



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريريج

Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A.

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الارض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم العلوم الفلاحية

Département des Sciences Agronomiques



Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Agronomie

Spécialité : Amélioration des plantes

**Etude des effets acoustiques sur la germination et la
croissance de quelques populations algériennes du
sorgho (*Sorghum bicolor* L Moench)**

Présenté par : - Fatima Zahra ACHACHA
- Zohra BENSOUCHA

Soutenu le : 10 juillet 2019 Devant le jury :

| | | |
|----------------|-------------------------------------|-----|
| Président : | M ^r Abdelouahab BENTABET | Pr |
| Encadrant : | M ^r Redha OULD KIAR | MAA |
| Examinatrice : | M ^{me} Lamria SAID | MCB |

Année universitaire : 2018/2019

Remerciements

Tout d'abord nous remercions ALLAH le tout puissant qui nous a guidés vers le bon chemin.

Nous tenons à remercier très vivement les membres du jury Mr BENTABET qui a accepté de présider le jury et Mme SAID qu'elle a accepté de juger notre travail.

Nos sincères remerciements vont également à notre encadreur, Mr. OULD KIAR, pour ses conseils avisés et ses encouragements constants

Nos vifs remerciements vont également à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

Nos remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail et à tous les amis et les collègues pour leurs encouragements et leurs amitiés.

Zohra et Fatima Zahra

« Effet des ondes acoustiques sur la germination et la croissance de quelques populations du sorgho (*Sorghum bicolor* L Moench) »

Résumé

Notre mémoire vise à étudier les effets acoustiques sur la germination et la croissance de quelques populations du sorgho. Pour se faire, nous avons répété l'expérience deux fois pour déterminer si le son avait un effet sur la germination et la croissance des plantes qu'ont été mis dans un endroit contenant des hauts parleurs émettant des ondes acoustiques en présence d'un témoin.

Nous avons fait notre bien pour isoler acoustiquement cet endroit afin de satisfaire les conditions biologiques à la germination. Notre expérience a montré une réponse positive aux ondes acoustiques en comparaison avec le témoin, ce qui explique clairement la sensation de la plante.

Mots clé : Effet acoustique, sorgho, population, germination, croissance.

"تأثير الامواج الصوتية على إنتاش ونمو بعض الأنواع النباتية"

ملخص:

لقد قمنا بهذه التجربة العلمية بهدف دراسة أثر عالم الأصوات على إنتاش ونمو بعض أصناف الذرة الرفيعة. للقيام بذلك أعدنا التجربة مرتين لتحديد إذا كان هناك للأثر الصوتي تأثير على إنتاش وتطور النباتات التي وضعت في مكان يحتوي على مكبرات الصوت التي تنبعث منها موجات صوتية. بذلنا قصارى جهدنا لعزل مكان التجربة من الأصوات الخارجية لتحقيق الظروف البيولوجية المناسبة.

أظهرت هذه الدراسة استجابة إيجابية للموجات الصوتية بالمقارنة مع الظروف العادية بدون صوت، هذا ما يؤكد بوضوح على تأثر النبات.

الكلمات المفتاحية: أثر صوتي، صنف، إنتاش، نمو.

« Acoustic Sound waves effect on germination and growth of some plant species »

Abstract:

Our work aims at a modest study of the acoustic effects on the germination and growth of some plant species. To do this, we have repeated the experiment to determine if the sound has an effect on germination and plant growth that has been put in a place containing speakers emitting acoustic waves. We did our best to acoustically isolate this place to satisfy the biological conditions of germination.

Our experiments has shown a positive response to acoustic waves in comparison with the control, witch explain clearly the sensation of the plant.

Key words : Acoustic effect, population, germination, growth.

Table des matières

| | Page |
|---------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Résumé | |
| Liste des tableaux | |
| Liste des figures | |
| Liste des abréviations | |
| Introduction | 01 |
| Partie I : Étude bibliographique | |
| Chapitre 1 : Généralités sur le sorgho | 03 |
| 1. Importance de la culture | 03 |
| 2. Botanique | 04 |
| 2.1. Origine | 04 |
| 2.2. Description morphologique | 04 |
| 2.3. Classification | 05 |
| 3. Physiologie | 05 |
| 3.1. Croissance et développement | 05 |
| 3.2. Exigences écologiques | 06 |
| 3.3. Mécanismes physiologique d'alimentation et en sel minéraux | 06 |
| Chapitre II : Ondes acoustiques | 09 |
| 1. Qu'est-ce que le son ? | 09 |
| 1.1. Définition des ondes sonores | 09 |
| 1.2. Caractérisation des ondes sonores | 09 |
| 2. Vitesse de propagation d'une onde sonore | 11 |
| 2.1. Longueur d'onde | 11 |
| 2.2. Les gammes musicales | 11 |
| 3. Impact du son sur les plantes | 11 |
| 3.1. Plante et musique | 11 |
| 3.2. Exemples d'études sur l'effet positif de la musique sur les plantes | 12 |
| Partie II : Matériel et méthodes | |
| 1. Matériel végétal | 14 |
| 2. Dispositif expérimental | 14 |
| 3. Conduite du stress | 16 |
| 3.1. Préparation substrat | 16 |
| 3.2. Semis | 16 |

| | |
|---------------------------------------------------------------|----|
| 3.3. Irrigation | 17 |
| 3.4. Désherbage | 17 |
| 4. Application du stress | 17 |
| 5. Paramètres étudiés | 17 |
| 5.1. Germination | 17 |
| 5.2. Hauteur de la tige | 17 |
| 5.3. Vitesse de croissance | 18 |
| 5.4. Nombre de feuilles | 18 |
| 5.5. Longueur, largeur et surface foliaire | 18 |
| 5.6. Diamètre de la tige | 18 |
| 5.7. Longueur racinaire | 18 |
| 5.8. Rapport R/T et T/R | 19 |
| 5.9. Poids frais et poids sec (Tige, racine et plante) | 19 |
| 5.10. Taux de la matière sèche (Tige, racine et plante) | 20 |
| 6. Traitement statistique des données | 20 |
| Partie III : Résultats et discussion | |
| Paramètres étudiés | |
| 1. Test de germination | 21 |
| 2. Hauteur de la tige | 22 |
| 3. Vitesse de croissance | 23 |
| 4. Nombre de feuilles | 25 |
| 5. Longueur, largeur et surface foliaire | 26 |
| 6. Diamètre de la tige | 27 |
| 7. Longueur racinaire | 28 |
| 8. Rapport R/T et T/R | 29 |
| 9. Poids frais et poids sec (Tige, racine et plante) | 29 |
| 10. Taux de la matière sèche (Tige, racine et plante) | 31 |
| 11. Test de corrélation | 32 |
| Conclusion | |
| Références bibliographiques | |
| Annexes | |

Introduction

Introduction

Introduction

Le sorgho (*Sorghum bicolor* (L) Moench) est une céréale d'origine africaine d'importance confirmée. En effet, le sorgho (qui est d'ailleurs une des seules espèces agricoles importantes à avoir ses origines dans le continent africain) occupe la 5^e position des céréales vivrières au monde en termes de quantités produites annuellement, vient après le Maïs, le Riz, le Blé et l'Orge (Chantereau et al., 2014).

Les utilisations du sorgho sont aussi très diverses. Le sorgho est d'abord une culture vivrière de base, importante pour les zones arides et subarides. Ses utilisations pour l'alimentation humaine sont diverses (farines, semoules, bouillies, ..., etc.). En effet, le sorgho est la base des boissons fermentées très appréciées. Des utilisations alimentaires alternatives se diversifient : utilisation en boulangerie, produits roulés, farines et boissons nouvelles, ..., etc. Considéré comme une céréale sans gluten, le sorgho présente aussi des avantages nutritionnels pour les personnes intolérantes à ces protéines (Chantereau et al., 2014).

Les plantes sont des êtres vivants qui respirent et grandissent. Elles n'ont pas d'oreille pour entendre ni même de système nerveux pour comprendre ou de réagir au son, mais elles ont des sentiments représentant la preuve de son existence. Cependant les ondes acoustiques peuvent subir des réflexions, lorsque l'on entend une information, par exemple. Elles peuvent aussi subir des réfractions, lorsqu'elles traversent une paroi. Elles peuvent enfin subir des interférences (Futura Science, 2018).

Plusieurs recherches sur l'effet des ondes acoustiques ont démontré que l'exposition des végétaux à la musique a un effet sur ces plantes et que cet effet peut être positif ou négatif, en fonction du type de la musique (Retallack et Broman, 1973 ; Johnson et al., 1998 ; Creath, 2002 ; Tianzhen et al., 2009 ; Qi et al., 2014 ; Thellier, 2015).

Dans ce contexte, il nous a paru intéressant d'étudier chez cette espèce, l'influence des ondes acoustiques représentée par un effet acoustique, sur la germination et la croissance de quelques populations algériennes du sorgho (Ain Salah) et d'autres qui viennent de l'étranger (Niger et France).

Notre manuscrit commence par une première partie bibliographique qui traite des généralités sur le sorgho et le stress acoustique, la deuxième partie expérimentale dont

Introduction

matériel et méthodes, résultats et discussion, nous terminerons par une conclusion en vue de mettre en évidence les résultats les plus spectaculaires et des perspectives d'avenir.

Partie I
Étude bibliographique

CHAPITRE 1. GENERALITES SUR LE SORGHO

1. Importance de la culture

Le sorgho (*Sorghum bicolor* L. Moench) est une céréale majeure dans plusieurs régions tropicales du monde (Djè *et al.*, 2007). Il constitue avec le mil les principales céréales cultivées dans les régions tropicales semi-arides de l'Afrique et de l'Asie (Abu Assar *et al.*, 2005). Grâce à un système racinaire important et profondément ancré dans le sol, le sorgho tolère mieux les variations pédoclimatiques en comparaison avec les céréales traditionnelles telles que le riz et le maïs (Chantereau et Nicou, 1991). Ceci fait de cette plante, une culture de choix dans les régions où la sécheresse et la pauvreté des sols sont des facteurs limitant (Koffi *et al.*, 2011).

Environ 90% des superficies cultivées en sorgho et 70% de la production mondiale se trouvent dans les pays en développement. Les pays d'Afrique et d'Asie représentent à eux seuls plus de 95% de l'utilisation alimentaire totale de sorgho (FAO, 2010). Le sorgho constitué ainsi une denrée alimentaire de base en Afrique, en Asie du sud et en Amérique centrale.

Selon FAOSTAT (2010), l'Afrique est le plus grand producteur du sorgho, avec 21,9 millions de tonnes de productions annuelles, équivalentes à 39,04% de la production mondiale. Au Burkina Faso, le sorgho est la principale céréale cultivée avec une production annuelle d'environ 1.5 millions de tonnes. La superficie totale emblavée varie entre 1.3 et 1.4 millions d'hectares (54% des surfaces céréalères) (FAO, 2010).

Enfin en Algérie, le sorgho est entretenu en culture vivrière dans les régions sahariennes et plus particulièrement à l'extrême Sud (Rahal Bouziane *et al.*, 2004). Grâce à leur savoir-faire, les populations de ces régions ont préservé ces ressources avec leur diversité. Elles l'ont utilisé pour se nourrir, pour se soigner et pour nourrir leurs cheptels (Rahal Bouziane, 2008). Néanmoins, ces ressources restent méconnues et peu de travaux d'inventaire et d'évaluation sont réalisés sur ces cultures et qui n'ont touché, en fait, qu'un matériel végétal introduit. Pourtant, des ressources locales de sorgho existent, depuis très longtemps dans les oasis algériennes (Rahal Bouziane *et al.*, 2004).

2. Botanique

2.1. Origine : Le Sorgho bicolor est originaire du nord-est de l'Afrique, ou des formes sauvages et cultivées très variables sont encore présentes (Harlan et De Wet, 1972 ; Shewale et Pandit, 2011 ; Vavilov, 1951). Des vestiges archéologiques découverts près de la frontière entre l'Égypte et le Soudan semblent indiquer que les débuts de la culture du Sorgho remontent à 8500 à 4000 ans. La culture du Sorgho s'est probablement répandue il y a plus de 3000 ans depuis l'Éthiopie, ou l'espèce aurait été domestiquée, jusqu'à d'autres régions d'Afrique, au Moyen-Orient et à l'Inde, en passant par les routes de commerce et de transport (Dahlberg et al. 2011 ; Shewale et Pandit, 2011).



Figure 01 : Grains du sorgho

La culture de l'espèce s'est ensuite répandue depuis l'Inde jusqu'à la Chine, le long de la route de la soie, puis le sud-est de l'Asie, les graines ayant voyagé par les voies de navigation marchande côtières (Shewale et Pandit, 2011). Le Sorgho a été introduit aux États-Unis en vue de sa culture commerciale depuis l'Afrique du Nord, l'Afrique de sud et l'Inde (Shewale et Pandit, 2011). Actuellement, la culture du Sorgho est répandue dans les régions sèches d'Afrique, d'Asie, des Amériques, d'Europe et d'Australie.

2.2. Description morphologique du sorgho

Le sorgho comme la plupart des végétaux supérieurs, dispose d'organes lui permettant d'absorber l'eau et les sels minéraux, et d'assurer les fonctions photosynthétiques pour une croissance et un développement satisfaisants : c'est une plante autotrophe (Sene, 1995).

Le plant de sorgho comporte une tige principale. Celle-ci peut présenter un certain nombre de tiges secondaires partant de sa base, appelées talles basales. Chaque tige est constituée d'un empilement d'unités morphologiques identiques appelées phytomère : le

phytomère est constitué d'une feuille, d'un nœud portant un bourgeon axillaire et d'un entre-nœud développé en dessous du nœud. Pour une tige donnée, les phytomères sont émis successivement par le méristème apical, zone de division et de différenciation cellulaire située à la pointe de la tige. Au niveau de chaque méristème apical, une inflorescence finale est initiée, mettant fin à l'émission de phytomères végétatifs : c'est une croissance de type déterminé. Les tiges se terminent donc par un organe fructifère qui, dans le cas du sorgho, est une panicule. Les panicules portent les graines. Au niveau des entre-nœuds les plus basaux, partent les racines (Chanterreau *et al.*, 2013).

