75	12,37	48,02	24,75	6,65	26,88
<b>O. Robusta</b>	<b>412</b>	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.

## Annexe 9

**Tableau 52 :** Production phénologique moyenne (Moy) en bourgeons végétatifs, fructifère et mort chez les écotypes de cactus genre *Opuntia* en 5<sup>ème</sup> année de plantation au cactétum d'Ain Nzagh (INRA-CRRA de Settat), (Std : standard déviation ; CV : coefficient de variation).

Espèces	Ecotypes	Bourgeons Indéterminés Annuels			Bourgeons Végétatifs Annuels			Bourgeons Fructifères Annuels			Bourgeons Morts Annuels		
		Moy	Std Dev	CV	Moy	Std Dev	CV	Moy	Std Dev	CV	Moy	Std Dev	CV
<i>O. Aquatorialis</i>	171	50,00	8,83	17,66	37,75	10,34	27,39	8,25	11,59	140,44	4,00	1,63	40,82
<i>O. Dillenii</i>	242	159,50	37,55	23,54	30,50	9,18	30,11	129,00	38,85	30,12	0,00	0,00	.
<i>O. Ficus Indica</i>	113	201,75	119,91	59,44	82,00	12,44	15,17	117,75	124,54	105,77	2,00	0,82	40,82
	121	49,75	17,27	34,71	38,50	15,46	40,15	10,50	7,77	73,98	0,75	0,50	66,67
	131	39,00	14,02	35,96	20,25	4,35	21,48	18,25	13,25	72,61	0,50	0,58	115,47
	141	17,50	17,82	101,85	14,25	13,38	93,87	3,25	4,72	145,14	0,00	0,00	.
	142	64,50	46,89	72,70	26,25	9,88	37,63	38,00	42,53	111,92	0,25	0,50	200,00
	151	178,75	40,50	22,66	76,00	30,36	39,95	101,25	61,05	60,29	1,50	1,00	66,67
	152	262,50	91,32	34,79	41,75	26,42	63,29	220,75	99,31	44,99	0,00	0,00	.
	153	268,25	153,83	57,34	50,00	34,36	68,72	218,00	123,23	56,53	0,25	0,50	200,00
	161	100,25	94,47	94,24	50,00	40,45	80,89	50,25	54,36	108,18	0,00	0,00	.
	162	51,75	46,95	90,72	15,75	11,09	70,39	35,75	39,74	111,17	0,25	0,50	200,00
	163	308,25	106,60	34,58	72,50	12,40	17,10	235,50	105,40	44,76	0,25	0,50	200,00
	211	3,75	2,63	70,13	3,75	2,63	70,13	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	212	8,00	2,83	35,36	4,75	1,89	39,85	3,25	4,72	145,14	0,00	0,00	.
	231	13,25	9,43	71,17	7,00	4,55	64,94	5,50	6,56	119,23	0,75	1,50	200,00
	232	64,00	46,09	72,02	42,75	27,04	63,24	20,75	21,12	101,81	0,50	0,58	115,47
	233	42,00	38,74	92,23	30,00	25,46	84,85	11,25	12,66	112,52	0,75	1,50	200,00
	241	37,50	62,36	166,28	5,25	2,75	52,45	32,25	64,50	200,00	0,00	0,00	.
	261	91,75	37,11	40,44	47,00	22,33	47,51	44,00	31,54	71,68	0,75	0,96	127,66
	262	61,50	23,27	37,84	31,75	9,95	31,32	29,25	14,55	49,73	0,50	1,00	200,00
	263	53,00	27,89	52,63	22,50	14,55	64,66	30,00	24,10	80,32	0,50	1,00	200,00
	264	4,00	2,16	54,01	3,50	1,29	36,89	0,50	1,00	200,00	0,00	0,00	.
	265	2,25	2,87	127,66	2,00	2,83	141,42	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.
	266	0,50	0,58	115,47	0,50	0,58	115,47	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	271	2,75	2,22	80,63	2,00	1,63	81,65	0,75	1,50	200,00	0,00	0,00	.
	272	5,50	2,65	48,10	3,50	2,38	68,01	2,00	2,83	141,42	0,00	0,00	.
	273	2,00	1,63	81,65	1,00	0,82	81,65	1,00	1,41	141,42	0,00	0,00	.
	274	1,00	1,15	115,47	1,00	1,15	115,47	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	275	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	311	3,25	4,57	140,72	3,00	4,08	136,08	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.
	321	22,50	25,68	114,15	10,50	8,58	81,74	12,00	19,51	162,59	0,00	0,00	.
	331	26,75	34,65	129,55	22,75	29,49	129,62	4,00	5,23	130,70	0,00	0,00	.
	341	71,50	71,22	99,62	35,00	19,88	56,81	36,50	53,93	147,75	0,00	0,00	.
	351	128,50	88,45	68,83	64,25	38,53	59,98	64,25	51,47	80,12	0,00	0,00	.
	421	3,50	1,73	49,49	3,50	1,73	49,49	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	451	3,50	3,32	94,76	3,50	3,32	94,76	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	521	36,00	32,95	91,54	31,00	25,60	82,58	5,00	7,57	151,44	0,00	0,00	.
	531	4,75	3,95	83,11	4,25	3,50	82,35	0,50	1,00	200,00	0,00	0,00	.
	533	12,75	13,57	106,46	11,50	11,09	96,44	1,25	2,50	200,00	0,00	0,00	.
	542	2,50	3,70	147,87	2,25	3,20	142,29	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.
	561	3,25	2,63	80,92	3,25	2,63	80,92	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	612	4,25	4,79	112,64	4,25	4,79	112,64	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	631	204,25	145,34	71,16	63,50	48,69	76,68	140,50	105,78	75,29	0,25	0,50	200,00
	711	11,00	8,45	76,78	6,25	3,95	63,16	4,75	4,65	97,81	0,00	0,00	.
	712	5,25	4,11	78,34	2,00	1,83	91,29	3,25	2,36	72,70	0,00	0,00	.
	713	4,50	5,45	121,04	3,00	2,94	98,13	1,50	3,00	200,00	0,00	0,00	.
	714	9,50	5,07	53,33	6,75	1,71	25,30	2,75	3,77	137,27	0,00	0,00	.
	723	1,75	1,50	85,71	0,25	0,50	200,00	1,50	1,73	115,47	0,00	0,00	.
	731	3,75	2,99	79,63	3,75	2,99	79,63	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	732	139,50	86,54	62,04	2,00	2,71	135,40	135,25	83,58	61,79	2,25	3,30	146,85
	733	108,75	20,71	19,04	2,50	1,73	69,28	106,25	21,41	20,15	0,00	0,00	.
	742	60,00	22,67	37,79	35,50	13,63	38,38	24,50	10,47	42,74	0,00	0,00	.
	743	49,00	20,20	41,22	18,50	14,25	77,02	30,50	13,96	45,78	0,00	0,00	.
	751	90,50	31,09	34,35	41,75	15,84	37,94	48,75	34,30	70,35	0,00	0,00	.
	752	229,25	143,00	62,38	51,50	26,44	51,34	177,75	149,99	84,38	0,00	0,00	.
	761	92,25	75,00	81,30	39,75	26,61	66,95	52,50	53,64	102,18	0,00	0,00	.
	771	37,00	32,60	88,10	15,75	18,41	116,89	21,25	31,66	148,98	0,00	0,00	.
	772	8,75	10,11	115,56	6,50	7,51	115,47	2,25	2,63	116,89	0,00	0,00	.
	773	16,75	11,47	68,48	11,75	8,22	69,97	5,00	4,97	99,33	0,00	0,00	.
	1101	56,25	20,73	36,85	25,75	10,87	42,23	30,50	16,76	54,96	0,00	0,00	.
	B2	131,75	61,64	46,78	31,75	14,22	44,79	94,75	70,97	74,90	5,25	6,08	115,73
	B3	83,00	24,25	29,22	40,25	17,65	43,86	40,00	12,25	30,62	2,75	0,96	34,82
	C2	55,50	18,27	32,91	33,00	13,64	41,33	20,00	5,48	27,39	2,50	3,70	147,87
	C3	45,25	20,45	45,20	17,75	6,85	38,59	25,75	16,36	63,53	1,75	2,87	164,13



Espèces	Ecotypes	Bourgeons Indéterminés			Bourgeons Végétatifs			Bourgeons Fructifères			Bourgeons Morts			
		Annuels			Annuels			Annuels			Annuels			
		Moy	Std Dev	CV	Moy	Std Dev	CV	Moy	Std Dev	CV	Moy	Std Dev	CV	
<i>O. Inermis</i>	D1	57,00	61,07	107,15	21,75	10,56	48,57	33,75	49,78	147,50	1,50	1,91	127,66	
	D2	176,50	171,23	97,02	50,75	30,14	59,38	124,75	168,35	134,95	1,00	1,41	141,42	
	D3	131,00	55,96	42,72	60,25	26,23	43,54	68,25	75,38	110,44	2,50	0,58	23,09	
	E1	77,25	31,79	41,16	58,25	24,21	41,57	16,75	11,00	65,65	2,25	1,89	84,13	
	E2	214,75	73,16	34,07	63,50	23,63	37,21	150,00	87,76	58,50	1,25	1,89	151,44	
	F1	157,75	120,01	76,08	66,75	56,96	85,34	90,25	71,47	79,19	0,75	0,96	127,66	
	F2	120,75	77,70	64,35	53,75	13,45	25,02	64,25	67,53	105,11	2,75	2,22	80,63	
	F3	110,25	59,71	54,16	52,25	31,67	60,61	54,50	60,12	110,31	3,50	1,29	36,89	
	G1	74,25	68,30	91,99	22,75	14,84	65,23	48,75	55,22	113,27	2,75	2,75	100,14	
	G2	62,50	19,23	30,76	36,25	16,32	45,01	24,00	16,08	67,01	2,25	2,63	116,89	
	H1	139,25	42,37	30,42	58,25	28,28	48,54	80,00	27,45	34,31	1,00	0,82	81,65	
	H2	211,00	128,40	60,85	57,75	28,81	49,89	150,00	149,89	99,93	3,25	3,77	116,15	
	H3	223,00	63,64	28,54	108,50	25,04	23,08	113,50	73,78	65,00	1,00	0,82	81,65	
	I2	295,75	59,74	20,20	109,00	8,83	8,10	182,75	52,02	28,47	4,00	2,16	54,01	
	J1	217,00	60,17	27,73	50,50	27,09	53,64	163,00	74,69	45,82	3,50	4,43	126,71	
	J2	85,75	82,39	96,08	32,25	29,12	90,31	49,25	50,49	102,51	4,25	3,30	77,74	
	J3	27,75	27,50	99,10	19,50	19,12	98,06	7,75	8,96	115,59	0,50	1,00	200,00	
	<i>O. Inermis</i>	191	35,00	23,35	66,72	33,00	22,29	67,53	1,75	1,50	85,71	0,25	0,50	200,00
	<i>O. Leucotricha</i>	361	5,00	7,39	147,87	5,00	7,39	147,87	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
611		13,25	10,01	75,57	8,50	2,38	28,01	4,75	8,85	186,23	0,00	0,00	.	
	633	15,50	8,70	56,12	7,75	3,40	43,92	7,75	6,34	81,86	0,00	0,00	.	
<i>O. Megacantha</i>	111	198,75	179,22	90,18	75,00	38,70	51,61	122,50	160,20	130,77	1,25	1,89	151,44	
	112	271,00	158,03	58,31	103,25	16,15	15,64	165,75	151,14	91,19	2,00	1,41	70,71	
	122	34,25	17,13	50,03	20,25	5,68	28,04	13,75	11,50	83,64	0,25	0,50	200,00	
	143	51,25	35,73	69,72	40,50	27,26	67,30	10,00	9,56	95,57	0,75	0,96	127,66	
	181	40,25	20,55	51,05	28,75	13,33	46,35	10,75	6,40	59,50	0,75	0,96	127,66	
	213	5,50	4,43	80,63	5,00	3,83	76,59	0,50	1,00	200,00	0,00	0,00	.	
	221	23,00	11,78	51,20	21,75	11,59	53,27	1,25	1,89	151,44	0,00	0,00	.	
	251	60,00	26,39	43,99	45,75	6,08	13,28	13,00	21,37	164,38	1,25	1,26	100,66	
	267	9,00	5,94	66,05	5,25	3,30	62,93	3,75	4,99	133,11	0,00	0,00	.	
	352	14,75	10,08	68,33	8,75	7,46	85,20	6,00	8,12	135,40	0,00	0,00	.	
	371	2,25	2,63	116,89	2,25	2,63	116,89	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
	411	5,75	1,26	21,88	5,75	1,26	21,88	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
	422	6,75	2,99	44,24	6,75	2,99	44,24	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
	431	2,50	1,73	69,28	2,25	1,71	75,90	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	
	441	2,75	2,50	90,91	2,00	1,41	70,71	0,75	1,50	200,00	0,00	0,00	.	
	442	1,00	0,82	81,65	1,00	0,82	81,65	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
	461	3,50	1,29	36,89	3,00	1,63	54,43	0,50	0,58	115,47	0,00	0,00	.	
	471	6,50	9,43	145,14	5,50	7,55	137,27	1,00	2,00	200,00	0,00	0,00	.	
	511	28,75	17,56	61,07	19,00	9,63	50,67	9,75	9,57	98,15	0,00	0,00	.	
	532	4,25	1,71	40,18	4,25	1,71	40,18	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
	541	2,75	2,06	74,97	2,75	2,06	74,97	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
	543	9,00	5,35	59,49	7,25	4,19	57,84	1,75	2,06	117,80	0,00	0,00	.	
	551	1,25	1,26	100,66	1,25	1,26	100,66	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
	571	2,00	1,41	70,71	2,00	1,41	70,71	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
	572	5,50	5,92	107,57	5,00	4,97	99,33	0,50	1,00	200,00	0,00	0,00	.	
	581	0,25	0,50	200,00	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
	621	20,75	7,68	36,99	16,25	3,59	22,12	4,50	5,74	127,66	0,00	0,00	.	
	632	11,75	10,01	85,21	3,75	2,06	54,97	8,00	9,56	119,46	0,00	0,00	.	
	641	11,25	2,22	19,71	11,00	1,83	16,60	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.	
	651	9,50	4,80	50,48	6,75	3,30	48,95	2,75	3,59	130,69	0,00	0,00	.	
	722	6,50	3,00	46,15	5,75	3,10	53,84	0,75	0,96	127,66	0,00	0,00	.	
	741	43,25	22,62	52,30	28,25	6,08	21,51	15,00	18,71	124,72	0,00	0,00	.	
	A1	32,50	16,34	50,28	20,25	7,23	35,70	11,75	10,78	91,76	0,50	0,58	115,47	
	A2	33,75	11,32	33,55	20,00	6,93	34,64	10,50	5,20	49,49	3,25	2,99	91,88	
	A3	45,00	28,86	64,12	23,25	18,82	80,95	19,00	13,49	71,00	2,75	2,22	80,63	
	B1	42,75	30,40	71,11	22,00	13,98	63,53	19,00	16,73	88,07	1,75	2,06	117,80	
	K1	107,00	102,54	95,83	42,25	33,57	79,45	64,75	72,68	112,25	0,00	0,00	.	
K2	503,50	277,33	55,08	65,75	19,17	29,16	437,75	290,28	66,31	0,00	0,00	.		
K3	293,00	107,94	36,84	95,25	9,95	10,44	197,75	110,47	55,86	0,00	0,00	.		
<i>O. Robusta</i>	412	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	

## Annexe 10

**Tableau 53** : Production phénologique moyenne (Moy) en bourgeons végétatifs, fructifère et mort chez les écotypes de cactus genre *Opuntia* en 6<sup>ème</sup> année de plantation au cactétum d'Ain Nzagh (INRA-CRRA de Settat), (Std : standard déviation ; CV : coefficient de variation).

