

Ecole Supérieure de Gand
Département de Sciences Biotechnologiques, Gestion des Paysages et Agriculture

Influence de fréquences sonores variables sur la croissance et le développement des plantes.



Hogeschool Gent
J. Kluyskenstraat 2
9000 Gent
Belgium



UNIVERSITEIT
GENT

Faculteit Bio-
ingenieurswetenschappen (LA)
Coupure Links 653
9000 Gent
Belgium



Symphonie R&D SARL
Ecosonic
Yannick Van Doorne
Suisse

Thèse de fin d'études présenté par
Yannick Van Doorne
en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur
industriel en agriculture et biotechnologie, orientation
agriculture tropicale.

Mail : yannickvd11@yahoo.fr

Tel. : +33 (0)6 88 08 68 94

Sites

<http://musique-pour-soigner-les-plantes.weebly.com>

Année académique 1999-2000

Traduction française de l'original néerlandais par Yannick Van Doorne & Thomas Bazan

Résumé

Influence de fréquences sonores variables sur la croissance et le développement des plantes.

Ecole Supérieure de Gand Département Agriculture et Sciences Biotechnologique
Thèse de fin d'études présentée par Yannick Van Doorne

Une première partie explique les notions du son et des fréquences sonores variables sur le plan physique et biophysique.

Une deuxième partie donne un inventaire des recherches menées jusqu'à ce jour dans le domaine de l'influence de fréquences sonores variables sur la croissance et le développement des plantes. L'histoire commence par des études empiriques qui depuis les dernières années ont permis des découvertes plus précises sur les mécanismes en action causés par le son.

Les découvertes les plus récentes et précises sont celles de Dan Carlson (1989), Weinberger (1972) et de Joel Sternheimer (1992). Joel Sternheimer a découvert une technique permettant de stimuler ou d'inhiber la synthèse de protéines cibles par des séquences sonores spécifiques. Un brevet intitulé : "Procédé de Régulation épigénétique de la biosynthèse des protéines par résonance d'échelle" a été déposé. Issu de cette découverte un vaste domaine de recherche est né sous le nom de Genodique.

D'autres techniques ont été découvertes et permettent : l'activation de certains gènes, d'influencer la perméabilité de la membrane cellulaire et la pénétrabilité de la paroi cellulaire, la cavitation, la sonication, l'absorption de certains sons par les plantes, des résonances des organelles cellulaires, des résonances des cavités stomatales. De nombreuses découvertes ont abouti au dépôt de nouveaux brevets d'applications dans le domaine de l'agriculture et de la biotechnologie comme par exemple les techniques Sonic Bloom commercialisées et diffusées par Dan Carlson Scientific Enterprises. Issues de ces recherches plusieurs applications dans le domaine agricole et agroalimentaire se sont développées et ont mené à la commercialisation et l'utilisation par plusieurs entreprises.

La dernière partie de la thèse relate une expérience menée pour vérifier la validité de la technique développée par J. Sternheimer. Une expérimentation a été mise en place sur 4 groupes de plants de tomates. Le traitement consistait à soumettre les plants de tomates à certaines séquences sonores bien spécifiques décodées à partir du code génétique correspondant à certaines protéines cibles. Selon le principe de la génodique le traitement des plants par ces séquences sonores induit la stimulation de la synthèse de certaines protéines cibles correspondant à ces séquences sonores spécifiques. On obtient ainsi des changements phénotypiques décelables auprès des plants ainsi traités. Les expériences ont confirmé que le traitement a des effets sur la croissance et le développement des plants de tomates et cela statistiquement très significativement ($p < 0.001$).

Le traitement consistait à traiter les plants chaque jour durant 6 min par les séquences sonores épigénétiques susceptibles de stimuler la synthèse des protéines connues sous le nom d'extensines, afin de vérifier la spécificité de l'action de ces séquences sonores épigénétiques (spécifique pour la stimulation des extensines), la taille des plants fut mesurée régulièrement durant leur croissance. Une augmentation de la synthèse d'extensines provoque l'obtention de plants de plus grande taille. Les effets spécifiques de ces séquences ont été observés dans chacune des expériences et confirment ainsi des expériences antérieures et la théorie de résonance d'échelle. Une expérience similaire fut réalisée afin d'augmenter la tolérance à la sécheresse des plants de tomates en les traitant avec les séquences sonores correspondant à une protéine connue pour augmenter la tolérance des plantes à la sécheresse. Les plants de tomates exposés ont poussé et se sont développés en recevant la moitié moins d'eau que ceux du groupe témoin. La conclusion confirme aussi la spécificité de l'action de ces séquences sonores épigénétiques sur la tolérance à la sécheresse.