2.3. Classification

Le sorgho cultivé genre *Sorghum*, espèce *bicolor*, sous-espèce *bicolor*, est une plante monocotylédone annuelle appartenant à la famille des Poacées (anciennement dénommées Graminées) et à la tribu des Andropogonées (comprenant le maïs, le mil et la canne à sucre). C'est une espèce diploïde à nombre chromosomique de base $n = 10$ (Chanterreau *et al.*, 2013).

- Position taxonomique (USDA-ARS, 2012)

| | |
|---------------------|-------------------------------------|
| Règne | : Plante |
| Sous-règne | : Végétal |
| Super-embranchement | : Spermatophytes |
| Embranchement | : Magnoliophytes |
| Classe | : Liliopsides (monocotylédones) |
| Sous-classe | : Commélinidés |
| Ordre | : Cypéales |
| Famille | : Poacées (graminées) |
| Tribu | : Andropogonées |
| Genre | : <i>Sorghum</i> |
| Espèce | : <i>Sorghum bicolor</i> (L) Moench |

3. Physiologie du sorgho

Inclus dans des systèmes de culture très variés, le sorgho témoigne d'une grande plasticité adaptative. Celle-ci est liée à la mise en place des différents organes du sorgho, à leur coordination fonctionnelle et à leur réponse à la variabilité des contraintes environnementales (température, lumière, eau et minéraux) (Chanterreau *et al.*, 2013).

3.1. Croissance et développement

La croissance et le développement du sorgho passent par trois phases successives :

- la phase végétative allant de la germination à l'initiation de la panicule ;
- la phase reproductive allant de l'initiation paniculaire à la floraison ;
- la phase de remplissage et de maturation des graines allant de la floraison à la maturité physiologique.

3.2. Exigences écologiques

a. Températures : La physiologie rend compte de la croissance des plantes à partir des trois températures seuils : température de base (T_b), température optimum (T_o) et température maximum (T_m). Pour le sorgho, elles sont, le plus souvent : $T_b=11^{\circ}\text{C}$; $T_o=30^{\circ}\text{C}$; $T_m=42^{\circ}\text{C}$.

b. Longueurs du jour : En raison de son origine tropicale, le sorgho est une plante photopériodique de jours courts. La floraison est retardée d'autant plus que la phase végétative s'opère en jours plus longs. Cependant, l'adaptation du sorgho aux zones subtropicales puis tempérées a été possible par perte de photosensibilité, ceci explique qu'aujourd'hui, il existe des variétés peu ou pas photopériodiques.

3.3. Mécanismes physiologique d'alimentation en eau et en sel minéraux

La plante, pour se développer convenablement, a besoin d'un sol d'une composition granulométrique équilibrée et ayant des propriétés physiques et chimiques satisfaisantes et le sorgho est une plante rustique pouvant s'adapter à des sols à fertilité limitée et bénéficie du reliquat de la fertilisation appliquée sur les cultures qui le précèdent dans la rotation. La rusticité du sorgho s'explique d'une part par l'importance et la profondeur de son système racinaire. Celui-ci assure une capacité d'extraction des minéraux du sol supérieure à celle d'autres plantes comme le maïs. Mais la valeur d'un sol, en tant que milieu adapte à la croissance végétale, ne dépend pas seulement de la présence et de la quantité d'éléments nutritifs chimiques mais aussi de l'état et du mouvement de l'eau et de l'air ainsi que des propriétés chimiques et du régime thermique du sol.

Les besoins en eau du sorgho varient dans une fourchette de 350 mm à 750 mm en fonction :

- de la longueur du cycle ;
- de la masse du couvert végétal : grosseur des tiges et surface foliaire ;

- de la demande évaporative (Chantereau et Nicou, 1991).

Les besoins en eau du sorgho augmentent Pendant le cycle pour atteindre un maximum à la floraison (environ 6 à 7 mm/Jour) (Sene, 1995).

Alimentation en eau et en sels minéraux : La production de matière sèche par la plante est fonction de la quantité d'eau et de sels minéraux absorbée. Cette absorption dépend de facteurs externes et internes notamment les facteurs climatiques du moment (ETP par exemple) et du patrimoine génétique du végétal dont les besoins en eau et en sels minéraux sont très variables au cours de son cycle de développement.

Celle des éléments minéraux est un phénomène actif donc d'origine biologique. En effet, les ions ne passent à travers les membranes cytoplasmiques que grâce à des mécanismes réclamant de l'énergie donc de l'oxygène et une certaine température. Ces mécanismes mettent en œuvre des protéines enveloppées dans les membranes cytoplasmiques. Elles agissent comme de « petites pompes » aspirantes et refoulantes, obligeant certains ions à pénétrer, en rejetant d'autres avec une intensité variable (Soltner, 1992). L'absorption des éléments minéraux est sélective.

Bien qu'étant deux mécanismes indépendants, l'absorption de l'eau détermine pour une large part, celle des éléments minéraux. La première est favorisée par un système racinaire dense et profond : son développement est un facteur important de réussite de la culture.

Par la suite, grâce à la photosynthèse, des métabolites sont formés. Ils suivent un transit vertical pour alimenter les organes souterrains et aériens. Cela se traduit par une croissance et un développement harmonieux de la plante, toutes autres conditions et facteurs de croissance étant à leur optimum. Pour cela, la nutrition des plantes nécessite donc des mouvements d'ions minéraux et d'eau vers les surfaces absorbantes des racines et une bonne colonisation dues⁰¹ par ces dernières (Callot *et al.*, 1983). Selon ces mêmes auteurs, des expériences ont montré qu'avec une bonne alimentation hydrique, des cultures comme le tournesol, le ray grass, la féтуque, la luzerne ont une production de matière sèche plus élevée qu'en période de sécheresse. Il en est de même pour les quantités d'éléments minéraux absorbés.

Pour la fertilisation minérale du sorgho, des expériences ont montré que le pivot de la fumure est l'azote (N) : pour la production de 100 kg de grains, 3,5 kg d'azote sont mobilisés dont 50 % dans le grain (Chantereau et Nicou, 1991).

Cependant, l'azote n'est complètement valorisé que si les quantités de phosphore disponible pour la plante sont suffisantes et cela dépend de la richesse du sol en cet élément. C'est ainsi qu'on considère que toute fertilisation minérale du Sorgho doit être à base d'engrais binaire NP.

Par ailleurs, des études ont montré que l'efficacité de l'utilisation de l'eau par la plante dépend du niveau d'alimentation en azote du sorgho. Il ne faut cependant pas se limiter sur ces deux éléments pour la culture du sorgho. Il importe surtout d'avoir un sol équilibré pour éviter que certains éléments nutritifs deviennent des facteurs limitant à cause des antagonismes possibles.

Les besoins en éléments minéraux varient suivant les espèces, les variétés et leurs stades phénologiques. Ils sont généralement déterminés par l'analyse de la matière sèche totale d'une plante (ou par l'analyse foliaire le plus souvent). Cette analyse permet de quantifier les différents éléments présents et de prévoir pour un type de sol donné les doses d'engrais minéral à apporter pour compenser les exportations des plantes.

Le niveau de satisfaction de ces besoins minéraux peut contribuer à expliquer une production végétale donnée, connaissant le rôle important des éléments nutritifs dans le métabolisme de la plante.

CHAPITRE 2 : STRESS ACOUSTIQUE

1. Qu'est-ce que le son ?

Le son correspond à une vibration d'un milieu mécanique (fluides, solide) qui se propage dans le temps et dans l'espace avec une célérité, dépendant du milieu de propagation. Il est produit par une source sonore (membrane de haut-parleur, voix, instrument de musique, frottement, ..., etc.) (Cordone, 2011).

1.1. Définition des ondes sonores

Une onde sonore correspond à la propagation de perturbations mécaniques dans un milieu élastique. Ces perturbations sont perçues, entre autres, par l'oreille humaine qui les interprète comme des sons. La science qui étudie ces ondes s'appelle l'acoustique. Ces ondes acoustiques peuvent subir des réflexions, lorsque l'on entend un écho, par exemple. Elles peuvent aussi subir des réfractions, lorsqu'elles traversent une paroi, elles peuvent enfin subir des interférences. Les ondes sonores, contrairement aux ondes lumineuses, ne se propagent pas dans le vide. Elles s'appuient nécessairement sur un milieu matériel (Coghlan, 1994 ; Futura Science, 2019).

1.2. Caractéristiques des ondes acoustiques

La fréquence, exprimée en hertz (Hz), est l'une des caractéristiques majeures d'une onde sonore. Ainsi, les fréquences des ondes sonores perceptibles par l'être humain se situent approximativement entre 20 Hz et 20 kHz. En-dessous de ces valeurs, on se situe dans la plage des infrasons (les éléphants par exemple), ils l'utilisent pour communiquer à grande distance et au-dessus. Dans celle des ultrasons (les chiens et les chats) sont capables d'entendre (Fig 2).



Figure 02 : Onde sonore selon la longueur d'onde et la fréquence (Futura Science, 2019)

Il existe d'autres caractéristiques physiques du son comme :

Le timbre, qui est lié à la forme de l'onde ; les ondes sonores, en effet, ne se représentent généralement pas à l'aide de sinusoïdes parfaites.

L'intensité, exprimée en décibels (dB), correspondant à l'amplitude (ou la hauteur) de l'onde qui lui est associée ; l'intensité d'un son peut être à l'origine de nuisances sonores (Fig 3).

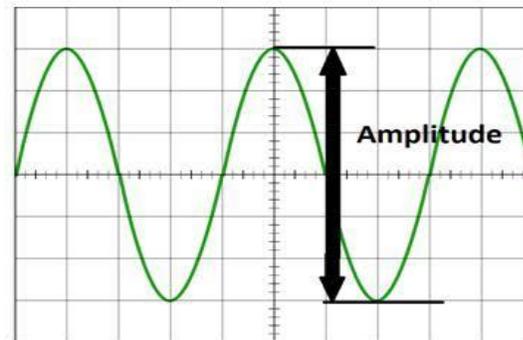


Figure 03 : Amplitude d'une onde sonore (Futura Science, 2019)

Le seuil minimum d'audibilité correspond à 0 dB = 20 mPa. Le seuil de douleur est à 130/140 dB. Voici une échelle des bruits que tu peux entendre (Fig 04).

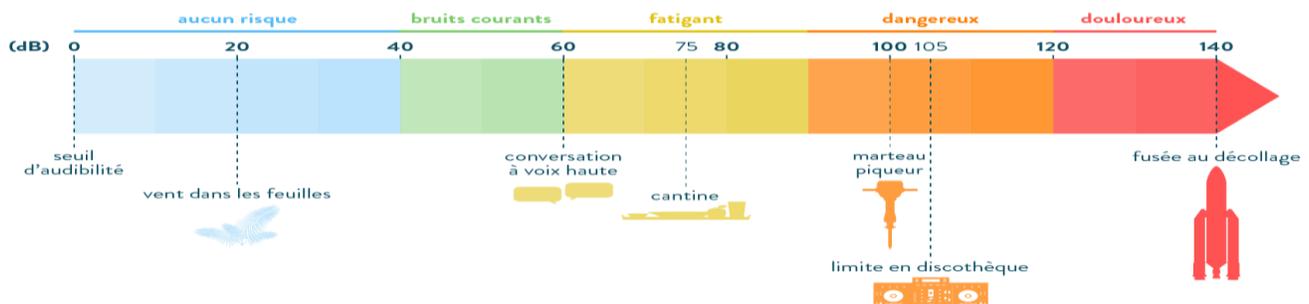


Figure 04 : Echelle de niveaux sonores (Futura Science, 2019)

2. Vitesse de propagation d'une onde sonore

La vitesse du son dépend de la nature, de la température et de la pression du milieu dans lequel l'onde acoustique se propage. Au cas d'une propagation dans un gaz parfait, la vitesse augmente lorsque la densité et/ou la compressibilité du gaz augmente. Dans les conditions normales de température et de pression, la vitesse du son dans l'air est d'environ 340 m.s⁻¹. Dans l'eau, elle est près de cinq fois plus élevée (Futura Science, 2019).

2.1. Longueur d'onde : Si l'on reprend l'exemple du diapason 440Hz, les ondes qu'il émet se propagent dans l'espace qui l'entoure à la même vitesse. Tous les points de sphères centrées sur le diapason sont atteints en même temps par le même mouvement vibratoire qui suit une courbe sinusoïdale au cours du temps (on parle d'onde sinusoïdale).

L'onde est dite "sphérique". Les points de ces sphères vibrent simultanément mais 1/440 de sec plus tard l'onde a progressé de $1/440 \text{s} \times 330 \text{m/s} = 0,75 \text{m}$. On peut alors dire que tous les points des sphères se situant à 0,75 m les unes des autres vibreront toujours en phase pour une fréquence de 440Hz. La formule de calcul est : $l = c \times 1/F$ (l est la longueur d'onde, c la célérité, F la fréquence de l'onde) (Futura Science, 2019).

2.2. Les gammes musicales

L'oreille humaine saisit le passage d'un son de fréquence N1 à N2 par la différence de hauteur, ou intervalle qui les sépare : $l = 1000 \log N1/N2$ ou la valeur l est exprimée en savarts. À titre d'exemple un intervalle d'octave se formule ainsi : $l = 1000 \log 2 = 301,03$ savarts. Comme nous l'avons vu plus haut, chaque fondamentale contenant toutes ses harmoniques, celles-ci ont été réparti sous forme d'intervalles agréables à l'oreille. Cette gamme, base de l'harmonie occidentale n'est cependant pas la seule, et elle est assez éloignés des intervalles harmoniques qui ont amené à sa construction (Cordone, 2011 ; Coghlan, 1994).