Espèces	Écotypes	Bourgeons Indéterminés Annuels			Bourgeons Végétatifs Annuels			Bourgeons Fructifères			Bourgeons Morts		
		Moy	Std Dev	CV	Moy	Std Dev	CV	Moy	Std Dev	CV	Moy	Std Dev	CV
<i>O. Aquatorialis</i>	171	119,50	30,51	25,53	35,00	11,31	32,32	75,75	19,89	26,26	8,75	1,71	19,52
<i>O. Dillenii</i>	242	310,00	51,75	16,69	13,50	2,38	17,63	291,25	56,05	19,24	5,25	3,86	73,57
<i>O. Ficus Indica</i>	113	252,25	175,16	69,44	44,00	27,19	61,80	207,25	160,92	77,64	1,00	0,82	81,65
	121	70,25	28,37	40,39	18,50	9,75	52,69	51,25	28,36	55,34	0,50	0,58	115,47
	131	111,50	121,85	109,28	21,50	17,52	81,49	88,00	112,23	127,54	2,00	2,16	108,01
	141	33,00	19,93	60,40	22,25	16,11	72,41	10,50	11,39	108,45	0,25	0,50	200,00
	142	64,50	20,44	31,69	21,75	9,67	44,48	42,50	21,49	50,56	0,25	0,50	200,00
	151	291,00	51,48	17,69	31,75	14,43	45,45	259,25	37,17	14,34	0,00	0,00	.
	152	194,75	101,42	52,08	40,00	27,94	69,85	154,75	123,91	80,07	0,00	0,00	.
	153	210,00	264,93	126,16	34,25	23,94	69,89	173,75	262,19	150,90	2,00	1,41	70,71
	161	227,00	210,76	92,85	16,75	11,81	70,53	208,25	197,54	94,86	2,00	1,83	91,29
	162	121,25	61,02	50,33	16,00	4,97	31,04	104,50	56,77	54,33	0,75	0,96	127,66
	163	266,50	111,74	41,93	71,75	33,22	46,30	192,00	141,57	73,73	2,75	1,71	62,10
	211	7,25	6,60	91,06	7,25	6,60	91,06	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	212	7,25	5,32	73,31	7,25	5,32	73,31	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	231	19,50	5,97	30,63	12,75	5,50	43,14	6,50	4,04	62,18	0,25	0,50	200,00
	232	140,00	55,76	39,83	13,00	7,07	54,39	124,00	59,06	47,63	3,00	1,83	60,86
	233	190,75	37,95	19,90	12,75	8,06	63,19	178,00	33,05	18,56	0,00	0,00	.
	241	18,00	5,60	31,10	11,25	2,22	19,71	6,75	4,35	64,43	0,00	0,00	.
	261	171,50	120,82	70,45	14,50	11,21	77,31	155,25	128,38	82,69	1,75	1,71	97,59
	262	37,25	12,84	34,48	13,50	7,85	58,17	23,75	6,24	26,27	0,00	0,00	.
	263	166,50	67,33	40,44	37,00	48,05	129,86	128,50	34,89	27,15	1,00	2,00	200,00
	264	13,25	6,95	52,42	5,00	6,06	121,11	8,25	2,22	26,88	0,00	0,00	.
	265	7,00	5,48	78,25	5,00	4,83	96,61	0,00	0,00	.	2,00	2,45	122,47
	266	4,25	3,59	84,56	1,00	1,41	141,42	3,25	2,22	68,23	0,00	0,00	.
	271	1,25	0,96	76,59	1,25	0,96	76,59	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	272	2,25	2,63	116,89	0,75	0,96	127,66	1,00	1,41	141,42	0,50	1,00	200,00
	273	2,25	0,50	22,22	2,00	0,82	40,82	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.
	274	1,75	2,06	117,80	1,75	2,06	117,80	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	275	0,75	0,96	127,66	0,75	0,96	127,66	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	311	2,00	2,71	135,40	1,75	2,22	126,71	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.
	321	29,75	20,95	70,42	9,00	8,45	93,84	20,75	16,15	77,85	0,00	0,00	.
	331	1,50	1,73	115,47	0,50	0,58	115,47	0,75	0,96	127,66	0,25	0,50	200,00
	341	175,25	62,22	35,50	19,00	11,43	60,16	153,75	65,70	42,73	2,50	1,29	51,64
	351	285,25	239,84	84,08	20,25	8,54	42,17	265,00	235,42	88,84	0,00	0,00	.
421	8,75	5,91	67,53	5,00	2,94	58,88	3,75	3,10	82,55	0,00	0,00	.	
451	1,75	2,22	126,71	1,00	0,82	81,65	0,75	1,50	200,00	0,00	0,00	.	
521	91,50	123,60	135,09	73,75	117,03	158,69	17,75	16,48	92,84	0,00	0,00	.	
531	1,00	0,82	81,65	1,00	0,82	81,65	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
533	1,50	1,73	115,47	1,00	1,41	141,42	0,50	0,58	115,47	0,00	0,00	.	
542	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
561	0,75	0,50	66,67	0,75	0,50	66,67	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
612	15,00	12,99	86,58	10,25	13,94	135,97	4,75	1,71	35,95	0,00	0,00	.	
631	411,75	75,31	18,29	20,50	13,96	68,12	391,25	89,07	22,77	0,00	0,00	.	
711	2,50	1,73	69,28	1,00	1,41	141,42	1,50	0,58	38,49	0,00	0,00	.	
712	3,00	2,58	86,07	3,00	2,58	86,07	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	
713	7,50	4,12	54,97	5,00	1,63	32,66	2,50	3,79	151,44	0,00	0,00	.	
714	0,75	1,50	200,00	0,25	0,50	200,00	0,50	1,00	200,00	0,00	0,00	.	
723	3,25	2,06	63,43	2,00	1,83	91,29	1,25	0,96	76,59	0,00	0,00	.	
731	1,25	2,50	200,00	0,25	0,50	200,00	1,00	2,00	200,00	0,00	0,00	.	
732	88,25	44,77	50,73	32,50	28,52	87,77	54,00	29,04	53,78	1,75	0,96	54,71	
733	101,50	25,04	24,67	12,50	9,33	74,62	88,50	19,89	22,48	0,50	1,00	200,00	
742	42,25	9,91	23,46	11,25	10,59	94,18	29,50	15,20	51,52	1,50	1,29	86,07	
743	68,75	38,53	56,05	12,00	4,90	40,82	56,00	42,68	76,21	0,75	1,50	200,00	
751	158,50	44,28	27,93	8,50	6,40	75,33	149,50	39,18	26,21	0,50	1,00	200,00	
752	175,00	75,20	42,97	15,25	13,00	85,22	157,50	84,46	53,63	2,25	1,26	55,92	
761	113,00	91,54	81,01	2,75	2,75	100,14	109,50	88,02	80,38	0,75	0,96	127,66	
771	57,75	58,55	101,39	3,25	3,30	101,66	53,50	54,62	102,09	1,00	1,41	141,42	
772	7,50	9,26	123,41	6,25	8,10	129,57	1,25	1,50	120,00	0,00	0,00	.	
773	20,00	16,79	83,96	8,25	5,74	69,54	10,75	11,18	103,97	1,00	0,82	81,65	
1101	83,75	51,61	61,62	12,75	14,22	111,54	71,00	59,82	84,25	0,00	0,00	.	
B2	90,75	50,71	55,88	19,50	4,80	24,59	71,00	53,15	74,86	0,25	0,50	200,00	
B3	125,75	61,80	49,14	3,25	1,26	38,72	122,25	62,22	50,89	0,25	0,50	200,00	
C2	63,25	62,98	99,57	5,50	1,73	31,49	57,75	64,32	111,38	0,00	0,00	.	
C3	66,50	37,26	56,03	3,00	4,08	136,08	63,25	38,91	61,52	0,25	0,50	200,00	

Espèces	Ecotypes	Bourgeons Indéterminés			Bourgeons Végétatifs			Bourgeons Fructifères			Bourgeons Morts		
		Moy	Std Dev	CV	Moy	Std Dev	CV	Moy	Std Dev	CV	Moy	Std Dev	CV
	<b>D1</b>	8,25	7,85	95,12	6,00	5,35	89,24	2,25	3,30	146,85	0,00	0,00	.
	<b>D2</b>	184,25	168,04	91,20	23,75	11,30	47,56	160,50	162,68	101,36	0,00	0,00	.
	<b>D3</b>	290,75	153,97	52,95	24,25	24,17	99,68	265,50	150,89	56,83	1,00	0,82	81,65
	<b>E1</b>	244,00	133,79	54,83	15,25	7,54	49,47	228,00	133,37	58,50	0,75	0,96	127,66
	<b>E2</b>	287,50	206,70	71,90	42,75	32,43	75,86	242,50	232,06	95,69	2,25	2,06	91,62
	<b>F1</b>	253,25	177,90	70,25	36,75	38,92	105,91	216,50	165,20	76,30	0,00	0,00	.
	<b>F2</b>	353,00	227,46	64,44	20,00	13,93	69,64	330,75	233,49	70,59	2,25	3,30	146,85
	<b>F3</b>	253,75	244,28	96,27	24,75	15,13	61,13	229,00	234,55	102,43	0,00	0,00	.
	<b>G1</b>	63,75	76,02	119,25	18,50	13,70	74,05	45,25	66,28	146,48	0,00	0,00	.
	<b>G2</b>	126,50	80,33	63,51	13,25	9,98	75,31	112,50	78,06	69,39	0,75	0,96	127,66
	<b>H1</b>	300,75	179,67	59,74	13,75	5,12	37,26	284,75	175,48	61,63	2,25	1,71	75,90
	<b>H2</b>	191,00	117,17	61,35	24,75	22,78	92,04	165,50	132,72	80,19	0,75	1,50	200,00
	<b>H3</b>	350,50	198,53	56,64	33,00	24,86	75,33	317,50	211,17	66,51	0,00	0,00	.
	<b>I2</b>	481,25	24,10	5,01	15,00	3,16	21,08	466,25	22,32	4,79	0,00	0,00	.
	<b>J1</b>	196,75	118,66	60,31	27,00	10,42	38,61	169,75	126,88	74,74	0,00	0,00	.
	<b>J2</b>	36,50	40,76	111,68	9,00	7,07	78,57	27,50	39,20	142,56	0,00	0,00	.
	<b>J3</b>	37,25	38,53	103,45	8,00	4,24	53,03	28,75	33,51	116,56	0,50	1,00	200,00
<i>O. Inermis</i>	<b>191</b>	45,75	32,31	70,63	20,75	6,50	31,33	24,75	32,35	130,69	0,25	0,50	200,00
<i>O. Leucotricha</i>	<b>361</b>	3,25	3,30	101,66	2,25	2,22	98,55	1,00	1,15	115,47	0,00	0,00	.
	<b>611</b>	15,50	15,20	98,06	6,50	10,34	159,14	9,00	5,10	56,66	0,00	0,00	.
	<b>633</b>	8,00	7,39	92,42	3,50	3,32	94,76	4,50	4,20	93,40	0,00	0,00	.
<i>O. Megacantha</i>	<b>111</b>	303,00	99,39	32,80	35,75	15,65	43,78	266,75	103,75	38,89	0,50	1,00	200,00
	<b>112</b>	481,50	49,24	10,23	62,25	20,22	32,48	416,50	36,59	8,79	2,75	1,71	62,10
	<b>122</b>	37,50	15,80	42,14	14,50	1,73	11,95	22,25	18,14	81,51	0,75	0,96	127,66
	<b>143</b>	139,50	31,80	22,79	16,00	10,23	63,94	122,75	33,05	26,92	0,75	1,50	200,00
	<b>181</b>	66,25	48,20	72,75	13,25	5,19	39,16	52,00	43,50	83,65	1,00	2,00	200,00
	<b>213</b>	5,75	5,91	102,77	3,50	3,42	97,59	2,25	4,50	200,00	0,00	0,00	.
	<b>221</b>	25,75	12,89	50,07	14,50	11,56	79,73	7,50	3,42	45,54	3,75	5,68	151,44
	<b>251</b>	112,75	25,98	23,04	38,00	29,70	78,15	71,25	10,05	14,10	3,50	1,29	36,89
	<b>267</b>	3,25	1,71	52,55	0,75	0,96	127,66	2,50	1,29	51,64	0,00	0,00	.
	<b>352</b>	9,50	4,20	44,24	2,50	2,52	100,66	7,00	2,16	30,86	0,00	0,00	.
	<b>371</b>	6,75	8,54	126,51	1,75	2,87	164,13	5,00	9,35	186,90	0,00	0,00	.
	<b>411</b>	1,50	1,29	86,07	1,25	0,96	76,59	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.
	<b>422</b>	5,25	5,74	109,28	2,00	1,41	70,71	3,25	4,72	145,14	0,00	0,00	.
	<b>431</b>	8,00	6,32	79,06	3,25	4,57	140,72	4,25	3,30	77,74	0,50	1,00	200,00
	<b>441</b>	2,50	1,29	51,64	1,75	0,96	54,71	0,75	0,96	127,66	0,00	0,00	.
	<b>442</b>	1,75	2,06	117,80	1,75	2,06	117,80	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	<b>461</b>	12,00	3,46	28,87	4,00	1,41	35,36	8,00	2,45	30,62	0,00	0,00	.
	<b>471</b>	5,25	6,40	121,84	2,75	3,20	116,42	2,50	3,32	132,66	0,00	0,00	.
	<b>511</b>	58,25	59,56	102,25	13,25	9,03	68,17	44,50	65,68	147,59	0,50	1,00	200,00
	<b>532</b>	1,00	1,41	141,42	1,00	1,41	141,42	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	<b>541</b>	1,00	1,41	141,42	0,75	0,96	127,66	0,25	0,50	200,00	0,00	0,00	.
	<b>543</b>	1,25	2,50	200,00	0,50	1,00	200,00	0,75	1,50	200,00	0,00	0,00	.
	<b>551</b>	0,75	0,50	66,67	0,75	0,50	66,67	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	<b>571</b>	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	<b>572</b>	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	<b>581</b>	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.	0,00	0,00	.
	<b>621</b>	25,25	16,07	63,64	13,50	9,88	73,20	11,75	7,41	63,07	0,00	0,00	.
	<b>632</b>	13,00	4,55	34,97	5,50	3,42	62,10	7,50	3,87	51,64	0,00	0,00	.
	<b>641</b>	1,50	2,38	158,70	0,75	0,96	127,66	0,75	1,50	200,00	0,00	0,00	.
	<b>651</b>	6,50	3,70	56,87	1,75	3,50	200,00	4,75	3,10	65,17	0,00	0,00	.
	<b>722</b>	1,25	1,89	151,44	0,25	0,50	200,00	1,00	2,00	200,00	0,00	0,00	.
	<b>741</b>	22,25	6,65	29,90	7,00	2,16	30,86	13,75	4,03	29,32	1,50	1,29	86,07
	<b>A1</b>	24,25	17,95	74,03	6,75	4,35	64,43	17,00	16,21	95,34	0,50	1,00	200,00
	<b>A2</b>	34,50	13,03	37,76	5,00	2,16	43,20	28,25	14,27	50,51	1,25	1,50	120,00
	<b>A3</b>	30,50	13,60	44,59	4,75	3,77	79,47	24,75	11,87	47,96	1,00	0,82	81,65
	<b>B1</b>	64,25	83,09	129,33	8,75	3,95	45,12	53,00	79,14	149,32	2,50	3,11	124,37
	<b>K1</b>	220,50	105,07	47,65	4,25	2,22	52,17	214,00	103,96	48,58	2,25	2,63	116,89
	<b>K2</b>	339,00	116,83	34,46	88,25	20,09	22,76	247,75	117,63	47,48	3,00	2,16	72,01
	<b>K3</b>	529,25	63,37	11,97	69,75	17,35	24,87	457,75	47,75	10,43	1,75	1,71	97,59
<i>O. Robusta</i>	<b>412</b>	2,25	2,06	91,62	1,25	0,96	76,59	1,00	2,00	200,00	0,00	0,00	.