Ces différentes techniques offrent de multiples possibilités d'utilisations et de développement d'applications pour l'agriculture, l'horticulture, la microbiologie et l'industrie agroalimentaire.

12. Conclusion générale.

Ce travail a permis de donner un aperçu général des données existantes sur l'influence de « fréquences sonores variables » sur la croissance et le développement des plantes. Se fondant sur tous les articles et rapports étudiés dans le cadre de cette thèse on peut clairement affirmer qu'il y a bel et bien une influence de certaines fréquences et séquences sonores spécifiques sur la croissance et le développement des plantes.

D'innombrables expériences antérieures nous démontrent la stimulation et même parfois l'inhibition de certains processus dans la plante.

Les expériences suggèrent et démontrent que certaines séquences et fréquences sonores peuvent influencer les plantes de différentes manières. Dans certains cas les bruits utilisés sonnent assez musicalement, on pourrait parfois même parler de « l'influence de la musique sur la croissance des plantes ». Tous les bruits ne sont pas aussi utiles ou efficaces mais seulement certains sons spécifiques avec leur fonctions et activités correspondantes. Les expériences font apparaître également que ce sont seulement certaines séquences très spécifiques qui ont une influence sur la croissance et le développement des plantes.

Les expériences exécutées dans le cadre de ce mémoire paraissent aussi confirmer les expériences antérieures. Même si ces expériences ne se sont pas passées dans des conditions idéales, il paraît difficile d'expliquer autrement les résultats obtenus que par des effets auxiliaires réels.

Les possibilités de recherches et de développement concernant ces techniques abordées semblent infinies. Les applications déjà existantes nous montrent beaucoup de nouvelles possibilités dans l'agriculture et l'horticulture.

Les entreprises existantes qui ont introduit certaines de ces techniques dans leur mode de production ou qui sont déjà complètement actives dans ce secteur nous démontrent la faisabilité économique. La faisabilité économique ne prouve pas nécessairement la vérité scientifique de ces techniques.

De nombreuses recherches seront encore bienvenues pour comprendre tous les aspects de la manière dont les sons influencent les plantes. Durant la recherche d'informations sur ce sujet, on a constaté que des découvertes surprenantes et pionnières ont été faites ces dernières années. Cela ouvre des perspectives de développement très prometteur pour l'avenir....

Remerciements

Tout d'abord je voudrais remercier chaque personne qui m'a aidé et soutenu sur le bon chemin. Sans vous je n'aurais jamais pu tenir le coup dans ma recherche.

Je suis surtout très reconnaissant envers ma mère Christine Roland pour son amour inconditionnel et mon père Jan Van Doorne pour toute l'indépendance qu'il m'a apprise. Mon frère Patrick qui étudiait chaque jour avec beaucoup de discipline et de vigueur pendant la période d'examen et a été pour moi une stimulation constante.

Je suis aussi très reconnaissant à ma sœur Annick ainsi qu'à mon bon ami Thomas Bazan pour son soutien sans préjugés, son écoute et ses remarques parfois très enrichissantes. Je voudrais encore le remercier tout spécialement pour son aide précieuse à la traduction en français. Je remercie aussi Cathy que j'ai beaucoup appréciée. Je remercie de tout mon cœur Michèle Wachs, pour son soutien et son aide précieuse à la traduction, les corrections d'orthographe et à la réalisation de la traduction de cette thèse.

Joël Sternheimer mérite mon respect pour son travail, sa modestie, sa tranquillité et intelligence, pour ces idées illuminées et pour son chaleureux accueil et sa compréhension. Aussi un remerciement pour Pedro Ferrandiz qui s'est déplacé spécialement pour apporter son aide pratique de Paris à Gand. J'aimerais donner à Jean-Marie Pelt une poignée de main très cordiale avec un grand sourire, je lui souhaite encore beaucoup d'inspiration pour le soutenir dans l'écriture de ses livres.