3. Impact du son sur les plantes

3.1. Plant et son

Est-ce que les plantes ont des sentiments ? Peuvent-ils entendre des sons ? Aiment-ils la musique ? Si oui, comment la musique pourrait-elle affecter sur croissance ?

Pour expliquer comment cela peut fonctionner, regardons comment nous, humains, recevons et entendons le son, le son est transmis sous la forme d'ondes qui traversent un milieu, tel que l'air ou l'eau. Les ondes font vibrer les particules de ce milieu. Lorsque vous allumez votre radio, les ondes sonores créent des vibrations dans l'air qui font vibrer votre tympan. Cette énergie de pression est convertie en énergie électrique pour que le cerveau se traduise en ce que vous entendez comme des sons musicaux (Cordone, 2011).

De la même manière, la pression des ondes sonores crée des vibrations qui pourraient être captées par les plantes. Les plantes n'entendraient pas la musique, elles sentiraient les

vibrations de l'onde sonore. L'idée que les plantes ont des sentiments ou ressentent de la douleur est ridicule. Au fil des ans, plusieurs études ont indiqué que les plantes peuvent réagir au son. Cependant, le sujet est encore vivement débattu dans les cercles scientifiques (Cordone, 2011).

3.2. Des études trouvent l'effet positif de la musique sur les plantes

Pour commencer, nous avons recensé, ci-dessous quelques expériences réalisées à travers le monde par des scientifiques pour démontrer que la musique avait un effet sur les plantes.

- En 2008, Lirong Qi a expérimenté les effets sonores sur les fraises dans la zone des feuilles, les caractéristiques photosynthétiques et les autres indices physiologiques. Il a été constaté que, lorsqu'il n'y avait pas de différences significatives entre les circonstances des deux serres ensoleillées, la fraise après la stimulation par l'onde sonore devenait plus forte que dans le témoin et sa feuille était d'un vert plus foncé et avait pris environ une semaine plus tôt pour s'épanouir et porter des fruits. Il a également été constaté que la résistance de la fraise contre les maladies et les insectes nuisibles était renforcée. Les résultats expérimentaux montrent que les ondes sonores peuvent non seulement favoriser la croissance de la fraise, mais aussi accroître la maladie (Lirong Qi et al., 2014).
- En 1997, le docteur Nabulsi a souligné la recherche sur l'impact de l'effet acoustique. Dans cette étude, une expérience a été menée au College of Science Park. Le chercheur a établi quatre serres uniformes de taille, planté un type de blé, rempli de quantités égales de sol et planté des semences de blé, même type de graine, et le type d'engrais, puis exposé une des serres à l'effet acoustique. Une autre serre a été exposé a des mots durs et naïfs devant les plantes deux fois par semaine. Une troisième où certaines plantes ont torturée directement devant les autres plantes. La quatrième maison a été laissé comme témoin avec une croissance naturelle normale (El-Fahdi, 2013). La plante est-elle affectée par l'effet acoustique ?
- En 2002, Katherine Creath a mené une série de cinq expériences a été réalisée pour déterminer si le son musical avait un effet différent de celui d'un son non musical sur la germination des graines de courgettes et d'okra par rapport à un témoin. Le son musical de cette étude était un ensemble d'œuvres improvisées interprétées par R. Les trois premières

expériences comparées au son du son. Expérimente de la musique musicale sur un son non musical sur un contrôle : le nombre de graines germées est compté toutes les 12 heures sur une période de 72 heures.

Les données provenant de la germination de 3 600 graines sur 14 essais au total pour les cinq expériences ont été examinées à l'aide d'analyses à cinq voies de la variance de plans mixtes, dont l'effet principal était très significatif ($p < 0,002$). L'emplacement, la température et le type de graine n'ont pas été considérés comme des facteurs. Au cours des huit essais des deux dernières expériences (2400 graines), il n'y a pas eu d'interactions significatives entre le son non musical et le contrôle. Pour les trois conditions de son musical, le son non musical et le contrôle étaient statistiquement significatifs ($p < 0,03$), ce qui indique que le son musical utilisé pour cette étude avait un effet plus important que le son non musical. Ces résultats impliquent que les effets du son musical aller au-delà du psychologique et suggérer la possibilité que le son musical puisse avoir des effets physiologiques sur les systèmes biologiques (Katherine Creath, 2002).

Partie II
Matériel et méthodes

CHAPITRE 3 : MATERIEL ET METHODES

1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé durant notre expérimentation est composé de semences de plusieurs populations de Sorgho (*Sorghum bicolor* L Moench), originaire d'Algérie, une variété hybride française et variété de Niger.

L'effet acoustique sur la croissance et développement des plantes a été démontré sur plusieurs autres cultures mais pas sur la germination et la croissance du sorgho.

2. Dispositif expérimental

Nous avons commencé notre expérience le 24 mars 2019 par la préparation de deux boîtes disant isolantes. Le principe de notre expérience est basé sur l'isolement de nos plantes de tout bruit extérieur, nous étions obligées de confectionner deux boîtes (une avec haut-parleurs et l'autre sans aucun dispositif sonore) en fiches cartonné dont les dimensions de la face extérieure sont 87cm Hauteur, 76cm Longueur et 74cm Largeur. Un isolant de polystyrène d'un diamètre de 3.5cm sépare la face intérieure de la face extérieure, ce qui nous donne un espace fermé, de 77cm Hauteur, 66cm Longueur et 64cm Largeur. Ces Deux boîtes ont été confectionnées pour contenir au moins 9 pots par boîte.

Nous avons créé des ouvertures de 35/40cm, pour faciliter l'accès à ce que nous allons mettre à l'intérieur, tout en assurant des fermetures hermétiques pour empêcher l'entrée du bruit de l'extérieur (Fig 05).



Figure 05 : Les boîtes isolantes du bruit extérieur (a) avec les ouvertures (b)

Une installation électrique a été mise en place sur les deux boîtes pour alimenter le dispositif en lumière. L'ampoule utilisée est d'une intensité de 12w.

Une source d'ondes acoustiques a été installée sur une boîte seulement et laisser l'autre boîte comme témoin (sans aucun effet acoustique). Ce dispositif représente une mini chaîne avec hauts parleurs doté d'un système de réglage de l'intensité des effets acoustique (Fig 06).



Figure 06 : Photo représentant le dispositif émetteur d'ondes acoustiques

Pour la disposition des pots dans les boîtes, nous avons mis aléatoirement 09 pots dans chaque boîte (Fig 07). Ce sont des pots de 500 g.

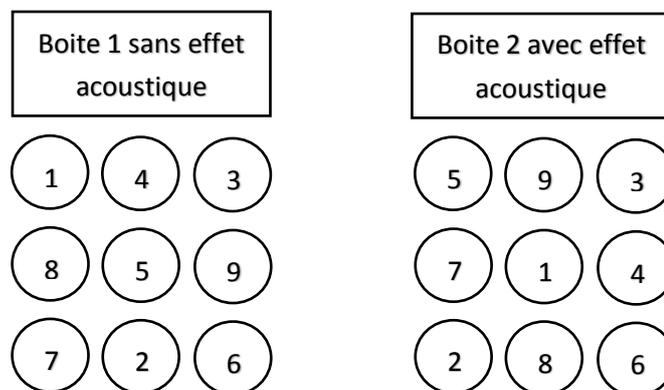


Figure 07 : Disposition des pots dans les deux boîtes de l'expérience

3. Conduite de la culture

3.1. Préparation du substrat

Le substrat utilisé est composé de 2/3 d'un sol de qualité et 1/3 de la tourbe fraîche. Ce substrat a été mélangé convenablement. Les pots d'une contenance de 500 g, ont été remplis tout en laissant 1cm de l'extrémité du pot (Fig 08).



Figure 08 : Le substrat (a) et le sol utilisé dans la préparation du substrat

3.2. Semis

Le semis a été effectué superficiellement (1cm de profondeur) à raison de 3 graines par pot suivi d'un éclaircissage pour garder deux plants par pot, tout en diminuant les risques de perdre des répétitions (Fig 09).



Figure 09 : La disposition des pots à l'intérieur de la boîte isolante

3.3. Irrigation

Au début, une irrigation abondante a été appliquée pour vérifier la bonne percolation des pots. Ensuite des irrigations par l'eau minérale (même quantité pour chaque pot) selon le besoin, ont été appliquées pour couvrir les besoins des plantes durant leurs croissances.

3.4. Désherbage

Un désherbage manuel a été effectué pour éviter toute sorte de concurrence ou de contamination par les maladies.

4. Application du stress acoustique

Nous avons effectué deux essais pour estimer la différence entre les plantes exposées aux effets acoustiques en comparaison avec les témoins.

Notre premier essai a été installé le 07 Mai 2019 jusqu'au 30 mai de la même année, elle a duré 27 jours seulement suite à une croissance importante des plantes exposées à l'effet acoustique, l'exposition à la lumière a durée 12h/J.

En rapport avec l'essai précédent, nous avons ajouté deux autres génotypes (une variété du Niger et une population du Sud Algérien) du sorgho. L'exposition à la lumière reste la même et l'effet acoustique est toujours le même pour la première boîte.

5. Paramètres étudiés

5.1. Germination : est le processus par lequel un embryon se développe en une plante. C'est un processus qui a lieu lorsque les embryons gonflent et les coques de la semence disparaissent. Pour ce faire, toute nouvelle plantule nécessite des éléments de base pour son développement.

5.2. Hauteur de la tige : Nous avons mesuré la hauteur de la tige, à l'aide d'une règle graduée, depuis le collet (niveau du sol) jusqu'à l'extrémité supérieure de la plante représenté par la dernière feuille (Fig 10).



Figure 10 : Mesure de la hauteur de la tige

5.3. Vitesse de croissance : C'est le taux de laquelle les plantes augmentent.

5.4. Nombre de feuilles : Il s'agit d'un simple comptage des feuilles de la tige principale de chaque plante.

5.5. Longueur, largeur et surface foliaire : La longueur de la feuille est mesurée depuis la ligule jusqu'à l'extrémité de l'avant dernière feuille.

Largeur de la feuille est mesurée au point le plus large de la feuille qui se situe généralement 3 à 4 cm de la ligule (le point de contact de la feuille avec la tige).

La surface foliaire est estimée par la formule suivante : $\boxed{\text{Longueur} \times \text{Largeur} \times 0.747}$

5.6. Diamètre de la tige : A l'aide d'un pied à coulisse, nous avons mesuré le diamètre de la tige de chaque plante juste en dessous du collet entre les nœuds (Fig 11).



Figure 11 : Mesure du diamètre de la tige

5.7. Longueur racinaire : Nous avons mesuré la longueur de la racine, à l'aide d'un papier millimétrique et un mètre ruban, depuis le collet jusqu'à l'extrémité inférieure de la

plante (Fig 10). Un Prélèvement a été effectué avant de mesurer cette longueur. Un nettoyage suivi par un rinçage puis essuyage (pour ne pas fausser le poids frais) des racines (Fig 12).

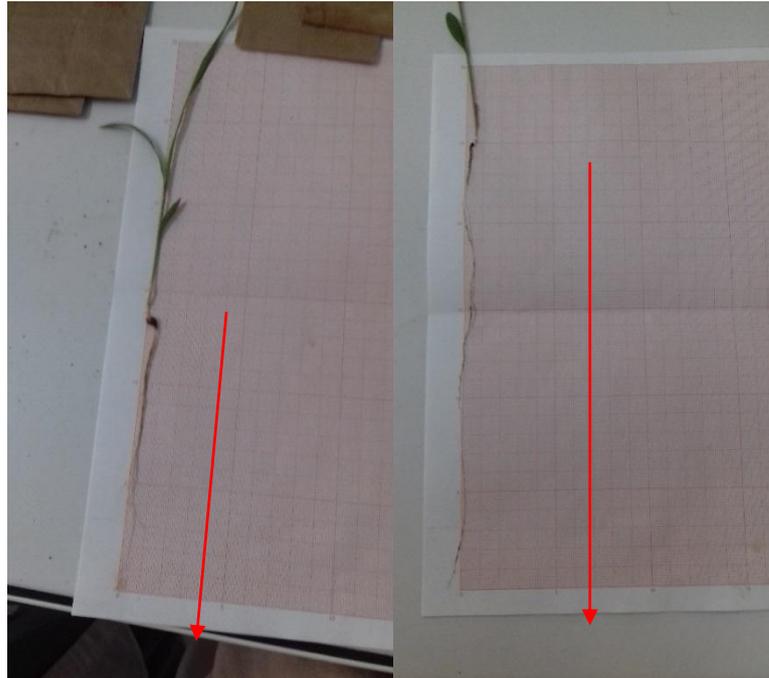


Figure 12 : La longueur racinaire



Figure 13 : Prélèvement des plantules et rinçage des racines

5.8. Rapport R/T et T/R : Il s'agit d'une déduction du rapport entre la longueur racinaire sur la longueur de la tige (R/T), et bien sûr la longueur de la tige sur la longueur racinaire pour le deuxième rapport (T/R).

5.9. Poids frais et poids sec (Tige, racine et plante) : Une fois terminé avec le prélèvement et les opérations de nettoyage, nous avons pesé le poids frais de la plante entière, à l'aide d'une balance de précision, puis nous avons coupé la plante au niveau du collet en vue de peser le poids frais de la partie aérienne et le poids frais de la partie sous terrain.