## Annexe 11

**Tableau 54 :** Comparaison de l'effet de l'écotype sur la production en matière verte et matière dans le cactétum, selon le test de comparaisons multiples du Tukey (honestly significant difference). Moyenne ( $\pm$  Ecart type) standard).

Espèce	Ecotype	Paramètres			
		Matière verte (g)	CV (MV (g))	Matière sèche (g)	CV (MS (g))
O. Aquatorialis	171	660,60 $\pm$ 108,20 cdefghijklmnopqrstuvwxyzab1	16,38	61,67 $\pm$ 13,45 bcdefghijklmnopqrstuvwxyz	21,81
O. Dillenii	242	72,47 $\pm$ 18,05 c1	24,91	18,73 $\pm$ 1,35 w	7,21
O. Ficus Indica	113	706,37 $\pm$ 76,95 cdefghijklmnopqrstuvwxyzal	10,89	58,90 $\pm$ 11,60 bcdefghijklmnopqrstuvwxyz	19,69
	121	517,17 $\pm$ 38,35 fghijklmnopqrstuvwxyzab1c1	7,42	59,60 $\pm$ 3,80 bcdefghijklmnopqrstuvwxyz	6,38
	131	735,80 $\pm$ 370,30 cdefghijklmnopqrstuvwxyz	50,33	73,37 $\pm$ 30,75 bcdefghijklmnopq	41,91
	141	532,23 $\pm$ 8,79 fghijklmnopqrstuvwxyzab1c1	1,65	53,00 $\pm$ 1,73 cdefghijklmnopqrstuvwxyz	3,27
	142	834,37 $\pm$ 375,55 bcdefghijklmnop	45,01	71,57 $\pm$ 27,85 bcdefghijklmnopqr	38,91
	151	777,47 $\pm$ 346,95 cdefghijklmnopqrstuvwxyz	44,63	52,53 $\pm$ 17,75 cdefghijklmnopqrstuvwxyz	33,79
	152	738,67 $\pm$ 126,05 cdefghijklmnopqrstuvwxyz	17,06	44,43 $\pm$ 3,45 hijklmnopqrstuvwxyz	7,76
	153	454,67 $\pm$ 105,85 ijklmnopqrstuvwxyzab1c1	23,28	31,53 $\pm$ 4,95 rstuvw	15,70
	161	700,50 $\pm$ 71,10 cdefghijklmnopqrstuvwxyzal	10,15	43,60 $\pm$ 3,80 hijklmnopqrstuvwxyz	8,72
	162	852,37 $\pm$ 235,65 bcdefghijklmno	27,65	75,37 $\pm$ 22,85 bcdefghijklmno	30,32
	163	807,77 $\pm$ 213,75 bcdefghijklmnopqrst	26,46	51,10 $\pm$ 12,60 cdefghijklmnopqrstuvwxyz	24,66
	211	163,80 $\pm$ 6,10 b1c1	3,72	23,10 $\pm$ 0,70 vw	3,03
	212	374,00 $\pm$ 26,70 mnopqrstuvwxyzab1c1	7,14	43,70 $\pm$ 3,10 hijklmnopqrstuvwxyz	7,09
	231	344,37 $\pm$ 155,55 opqrstuvwxyzab1c1	45,17	37,67 $\pm$ 12,15 lmnopqrstuvwxyz	32,26
	232	331,07 $\pm$ 40,55 pqrstuvwxyzab1c1	12,25	36,40 $\pm$ 8,00 nopqrstuvwxyz	21,98
	233	384,10 $\pm$ 95,30 mnopqrstuvwxyzab1c1	24,81	42,73 $\pm$ 5,05 ijklmnopqrstuvwxyz	11,82
	241	213,27 $\pm$ 41,65 za1b1c1	19,53	30,10 $\pm$ 4,70 tuv	15,61
	261	550,87 $\pm$ 169,95 efghijklmnopqrstuvwxyzab1c1	30,85	52,23 $\pm$ 11,95 cdefghijklmnopqrstuvwxyz	22,88
	262	388,77 $\pm$ 7,95 mnopqrstuvwxyzab1c1	2,04	39,70 $\pm$ 4,70 klmnopqrstuvwxyz	11,84
	263	813,70 $\pm$ 75,90 bcdefghijklmnopqr	9,33	76,73 $\pm$ 4,05 bcdefghijklm	5,28
	264	272,97 $\pm$ 145,55 vwxyzab1c1	53,32	37,20 $\pm$ 12,40 mnopqrstuvwxyz	33,33
	265	411,67 $\pm$ 1,85 lmnopqrstuvwxyzab1c1	0,45	43,40 $\pm$ 2,80 hijklmnopqrstuvwxyz	6,45
	266	200,17 $\pm$ 19,55 a1b1c1	9,77	26,90 $\pm$ 3,00 uvw	11,15
	271	226,80 $\pm$ 2,40 xyzab1c1	1,06	32,20 $\pm$ 1,10 rstuvw	3,42
	272	320,50 $\pm$ 42,80 pqrstuvwxyzab1c1	13,35	44,10 $\pm$ 2,00 hijklmnopqrstuvwxyz	4,54
	273	216,30 $\pm$ 7,50 yza1b1c1	3,47	35,10 $\pm$ 0,80 pqrstuvwxyz	2,28
	274	444,37 $\pm$ 115,55 jklmnopqrstuvwxyzab1c1	26,00	59,70 $\pm$ 11,50 bcdefghijklmnopqrstuvwxyz	19,26
	275	223,60 $\pm$ 4,10 xyzab1c1	1,83	31,17 $\pm$ 0,95 stuvw	3,05
	311	353,57 $\pm$ 28,05 opqrstuvwxyzab1c1	7,93	45,10 $\pm$ 7,10 hijklmnopqrstuvwxyz	15,74
	321	675,50 $\pm$ 161,10 cdefghijklmnopqrstuvwxyzab1	23,85	73,47 $\pm$ 13,05 bcdefghijklmnopq	17,76
	331	620,77 $\pm$ 218,05 efghijklmnopqrstuvwxyzab1	35,13	47,30 $\pm$ 1,30 efghijklmnopqrstuvwxyz	2,75
	341	581,60 $\pm$ 188,30 efghijklmnopqrstuvwxyzab1c1	32,38	65,40 $\pm$ 0,50 bcdefghijklmnopqrstu	0,76
	351	766,30 $\pm$ 56,40 cdefghijklmnopqrstuvwxyz	7,36	48,20 $\pm$ 1,20 defghijklmnopqrstuvwxyz	2,49
	421	296,37 $\pm$ 16,45 rstuvwxyzab1c1	5,55	38,00 $\pm$ 0,50 klmnopqrstuvwxyz	1,32
	451	294,90 $\pm$ 50,00 stuvwxyzab1c1	16,95	37,73 $\pm$ 6,25 lmnopqrstuvwxyz	16,56
521	681,87 $\pm$ 21,95 cdefghijklmnopqrstuvwxyzal	3,22	52,00 $\pm$ 4,10 cdefghijklmnopqrstuvwxyz	7,88	
531	454,30 $\pm$ 3,40 ijklmnopqrstuvwxyzab1c1	0,75	57,30 $\pm$ 1,60 bcdefghijklmnopqrstuvwxyz	2,79	
533	507,57 $\pm$ 9,05 fghijklmnopqrstuvwxyzab1c1	1,78	61,97 $\pm$ 5,95 bcdefghijklmnopqrstuvwxyz	9,60	
542	700,27 $\pm$ 157,45 cdefghijklmnopqrstuvwxyzal	22,48	78,00 $\pm$ 15,40 bcdefghijk	19,74	
561	492,87 $\pm$ 5,45 ghijklmnopqrstuvwxyzab1c1	1,11	65,10 $\pm$ 3,70 bcdefghijklmnopqrstu	5,68	
612	375,20 $\pm$ 82,50 mnopqrstuvwxyzab1c1	21,99	49,73 $\pm$ 8,95 cdefghijklmnopqrstuvwxyz	18,00	
631	547,70 $\pm$ 115,00 efghijklmnopqrstuvwxyzab1c1	21,00	37,30 $\pm$ 4,40 mnopqrstuvwxyz	11,80	
711	739,90 $\pm$ 0,00 cdefghijklmnopqrstuvwxyz	0,00	85,37 $\pm$ 3,55 bcdefg	4,16	
712	511,87 $\pm$ 8,05 fghijklmnopqrstuvwxyzab1c1	1,57	63,73 $\pm$ 0,35 bcdefghijklmnopqrstu	0,55	
713	531,87 $\pm$ 66,95 fghijklmnopqrstuvwxyzab1c1	12,59	64,20 $\pm$ 2,60 bcdefghijklmnopqrstu	4,05	
714	691,37 $\pm$ 2,45 cdefghijklmnopqrstuvwxyzal	0,35	72,83 $\pm$ 2,55 bcdefghijklmnopq	3,50	
723	469,37 $\pm$ 114,45 ijklmnopqrstuvwxyzab1c1	24,38	64,30 $\pm$ 20,60 bcdefghijklmnopqrstu	32,04	
731	646,87 $\pm$ 223,05 cdefghijklmnopqrstuvwxyzab1	34,48	86,07 $\pm$ 21,75 bcdef	25,27	
732	961,60 $\pm$ 285,00 bcdefghij	29,64	81,03 $\pm$ 13,05 bcdefghij	16,10	
733	946,07 $\pm$ 4,45 bcdefghij	0,47	83,10 $\pm$ 3,30 bcdefgh	3,97	
742	1781,37 $\pm$ 2,45 a	0,14	151,27 $\pm$ 1,65 a	1,09	
743	988,27 $\pm$ 235,55 bcdefgh	23,83	94,00 $\pm$ 19,70 b	20,96	
751	1012,17 $\pm$ 285,55 bedef	28,21	88,40 $\pm$ 14,50 bcd	16,40	
752	1144,10 $\pm$ 252,50 bed	22,07	89,70 $\pm$ 23,80 bc	26,53	
761	738,87 $\pm$ 165,55 cdefghijklmnopqrstuvwxyz	22,41	59,03 $\pm$ 14,85 bcdefghijklmnopqrstuvwxyz	25,16	
771	586,07 $\pm$ 18,35 efghijklmnopqrstuvwxyzab1c1	3,13	76,10 $\pm$ 20,80 bcdefghijklmn	27,33	

Espèce	Ecotype	Paramètres			
		Matière verte (g)	CV (MV (g))	Matière sèche (g)	CV (MS (g))
	772	548,57±101,95 efg hijklmnopqrstuvwxyza1b1c1	18,58	64,03±9,65 bcdefghijklmnopqrstu	15,07
	773	407,80±57,30 lmnopqrstuvwxyza1b1c1	14,05	35,00±3,70 pqrstuvw	10,57
	1101	323,27±9,45 pqrstuvwxyza1b1c1	2,92	36,27±0,06 nopqrstuvw	0,16
	B2	811,67±71,65 bcdefghijklmnopqrs	8,83	64,60±5,10 bcdefghijklmnopqrstu	7,89
	B3	674,60±255,10 cdefghijklmnopqrstuvwxyza1b1	37,82	65,00±18,70 bcdefghijklmnopqrstu	28,77
	C2	602,67±2,05 efg hijklmnopqrstuvwxyza1b1	0,34	60,00±0,70 bcdefghijklmnopqrstuv	1,17
	C3	707,50±20,00 cdefghijklmnopqrstuvwxyza1	2,83	65,27±1,65 bcdefghijklmnopqrstu	2,53
	D1	669,40±112,10 cdefghijklmnopqrstuvwxyza1b1	16,75	60,87±0,45 bcdefghijklmnopqrstuv	0,74
	D2	889,97±282,55 bcdefghijklm	31,75	62,70±16,50 bcdefghijklmnopqrstuv	26,32
	D3	1055,77±365,85 bcde	34,65	77,70±26,10 bcdefghijkl	33,59
	E1	732,80±87,10 cdefghijklmnopqrstuvwxy	11,89	63,27±0,15 bcdefghijklmnopqrstuv	0,24
	E2	936,47±12,95 bcdefghijk	1,38	68,50±4,50 bcdefghijklmnopqrst	6,57
	F1	820,70±163,10 bcdefghijklmnopq	19,87	74,83±15,55 bcdefghijklmnop	20,78
	F2	922,37±24,65 bcdefghijkl	2,67	81,80±7,20 bcdefghi	8,80
	F3	1001,87±116,95 bcdefg	11,67	75,37±2,85 bcdefghijklmno	3,78
	G1	638,27±121,75 defghijklmnopqrstuvwxyza1b1	19,08	68,70±11,80 bcdefghijklmnopqrst	17,18
	G2	952,07±131,05 bcdefghij	13,76	83,17±10,15 bcdefgh	12,20
	H1	939,40±336,10 bcdefghij	35,78	81,90±24,80 bcdefghi	30,28
	H2	878,80±170,00 bcdefghijklmn	19,34	63,70±6,40 bcdefghijklmnopqrstu	10,05
	H3	732,60±1,00 cdefghijklmnopqrstuvwxy	0,14	52,00±3,00 cdefghijklmnopqrstuvw	5,77
	I2	714,10±109,70 cdefghijklmnopqrstuvwxyza1	15,36	53,40±7,10 cdefghijklmnopqrstuvw	13,30
	J1	493,87±211,05 ghijklmnopqrstuvwxyza1b1c1	42,73	38,00±14,70 klmnopqrstuvw	38,68
	J2	545,40±52,40 efg hijklmnopqrstuvwxyza1b1c1	9,61	49,70±7,40 cdefghijklmnopqrstuvw	14,89
	J3	668,17±100,35 cdefghijklmnopqrstuvwxyza1b1	15,02	65,83±0,85 bcdefghijklmnopqrstu	1,29
O. Inermis	191	486,67±0,55 ghijklmnopqrstuvwxyza1b1c1	0,11	45,80±7,80 ghijklmnopqrstuvw	17,03
O. Leucotricha	361	537,70±17,20 fghijklmnopqrstuvwxyza1b1c1	3,20	59,33±1,55 bcdefghijklmnopqrstuv	2,61
	611	311,87±66,95 qrstuvwxyza1b1c1	21,47	39,70±6,50 klmnopqrstuvw	16,37
	633	586,87±248,05 efg hijklmnopqrstuvwxyza1b1c1	42,27	65,97±15,15 bcdefghijklmnopqrstu	22,97
	111	858,80±268,90 bcdefghijklmno	31,31	53,60±14,20 cdefghijklmnopqrstuvw	26,49
	112	971,07±59,45 bcdefghi	6,12	58,10±0,90 bcdefghijklmnopqrstuvw	1,55
	122	369,67±18,05 nopqrstuvwxyza1b1c1	4,88	43,50±3,10 hijklmnopqrstuvw	7,13
	143	407,17±114,45 lmnopqrstuvwxyza1b1c1	28,11	40,87±11,45 jklmnopqrstuvw	28,02
	181	373,00±44,70 mnopqrstuvwxyza1b1c1	11,98	35,27±1,15 opqrstuvw	3,26
	213	463,80±150,00 ijklmnopqrstuvwxyza1b1c1	32,34	47,40±11,40 efg hijklmnopqrstuvw	24,05
	221	373,80±50,00 mnopqrstuvwxyza1b1c1	13,38	43,33±2,15 hijklmnopqrstuvw	4,96
	251	674,37±85,55 cdefghijklmnopqrstuvwxyza1b1	12,69	51,80±2,80 cdefghijklmnopqrstuvw	5,41
	267	421,07±43,45 klmnopqrstuvwxyza1b1c1	10,32	54,37±5,15 bcdefghijklmnopqrstuvw	9,47
	352	727,17±175,55 cdefghijklmnopqrstuvwxyz	24,14	83,20±17,40 bcdefgh	20,91
	371	593,27±144,45 efg hijklmnopqrstuvwxyza1b1	24,35	66,03±13,05 bcdefghijklmnopqrstu	19,76
	411	518,27±151,65 fghijklmnopqrstuvwxyza1b1c1	29,26	64,97±17,25 bcdefghijklmnopqrstu	26,55
	422	259,67±63,05 vwxyza1b1c1	24,28	35,80±6,40 opqrstuvw	17,88
	431	459,67±113,05 ijklmnopqrstuvwxyza1b1c1	24,59	53,80±8,00 bcdefghijklmnopqrstuvw	14,87
	441	453,80±15,00 ijklmnopqrstuvwxyza1b1c1	3,31	51,77±3,25 cdefghijklmnopqrstuvw	6,28
	442	758,80±115,00 cdefghijklmnopqrstuv	15,16	87,13±13,25 bcde	15,21
	461	548,27±15,55 efg hijklmnopqrstuvwxyza1b1c1	2,84	65,83±7,65 bcdefghijklmnopqrstu	11,62
	471	572,20±4,40 efg hijklmnopqrstuvwxyza1b1c1	0,77	66,77±2,05 bcdefghijklmnopqrstu	3,07
	511	504,67±28,05 fghijklmnopqrstuvwxyza1b1c1	5,56	53,40±5,60 cdefghijklmnopqrstuvw	10,49
	532	473,00±118,60 hijklmnopqrstuvwxyza1b1c1	25,07	56,67±14,75 bcdefghijklmnopqrstuvw	26,03
	541	453,90±101,00 ijklmnopqrstuvwxyza1b1c1	22,25	56,50±9,70 bcdefghijklmnopqrstuvw	17,17
	543	370,67±25,05 nopqrstuvwxyza1b1c1	6,76	54,17±2,75 bcdefghijklmnopqrstuvw	5,08
	551	281,90±38,60 uvwxyza1b1c1	13,69	35,70±2,20 opqrstuvw	6,16
	571	264,97±4,45 vwxyza1b1c1	1,68	35,70±4,70 opqrstuvw	13,17
	572	349,10±97,50 opqrstuvwxyza1b1c1	27,93	46,10±10,90 fghijklmnopqrstuvw	23,64
	581	240,77±6,95 vwxyza1b1c1	2,89	34,20±1,60 qrstuvw	4,68
	621	292,70±28,90 tuvxyza1b1c1	9,87	36,40±1,10 nopqrstuvw	3,02
	632	558,27±99,45 efg hijklmnopqrstuvwxyza1b1c1	17,81	55,90±7,60 bcdefghijklmnopqrstuvw	13,60
	641	768,27±10,55 cdefghijklmnopqrstuv	1,37	89,17±4,85 bc	5,44
	651	540,77±201,95 efg hijklmnopqrstuvwxyza1b1c1	37,35	67,30±27,40 bcdefghijklmnopqrst	40,71
	722	474,37±25,55 hijklmnopqrstuvwxyza1b1c1	5,39	55,67±0,25 bcdefghijklmnopqrstuvw	0,45
	741	792,70±110,00 bcdefghijklmnopqrstu	13,88	71,37±3,15 bcdefghijklmnopqrs	4,41
	A1	587,50±130,00 efg hijklmnopqrstuvwxyza1b1c1	22,13	64,10±14,70 bcdefghijklmnopqrstu	22,93
	A2	651,20±171,40 cdefghijklmnopqrstuvwxyza1b1	26,32	61,50±11,30 bcdefghijklmnopqrstuv	18,37
	A3	685,77±25,45 cdefghijklmnopqrstuvwxyza1	3,71	67,10±5,20 bcdefghijklmnopqrstu	7,75
	B1	712,17±270,15 cdefghijklmnopqrstuvwxyza1	37,93	64,23±22,75 bcdefghijklmnopqrstu	35,42
	K1	1299,67±416,95 ab	32,08	87,30±21,10 bcde	24,17
	K2	1161,60±176,70 bc	15,21	71,40±12,90 bcdefghijklmnopqr	18,07



		Paramètres			
Espèce	Ecotype	Matière verte (g)	CV (MV (g))	Matière sèche (g)	CV (MS (g))
	<b>K3</b>	747,17±106,65 cdefghijklmnopqrstuvw	14,27	53,40±5,60 cdefghijklmnopqrstuvw	10,49
<b>O. Robusta</b>	<b>412</b>	588,27±40,55 efghijklmnopqrstuvwxyzabcl	6,89	77,13±0,55 bedefghijklm	0,71



## Annexe 13

**Tableau 55** : Rapports sur la propagation *in vitro* des espèces de cactus par l'activation d'aréoles (Pérez-Molphe-Balch *et al.*, 2015) :

Species	Treatments that gave the best results	Shoots per explant	Reference	
<i>Astrophytum myriostigma</i>	6-benzyladenine (BA) (22.2 µM) + 1-naphthaleneacetic acid (NAA) (5.4 µM)	2.0	Vyscot and Jára (1984)	
<i>Mammillaria carmenae</i>	BA (8.9 µM) + NAA (5.4 µM)	2.8		
<i>M. prolifera</i>	BA (2.2 µM) + NAA (5.4 µM)	2.1		
<i>Trichocereus spachianus</i>	BA (22.2 µM) + NAA (5.4 µM)	3.0		
<i>Opuntia amyclaea</i>	BA (10 µM)	15.0		
<i>Mammillaria haageana</i> subsp. <i>san-angelensis</i>	BA (4.4 µM)	9.0	Martínez-Vázquez and Rubluc (1989)	
<i>E. robbinsorum</i>	Zeatin (45.6 µM) + Picloram (0.8 µM)	4.3	Clayton <i>et al.</i> (1990)	
<i>Mammillaria wrightii</i>	Zeatin (22.8 µM) + NAA (1.1 µM)	3.8		
<i>Pediocactus bradyi</i>	Zeatin (22.8 µM)	7.1		
<i>P. despaini</i>	Zeatin (22.8 µM)	6.9		
<i>P. knowltonii</i>	Zeatin (22.8 µM)	3.9		
<i>P. winkleri</i>	Zeatin (45.6 µM) + Picloram (0.8 µM)	9.8		
<i>Scleroactus mesae-verdae</i>	Kinetin (Kin) (46.4 µM) + Picloram (0.8 µM)	4.3		
<i>S. spinosior</i>	Zeatin (22.8 µM)	2.3		
<i>Toumeyia papyracantha</i>	Zeatin (22.8 µM)	3.6		
<i>Mediocactus coccineus</i>	BA (4.4 µM) + NAA (0.27 µM)	7.8		Infante (1992)
<i>Cereus peruvianus</i>	BA (4.4 µM) + indole-3-acetic acid (IAA) (5.71 µM)	1.0		Machado and Prioli (1996)
<i>Astrophytum myriostigma</i>	BA (4.4 µM) + NAA (0.54 µM)	9.2	Pérez-Molphe-Balch <i>et al.</i> (1998)	
<i>Cephalocereus senilis</i>	BA (4.4 µM) + NAA (0.54 µM)	2.8		
<i>Coryphantha clavata</i>	BA (4.4 µM)	4.7		
<i>C. durangensis</i>	BA (4.4 µM) + NAA (0.54 µM)	4.4		
<i>C. radians</i>	BA (4.4 µM)	4.1		
<i>Echinocactus platyacanthus</i>	BA (4.4 µM)	9.0		
<i>Echinocereus dubius</i>	BA (4.4 µM) + NAA (0.54 µM)	4.9		
<i>E. pectinatus</i>	BA (4.4 µM) + NAA (0.54 µM)	3.9		
<i>Echinofossulocactus</i> sp.	BA (4.4 µM)	12.0		
<i>Ferocactus hamatacanthus</i>	BA (4.4 µM) + NAA (5.4 µM)	5.8		
<i>F. histrix</i>	BA (4.4 µM) + NAA (0.54 µM)	5.6		
<i>F. latispinus</i>	BA (4.4 µM) + NAA (5.4 µM)	5.3		
<i>F. pilosus</i>	BA (4.4 µM) + NAA (5.4 µM)	5.1		
<i>Mammillaria candida</i>	BA (4.4 µM)	13.2		
<i>M. craigii</i>	BA (4.4 µM)	4.6		
<i>M. formosa</i>	BA (4.4 µM) + NAA (5.4 µM)	4.4		
<i>M. obscura</i>	BA (4.4 µM) + NAA (5.4 µM)	4.8		
<i>M. sphaclata</i>	BA (4.4 µM) + NAA (0.54 µM)	17.5		
<i>M. uncinata</i>	BA (4.4 µM)	5.2		
<i>Nyctocereus serpentinus</i>	BA (8.9 µM)	2.1		
<i>Stenocactus coptonogonus</i>	BA (4.4 µM)	16.7		
<i>Pelecypora aselliformis</i>	BA (8.9 µM)	13.7		
<i>P. strobiliformis</i>	BA (8.9 µM)	12.4		
<i>Carnegiea gigantea</i>	BA (8.9 µM)	5.3		Pérez-Molphe-Balch and Dávila-Figueroa (2002)
<i>Pachycereus pringlei</i>	BA (4.4 µM)	3.8		
<i>Stenocereus thurberi</i>	BA (4.4 µM)	4.3		
<i>Acharagma aguirreana</i>	2-isopentenyladenine (2iP) (9.8 µM)	5.8		Castro-Gallo <i>et al.</i> (2002)
<i>Astrophytum ornatum</i>	BA (21.5 µM)	11.0		
<i>Coryphantha elephantidens</i>	BA (8.9 µM) + NAA (0.54 µM)	2.9		
<i>Ferocactus flavovirens</i>	2iP (29.5 µM)	6.3		
<i>Mammillaria bocasana</i>	BA (8.9 µM)	4.8		
<i>M. oteroi</i>	2iP (19.6 µM)	4.8		
<i>Pachycereus schottii</i>	BA (13.3 µM)	4.3		
<i>Pilosocereus chrysacanthus</i>	BA (8.9 µM)	9.6		
<i>Stenocereus stellatus</i>	BA (4.4 µM)	7.0		
<i>Thelocactus hexaedophorus undatus</i>	2iP (29.5 µM)	13.6		
<i>Escobaria minima</i>	Thidiazuron (TDZ) (0.5 µM) + NAA (0.5 µM)	8.7	Mohamed-Yasseen (2002)	
<i>Mammillaria pectinifera</i>	TDZ (2.27 µM)	3.6	Giusti <i>et al.</i> (2002)	
<i>Pelecypora aselliformis</i>	Kin (23.2 µM) + NAA (0.05 µM)	3.5		
<i>Opuntia ellisiana</i>	BA (10 µM) + indole-3-butyric acid (IBA) (10 µM)	10.2	Juárez and Passera (2002)	
<i>Astrophytum asterias</i>	BA (2.2 µM)	1.0		
<i>Echinocactus grusonii</i>	BA (8.9 µM)	2.3	Lizalde <i>et al.</i> (2003)	
<i>Coryphantha werdermannii</i>	BA (8.9 µM)	4.1		
<i>Echinocereus adustus</i>	BA (8.9 µM)	3.1		
<i>E. delaetii</i>	BA (4.4 µM)	6.1		
<i>E. delaetii</i>	BA (4.4 µM)	4.1		