Toutes ces étapes ont été effectuées rapidement pour minimiser les pertes du poids dues à l'évapotranspiration des jeunes plantules. Les échantillons ont été mis dans des sachets en papier étiquetés afin de les sécher sous une étuve à 73° pendant 3 jours. La stabilité du poids nous a indiqué le séchage complet des échantillons. Une autre pesée des échantillons a été effectuée pour déterminer le poids sec de la partie aérienne et la partie sous terraine et bien sûr la plante toute entière.

5.10. Taux de la matière sèche (Tige, Racine et Plante) : Les taux de la matière sèche a été déduits par les formules suivantes :

$$MSt = (PS \text{ tige} / PF \text{ tige}) \times 100 ; MSr = (PS \text{ racine} / PF \text{ racine}) \times 100 ; MSpl = (PS \text{ plante} / PF \text{ plante}) \times 100$$



Figure 14 : Séchage des échantillons sous étuve

6. Traitement statistique des données :

L'analyse statistique unidimensionnelle (analyse de la variance ANOVA) a été adoptée pour déduire les effets significatifs du facteur stress acoustique étudié à l'aide du logiciel STATISTICA 8.0. Les résultats obtenus sont représentés sous forme d'histogramme grâce au logiciel Office Excel.

Partie III
Résultats et discussions

La musique a influencé sur la germination et la croissance des populations testées dans notre travail expérimental et les résultats sont présentés selon les paramètres de croissance étudiés. Nous analyserons successivement l'effet acoustique et l'effet génotype, s'il y a lieu, sur chaque paramètre étudié.

Notre expérimentation a été répétée deux fois en se basant sur l'exposition de nos plantes à l'effet acoustique tout en comparant avec des témoins. L'effet acoustique a été utilisé dans les deux essais, premièrement pour un seul génotype puis pour 4 génotypes dont 2 sont originaires algérien. Cependant, nous allons présenter et comparer les paramètres étudiés suivants :

1. Test de germination

L'analyse de variance nous a révélé une différence significative entre les génotypes exposés aux effets acoustiques et les témoins. Le test de Tukey nous a donné deux groupes homogènes distincts.

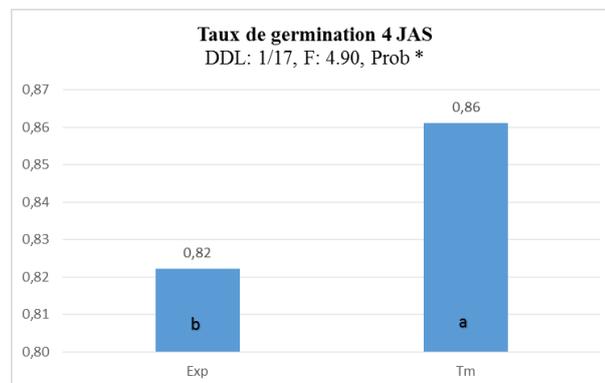


Figure 15 : Moyenne du taux de germination.

Les témoins ont donné les moyennes du taux de germination les plus élevées avec 0,86% en comparaison avec les graines exposées à l'effet acoustique dont elles donnent une moyenne de 0,82 %.

Nous pouvons déduire que l'exposition aux ondes acoustiques a influencé négativement sur la germination contrairement de ce qu'il a été remarqué durant la phase de croissance de nos échantillons. Des travaux de Martinec (1943) ont donné presque les mêmes résultats. Il a travaillé sur des graines de millet ayant germé depuis 24, 48 et 96 h. Il les traite à l'aide du Générateur Iron Ultra Ton U 1010 avec une puissance de 4,5 W d'énergie sonore pendant 30 mn, 1, 2 et 4 h avec une fréquence de $3,3 \cdot 10^{-6}$ vibrations et une longueur d'onde de 0,0448 cm. Mais comme il constate assez rapidement que les graines sèches sont plus

résistantes à l'action des ultrasons que les graines germées, il préfère travailler sur ce second matériel et n'indique aucun résultat pour les graines non germées. Suivant la technique déjà décrite pour les graines sèches, les graines germées apparaissent immédiatement plus sensibles que les graines sèches. Les germinations datant de 48 h donnent les résultats les plus marqués. Un maximum de croissance apparaît après 2 h et un minimum après 4 h d'ultrasonisation constante. Sur des germinations de 96 h les ultrasons ont une influence néfaste.

2. Hauteur de la tige

L'analyse statistique de la variance fait ressortir une différence très hautement significative pour les deux facteurs étudiés. Le test Tukey a donné deux groupes homogènes distincts pour les deux facteurs en question.

La hauteur des plantes exposées à l'effet acoustique a toujours donné les valeurs les plus élevées avec 29.97 et 23.55cm pour l'essai 1 et l'essai 2 respectivement. En revanche, les témoins n'ont donné que de faibles hauteurs avec moins de 20cm pour l'effet acoustique. La variété Fr a montré une supériorité claire avec plus de 26 cm en comparaison avec les deux autres Ai et Nig qui n'ont donné que de faibles hauteurs inférieures à 20 cm.

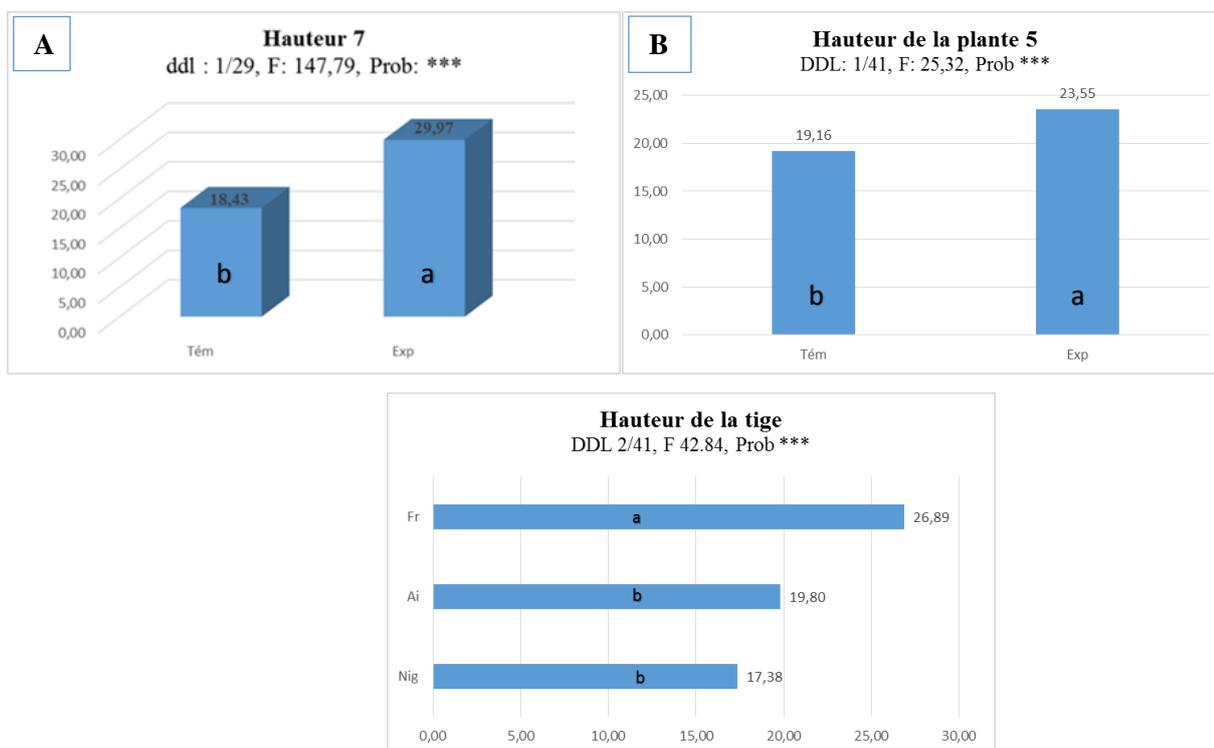


Figure 16 : Histogrammes montrant la moyenne de la hauteur de la tige pour les deux facteurs étudiés (A: essai 1, B: essai 2)

Nous pouvons déduire que les plantes stressées ont montré une augmentation de la hauteur suite à l'exposition à l'effet acoustique. Ce dernier à influencer positivement sur la hauteur de végétation des génotypes par rapport au témoin. Selon Emran et al. (2014), la hauteur de la végétation est un paramètre indicateur de l'effet stimulateur du son sur la croissance des plantes. Cette augmentation de la croissance aérienne observée peut s'expliquer par des taux de certains régulateurs de croissance (phytohormone), notamment l'auxine et la cytokinine stimulé par le son (Sternheimer, 1992). Ce résultat est confirmé par les travaux de Xiujuan et al. (2003) qui ont rapporté que les ondes acoustiques accélèrent la synthèse de l'ARN et des protéines solubles, augmentant ainsi le niveau de transcription et favorisant ainsi une meilleure croissance.

3. Vitesse de croissance

L'analyse de la variance a révélée des effets très hautement significatifs sur la vitesse de croissance pour l'effet acoustique et une différence significative pour le facteur génotype. Le test Tukey a donné deux groupes homogènes distincts et chevauchants.

Les plantes donnent une vitesse de croissance la plus élevée avec 2.25 pour la première expérience et 0.94 cm/j pour le deuxième essai, alors que les autres plantes (témoins) n'ont donné que de faible valeur de 1.49 et 0.17cm/j successivement.

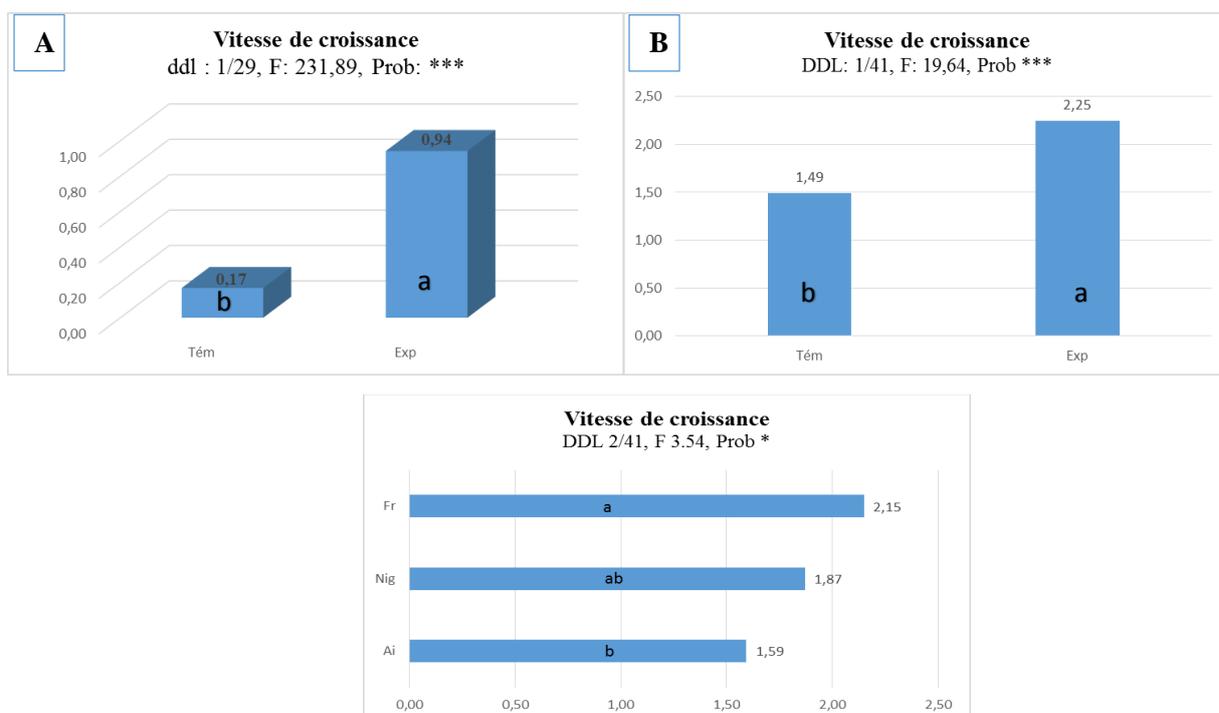


Figure 17 : Moyennes de la vitesse de croissance des plantes sur les deux facteurs étudiés (A: essai 1, B: essai 2)

La variété Fr montre toujours les valeurs les plus élevée avec 2,15 cm, en comparaison avec Nig et surtout Ai qui n'ont enregistré que de faible vitesse de croissance à l'ordre de 1,87 et 1,59 cm/J respectivement. Cependant, cette augmentation de la vitesse de croissance observée peut être expliquée par l'effet acoustique exposé sur les plantes.

Les lentilles exposées à l'effet acoustique donnent une bonne croissance en comparaison avec les témoins, même après plusieurs répétitions (El Fahdi, 2013). Le métabolisme chez les plantes peut être grandement affecté par l'effet acoustique.

Les plantes se comportent différemment selon le type et la fréquence de la musique (Cordone, 2011). Sternheimer, le physicien et musicien français, a composé des mélodies qui aident apparemment les plantes à pousser. Les notes sont conçues sur la base des vibrations quantiques qui se produisent au niveau moléculaire lors de l'assemblage d'une protéine à partir de ses acides aminés constitutifs. La longueur d'une note correspond au temps réel que prend chaque acide aminé pour suivre l'autre. Ainsi, en jouant le morceau approprié, la production de protéines augmente dans la plante et par conséquent, sa croissance est stimulée. Les tomates exposées à de telles mélodies se développaient deux fois et demi mieux que les tomates témoins. La croissance virale chez les plants de tomates pourrait être stoppée en jouant des mélodies qui inhiberaient les enzymes qui lui sont essentielles (Coghlan, 1994 ; Cordone, 2011).