<i>E. ferreirianus</i>	BA (4.4 µM)	6.4	García-Saucedo et al. (2005)
<i>Epithelantha micromeris</i>	BA (2.2 µM)	6.5	
<i>Ferocactus cylindraceus</i>	BA (11.1 µM)	4.4	
<i>Morangaya pensilis</i>	BA (2.2 µM)	3.9	
<i>Opuntia ficus-indica</i>	BA (2.2 µM)	13.8	
<i>Turbincarpus laui</i>	BA (4.4 µM)	16.8	Dávila-Figueroa et al. (2005)
<i>T. lophophoroides</i>	BA (8.9 µM)	8.8	
<i>T. pseudopectinatus</i>	BA (3.3 µM)	19.7	
<i>T. schmidickeanus</i> subsp. <i>flaviflorus</i>	2iP (19.7 µM)	13.7	
<i>T. schmidickeanus</i> subsp. <i>klinkerianus</i>	2iP (24.6 µM)	13.6	
<i>T. schmidickeanus</i> subsp. <i>schmidickeanus</i>	BA (8.9 µM)	10.0	
<i>T. subterraneus</i>	BA (4.4 µM)	12.8	
<i>T. valdezianus</i>	BA (2.2 µM)	7.8	
<i>Browningia candelaris</i>	Meta-Topolin (2.1 µM)	20.4	
<i>Echinocereus knippelianus</i>	BA (8.9 µM)	8.9	Sánchez-Morán and Pérez-Molphe-Balch (2007)
<i>Echinocereus schmollii</i>	BA (8.9 µM)	13.5	
<i>Escontria chiotilla</i>	BA (8.9 µM)	7.6	
<i>Mammillaria carmenae</i>	BA (8.9 µM)	7.7	
<i>M. carmenae</i> f. <i>rubrisprina</i>	BA (4.4 µM)	6.0	
<i>M. herrerae</i>	BA (2.2 µM)	8.1	
<i>M. theresae</i>	2iP (24.6 µM)	8.2	
<i>Melocactus curvispinus</i>	2iP (24.6 µM)	11.8	
<i>Polaskia chichipe</i>	BA (4.4 µM)	11.5	
<i>Hylocereus costaricensis</i>	BA (30 µM)	1.0	
<i>Turbincarpus bonatzii</i>	2iP (9.8 µM)	11.3	
<i>T. hoferi</i>	BA (4.4 µM)	4.0	De la Rosa Carrillo et al. (2012)
<i>T. jauernigii</i>	BA (5.5 µM)	4.4	
<i>T. pseudomacroechele</i> subsp. <i>lausseri</i>	BA (3.3 µM)	26.3	
<i>T. pseudomacroechele</i> subsp. <i>pseudomacroechele</i>	BA (5.5 µM)	12.2	
<i>T. rioverdensis</i>	BA (4.4 µM)	4.3	
<i>T. roseiflorus</i>			
<i>T. schmidickeanus</i> subsp. <i>dickisoniae</i>	2iP (4.9 µM)	11.0	
<i>T. schmidickeanus</i> subsp. <i>gracilis</i>	BA (6.7 µM)	9.4	
<i>T. schmidickeanus</i> subsp. <i>macrochele</i>	BA (2.2 µM)	10.1	
<i>T. schmidickeanus</i> subsp. <i>schwarzii</i>	2iP (9.8 µM)	11.9	
<i>T. swobodae</i>	BA (2.2 µM)	5.5	
<i>T. valdezianus</i> subsp. <i>albiflorus</i>	2iP (4.9 µM)	11.1	
<i>T. ysabelae</i>	BA (2.2 µM)	10.1	

## Annexe 14

**Tableau 56 :** Composition de la solution nutritive de (Hoagland and Snyder, 1933).

Component	Stock Solution	mL Stock Solution/1 L
<b>Macronutrients</b>		
<b>2M KNO<sub>3</sub></b>	202 g/L	2.5
<b>2M Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>•4H<sub>2</sub>O</b>	236 g/0.5 L	2.5
<b>Iron (Sprint 138 <u>iron chelate</u>)</b>	15 g/L	1.5
<b>2M MgSO<sub>4</sub>•7H<sub>2</sub>O</b>	493 g/L	1
<b>Micronutrients</b>		
<b>H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub></b>	2.86 g/L	1
<b>MnCl<sub>2</sub>•4H<sub>2</sub>O</b>	1.81 g/L	1
<b>ZnSO<sub>4</sub>•7H<sub>2</sub>O</b>	0.22 g/L	1
<b>CuSO<sub>4</sub>•5H<sub>2</sub>O</b>	0.08 g/L	1
<b>H<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>•H<sub>2</sub>O or</b>	0.09 g/L	1
<b>Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>•2H<sub>2</sub>O</b>	0.12 g/L	1
<b>Phosphate</b>		
<b>1M KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub></b>	136 g/L	1



## Annexe 15

**Tableau 57** : Pourcentage d'explants indemne de contaminations et vivants ainsi que le pourcentage de leurs nécroses en culture primaire après désinfection dans différentes solutions.

Combinaisons	Explants	Nombre d'explants mis en culture	Nombre d'explants sains et vivants	Taux de réussite (%)	Nombre d'explants infestés	Nombre d'explants Nécrosés	Taux de nécrose (%)
C1	AIG	25	25	100	0	0	0
	ASG	25	24	96	1	0	0
	CWA	25	22	88	3	0	0
	<b>Tout</b>	<b>75</b>	<b>71</b>	<b>94,67</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
C2	AIG	25	25	100	0	0	0
	ASG	25	20	80	4	1	4
	CWA	25	21	84	4	0	0
	<b>Tout</b>	<b>75</b>	<b>66</b>	<b>88</b>	<b>8</b>	<b>1</b>	<b>1,33</b>
C3	AIG	25	24	96	1	0	0
	ASG	25	16	64	6	3	12
	CWA	25	20	80	5	0	0
	<b>Tout</b>	<b>75</b>	<b>60</b>	<b>80</b>	<b>12</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
C4	AIG	25	25	100	0	0	0
	ASG	25	21	84	3	1	4
	CWA	25	22	88	3	0	0
	<b>Tout</b>	<b>75</b>	<b>68</b>	<b>90,67</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>1,33</b>
C5	AIG	25	25	100	0	0	0
	ASG	25	22	88	2	1	4
	CWA	25	16	64	1	8	32
	<b>Tout</b>	<b>75</b>	<b>63</b>	<b>84</b>	<b>3</b>	<b>9</b>	<b>12</b>
C6	AIG	25	25	100	0	0	0
	ASG	25	17	68	7	1	4
	CWA	25	17	68	3	5	20
	<b>Tout</b>	<b>75</b>	<b>59</b>	<b>78,67</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>8</b>
C7	AIG	25	24	96	0	1	4
	ASG	25	24	96	0	1	4
	CWA	25	7	28	6	12	48
	<b>Tout</b>	<b>75</b>	<b>55</b>	<b>73,33</b>	<b>6</b>	<b>14</b>	<b>18,67</b>
C8	AIG	25	25	100	0	0	0
	ASG	25	24	96	1	0	0
	CWA	25	20	80	3	2	8
	<b>Tout</b>	<b>75</b>	<b>69</b>	<b>92</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2,67</b>
C9	AIG	25	22	88	0	3	12
	ASG	25	21	84	2	2	8
	CWA	25	17	68	6	2	8
	<b>Tout</b>	<b>75</b>	<b>60</b>	<b>80</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>9,33</b>
C10	AIG	25	25	100	0	0	0
	ASG	25	17	68	7	1	4
	CWA	25	22	88	3	0	0
	<b>Tout</b>	<b>75</b>	<b>64</b>	<b>85,33</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>1,33</b>
C11	AIG	25	23	92	0	2	8
	ASG	25	14	56	1	10	40
	CWA	25	17	68	7	1	4

	<b>Tout</b>	<b>75</b>	<b>54</b>	<b>72</b>	<b>8</b>	<b>13</b>	<b>17,33</b>
<b>C12</b>	AIG	25	25	100	0	0	0
	ASG	25	19	76	1	5	20
	CWA	25	23	92	2	0	0
	<b>Tout</b>	<b>75</b>	<b>67</b>	<b>89,33</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>6,67</b>
<b>Tout</b>	<b>900</b>	<b>756</b>	<b>84</b>	<b>82</b>	<b>62</b>	<b>6,89</b>	

## Annexe 16

**Tableau 58** : Effet de la combinaison hormonale et le type d'explants sur le développement des bourgeons ainsi que le pourcentage de leurs callogenèse en culture primaire après désinfection.

Combinaison Hormonale	Explants	Nombre d'explants mis en culture	Nombre d'explants sains	Taux de réussite (%)	Nombre d'explants ayant débouffrés	Nombre de bourgeons produits au total	Nombre moyen de bourgeons produits par explants ayant débouffrés	Nombre de Cals	Callogenèse (%)
CH1	AIG	12	12	100	0	0	0	0	0
	ASG	12	12	100	0	0	0	0	0
	CWA	12	12	100	0	0	0	0	0
	<b>Tout</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>100</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
CH2	AIG	12	12	100	0	0	0	3	25
	ASG	12	12	100	0	0	0	0	0
	CWA	12	12	100	0	0	0	0	0
	<b>Tout</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>100</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>8,33</b>
CH3	AIG	12	12	100	6	6	1	11	91,67
	ASG	12	12	100	0	0	0	0	0
	CWA	12	12	100	0	0	0	0	0
	<b>Tout</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>100</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>11</b>	<b>30,56</b>
CH4	AIG	12	12	100	1	1	1	0	0
	ASG	12	12	100	0	0	0	0	0
	CWA	12	12	100	0	0	0	0	0
	<b>Tout</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>100</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
CH5	AIG	12	12	100	3	3	1	5	41,67
	ASG	12	12	100	0	0	0	0	0
	CWA	12	12	100	0	0	0	0	0
	<b>Tout</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>100</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>13,89</b>
CH6	AIG	12	12	100	6	6	1	0	0
	ASG	12	12	100	0	0	0	0	0
	CWA	12	12	100	0	0	0	0	0
	<b>Tout</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>100</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
CH7	AIG	12	12	100	3	3	1	7	58,33
	ASG	12	12	100	0	0	0	0	0
	CWA	12	12	100	0	0	0	0	0
	<b>Tout</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>100</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>19,44</b>
CH8	AIG	12	12	100	0	0	0	0	0
	ASG	12	12	100	0	0	0	0	0
	CWA	12	12	100	0	0	0	0	0
	<b>Tout</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>100</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
CH9	AIG	12	12	100	9	9	1	12	100
	ASG	12	12	100	0	0	0	0	0
	CWA	12	12	100	0	0	0	0	0
	<b>Tout</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>100</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>12</b>	<b>33,33</b>
CH10	AIG	12	12	100	6	6	1	9	75
	ASG	12	12	100	0	0	0	0	0
	CWA	12	12	100	0	0	0	0	0
	<b>Tout</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>100</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>9</b>	<b>25</b>
CH11	AIG	12	12	100	0	0	0	7	58,33
	ASG	12	12	100	0	0	0	0	0
	CWA	12	12	100	0	0	0	0	0
	<b>Tout</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>100</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>19,44</b>
CH12	AIG	12	12	100	10	10	1	12	100
	ASG	12	12	100	0	0	0	0	0
	CWA	12	12	100	0	0	0	0	0
	<b>Tout</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>100</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>12</b>	<b>33,33</b>
CH13	AIG	12	12	100	3	3	1	6	50
	ASG	12	12	100	0	0	0	0	0
	CWA	12	12	100	0	0	0	0	0
	<b>Tout</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>100</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>16,67</b>
<b>Tout</b>		<b>468</b>	<b>468</b>	<b>100</b>	<b>47</b>	<b>47</b>	<b>1</b>	<b>72</b>	<b>15,38</b>

## Annexe 17

**Tableau 59** : Effet de la combinaison hormonale, de la saison et de l'espèce sur le développement des bourgeons ainsi que le pourcentage de leurs callogenèse en culture primaire optimisée.