Une onde sonore ne crée pas d'élément biologique, il faut donc se pencher sur la synthèse des protéines. Lors de la synthèse d'une protéine, lorsque les acides aminés s'accrochent au ribosome, leur perte de liberté et leur stabilisation provoquent au niveau de la fixation, un comportement non particulière mais ondulatoire, en fonction de la complexité de la composition des protéines, qui peuvent regrouper aussi bien une dizaine d'acides aminés. L'échelle correspondant aux 20 acides aminés utilisés, ce qui fournit 10 fréquences distinctes, nous obtenons donc pour une protéine, qui est une suite d'acides aminés, une succession de notes (Voir annexes) (Sternheimer, 1992 ; Barraqué, 1999). Une série d'ondes acoustique peut stimuler la synchronisation cellulaire de la division cellulaire et favoriser la synthèse de l'ADN. Puis améliore la croissance et le développement des plantes (Tao et al., 2001 in Fitz, 2006).

D'après les résultats obtenus, il est devenu claire l'existence d'un effet acoustique (Stress acoustique) sur nos plantes.

4. Nombre de feuilles

L'analyse statistique de la variance a montré une différence très hautement significative pour le facteur effet acoustique. Le test Tukey nous a donné deux groupes homogènes distincts.

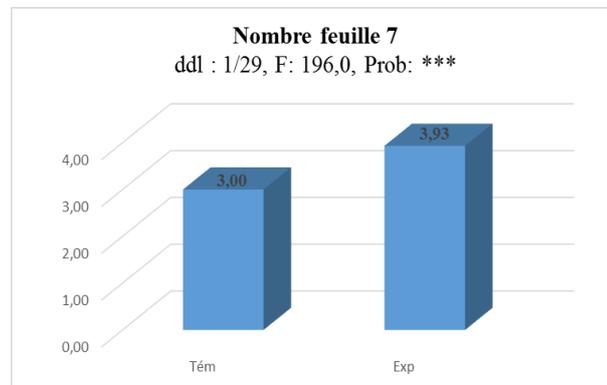


Figure 18 : Moyenne du nombre de feuilles chez le sorgho.

Le témoin n'a donné que 3 feuilles pour le facteur effet acoustique, alors que les plantes stressées ont enregistré 3.93 feuilles.

Chowdhury et al. (2014) et Chowdhury et Anshu (2015) confirment l'augmentation du nombre de feuilles sur la culture du fraisier et d'autres espèces. Nos résultats montrent un effet positif de l'effet acoustique sur les feuilles, des travaux similaires en 1994 avec de légères modifications affirment notre résultat, alors que l'été est très chaud (les températures varient entre 35°C et 39°C), sept chercheurs, dont Joël Sternheimer, réalisent une première expérience sur la tomate, dans une serre, en Suisse. Le but de cette expérience est de stimuler la protéine TAS14 (une protéine de résistance de la tomate à la sécheresse, isolée en 1990 par trois de ces sept chercheurs) d'une partie des tomates de la serre en les soumettant à l'écoute d'une protéodie appropriée pendant trois minutes par jour, du 26 juillet au 11 août. Ainsi, après trois jours pendant lesquels certaines tomates de la serre écoutaient la musique, on assiste à des résultats étonnants : les feuilles des tomates restent vertes, tandis que celles qui n'avaient reçu que de l'eau sèchent. Les travaux de Qi et al. (2014) dont il a trouvé qu'une certaine fréquence ou intensité acoustique peuvent favoriser la croissance des plantes. Retallack et Broman (1973) ont démontré que l'exposition des plantes à la musique a bien un effet sur les plantes et que cet effet peut être positif ou négatif en fonction du type de la musique.

Les travaux de Desbiez et al. (1987) in Thellier (2015) sur l'allongement des hypocotyles du bident (une plante herbacée) et les travaux de Johnson et al., (1998), sur l'allongement des hypocotyles et l'expression génique des graines d'*Arabidopsis thaliana* ont été améliorées par un stimulus acoustique d'environ 50 Hz.

5. Longueur, largeur et surface foliaire

L'analyse de la variance a révélé une différence significative à très hautement significative pour le facteur génotype ceci pour les deux paramètres étudiés. L'effet sonore a montré une différence significative pour la largeur des feuilles seulement. Le test Tukey a montré deux à trois groupes homogènes distincts.

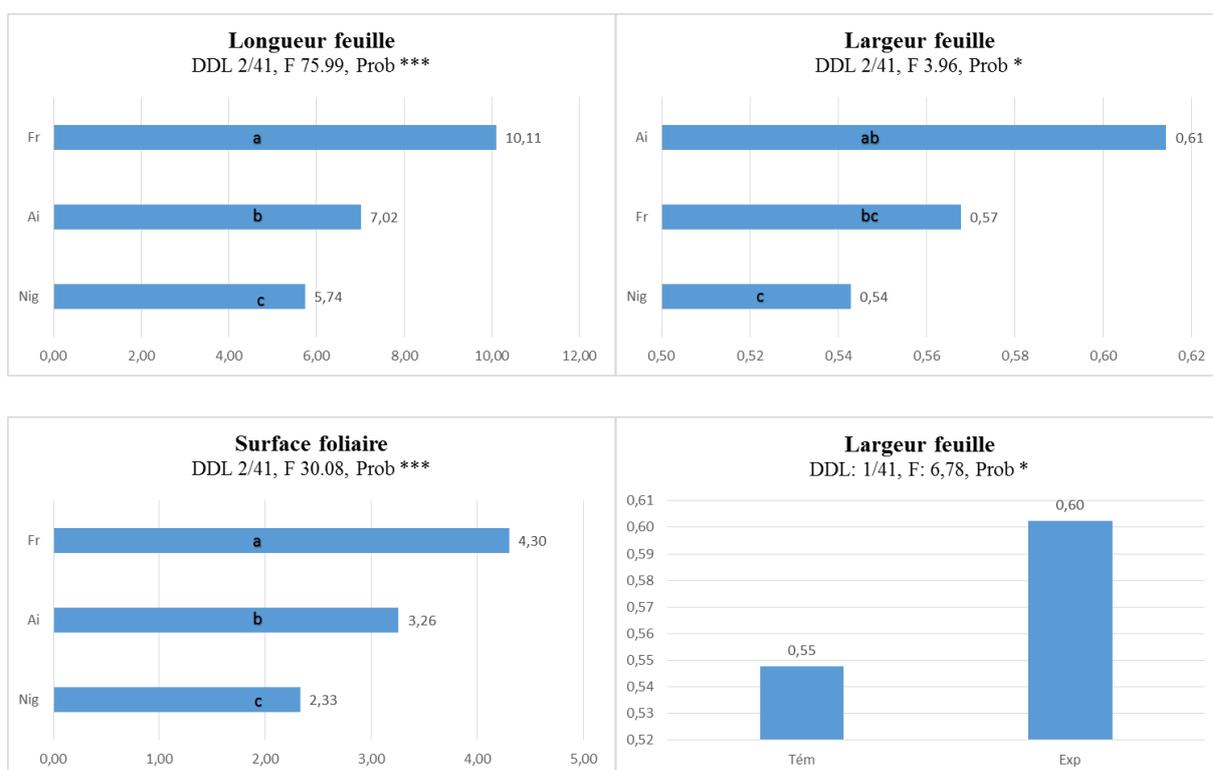


Figure 19 : Histogramme montrant la moyenne de la longueur, largeur et la surface foliaire pour les deux facteurs étudiés (Essai 2).

Les plantes stressées qui ont devenues connues par leurs systèmes foliaires développés, ont donné à nouveau de largeurs de 0.60 cm, alors que les plantes du témoin ont donné une valeur inférieure de 0.55 cm. La variété Fr a donné la longueur feuille et une surface foliaire les plus élevés contrairement à la variété Nig qu'elle n'a montré que de faibles moyennes. La population Ai a donné la largeur la plus élevée avec 0,61 cm².

Beaucoup d'études sur la stimulation des ondes sonores ont été effectuées (Qi et al., 2014). Autre expérience (Université de Californie à San Diego) ont découvert le mécanisme qui contrôle les stomates d'une plante. Les deux cellules qui forment le stomate sont des cellules spécialisées (cellules de garde), accordées selon la fréquence de résonance du calcium. Lorsqu'on les expose à cette fréquence, les stomates se ferment. Toutefois, si la fréquence n'est pas exactement la bonne, les cellules s'ouvriront de nouveau dans l'heure qui suit. Ceci se produit même si la concentration de calcium est suffisante pour faire fermer les stomates en temps normal. Ces expériences ont démontré que les tonalités aiguës sont plus ou moins directement responsables d'une augmentation de l'échange gazeux qui dure plus d'une heure.

Des tests ont démontré qu'un engrais appliqué aux feuilles de la plante aura plus d'effet sur son développement et sa croissance si ses stomates sont grands ouverts. Les plantes absorbent l'engrais donné aux feuilles par leurs stomates. Différentes combinaisons de fréquence et d'engrais sont offertes pour plusieurs types de récoltes. Outre la résonance, qui fait ouvrir les stomates sous l'influence de la musique ou de tonalités précises, une autre technique pourrait expliquer les effets de la musique sur les plantes. On appelle cette technique résonance de la coquille, elle stimule ou inhibe la synthèse des protéines chez les plantes. Plusieurs tonalités ont ici un rôle à jouer. Les protéines, qui sont faites d'acides aminés, sont synthétisées selon la vibration. Chaque acide aminé devrait avoir sa propre fréquence. Chaque protéine devrait donc avoir sa propre gamme de fréquences. En théorie, la séquence correcte de tonalités devrait stimuler la création de protéines par résonance.

6. Diamètre de la tige

L'analyse du diamètre de tige nous a montré une différence significative entre les plantes exposées aux ondes acoustiques et celles sans effet. Le test de Tukey fait ressortir deux groupes homogènes distincts.

L'histogramme ci-dessus nous a montré une augmentation de diamètre de tige avec 1.44 et 1.69 cm respectivement chez les plantes stressées (pour la cinquième et la deuxième mesure), alors que les autres plantes montrent une diminution de diamètre des tiges avec 1.29 et 1.20 cm.

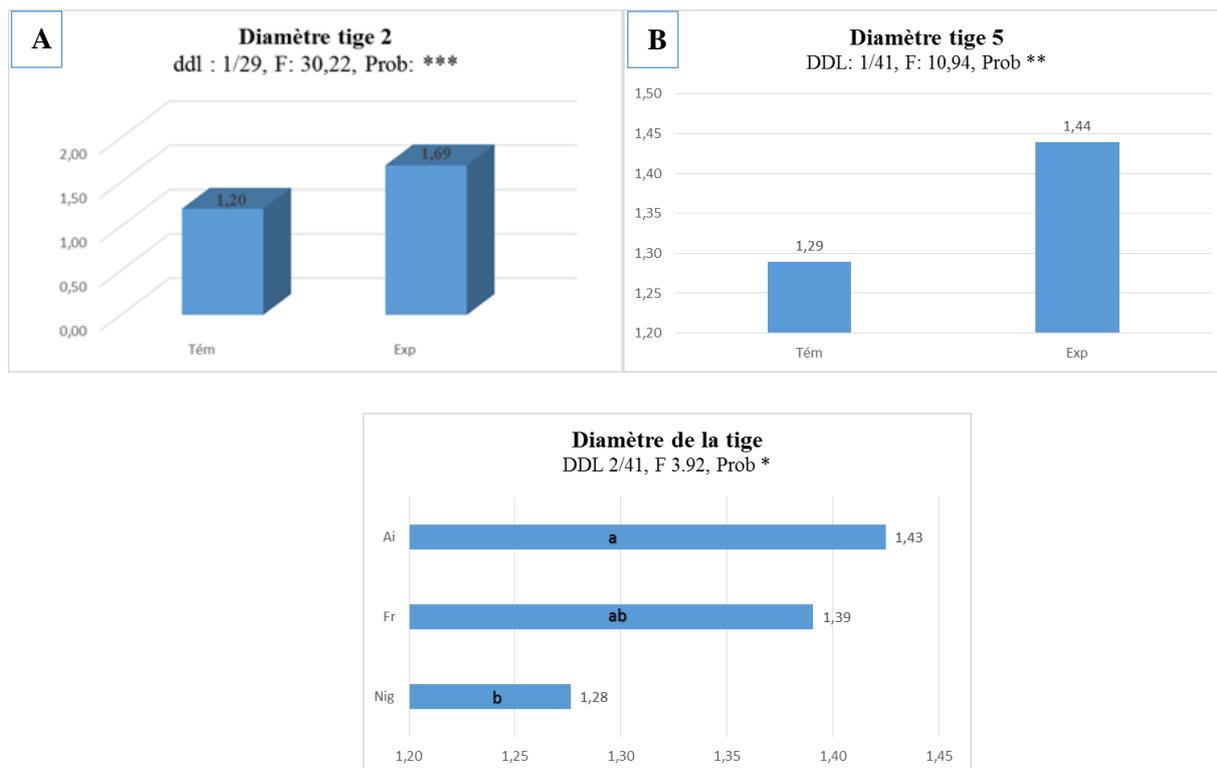


Figure 20 : Moyenne de diamètre des tiges du sorgho (A: essai 1, B: essai 2)

7. Longueur racinaire

Pour l'effet acoustique, l'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative pour la longueur racinaire. Le test Tukey a donné deux groupes homogènes distincts.