Combinaisons Hormonales	Saisons	Espèces	Nombre d'explants mis en culture	Nombre d'explants sains	Taux de réussite (%)	Nombre d'explants ayant débourrés	Nombre de bourgeons produits au total	Nombre moyen de bourgeons produits par explants ayant débourré	Nombre de Cals	Callogenèse (%)	Bourgeons enracinés	Nombre d'explants enracinés
ANA/BAP (0/0)	Automne_Hiver	<i>Opuntia ficus indica</i>	12	10	83,33	2	2	1	5	41,67	0	0
		<i>Opuntia megacantha</i>	9	7	77,78	0	0	0	2	22,22	0	0
		<b>Tout</b>	<b>21</b>	<b>17</b>	<b>80,95</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>33,33</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	Printemps_été	<i>Opuntia ficus indica</i>	15	15	100,00	0	0	0	4	26,67	0	0
		<i>Opuntia megacantha</i>	15	14	93,33	2	2	6	40,00	0	6	
		<b>Tout</b>	<b>30</b>	<b>29</b>	<b>96,67</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>33,33</b>	<b>0</b>	<b>6</b>
<b>Tout</b>	<b>51</b>	<b>46</b>	<b>90,20</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>17</b>	<b>33,33</b>	<b>0</b>	<b>6</b>		
ANA/BAP (0.4/0)	Automne_Hiver	<i>Opuntia ficus indica</i>	12	9	75,00	0	0	0	7	58,33	0	0
		<i>Opuntia megacantha</i>	9	8	88,89	0	0	0	3	33,33	0	0
		<b>Tout</b>	<b>21</b>	<b>17</b>	<b>80,95</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>47,62</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	Printemps_été	<i>Opuntia ficus indica</i>	15	6	40,00	0	0	0	0	0,00	0	0
		<i>Opuntia megacantha</i>	15	12	80,00	6	6	1	3	20,00	0	4
		<b>Tout</b>	<b>30</b>	<b>18</b>	<b>60,00</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>10,00</b>	<b>0</b>	<b>4</b>
<b>Tout</b>	<b>51</b>	<b>35</b>	<b>68,63</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>13</b>	<b>25,49</b>	<b>0</b>	<b>4</b>		
ANA/BAP (0.6/0)	Automne_Hiver	<i>Opuntia ficus indica</i>	12	9	75,00	1	1	1	5	41,67	0	0
		<i>Opuntia megacantha</i>	9	7	77,78	0	0	0	0	0,00	0	0
		<b>Tout</b>	<b>21</b>	<b>16</b>	<b>76,19</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>23,81</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	Printemps_été	<i>Opuntia ficus indica</i>	15	15	100,00	0	0	0	4	26,67	0	1
		<i>Opuntia megacantha</i>	15	13	86,67	4	4	1	0	0,00	1	9
		<b>Tout</b>	<b>30</b>	<b>28</b>	<b>93,33</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>13,33</b>	<b>1</b>	<b>10</b>
<b>Tout</b>	<b>51</b>	<b>44</b>	<b>86,27</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>9</b>	<b>17,65</b>	<b>1</b>	<b>10</b>		
ANA/BAP (0.8/0)	Automne_Hiver	<i>Opuntia ficus indica</i>	12	10	83,33	0	0	0	4	33,33	0	0
		<i>Opuntia megacantha</i>	9	8	88,89	0	0	0	2	22,22	0	0
		<b>Tout</b>	<b>21</b>	<b>18</b>	<b>85,71</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>28,57</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	Printemps_été	<i>Opuntia ficus indica</i>	15	10	66,67	0	0	0	0	0,00	0	5
		<i>Opuntia megacantha</i>	15	15	100,00	0	0	0	7	46,67	0	8
		<b>Tout</b>	<b>30</b>	<b>25</b>	<b>83,33</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>23,33</b>	<b>0</b>	<b>13</b>
<b>Tout</b>	<b>51</b>	<b>43</b>	<b>84,31</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>13</b>	<b>25,49</b>	<b>0</b>	<b>13</b>		
ANA/BAP (0/4.5)	Automne_Hiver	<i>Opuntia ficus indica</i>	12	9	75,00	2	2	1	13	108,33	0	0
		<i>Opuntia megacantha</i>	9	7	77,78	0	0	0	1	11,11	0	0
		<b>Tout</b>	<b>21</b>	<b>16</b>	<b>76,19</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>14</b>	<b>66,67</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	Printemps_été	<i>Opuntia ficus indica</i>	15	15	100,00	0	0	0	4	26,67	0	0
		<i>Opuntia megacantha</i>	15	15	100,00	5	5	1	3	20,00	0	2
		<b>Tout</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>100,00</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>23,33</b>	<b>0</b>	<b>2</b>
<b>Tout</b>	<b>51</b>	<b>46</b>	<b>90,20</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>21</b>	<b>41,18</b>	<b>0</b>	<b>2</b>		
ANA/BAP (0.4/4.5)	Automne_Hiver	<i>Opuntia ficus indica</i>	12	9	75,00	6	7	1,17	16	133,33	0	0
		<i>Opuntia megacantha</i>	9	8	88,89	0	0	0	3	33,33	0	0
		<b>Tout</b>	<b>21</b>	<b>17</b>	<b>80,95</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>1,17</b>	<b>19</b>	<b>90,48</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	Printemps_été	<i>Opuntia ficus indica</i>	15	13	86,67	11	14	1,08	2	13,33	1	1
		<i>Opuntia megacantha</i>	15	13	86,67	9	9	1	7	46,67	2	7
		<b>Tout</b>	<b>30</b>	<b>26</b>	<b>86,67</b>	<b>20</b>	<b>23</b>	<b>1,15</b>	<b>9</b>	<b>30,00</b>	<b>3</b>	<b>8</b>
<b>Tout</b>	<b>51</b>	<b>43</b>	<b>84,31</b>	<b>26</b>	<b>30</b>	<b>1,15</b>	<b>28</b>	<b>54,90</b>	<b>3</b>	<b>8</b>		
ANA/BAP (0.6/4.5)	Automne_Hiver	<i>Opuntia ficus indica</i>	12	10	83,33	0	0	0	7	58,33	0	0
		<i>Opuntia megacantha</i>	9	9	100,00	0	0	0	3	33,33	0	0
		<b>Tout</b>	<b>21</b>	<b>19</b>	<b>90,48</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>47,62</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	Printemps_été	<i>Opuntia ficus indica</i>	15	12	80,00	6	6	1	13	86,67	2	6
		<i>Opuntia megacantha</i>	15	14	93,33	9	9	1	3	20,00	0	5
		<b>Tout</b>	<b>30</b>	<b>26</b>	<b>86,67</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>1</b>	<b>16</b>	<b>53,33</b>	<b>2</b>	<b>11</b>
<b>Tout</b>	<b>51</b>	<b>45</b>	<b>88,24</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>1</b>	<b>26</b>	<b>50,98</b>	<b>2</b>	<b>11</b>		
ANA/BAP (0.8/4.5)	Automne_Hiver	<i>Opuntia ficus indica</i>	12	9	75,00	0	0	0	6	50,00	0	0
		<i>Opuntia megacantha</i>	9	7	77,78	0	0	0	0	0,00	0	0
		<b>Tout</b>	<b>21</b>	<b>16</b>	<b>76,19</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>28,57</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	Printemps_été	<i>Opuntia ficus indica</i>	15	15	100,00	8	12	1,5	22	146,67	0	2
		<i>Opuntia megacantha</i>	15	15	100,00	7	7	1	7	46,67	0	10
		<b>Tout</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>100,00</b>	<b>15</b>	<b>19</b>	<b>1,27</b>	<b>29</b>	<b>96,67</b>	<b>0</b>	<b>12</b>
<b>Tout</b>	<b>51</b>	<b>46</b>	<b>90,20</b>	<b>15</b>	<b>19</b>	<b>1,27</b>	<b>35</b>	<b>68,63</b>	<b>0</b>	<b>12</b>		
ANA/BAP (0/5)	Automne_Hiver	<i>Opuntia ficus indica</i>	12	10	83,33	0	0	0	0	0,00	0	0
		<i>Opuntia megacantha</i>	9	8	88,89	0	0	0	2	22,22	0	0
		<b>Tout</b>	<b>21</b>	<b>18</b>	<b>85,71</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>9,52</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	Printemps_été	<i>Opuntia ficus indica</i>	15	15	100,00	0	0	0	10	66,67	0	0
		<i>Opuntia megacantha</i>	15	14	93,33	13	15	1,15	5	33,33	4	10
		<b>Tout</b>	<b>30</b>	<b>29</b>	<b>96,67</b>	<b>13</b>	<b>15</b>	<b>1,15</b>	<b>15</b>	<b>50,00</b>	<b>4</b>	<b>10</b>
<b>Tout</b>	<b>51</b>	<b>47</b>	<b>92,16</b>	<b>13</b>	<b>15</b>	<b>1,15</b>	<b>17</b>	<b>33,33</b>	<b>4</b>	<b>10</b>		
ANA/BAP (0.4/5)	Automne_Hiver	<i>Opuntia ficus indica</i>	12	11	91,67	1	1	1	4	33,33	0	0
		<i>Opuntia megacantha</i>	9	8	88,89	0	0	0	0	0,00	0	0
		<b>Tout</b>	<b>21</b>	<b>19</b>	<b>90,48</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>19,05</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	Printemps_été	<i>Opuntia ficus indica</i>	15	14	93,33	10	10	1	8	53,33	0	0
		<i>Opuntia megacantha</i>	15	15	100,00	13	14	1,08	3	20,00	0	3
		<b>Tout</b>	<b>30</b>	<b>29</b>	<b>96,67</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>1,04</b>	<b>11</b>	<b>36,67</b>	<b>0</b>	<b>3</b>
<b>Tout</b>	<b>51</b>	<b>48</b>	<b>94,12</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>1,04</b>	<b>15</b>	<b>29,41</b>	<b>0</b>	<b>3</b>		
ANA/BAP (0.6/5)	Automne_Hiver	<i>Opuntia ficus indica</i>	12	8	66,67	1	1	1	5	41,67	0	0

		<i>Opuntia megacantha</i>	9	7	77,78	0	0	0	0	0,00	0	0		
		<b>Tout</b>	<b>21</b>	<b>15</b>	<b>71,43</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>23,81</b>	<b>0</b>	<b>0</b>		
		<i>Opuntia ficus indica</i>	15	15	100,00	0	0	0	6	40,00	0	0		
		<i>Opuntia megacantha</i>	15	12	80,00	12	12	1	6	40,00	0	0		
	<b>Tout</b>	<b>Tout</b>	<b>30</b>	<b>27</b>	<b>90,00</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>1</b>	<b>12</b>	<b>40,00</b>	<b>0</b>	<b>0</b>		
		<b>Tout</b>	<b>51</b>	<b>42</b>	<b>82,35</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>1</b>	<b>17</b>	<b>33,33</b>	<b>0</b>	<b>0</b>		
		ANA/BAP (0.8/5)	Automne_Hiver	<i>Opuntia ficus indica</i>	12	10	83,33	0	0	0	0	0,00	0	0
				<i>Opuntia megacantha</i>	9	7	77,78	0	0	0	0	0,00	0	0
		<b>Tout</b>	<b>21</b>	<b>17</b>	<b>80,95</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,00</b>	<b>0</b>	<b>0</b>		
		Printemps_été		<i>Opuntia ficus indica</i>	15	14	93,33	4	4	1	14	93,33	0	0
				<i>Opuntia megacantha</i>	15	15	100,00	15	17	1,13	7	46,67	2	5
			<b>Tout</b>	<b>Tout</b>	<b>30</b>	<b>29</b>	<b>96,67</b>	<b>19</b>	<b>21</b>	<b>1,10</b>	<b>21</b>	<b>70,00</b>	<b>2</b>	<b>5</b>
<b>Tout</b>	<b>51</b>			<b>46</b>	<b>90,20</b>	<b>19</b>	<b>21</b>	<b>1,10</b>	<b>21</b>	<b>41,18</b>	<b>2</b>	<b>5</b>		
ANA/BAP (0/5.5)	Automne_Hiver			<i>Opuntia ficus indica</i>	12	9	75,00	0	0	0	5	41,67	0	0
				<i>Opuntia megacantha</i>	9	7	77,78	1	1	1	0	0,00	1	0
		<b>Tout</b>	<b>21</b>	<b>16</b>	<b>76,19</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>23,81</b>	<b>1</b>	<b>0</b>		
		Printemps_été		<i>Opuntia ficus indica</i>	15	8	53,33	0	0	0	0	0,00	0	0
				<i>Opuntia megacantha</i>	15	14	93,33	5	7	1,4	22	146,67	4	5
			<b>Tout</b>	<b>Tout</b>	<b>30</b>	<b>22</b>	<b>73,33</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>1,4</b>	<b>22</b>	<b>73,33</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Tout</b>	<b>51</b>			<b>38</b>	<b>74,51</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>1,33</b>	<b>27</b>	<b>52,94</b>	<b>5</b>	<b>5</b>		
ANA/BAP (0.4/5.5)	Automne_Hiver			<i>Opuntia ficus indica</i>	12	9	75,00	0	0	0	2	16,67	0	0
				<i>Opuntia megacantha</i>	9	7	77,78	0	0	0	2	22,22	0	0
		<b>Tout</b>	<b>21</b>	<b>16</b>	<b>76,19</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>19,05</b>	<b>0</b>	<b>0</b>		
		Printemps_été		<i>Opuntia ficus indica</i>	15	8	53,33	0	0	0	0	0,00	0	0
				<i>Opuntia megacantha</i>	15	13	86,67	0	0	0	4	26,67	0	0
			<b>Tout</b>	<b>Tout</b>	<b>30</b>	<b>21</b>	<b>70,00</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>13,33</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Tout</b>	<b>51</b>			<b>37</b>	<b>72,55</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>8</b>	<b>15,69</b>	<b>0</b>	<b>0</b>		
ANA/BAP (0.6/5.5)	Automne_Hiver			<i>Opuntia ficus indica</i>	12	8	66,67	0	0	0	2	16,67	0	0
				<i>Opuntia megacantha</i>	9	8	88,89	0	0	0	2	22,22	0	0
		<b>Tout</b>	<b>21</b>	<b>16</b>	<b>76,19</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>19,05</b>	<b>0</b>	<b>0</b>		
		Printemps_été		<i>Opuntia ficus indica</i>	15	7	46,67	0	0	0	0	0,00	0	0
				<i>Opuntia megacantha</i>	15	12	80,00	4	4	1	7	46,67	0	2
			<b>Tout</b>	<b>Tout</b>	<b>30</b>	<b>19</b>	<b>63,33</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>23,33</b>	<b>0</b>	<b>2</b>
<b>Tout</b>	<b>51</b>			<b>35</b>	<b>68,63</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>11</b>	<b>21,57</b>	<b>0</b>	<b>2</b>		
ANA/BAP (0.8/5.5)	Automne_Hiver			<i>Opuntia ficus indica</i>	12	10	83,33	0	0	0	3	25,00	0	0
				<i>Opuntia megacantha</i>	9	7	77,78	0	0	0	0	0,00	0	0
		<b>Tout</b>	<b>21</b>	<b>17</b>	<b>80,95</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>14,29</b>	<b>0</b>	<b>0</b>		
		Printemps_été		<i>Opuntia ficus indica</i>	15	8	53,33	0	0	0	0	0,00	0	0
				<i>Opuntia megacantha</i>	15	13	86,67	1	1	1	5	33,33	0	0
			<b>Tout</b>	<b>Tout</b>	<b>30</b>	<b>21</b>	<b>70,00</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>16,67</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Tout</b>	<b>51</b>			<b>38</b>	<b>74,51</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>8</b>	<b>15,69</b>	<b>0</b>	<b>0</b>		
ANA/BAP (0/6)	Automne_Hiver			<i>Opuntia ficus indica</i>	12	10	83,33	0	0	0	0	0,00	0	0
				<i>Opuntia megacantha</i>	9	8	88,89	0	0	0	3	33,33	0	0
		<b>Tout</b>	<b>21</b>	<b>18</b>	<b>85,71</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>14,29</b>	<b>0</b>	<b>0</b>		
		Printemps_été		<i>Opuntia ficus indica</i>	15	7	46,67	0	0	0	0	0,00	0	0
				<i>Opuntia megacantha</i>	15	14	93,33	9	10	1,11	16	106,67	3	10
			<b>Tout</b>	<b>Tout</b>	<b>30</b>	<b>21</b>	<b>70,00</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>1,11</b>	<b>16</b>	<b>53,33</b>	<b>3</b>	<b>10</b>
<b>Tout</b>	<b>51</b>			<b>39</b>	<b>76,47</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>1,11</b>	<b>19</b>	<b>37,25</b>	<b>3</b>	<b>10</b>		
ANA/BAP (0.4/6)	Automne_Hiver			<i>Opuntia ficus indica</i>	12	10	83,33	0	0	0	0	0,00	0	0
				<i>Opuntia megacantha</i>	9	8	88,89	0	0	0	0	0,00	0	0
		<b>Tout</b>	<b>21</b>	<b>18</b>	<b>85,71</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,00</b>	<b>0</b>	<b>0</b>		
		Printemps_été		<i>Opuntia ficus indica</i>	15	6	40,00	0	0	0	0	0,00	0	0
				<i>Opuntia megacantha</i>	15	10	66,67	0	0	0	7	46,67	0	2
			<b>Tout</b>	<b>Tout</b>	<b>30</b>	<b>16</b>	<b>53,33</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>23,33</b>	<b>0</b>	<b>2</b>
<b>Tout</b>	<b>51</b>			<b>34</b>	<b>66,67</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>13,73</b>	<b>0</b>	<b>2</b>		
ANA/BAP (0.6/6)	Automne_Hiver			<i>Opuntia ficus indica</i>	12	9	75,00	0	0	0	0	0,00	0	0
				<i>Opuntia megacantha</i>	9	6	66,67	0	0	0	2	22,22	0	0
		<b>Tout</b>	<b>21</b>	<b>15</b>	<b>71,43</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>9,52</b>	<b>0</b>	<b>0</b>		
		Printemps_été		<i>Opuntia ficus indica</i>	15	7	46,67	0	0	0	0	0,00	0	0
				<i>Opuntia megacantha</i>	15	8	53,33	2	2	1	1	6,67	0	0
			<b>Tout</b>	<b>Tout</b>	<b>30</b>	<b>15</b>	<b>50,00</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3,33</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Tout</b>	<b>51</b>			<b>30</b>	<b>58,82</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5,88</b>	<b>0</b>	<b>0</b>		
ANA/BAP (0.8/6)	Automne_Hiver			<i>Opuntia ficus indica</i>	12	10	83,33	2	2	1	5	41,67	0	0
				<i>Opuntia megacantha</i>	9	8	88,89	0	0	0	2	22,22	0	0
		<b>Tout</b>	<b>21</b>	<b>18</b>	<b>85,71</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>33,33</b>	<b>0</b>	<b>0</b>		
		Printemps_été		<i>Opuntia ficus indica</i>	15	8	53,33	4	4	1	0	0,00	0	0
				<i>Opuntia megacantha</i>	15	9	60,00	0	0	0	2	13,33	0	0
			<b>Tout</b>	<b>Tout</b>	<b>30</b>	<b>17</b>	<b>56,67</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>6,67</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Tout</b>	<b>51</b>			<b>35</b>	<b>68,63</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>9</b>	<b>17,65</b>	<b>0</b>	<b>0</b>		
<b>Tout</b>	<b>1020</b>			<b>817</b>	<b>80,10</b>	<b>175</b>	<b>191</b>	<b>1,09</b>	<b>324</b>	<b>31,76</b>	<b>20</b>	<b>103</b>		



## Annexe 18

**Tableau 60 :** Résultat du sevrage des plantules « mini-raquettes » issues de la micropropagation selon le type de substrat et d'irrigation.

Type de substrat		Irrigation	Nombre de mini-raquettes sevrées	Nombre de mini-raquettes sevrées ayant repris	Taux de réussite (%)
1	A	Eaux	6	6	100,0
1	B	Eaux et fertilisant	6	4	66,7
2	A	Eaux	6	2	33,3
2	B	Eaux et fertilisant	6	1	16,7
1	A	Eaux	6	6	100,0
1	B	Eaux et fertilisant	6	5	83,3
2	A	Eaux	6	4	66,7
2	B	Eaux et fertilisant	6	4	66,7

## Annexe 19

**Tableau 61** : Les différentes espèces d'*Opuntia* existant au niveau international (Anderson and Brown, 2001).

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Opuntia acaulis</i></li> <li>• <i>Opuntia aciculata</i></li> <li>• <i>Opuntia aequatorialis</i></li> <li>• <i>Opuntia alko-tuna</i></li> <li>• <i>Opuntia alta</i></li> <li>• <i>Opuntia amiclaea</i></li> <li>• <i>Opuntia ammophila</i></li> <li>• <i>Opuntia anacantha</i></li> <li>• <i>Opuntia andersonii</i></li> <li>• <i>Opuntia antillana</i></li> <li>• <i>Opuntia apurimacensis</i></li> <li>• <i>Opuntia arcei</i></li> <li>• <i>Opuntia armata</i></li> <li>• <i>Opuntia assumptions</i></li> <li>• <i>Opuntia atrispina</i></li> <li>• <i>Opuntia atropes</i></li> <li>• <i>Opuntia auberi</i></li> <li>• <i>Opuntia aurantiaca</i></li> <li>• <i>Opuntia aurea</i></li> <li>• <i>Opuntia aureispina</i></li> <li>• <i>Opuntia austrina</i></li> <li>• <i>Opuntia azurea</i></li> <li>• <i>Opuntia bakeri</i></li> <li>• <i>Opuntia basilaris</i></li> <li>• <i>Opuntia bella</i></li> <li>• <i>Opuntia bensonii</i></li> <li>• <i>Opuntia bisetosa</i></li> <li>• <i>Opuntia boldinghii</i></li> <li>• <i>Opuntia bonplandii</i></li> <li>• <i>Opuntia borinquensis</i></li> <li>• <i>Opuntia bravoana</i></li> <li>• <i>Opuntia caracassana</i></li> <li>• <i>Opuntia cardiosperma</i></li> <li>• <i>Opuntia chaffeyi</i></li> <li>• <i>Opuntia chavena</i></li> <li>• <i>Opuntia chihuahuensis</i></li> <li>• <i>Opuntia chisosensis</i></li> <li>• <i>Opuntia chlorotica</i></li> <li>• <i>Opuntia cochabambensis</i></li> <li>• <i>Opuntia cochenillifera</i></li> <li>• <i>Opuntia cognata</i></li> <li>• <i>Opuntia colubrina</i></li> <li>• <i>Opuntia columbiana</i></li> <li>• <i>Opuntia conjungens</i></li> <li>• <i>Opuntia crassa</i></li> <li>• <i>Opuntia crystalenia</i></li> <li>• <i>Opuntia cubensis</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Opuntia ekmanii</i></li> <li>• <i>Opuntia elata</i></li> <li>• <i>Opuntia elatior</i></li> <li>• <i>Opuntia elizondoana</i></li> <li>• <i>Opuntia ellisiana</i></li> <li>• <i>Opuntia engelmannii</i></li> <li>• <i>Opuntia excelsa</i></li> <li>• <i>Opuntia feroacantha</i></li> <li>• <i>Opuntia ficus-indica</i></li> <li>• <i>Opuntia fragilis</i></li> <li>• <i>Opuntia fuliginosa</i></li> <li>• <i>Opuntia galapageia</i></li> <li>• <i>Opuntia gosseliniana</i></li> <li>• <i>Opuntia guatemalensis</i></li> <li>• <i>Opuntia guilanchi</i></li> <li>• <i>Opuntia helleri</i></li> <li>• <i>Opuntia hitchcockii</i></li> <li>• <i>Opuntia hondurensis</i></li> <li>• <i>Opuntia howeyi</i></li> <li>• <i>Opuntia huajuapensis</i></li> <li>• <i>Opuntia humifusa</i></li> <li>• <i>Opuntia hyptiacantha</i></li> <li>• <i>Opuntia inaequilateralis</i></li> <li>• <i>Opuntia inaperta</i></li> <li>• <i>Opuntia infesta</i></li> <li>• <i>Opuntia insularis</i></li> <li>• <i>Opuntia jaliscana</i></li> <li>• <i>Opuntia jamaicensis</i></li> <li>• <i>Opuntia joconostle</i></li> <li>• <i>Opuntia karwinskiana</i></li> <li>• <i>Opuntia laevis</i></li> <li>• <i>Opuntia lagunae</i></li> <li>• <i>Opuntia larreyi</i></li> <li>• <i>Opuntia lasiacantha</i></li> <li>• <i>Opuntia leucotricha</i></li> <li>• <i>Opuntia lilae</i></li> <li>• <i>Opuntia littoralis</i></li> <li>• <i>Opuntia lucayana</i></li> <li>• <i>Opuntia lutea</i></li> <li>• <i>Opuntia macrocentra</i></li> <li>• <i>Opuntia macrorhiza</i></li> <li>• <i>Opuntia martiniana</i></li> <li>• <i>Opuntia megacantha</i></li> <li>• <i>Opuntia megapotamica</i></li> <li>• <i>Opuntia megarrhiza</i></li> <li>• <i>Opuntia megasperma</i></li> <li>• <i>Opuntia microdasys</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Opuntia pilifera</i></li> <li>• <i>Opuntiapinkavae</i></li> <li>• <i>Opuntia pittieri</i></li> <li>• <i>Opuntia pituitosa</i></li> <li>• <i>Opuntia polyacantha</i></li> <li>• <i>Opuntia puberula</i></li> <li>• <i>Opuntia pubescens</i></li> <li>• <i>Opuntia pumila</i></li> <li>• <i>Opuntia pusilla</i></li> <li>• <i>Opuntia pycnanantha</i></li> <li>• <i>Opuntia pyriformis</i></li> <li>• <i>Opuntia quimilo</i></li> <li>• <i>Opuntia quitensis</i></li> <li>• <i>Opuntia rastrera</i></li> <li>• <i>Opuntia repens</i></li> <li>• <i>Opuntia rileyi</i></li> <li>• <i>Opuntia ritten</i></li> <li>• <i>Opuntia robinsonii</i></li> <li>• <i>Opuntia roborensis</i></li> <li>• <i>Opuntia robusta</i></li> <li>• <i>Opuntia rooneyi</i></li> <li>• <i>Opuntia rufida</i></li> <li>• <i>Opuntia salmiana</i></li> <li>• <i>Opuntia salvadorensis</i></li> <li>• <i>Opuntia sanguinea</i></li> <li>• <i>Opuntia santa-rita</i></li> <li>• <i>Opuntia saxicola</i></li> <li>• <i>Opuntia scheeri</i></li> <li>• <i>Opuntia schickendantzii</i></li> <li>• <i>Opuntia securigera</i></li> <li>• <i>Opuntia soederstromiana</i></li> <li>• <i>Opuntia spinosibacca</i></li> <li>• <i>Opuntia spinulifera</i></li> <li>• <i>Opuntia spraguei</i></li> <li>• <i>Opuntia stenarthra</i></li> <li>• <i>Opuntia stenopetala</i></li> <li>• <i>Opuntia streptacantha</i></li> <li>• <i>Opuntia stricta</i></li> <li>• <i>Opuntia strigil</i></li> <li>• <i>Opuntia subsphaerocarpa</i></li> <li>• <i>Opuntia subulata</i></li> <li>• <i>Opuntia sulphurea</i></li> <li>• <i>Opuntia tapona</i></li> <li>• <i>Opuntia taylorii</i></li> <li>• <i>Opuntia tehuacana</i></li> <li>• <i>Opuntia tehuantepecana</i></li> <li>• <i>Opuntia tenuiflora</i></li> </ul>
---	---	--

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Opuntia curassavica</i></li> <li>• <i>Opuntia curvispina</i></li> <li>• <i>Opuntia cymochila</i></li> <li>• <i>Opuntia darrahiana</i></li> <li>• <i>Opuntia deamii</i></li> <li>• <i>Opuntia decumbens</i></li> <li>• <i>Opuntia dejecta</i></li> <li>• <i>Opuntia delaetiana</i></li> <li>• <i>Opuntia depauperata</i></li> <li>• <i>Opuntia depressa</i></li> <li>• <i>Opuntia dillenii</i></li> <li>• <i>Opuntia discolor</i></li> <li>• <i>Opuntia durangensis</i></li> <li>• <i>Opuntia echios</i></li> <li>• <i>Opuntia edwardsii</i></li> <li>• <i>Opuntia eichlamii</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Opuntia monacantha</i></li> <li>• <i>Opuntia montevideensis</i></li> <li>• <i>Opuntia nejapensis</i></li> <li>• <i>Opuntia neochrysacantha</i></li> <li>• <i>Opuntia nuda</i></li> <li>• <i>Opuntia occidentalis</i></li> <li>• <i>Opuntia orbiculata</i></li> <li>• <i>Opuntia oricola</i></li> <li>• <i>Opuntia pachona</i></li> <li>• <i>Opuntia pachyrrhiza</i></li> <li>• <i>Opuntia pailana</i></li> <li>• <i>Opuntia pampeana</i></li> <li>• <i>Opuntia parviclada</i></li> <li>• <i>Opuntia penicilligera</i></li> <li>• <i>Opuntia pennellii</i></li> <li>• <i>Opuntia phaeacantha</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Opuntia tomentella</i></li> <li>• <i>Opuntia tomentosa</i></li> <li>• <i>Opuntia triacantha</i></li> <li>• <i>Opuntia tuna</i></li> <li>• <i>Opuntia turbinata</i></li> <li>• <i>Opuntia undulata</i></li> <li>• <i>Opuntia urbaniana</i></li> <li>• <i>Opuntia vaseyi</i></li> <li>• <i>Opuntia velutina</i></li> <li>• <i>Opuntia viridirubra</i></li> <li>• <i>Opuntia vitelliniflora</i></li> <li>• <i>Opuntia wetmorei</i></li> <li>• <i>Opuntia wilcoxii</i></li> <li>• <i>Opuntia wootonii</i></li> <li>• <i>Opuntia zamudioi</i></li> </ul>
--	--	---

## Annexe 20

### Caractérisation de quelques espèces d'*Opuntia* identifiées à l'échelle internationale (Lambert, 1997)

*Opuntia ficus indica* : L'espèce la plus commune et la plus répandue dans le monde avec des variations de multiples variations de forme souvent difficiles à identifier. Cette espèce peut atteindre 5m de hauteur. Ses raquettes vert clair de 40 à 50cm de long et 20cm de large sont ponctuées d'aréoles blanches portant des épines de 0 à 6 ; Les fleurs sont estivales de couleur jaunes parfois proche de l'orange clair. Les fruits sont comestibles

*Opuntia macrocentra* : Porte des raquettes bleu clair, rondes de 20cm de diamètre avec quelques aréoles présentant des glochides avec 1 ou 2 épines dressées de 8 à 15cm de long. Les fleurs sont éphémères, jaunes à cœur rouge.