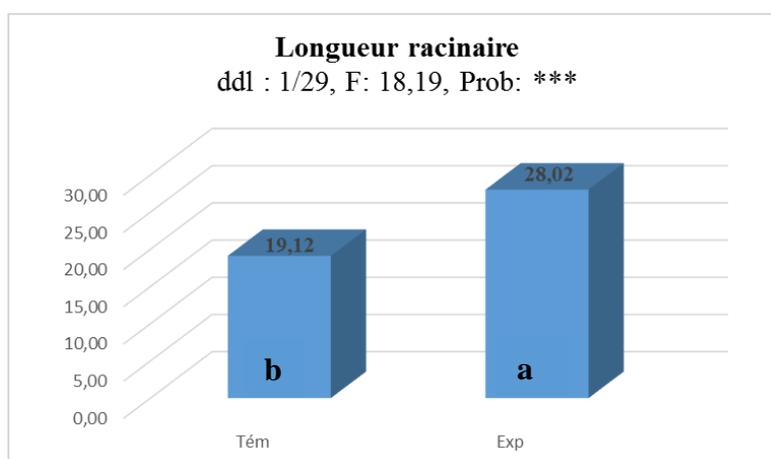


Figure 21 : Moyenne de la longueur racinaire des plantes

Les plantes qui n'ont pas été stressé n'ont montré que de faibles longueurs racinaires de 19.12 cm, contrairement aux plantes stressées qui ont donné une valeur plus élevée avec plus de 28.02 cm.

8. Rapport R/T et T/R

Ces rapports n'ont montré aucune signification statistique ni pour le facteur effet acoustique ni pour la germination.

9. Poids frais et poids secs (tige, racine et plante)

L'analyse statistique de la variance fait ressortir une différence très hautement significative et le test Tukey a révélé deux groupes homogènes distincts.

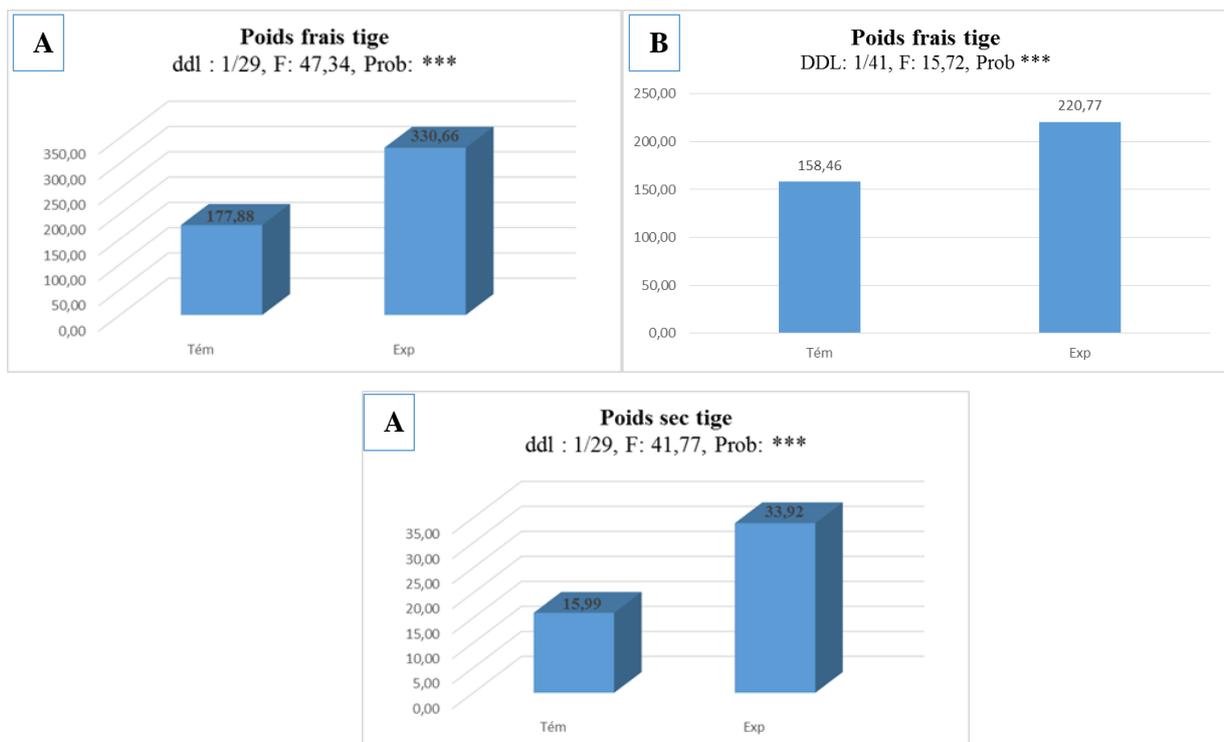


Figure 22 : Moyenne de poids frais et poids sec des tiges (A: essai 1, B: essai 2)

Le poids frais de la tige a donné une valeur de 158.46 et 177.88g chez les plantes celui qui n'était pas exposé de l'effet acoustique par rapport le poids frais des plantes était exposé de l'effet acoustique 220.77g.

Pour le poids frais et le poids sec des racines, l'analyse statistique de la variance fait ressortir une différence très hautement significative et le test Tukey a révélé deux groupes homogènes distincts.

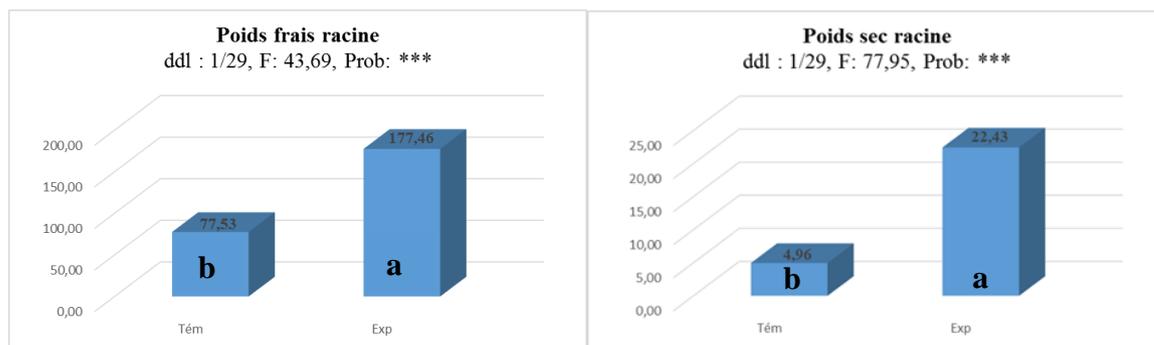


Figure 23 : Moyenne du poids frais et le poids sec des racines (Essai 1)

Il apparaît de l'analyse de l'histogramme que les plantes stressées ont présenté statistiquement les meilleurs résultats comparativement aux autres plantes avec 177.46g. Cependant, les taux de la matière sèche ont baissé à cause des changements à l'échelle cellulaire pour ne pas accumuler suffisamment de la matière sèche comme chez le témoin.

Pour le poids frais et le poids sec des plantes, l'analyse de la variance a montré une différence très hautement significative, et le test Tukey nous a donné deux groupes homogènes distincts.

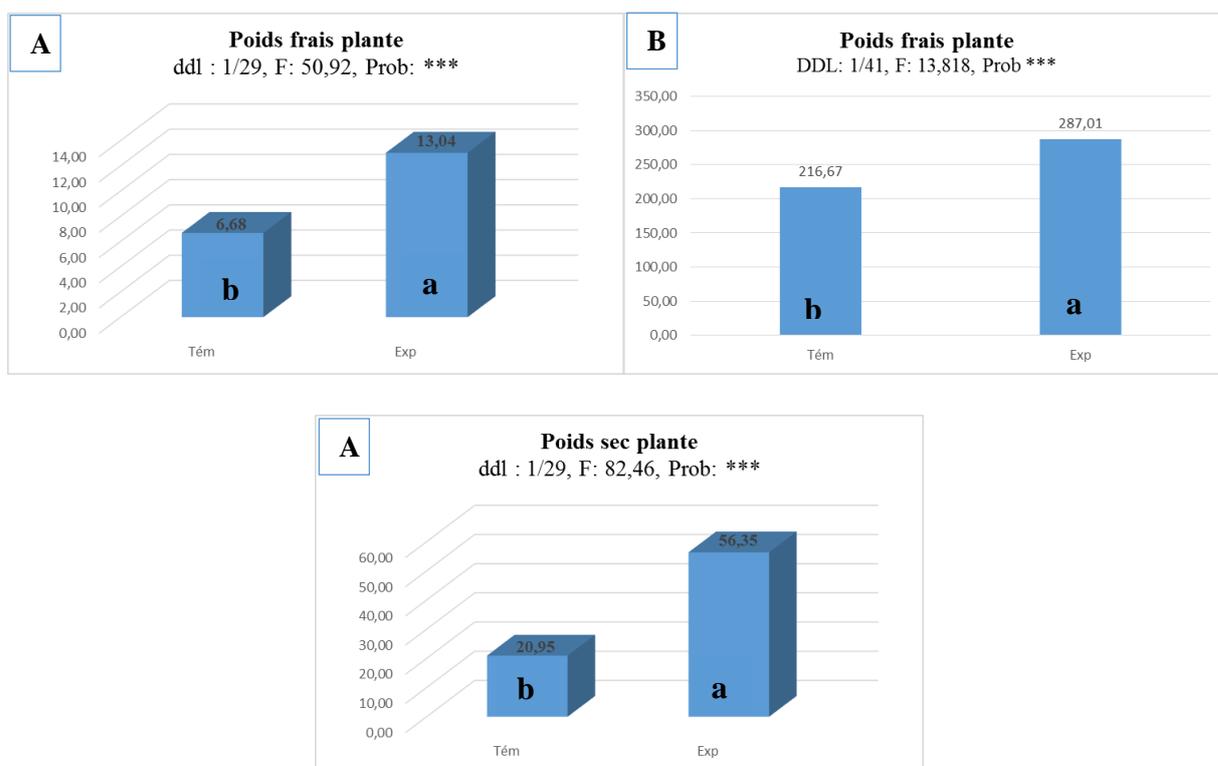


Figure 24 : Moyenne de poids frais et le poids sec des plantes
(A: essai 1, B: essai 2)

Les plantes stressées montrent les meilleures valeurs avec 13.04 et 287.01g, mais cette valeur est diminuée avec l'absence de l'effet acoustique en donnant 6.68 et 216.67 g. Le poids sec idem avec respectivement 56,35 et 20,95g pour l'essai 1.

Nous pouvons déduire que les plantes stressées ont montré une augmentation du poids frais et du poids sec suite à l'exposition à l'effet acoustique.

La matière fraîche, disant organique, est tributaire de la photosynthèse, et comme beaucoup d'auteurs parlent d'un effet significatif des ondes acoustiques sur les fonctions physiologiques des plantes, suite à la présence de l'effet acoustique et la stabilisation physiologiques occasionnés sur les plantes de notre expérimentation, ce qui a induit une augmentation du poids frais (Jeong et al., 2008). Cela indique que les conditions de lumière et d'obscurité peuvent être régulées à la hausse en utilisant de la musique classique et un signal de vibration à fréquence unique. Les effets acoustiques stimulent significativement la croissance du fraisier, citant la surface foliaire, le taux de caractéristiques photosynthétiques et d'autres indices physiologiques (Qi et al., 2010).

10. Taux de la matière sèche (tige, racine et plante)

L'analyse de la variance des taux de la matière sèche n'a pas montré une différence significative pour la tige et la plante, alors que cette analyse statistique fait ressortir une différence très hautement significative pour les racines. Le test Tukey a donné deux groupes homogènes distincts.

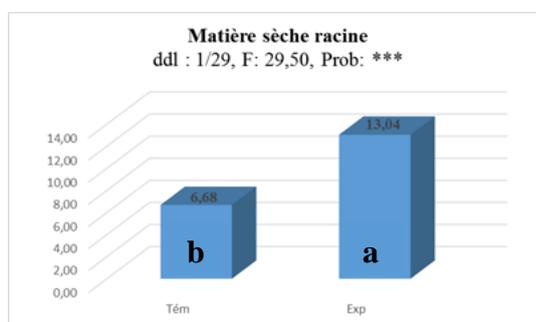


Figure 25 : Moyenne de la matière sèche des racines (Essai 2)

Il apparaît que les plantes du sorgho témoins ont présenté de faibles moyennes de la matière sèche (partie racinaire) de 6.68 g, alors que les plantes stressées ont donné une valeur plus élevée avec 13.04 g.

Il a été démontré que la stimulation acoustique influe différemment sur les différents stages d'une culture (Qi et al., 2010). D'un point de vue biologique, les ondes acoustiques peuvent influencer les fonctions de la membrane cellulaire des plantes, mais du point de vue physique, la fréquence de vibrations acoustique, semblables probablement aux ondes acoustiques de la plante, ce qui induit la résonance (responsable à l'accumulation d'énergie) (Qi et al., 2010).

La stimulation par des ondes acoustique peut améliorer ou inhiber de manière significative la teneur en ATP de certaines espèces végétales. Une stimulation saine modérée peut augmenter l'activité de l'ATP et favoriser le métabolisme énergétique des plantes (Xiaocheng et al., 2007).

11. Test de corrélation

Tableau 01 : Corrélations, ajustées par le test de bonferroni, entre les paramètres étudiés.

D'après le tableau ci-dessus, il existe des corrélations positives citant :

| | H4 | H5 | VC | Diam3 | Diam4 | Diam5 | Largf | PFt |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| H5 | 0,95 | | | | | | | |
| VC | 0,47 | 0,66 | | | | | | |
| Diam3 | 0,57 | 0,56 | 0,54 | | | | | |
| Diam4 | 0,46 | 0,36 | 0,26 | 0,39 | | | | |
| Diam5 | 0,64 | 0,55 | 0,31 | 0,55 | 0,61 | | | |
| Largf | 0,43 | 0,35 | 0,20 | 0,55 | 0,67 | 0,65 | | |
| PFt | 0,84 | 0,73 | 0,34 | 0,59 | 0,67 | 0,77 | 0,70 | |
| PFpl | 0,78 | 0,67 | 0,31 | 0,58 | 0,70 | 0,78 | 0,70 | 0,98 |

- La hauteur de la tige (H4) est fortement corrélée avec la hauteur de la tige (H5), le poids frais tige (0.84) et le poids frais plante (0.78) durant l'essai 2.
- La hauteur de la tige (H5) est fortement corrélée avec le poids frais tige (PFt) et le poids frais de la plante (PFpl).
- La vitesse de croissance (VC) est corrélée avec le diamètre 3 de la tige (Diam3).
- Le diamètre 3 de la tige (Diam3) est corrélé avec le Diamètre 5 de la tige, la largeur de la feuille (Larg f), le poids frais tige et le poids frais de la plante (PFpl).
- Le diamètre 4 de la tige (Diam 4) est fortement corrélé avec le poids frais de la plante (PFpl), le poids frais de la tige (PFt), la largeur de la feuille (Largf) et le diamètre 5 de la tige (Diam5).

- Le Diamètre 5 de la tige (Diam 5) est fortement corrélé avec le poids frais de la plante (PFpl), le poids frais de la tige (PFt) et la largeur de la feuille (Larg f).
- La largeur de feuille (Larg f) est fortement corrélée avec le poids frais de la plante (PFpl) et le poids frais de la tige (PFt).
- Le poids frais de la tige (PFt) est très fortement corrélé avec le poids frais de la plante (PFpl) et c'est logique.

Les paramètres fortement corrélés peuvent nous offrir la possibilité de ne pas mesurer tous ces paramètres prochainement, il suffit d'étudier un seul suffira.

Conclusion

Un son est une forme d'ondes sonores produite par la vibration mécanique d'un fluide (eau, gaz, air) avec un transport d'énergie sans transport de la matière. Le son implique l'existence de trois éléments : une source à l'origine d'un son, un milieu de propagation et un récepteur pour capter les ondes sonores comme une oreille ou un micro.

Notre étude a montré clairement la sensation de la plante vis-à-vis l'onde acoustique en générale (effet positif/négatif) qu'on a utilisé a marqué un effet positif sur la croissance.

L'exposition aux ondes acoustiques a influencé négativement sur la germination contrairement de ce qu'il a été remarqué durant la phase de croissance de nos échantillons. Cependant, l'effet acoustique affecte la hauteur de la tige en donnant une augmentation statistiquement significative en comparaison avec les plantes non exposées à l'effet sonore. Une vitesse de croissance spectaculaire a été enregistré sous cet effet. La longueur racinaire, le poids frais et le poids sec, ce qui entraîne l'augmentation du rendement.

Lors de l'assemblage d'une protéine, et à partir de ses acides aminés constitutifs, la longueur d'une note correspond au temps réel que prend chaque acide aminé pour suivre l'autre. En offrant l'effet acoustique approprié (effet stimulateur), la production de protéines augmente dans la plante et sa croissance est stimulée. Un effet inhibiteur pour les acides aminés des enzymes qui produisent les virus pourra aussi aider les plantes à surmonter les problèmes pathogènes.

Suite aux résultats obtenus dans notre expérimentation, qui confirme l'effet des ondes acoustiques sur l'augmentation des valeurs de la majorité des paramètres étudiés, nous pouvons conclure que cette exposition été adéquate pour obtenir la bonne réaction des cellules des plantes utilisées. Cependant, l'influence positive nous donnent envie à poursuivre des travaux futurs sur les effets sonores tout en prenant en considération :

- Le bon choix des ondes acoustiques,
- Le choix de l'intensité et la fréquence des ondes acoustiques,
- Le dispositif d'isolement,
- Bien étudier le nombre d'heures d'éclairage et d'obscurité,
- Etudier la durée d'exposition au stress acoustique, ..., etc.

Références
bibliographiques

Références bibliographiques

1. **Abu Assar A. H., Uptmoor R., Abdelmula A. A., Wagner C., Salih M., Ali A. M., Ordon F. & Friedt W. (2009).** Assessment of sorghum genetic resources for genetic diversity and drought tolerance using molecular markers and agro-morphological traits. *U. K. J. Agric. Sci.* **17**, 1-22.
2. **Baraqué P. (1999).** La Voix qui guérit : Techniques de guérison par les thérapies vocales, (Thérapies Santé), Jouvance.
3. **Callot G., Chamayou H., Maertens C. & Salsac L. (1983).** Mieux comprendre les interactions sol-racinaire, incidence sur la nutrition minérale. INRA, Paris.
4. **Chantereau J. et Nicou R. (1991).** Le sorgho, Maisonneuve et Larose, Paris, 159p.
5. **Chantereau J., Cruz J.F., Ratnadass A., Trouche G. & Fliede G. (2013).** Presses Agronomiques de Gembloux, Quae, CTA, Gembloux, 244 p.
6. **Chowdhury A.R. & Anshu Gupta (2015).** Effect of Music on Plants - An Overview, *International Journal of Integrative Sciences, Innovation and Technology* **4**, 30 - 34.
7. **Chowdhury E. K., Lim H. S. & Bae H. (2014).** Update on the Effects of Sound Wave on Plants.
8. **Coghlan A. (1994).** Good vibrations give plants excitations, *New Scientist Magazine* **142**, 1927, 10p.
9. **Cordone S. (2011).** Thérapies sonores et monde vivant, Mémoire de licence professionnelle «Techniques et Activités de l'Image et du Son», Université du sud, France, 55p.
10. **Creath K. & Schwartz G. (2004).** Measuring effects of music, noise and healing energy using a seedgermination bioassay. *The journal of alternative and complementary medicine* **10**(1), 113-122p.
11. **Dahlberg J., Berenji J., Sikora V. & Latkovic D. (2011).** Assessing sorghum (*Sorghum bicolor* (L) Moench) germplasm for new traits : food, fuels & uses. *Maydica* **56**, 85-92.
12. **Djè Y., Heuertz M., Ater M. & Vekemans L.X. (2007).** *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* **11**, 30-40.
13. **El Fahdi (2013).** Music Mediated Plant Growth.
14. **FAO (2010).** Food Agriculture Organisation.
15. **FAOSTAT (2010).** Food and agriculture database provides free access to food and agriculture statistics.
16. **Fitz S. (2006).** Énergétique alimentaire : Faire de notre alimentation une alliée de la santé. Lanore. Mesures des énergies vitales. Le chant des protéines, pp 107 - 111.
17. **Futura science (2019).** <https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/physique-onde-sonore-15526/>
18. **Harlan J.R. & De Wet. J.M.J. (1972).** A simplified classification of cultivated sorghum. *Crop Science.* **12**, 172-176p.
19. **Johnson K.A., Sistrunk M.L., Polisensky D.H. & Braam J. (1998).** Arabidopsis thaliana response to mechanical stimulation do not require ETR1 or EIN2. *Plant Physiol.* **116**, 643-649p.
20. **Koffi K., Germain C., Akanvou L., Akanvou R., Zoro B. I. A., Kouakou C. K. & N'da H. A. (2011).** Diversité morphologique du sorgho (*Sorghum bicolor* L. Moench) cultivé au Nord de la Côte d'Ivoire. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie* **17**, 125-142p.
21. **Martinec T. (1943).** *Planta. Arch, fur Wissenschaftische Botanik* **33**. 546-557p.

22. **Qi L., Teng G., Hou T., Zhu B. & Liu X. (2014)**. Influence of Sound Wave Stimulation on the Growth of Strawberry in Sunlight Greenhouse. In: Li D., Zhao C. (eds) Computer and Computing Technologies in Agriculture III. CCTA 2009. IFIP Advances in Information and Communication Technology **317**. Springer, Berlin, Heidelberg.
23. **Rahal-Bouziane H. (2008)**. Evaluation de la variabilité génétique chez quelques mils penicillaires (*Pennisetum glaucum* L.R. Br) cultivés dans les oasis de la région d'Adrar (Algérie). *Journal Algérien des régions arides*. **7**, 35-43.
24. **Rahal-Bouziane H., Mossab K., Khelid M., Kharsi M. & Hamdi S. (2004)**. Résultats prometteurs chez une céréale d'été des oasis d'Adrar : le sorgho "*Sorghum sp*". INRAA, *Recherche agronomique* **14**, 57-64.
25. **Retallack D. & Broman F. (1973)**. The Sound of Music and Plants. DeVorss. Santa Monica.
26. **Sene L. (1995)**. Réponse de la variété du sorgho à l'alimentation en eau : effets du stress hydrique sur le rendement et la qualité des semences 3^{ème} promotion, CE 145-66
27. **Shewale S. D. & Pandit A. B. (2011)**. Chapter 1 : Uses of sorghum and value addition. T.D. pereira, éd. Sorghum : cultivation, varieties and uses. Nova Science Publishers, Inc., New York. 181p.
28. **Soltner D. (1992)**. Les bases de la production végétale. Tome 1, 19^{ème} éd., Collection Sciences et Techniques Agricoles, 195p.
29. **Sternheimer J. (1992)**. Procédé de régulation épigénétique de la synthèse protéique, Brevet.
30. **Thellier M. (2015)**. Les plantes ont-elles une mémoire, Ed. Ouag, CIRAD, Infrimer, INRA, ISBN : 978-2-75922325-1, 113p.
31. **USDA-ARS United States Department of Agriculture Agricultural Research Service (2012)**. National Genetic Resources Program. Germplasm Resources Information Network-(GRAIN). National Germplasm Resources Library, Beltsville, MD, USA. Available Online: <http://www.ars-grain.gov/cgi-bin/npgs/html/taxon> (14 Oct. 2015).
32. **Vavilov (1951)**. The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants. *Soil Science*. **72**, 482p.
33. **Vilain M. (1993)**. La production végétale Vol 1 : Les composantes de la production TEC & DOC (Lavoisier). 2^{ème} éd. Paris. 438 p.
34. **Xiujuan W., Bochu W., Yi J., Chuanren D. & A. Sakanishi (2003)**. Effect of Sound Wave on the Synthesis of Nucleic Acid and Protein in Chrysanthemum, Colloids and Surfaces B. *Biointerfaces* **29**, 99-102p.

Annexes

Tableaux des paramètres qui ont présenté une différence significative chez le Sorgho (2ème essai)

| H7 | | | | | |
|-----------|-----|----------|----------|----------|-----------------|
| | DDL | CM | SCE | F | P |
| Intercept | 1 | 17574,04 | 17574,04 | 2600,498 | 0,000000 |
| Effet son | 1 | 998,79 | 998,79 | 147,794 | 0,000000 |
| Erreur | 28 | 189,22 | 6,76 | | |
| Total | 29 | 1188,01 | | | |

| H6 | | | | | |
|-----------|-----|----------|----------|----------|-----------------|
| | DDL | CM | SCE | F | P |
| Intercept | 1 | 14533,20 | 14533,20 | 1664,806 | 0,000000 |
| Effet son | 1 | 592,30 | 592,30 | 67,849 | 0,000000 |
| Erreur | 28 | 244,43 | 8,73 | | |
| Total | 29 | 836,73 | | | |

| Vitesse de croissance | | | | | |
|-----------------------|-----|----------|----------|----------|-----------------|
| | DDL | CM | SCE | F | P |
| Intercept | 1 | 2,945333 | 2,945333 | 97,14559 | 0,000000 |
| Effet son | 1 | 1,077578 | 1,077578 | 35,54164 | 0,000002 |
| Erreur | 28 | 0,848925 | 0,030319 | | |
| Total | 29 | 1,926503 | | | |

| Nb7 | | | | | |
|-----------|-----|----------|----------|----------|-----------------|
| | DDL | CM | SCE | F | P |
| Intercept | 1 | 360,5333 | 360,5333 | 10816,00 | 0,000000 |
| Effet son | 1 | 6,5333 | 6,5333 | 196,00 | 0,000000 |
| Erreur | 28 | 0,9333 | 0,0333 | | |
| Total | 29 | 7,4667 | | | |

| Diam 2 | | | | | |
|-----------|-----|----------|----------|----------|-------------|
| | DDL | CM | SCE | F | P |
| Intercept | 1 | 36,85918 | 36,85918 | 2438,398 | 0,00 |
| Effet son | 1 | 10,14636 | 10,14636 | 671,227 | 0,00 |
| Erreur | 28 | 0,42325 | 0,01512 | | |
| Total | 29 | 10,56961 | | | |

| PFt | | | | | |
|-----------|-----|---------|---------|----------|-----------------|
| | DDL | CM | SCE | F | P |
| Intercept | 1 | 1939597 | 1939597 | 524,5410 | 0,000000 |
| Effet son | 1 | 175063 | 175063 | 47,3437 | 0,000000 |
| Erreur | 28 | 103536 | 3698 | | |
| Total | 29 | 278599 | | | |

| PSt | | | | | |
|-----------|-----|----------|----------|----------|-----------------|
| | DDL | CM | SCE | F | P |
| Intercept | 1 | 18189,26 | 18189,26 | 311,1719 | 0,000000 |
| Effet son | 1 | 2592,84 | 2592,84 | 44,3569 | 0,000000 |
| Erreur | 28 | 1636,71 | 58,45 | | |
| Total | 29 | 4229,55 | | | |

| PFr | | | | | |
|-----------|-----|----------|----------|----------|-----------------|
| | DDL | CM | SCE | F | P |
| Intercept | 1 | 487636,5 | 487636,5 | 284,4935 | 0,000000 |
| Effet son | 1 | 74900,0 | 74900,0 | 43,6977 | 0,000000 |
| Erreur | 28 | 47993,4 | 1714,1 | | |
| Total | 29 | 122893,5 | | | |

| PSr | | | | | |
|-----------|-----|----------|----------|----------|-----------------|
| | DDL | CM | SCE | F | P |
| Intercept | 1 | 5625,221 | 5625,221 | 191,6354 | 0,000000 |
| Effet son | 1 | 2288,133 | 2288,133 | 77,9503 | 0,000000 |
| Erreur | 28 | 821,905 | 29,354 | | |
| Total | 29 | 3110,039 | | | |

| MSr | | | | | |
|-----------|-----|----------|----------|----------|-----------------|
| | DDL | CM | SCE | F | P |
| Intercept | 1 | 2917,213 | 2917,213 | 283,8146 | 0,000000 |
| Effet son | 1 | 303,266 | 303,266 | 29,5047 | 0,000009 |
| Erreur | 28 | 287,800 | 10,279 | | |
| Total | 29 | 591,067 | | | |

| PFpl | | | | | |
|-----------|-----|---------|---------|----------|-----------------|
| | DDL | CM | SCE | F | P |
| Intercept | 1 | 4372297 | 4372297 | 464,8349 | 0,000000 |
| Effet son | 1 | 478980 | 478980 | 50,9221 | 0,000000 |
| Erreur | 28 | 263372 | 9406 | | |
| Total | 29 | 742352 | | | |

| PSpl | | | | | |
|-----------|-----|----------|----------|----------|-----------------|
| | DDL | CM | SCE | F | P |
| Intercept | 1 | 44045,01 | 44045,01 | 381,9710 | 0,000000 |
| Effet son | 1 | 9752,43 | 9752,43 | 84,5759 | 0,000000 |
| Erreur | 28 | 3228,67 | 115,31 | | |
| Total | 29 | 12981,10 | | | |

| MSpl | | | | | |
|-----------|-----|----------|----------|----------|-----------------|
| | DDL | CM | SCE | F | P |
| Intercept | 1 | 2832,872 | 2832,872 | 659,1035 | 0,000000 |
| Effet son | 1 | 75,213 | 75,213 | 17,4993 | 0,000257 |
| Erreur | 28 | 120,346 | 4,298 | | |
| Total | 29 | 195,559 | | | |