*Opuntia robusta* : Plante de forme arborescente atteignant 5m de haut avec des raquettes épaisses, plus large que longues. Les aréoles portent des glochides rougeâtres et quelques épines qui passent du jaune au blanc à maturité avec des fleurs violacée voire pourpre.

*Opuntia basilaris* : Une espèce de 1m de hauteur, les raquettes de 15 à 20cm de long sont vert bleuté ou vert rougeâtre. Les aréoles brunâtres portent des glochides brunes avec parfois une courte épines.

*Opuntia humifusa*: Espèce rampante dépassant rarement 30 à 40 cm de haut. Les raquettes sont aplaties ronds ou elliptiques, verts toujours plus ou moins jaunâtres, de 4 à 10 cm de long sur 4 à 6 cm de large et 1 cm d'épaisseur. Les aréoles sont peu nombreuses et espacées, réparties sur toute la surface. Les feuilles sont coniques jusqu'à 8 mm de long. Les glochides sont courtes, peu nombreuses, presque absentes sur les jeunes articles, blanc jaunâtre à grisâtres. Les épines sont totalement absentes. Les fleurs sont uniformément jaunes (pâle à citron, voire or) de 3 à 4 cm de long et de diamètre. Les Fruits sont charnus rouge carmin vif à pourpres, pyriformes, de 1,5 à 4 cm de long sur 2 à 3 cm de diamètre. (Bulot, 2007)

*Opuntia macrorhiza* : Espèce rampante à faiblement érigée, ramifiée, dépassant rarement 50 cm de haut. Les raquettes sont aplaties discoïdes à elliptiques, vert sombre, parfois un peu bleutés, de 5 à 10 cm de long sur 5 à 7 cm de large et 1 cm d'épaisseur. Les aréoles sont peu nombreuses réparties sur toute la surface, séparées de 1 à 2 cm. Les feuilles sont coniques de 8 mm de long. Les glochides nombreuses, de couleur brun roux, formant des coussinets denses, surtout sur les articles âgés. Les épines sont marrons ou grises à noires, de 2 à 5 cm de long, souvent absentes, naissant, lorsqu'il y en a, des aréoles situées sur le pourtour de l'article. Fleurs sont jaune citron, plus rarement jaune d'or, de 5 à 7 cm de long et de diamètre.

Fruits charnus brun-rougeâtre à chocolat clair, pyriformes, de 1,5 à 4 cm de long sur 2 à 3 cm de diamètre, aux aréoles portant des glochides (**Bulot, 2007**).

- O. anacantha** Speg : Espèce est ramifié de 1m à 2,50m, couchées à dressées. Les raquettes sont elliptiques, de 15-40 cm de long pour 3,5-7 cm de large, vert. Les feuille, rarement maculés de mauvâtre sous les aréoles. Celles-ci sont ovales, petites, de 3 × 2 mm, blanches à grisâtres, et inermes ; très exceptionnellement avec une courte épine blanche d'environ 10 mm. Les fleurs sont nombreuses, insérées sur le bord des raquettes, rotacées à cupuliformes, de 50 mm de diamètre.
- O. brunnescens** Br. & R. : Plante ne dépasse pas une hauteur maximum d'un mètre. Les raquettes sont allongées, atteignant 25-30 cm de long pour 11-12 cm de large, vert franc, avec des taches plus foncées sous les aréoles. Celles-ci sont ovales, de 3-4 × 2-3 mm, blanches, insérées sur des renflements arrondis. Les épines sont d'abord au nombre de 1-2, puis jusqu'à 3-4 ; jeunes épines rouges à partie médiane plus et claire pointe foncée devenant blanches à pointe brunâtre, puis grises ; longueur jusqu'à 45 mm. Les fruits sont rouges, peu épineux, mais avec des glochides.
- O. cordobensis** Speg. : Plante sont arbustives dressées, pouvant atteindre 1 à 2 m de haut et former un tronc de 20 cm de diamètre. Les raquettes sont elliptiques, mesurant jusqu'à 30-40 cm de long et 18-20 cm de large, peu épais, vert glauque, sans taches sous les aréoles. Celles-ci insérées au sommet de petits renflements arrondis. Les épines sont blanches, au nombre de 1-6, le plus souvent 3, dont les deux plus longues sont dirigées vers le bas, et la plus courte dressée perpendiculairement aux cladodes. Les fleurs sont grandes de 8 cm de diamètre pour 6 cm de haut, insérées sur le bord des segments. Le fruit jaune clair teinté de rose.
- O. corrugata** S-D. : Plantes formant des touffes d'environ 80 cm de diamètre. Les segments sont verts, feuilles globuleuses, légèrement ovoïdes, mesurant jusqu'à 3,7 × 1,9 cm. Les aréoles sont brunes avec des épines blanches, la partie supérieure avec des glochides peu nombreux. Les épines en nombre fort variable (3 à 10) ; longueur maximum 17 mm. Le fruit d'environ 2 × 1,5 cm, rouge clair, épineux.
- O. discolor** Br. & R. ; Espèce rampante ou grimpante, aux segments allongés et minces, pouvant atteindre 50 cm de long pour 30 mm de large et 15 mm d'épaisseur. Jeunes pousses vert clair frais, avec des stries violet foncé sous les aréoles. Les épines 1-6 (1 principale et 4-5 plus petites), blanches à pointe brune, dirigées vers le bas ; longueur 25-30 mm.



- O. kiska-loro** Speg.: Plantes rampantes à plus ou moins dressées. Segments vert feuille, sans taches sous les aréoles, de 25-28 cm de long, 5-8 cm de large et 1,5 cm d'épaisseur. Les aréoles sont ovales, de 4-5 × 2-3 mm, distantes de 25 à 30 mm, garnies de laine blanche et armées d'une couronne de glochides rouge brunâtre à la partie supérieure. Pas d'épines aux aréoles du bas des segments ; dans le haut de ceux-ci, 1 à 3 grandes épines dressées, blanchâtres à pointe et base rouge brunâtre, devenant grises et dirigées vers le bas. Les Fruits d'environ 50 × 25 mm, carmin à chair blanche.
- O. microdisca** Weber : formées de segments vert clair, ovoïdes à aplatis, de 35-40 × 20-25 mm. Les aréoles sont brunâtres, d'un diamètre de 2-3 mm, distantes de 6-7 mm ; glochides nombreux, d'environ 5 mm, dans le haut des aréoles. Les épines sont blanches, parfois à base jaunâtre ou brunâtre, devenant grises par la suite, au nombre total de 8 à 11 (15), les extérieures étalées en rosette, les centrales plus fortes, dressées, généralement au nombre de 4, pouvant atteindre 30 mm de long. Fruit vert pâle, d'environ 3 × 2 cm.
- O. paraguayensis** K. Sch. : Espèce buissonnante aux ramifications denses, pouvant atteindre 1 à 2 mètres de hauteur. Segments oblongs, vert clair, de 15-20 × 5-8 cm, légèrement plus foncés autour des aréoles. Celles-ci sont blanc jaunâtre, ovales, de 5 × 3,5 mm. Les épines sont complètement absentes au début, n'apparaissant que sur les segments âgés, à raison d'une seule par aréole.
- O. quimilo** K. Sch. : Arbustes pouvant atteindre une hauteur et un diamètre de 4 mètres, et développer un tronc de 30 cm de diamètre. Segments charnus, vert feuille à vert glauque, de 15-30-(50) cm de long pour 8-15-(25) cm de large, arrondis dans le haut. Les aréoles de 3-4 mm de diamètre, blanches à grisâtres ; glochides jaune grisâtre, de 2-4 mm, peu abondants. Les épines sont absentes aux jeunes segments, apparaissent sporadiquement sur les segments plus âgés, de 1-(3) aux aréoles où elles sont présentes. De teinte blanc ivoire passant au gris à pointe brun clair, les plus longues peuvent atteindre de 7 à 14 cm. Les vieilles aréoles du tronc peuvent Fruit de 6-7 × 3-4 cm, jaune verdâtre passant au rouge vineux à maturité.
- O. retrorsa** Speg. : Segments rampants, enchevêtrés, faisant jusqu'à 15-25 cm de long et 25-35 mm de large ; vert clair à l'état jeune, fonçant par la suite, avec des bandes violettes sous les aréoles. Les aréoles sont rondes à légèrement ovales, de 2,5 × 3 mm, distantes de 25-28 mm, garnies de laine blanche, avec des glochides rougeâtres en arc de cercle à la partie supérieure. Les épines sont fortes, aciculées, dressées, en touffes non différenciées, au nombre de 4-6 par aréole, les plus longues atteignant 30-40 mm. Fruit ovoïde, de 35-30 × 10-25 mm, rouge carmin foncé à chair rose.

- O. salagria** Cast. : Pouvant atteindre un maximum de 2 mètres de hauteur, ne formant généralement pas de tronc. Segments vert feuille, arrondis-elliptiques, mesurant jusqu'à 30 cm de long pour 17 cm de large. Les aréoles sont ovales, de 5 × 3 mm, garnies de courts glochides bruns. Les épines au nombre de 1-(2) par aréole, blanc jaunâtre, raides, de longueur variable, atteignant (rarement) un maximum de 35 mm.
- O. salmiana** Parm. : Petites touffes de segments dressés verticalement, ramifiés ou non, le plus souvent de 60 cm de haut, rarement jusqu'à 1 mètre. Segments vert franc à vert olive, cylindriques, de 25 à 40 cm de long et de 10 cm de diamètre. Les aréoles sont rondes, blanches, de 1-1,5 mm de diamètre. En plus des petits glochides blancs, les aréoles se garnissent également d'épines, dont le nombre augmente avec l'âge, pour atteindre un maximum de 8 ; la longueur ne dépasse guère 4 à 5 mm. Les jeunes épines sont blanches, mais deviennent plus rougeâtres par la suite.
- O. schickendantzii** Weber : Buissons ramifiés pouvant atteindre 1 à 2 mètres de haut, avec un tronc de 4 cm de diamètre et plus. Jeunes plantes à segments cylindriques, mais formant ensuite des segments latéraux aplatis ; la longueur des segments peut atteindre 55 à 60 cm, le diamètre des segments cylindriques faisant environ 15 mm. Les aréoles, insérées au sommet de petits tubercules fortement aplatis, sont rondes à légèrement ovales, d'un diamètre de 2 mm environ, et garnies de laine blanche. Les épines apparaissent très tôt, mais augmentent en nombre avec l'âge des aréoles, passant de 2 à 8-10 épines principales. Les épines les plus longues mesurent de 1 à 2 cm ; la couleur en est blanche à jaunâtre. Le fruit est sphérique, vert passant au mauve à maturité.
- O. soehrensii** Br. & R. Plantes basses, rampantes, formées de segments allongés à discoïdes, fortement tuberculés, mesurant de 4-12 cm de long pour 2-10 cm de large ; épiderme vert glauque clair. Aréoles ovales, grises, de 2 × 3,5 mm, avec des glochides jaunes à rouge brunâtre. Les épines sont aciculées, dressées, au nombre de 4-5 et plus par aréole, mesurant jusqu'à 60-70 mm de long.
- O. spegazzinii** Weber : Segments cylindriques dressés verticalement, ramifiés ou non ; des segments latéraux aplatis peuvent apparaître sur les plantes plus âgées. Longueur des segments jusqu'à 40 cm, pour un diamètre de 17 mm. Les aréoles sont arrondies, blanches, d'environ 2 mm de diamètre. Les jeunes pousses sont inermes, mais les épines se développent progressivement par la suite : d'abord au nombre de 1 à 3, on compte finalement 6 épines principales. Les épines les plus longues mesurent 12 mm, et restent blanches, tout comme les glochides. Le fruit est ovoïde, vert bleuté, se teintant plus ou moins de mauve à maturité.

- O. sulphurea** Gill. : Forme buissonnante rampante, ne dépassant pas 50 cm de haut, mais pouvant pousser des ramifications jusqu'à former des ensembles de 2 mètres de diamètre. Tubercules fortement marqués, conférant un aspect gaufré aux segments, qui sont de couleur vert feuille à vert glauque, elliptiques à ovoïdes, et mesurent de 15 à 20 cm de longueur pour 10 à 13 cm de largeur. Les aréoles sont arrondies à ovales, de 4 × 3 mm, garnies de laine blanche passant au gris et d'une couronne de glochides brun clair, et pratiquement toutes épineuses. Les épines sont fortes, dressées, au nombre de 2 à 9, atteignant 75 mm de longueur. Fleurs insérées sur le bord des segments : hauteur 30-35 mm, diamètre 50. Le fruit est jaunâtre à rougeâtre, d'environ 35 mm de long. Semences de 4 mm de diamètre, jaune brunâtre.
- O. vulgaris** Mill. : Arbustes de 2 mètres de haut et plus, fortement ramifiés, avec un tronc de 15 cm de diamètre. Segments vert clair à vert vif, de 10-30 cm de long et 8-15 cm de large. Aréoles grises, de 4-5 × 2-3 mm, avec des glochides jaune brunâtre. Les épines sont rares, apparaissant tardivement, au nombre de 1-2 par aréole là où elles sont présentes, pouvant atteindre 6 à 7 cm de longueur. Le fruit est ovoïde, rouge vineux, de 6 × 3,5 cm.