Tableaux des paramètres qui ont présenté une différence significative chez le Sorgho :

| VC | | | | | |
|-----------|-----|----------|----------|----------------|-----------------|
| | DDL | SCE | CM | F | Prob |
| Intercept | 1 | 146,9072 | 146,9072 | 482,5812 | 0,000000 |
| Gen | 2 | 2,1590 | 1,0795 | 3,5460 | 0,039291 |
| Effet | 1 | 5,9815 | 5,9815 | 19,6488 | 0,000084 |
| Gen*Effet | 2 | 0,1332 | 0,0666 | 0,2188 | 0,804504 |
| Error | 36 | 10,9591 | 0,3044 | | |
| Total | 41 | 19,2328 | | | |

| Taux de germination 4 jas (jours après semis) | | | | | |
|-----------------------------------------------|----------|---------|---------|---------------|-----------------|
| | Degr. of | 4 JAS | 4 JAS | 4 JAS | 4 JAS |
| Intercept | 1 | 2,75125 | 2,75125 | 180,900 | 0,000000 |
| Gen | 2 | 0,20583 | 0,10292 | 74,100 | 0,000000 |
| Effet | 1 | 0,00681 | 0,00681 | 4,900 | 0,046976 |
| Gen*Effet | 2 | 0,07194 | 0,03597 | 25,900 | 0,000044 |
| Error | 12 | 0,01667 | 0,00139 | | |
| Total | 17 | 0,30125 | | | |

| Larg F | | | | | |
|-----------|-----|----------|----------|--------------|-----------------|
| | DDL | SCE | CM | F | Prob |
| Intercept | 1 | 13,88625 | 13,88625 | 2990,885 | 0,000000 |
| Gen | 2 | 0,03679 | 0,01839 | 3,962 | 0,027860 |
| Effet | 1 | 0,03149 | 0,03149 | 6,782 | 0,013297 |
| Gen*Effet | 2 | 0,02583 | 0,01292 | 2,782 | 0,075251 |
| Error | 36 | 0,16714 | 0,00464 | | |
| Total | 41 | 0,26125 | | | |

| Long F | | | | | |
|-----------|-----|----------|----------|---------------|-----------------|
| | DDL | SCE | CM | F | Prob |
| Intercept | 1 | 2441,144 | 2441,144 | 2632,299 | 0,000000 |
| Gen | 2 | 140,949 | 70,475 | 75,993 | 0,000000 |
| Effet | 1 | 0,077 | 0,077 | 0,083 | 0,774683 |
| Gen*Effet | 2 | 1,244 | 0,622 | 0,671 | 0,517544 |
| Error | 36 | 33,386 | 0,927 | | |
| Total | 41 | 175,656 | | | |

| PFpl | | | | | |
|-----------|-----|---------|---------|----------------|-----------------|
| | DDL | SCE | CM | F | Prob |
| Intercept | 1 | 2663792 | 2663792 | 708,4066 | 0,000000 |
| Gen | 2 | 140687 | 70344 | 18,7071 | 0,000003 |
| Effet | 1 | 51962 | 51962 | 13,8188 | 0,000682 |
| Gen*Effet | 2 | 46094 | 23047 | 6,1291 | 0,005119 |
| Error | 36 | 135369 | 3760 | | |
| Total | 41 | 374113 | | | |

| PFt | | | | | |
|-----------|-----|---------|---------|----------------|-----------------|
| | DDL | SCE | CM | F | Prob |
| Intercept | 1 | 1510050 | 1510050 | 582,2798 | 0,000000 |
| Gen | 2 | 91003 | 45502 | 17,5455 | 0,000005 |
| Effet | 1 | 40772 | 40772 | 15,7219 | 0,000334 |
| Gen*Effet | 2 | 19691 | 9846 | 3,7965 | 0,031910 |
| Error | 36 | 93360 | 2593 | | |
| Total | 41 | 244827 | | | |

| H3 | | | | | |
|-----------|-----|----------|----------|---------------|-----------------|
| | DDL | SCE | CM | F | Prob |
| Intercept | 1 | 8084,269 | 8084,269 | 1667,351 | 0,000000 |
| Gen | 2 | 497,243 | 248,622 | 51,277 | 0,000000 |
| Effet | 1 | 19,612 | 19,612 | 4,045 | 0,051840 |
| Gen*Effet | 2 | 14,478 | 7,239 | 1,493 | 0,238286 |
| Error | 36 | 174,549 | 4,849 | | |
| Total | 41 | 705,881 | | | |

| H5 | | | | | |
|-----------|-----|----------|----------|---------------|-----------------|
| | DDL | SCE | CM | F | Prob |
| Intercept | 1 | 19153,09 | 19153,09 | 2401,282 | 0,000000 |
| Gen | 2 | 683,46 | 341,73 | 42,844 | 0,000000 |
| Effet | 1 | 201,96 | 201,96 | 25,321 | 0,000014 |
| Gen*Effet | 2 | 27,42 | 13,71 | 1,719 | 0,193703 |
| Error | 36 | 287,14 | 7,98 | | |
| Total | 41 | 1199,98 | | | |

| Diam5 | | | | | |
|-----------|-----|----------|----------|---------------|-----------------|
| | DDL | SCE | CM | F | Prob |
| Intercept | 1 | 78,14629 | 78,14629 | 3618,548 | 0,000000 |
| Gen | 2 | 0,16945 | 0,08472 | 3,923 | 0,028752 |
| Effet | 1 | 0,23625 | 0,23625 | 10,940 | 0,002142 |
| Gen*Effet | 2 | 0,21966 | 0,10983 | 5,086 | 0,011344 |
| Error | 36 | 0,77746 | 0,02160 | | |
| Total | 41 | 1,40281 | | | |

| Surface foliaire | | | | | |
|------------------|-----|----------|----------|---------------|-----------------|
| | DDL | SCE | CM | F | Prob |
| Intercept | 1 | 455,9899 | 455,9899 | 1007,699 | 0,000000 |
| Gen | 2 | 27,2255 | 13,6128 | 30,083 | 0,000000 |
| Effet | 1 | 0,7634 | 0,7634 | 1,687 | 0,202260 |
| Gen*Effet | 2 | 1,1496 | 0,5748 | 1,270 | 0,293045 |
| Error | 36 | 16,2902 | 0,4525 | | |
| Total | 41 | 45,4287 | | | |

| PFr | | | | | |
|-----------|-----|----------|----------|----------------|-----------------|
| | DDL | SCE | CM | F | Prob |
| Intercept | 1 | 162628,1 | 162628,1 | 623,6192 | 0,000000 |
| Gen | 2 | 8033,8 | 4016,9 | 15,4033 | 0,000015 |
| Effet | 1 | 677,6 | 677,6 | 2,5984 | 0,115706 |
| Gen*Effet | 2 | 5871,4 | 2935,7 | 11,2574 | 0,000159 |
| Error | 36 | 9388,1 | 260,8 | | |
| Total | 41 | 23970,9 | | | |

Annexe 2

L'échelle de stimulation des acides aminés

Joel Sternheimer et Yannick Van Doorm

ECHELLE DE STIMULATION

A musical staff in G-clef with notes of various colors: red, green, purple, yellow, pink, blue, cyan, black. Below the staff is a legend of amino acids in colored circles: Pro (yellow), Leu (orange), Gln (orange), Val (yellow), Ile (pink), Lys (orange), Thr (yellow), Asp (pink), Glu (orange), Cys (yellow), Arg (green), Met (orange), Ala (green), Ser (purple), Phe (red), Tyr (black), Trp (black).

Prion en inhibition
partie répétitive

A musical staff in 2/4 time with notes corresponding to the sequence: HGGG WGQP HGGG WGQP HGGG WGQP H.

Hypodermine du Varron en stimulation
aa 200 sqq

A musical staff in 2/4 time with notes corresponding to the sequence: S G A G C E S G.

Echelle d'inhibition

A musical staff in G-clef with notes of various colors. A red circle highlights a specific note. Below the staff is the same legend of amino acids as in the first diagram.

la musique et les plantes

Tableau de note/acide aminé : code universel de Joel Sternhelmer

| Acide Aminé | NOTE | | |
|---------------|-------------------|-------------------|------------------|
| | Stimulante | Inhibante | Diminutif anglat |
| Alanine | <i>do (grave)</i> | <i>ré (aigu)</i> | <i>a</i> |
| Arginine | <i>do (aigu)</i> | <i>ré (grave)</i> | <i>r</i> |
| Asparagine | <i>sol</i> | <i>sol</i> | <i>n</i> |
| Aspartate | <i>sol</i> | <i>sol</i> | <i>d</i> |
| Cystéine | <i>fa</i> | <i>la</i> | <i>c</i> |
| Glutamate | <i>la</i> | <i>fa</i> | <i>E</i> |
| Glutamine | <i>la</i> | <i>fa</i> | <i>q</i> |
| Glycine | <i>la (grave)</i> | <i>fa (aigu)</i> | <i>g</i> |
| Histidine | <i>si bémol</i> | <i>mi</i> | <i>h</i> |
| Isoleucine | <i>sol</i> | <i>sol</i> | <i>i</i> |
| Leucine | <i>sol</i> | <i>sol</i> | <i>l</i> |
| Lysine | <i>la</i> | <i>fa</i> | <i>k</i> |
| Méthionone | <i>la</i> | <i>fa</i> | <i>m</i> |
| Phénylalanine | <i>si bécare</i> | <i>mi bémol</i> | <i>f</i> |
| Proline | <i>fa</i> | <i>la</i> | <i>p</i> |
| Sérine | <i>mi</i> | <i>si bémol</i> | <i>s</i> |
| Thréonine | <i>fa</i> | <i>la</i> | <i>t</i> |
| Tryptophane | <i>ré (aigu)</i> | <i>do (grave)</i> | <i>w</i> |
| Tyrosine | <i>do (aigu)</i> | <i>ré (grave)</i> | <i>y</i> |
| Valine | <i>fa</i> | <i>la</i> | <i>v</i> |

« Effet des ondes acoustiques sur la germination et la croissance de quelques populations du sorgho (*Sorghum bicolor* L Moench) »

Résumé

Notre mémoire vise à étudier les effets acoustiques sur la germination et la croissance de quelques populations du sorgho. Pour se faire, nous avons répété l'expérience deux fois pour déterminer si le son avait un effet sur la germination et la croissance des plantes qu'ont été mis dans un endroit contenant des hauts parleurs émettant des ondes acoustiques en présence d'un témoin.

Nous avons fait notre bien pour isoler acoustiquement cet endroit afin de satisfaire les conditions biologiques à la germination. Notre expérience a montré une réponse positive aux ondes acoustiques en comparaison avec le témoin, ce qui explique clairement la sensation de la plante.

Mots clé : Effet acoustique, sorgho, population, germination, croissance.

"تأثير الامواج الصوتية على إنتاش ونمو بعض الأنواع النباتية"

ملخص:

لقد قمنا بهذه التجربة العلمية بهدف دراسة أثر عالم الأصوات على إنتاش ونمو بعض أصناف الذرة الرفيعة. للقيام بذلك أعدنا التجربة مرتين لتحديد إذا كان هناك للأثر الصوتي تأثير على إنتاش وتطور النباتات التي وضعت في مكان يحتوي على مكبرات الصوت التي تنبعث منها موجات صوتية. بذلنا قصارى جهدنا لعزل مكان التجربة من الأصوات الخارجية لتحقيق الظروف البيولوجية المناسبة.

أظهرت هذه الدراسة استجابة إيجابية للموجات الصوتية بالمقارنة مع الظروف العادية بدون صوت، هذا ما يؤكد بوضوح على تأثر النبات.

الكلمات المفتاحية: أثر صوتي، صنف، إنتاش، نمو.

« Acoustic Sound waves effect on germination and growth of some plant species »

Abstract:

Our work aims at a modest study of the acoustic effects on the germination and growth of some plant species. To do this, we have repeated the experiment to determine if the sound has an effect on germination and plant growth that has been put in a place containing speakers emitting acoustic waves. We did our best to acoustically isolate this place to satisfy the biological conditions of germination.

Our experiments has shown a positive response to acoustic waves in comparison with the control, witch explain clearly the sensation of the plant.

Key words : Acoustic effect, population, germination, growth.