Je suis aussi reconnaissant envers mon promoteur de la deuxième version de la thèse, Geert Haesaert, pour ces remarques intéressantes pour l'achèvement de cette thèse, ainsi qu'envers V. Derycke, M. Janssens, Mr Kiekens. Je voudrais, à son tour, remercier particulièrement Marjolein Visser qui m'a beaucoup apporté avec ses remarques utiles et qui a rendu possible la réalisation de cette thèse en tant que promoteur de la première version, je la remercie encore énormément pour son soutien et sa compréhension. Je remercie aussi chaleureusement Johan Beernaert pour sa disponibilité et ses remarques utiles, il est le champion olympique pour soigner les plantes tropicales. Je remercie aussi très chaleureusement Jean Cumps qui m'a aidé fortement par sa gentillesse et en réalisant l'étude statistique. Et je n'oublierais pas la firme De Gheest qui m'a aidé à obtenir des plants de tomates pour la réalisation des expériences.

Je voudrais aussi remercier Patrick Van Damme, mon ami Africain Bernard, Tom Codron, Bart Peirs, Bart Van Droogenbroeck, Alain De La Rivière et son amie Marjolein, Joke Vandavelde, Joeri Vanmarcke, Geert Nekkerbroeck, tous mes amis du centre écologique de Gand (GEC), le monsieur de Twilight Zone à Gand, Peter Van Steenkiste, Pol D'Huyvetter, Bernard, Reza, Steven Leemans, Vincent Van Wezenmael, Michèle Wachs pour la force et l'amour de la vie qu'elle me fait découvrir, Thomas Egli, Marc Schmid, Pascal Gos, Philippe Meunier, Vincent Bargouin, Michel Lempereur, Marie-Claude Lang, Nicolas Augu, Nicolas Steeg, Ludovic Moiroux, Sylvie, mon ami marchand d'épices Julien, Yves, marchand de pailles incognito, Karel Debock, Ruben Brabant et Siglinde Masselis.

Encore une fois je voudrais remercier cordialement toutes les personnes qui font partie de mon entourage et qui m'ont aidé parfois sans le savoir et m'ont soutenu dans cette aventure. Je pense à Stratoula Kappa, Alessandra Lombardi, Georges Bazan, Lutgart Anthierens, Benoit Beuselinck, Peter Helsen et Blanca, Pieter Delaender, Samir, Hartwig Nollet, Carola, Luis, Pieter Poppe, Dago, Bart, Ignace, Kurt, Lynn, Sien, Stijn, Kristof. Aussi je voudrais remercier Gilbert De Groeve, Maggy De Leye et Hugo De Smet.

Les mots me manquent pour exprimer toute ma reconnaissance envers toutes les personnes qui m'ont aidé et soutenu. Je prie les personnes que j'aurais oubliées de nommer d'accepter mes excuses et de se sentir incluses dans ce sentiment de gratitude.

A vous aussi, nouveaux lecteur ou lectrice, je souhaite la bienvenue chaleureusement, car sans votre intérêt cette thèse ne resterait qu'un petit tas de papier. Je vous invite cordialement à participer à cette aventure.

Pourquoi ce sujet ?

Pourquoi pas ? ;-) Peut-être que mon esprit y était simplement ouvert, comme Alice au pays des merveilles, j'ai marché vers la lumière et j'ai été enchanté. La tranquillité dans le bois, la symphonie des oiseaux chantant attirait mes pensées. Comme amateur de la nature et fils d'un fermier j'ai voulu apporter ma petite pierre pour une agriculture plus harmonieuse. Idéaliste, et bien oui, pourquoi pas ?

En tant qu'enfant de la science, on observe la nature et on est certain d'une chose, les plantes ne vivent pas en autonomie. Elles sont dépendantes du milieu où elles poussent et se développent, ajoutant de nombreux facteurs environnants qui jouent un rôle plus ou moins important.

De ce point de vue, on remarque que la lumière est importante, mais chaque fréquence lumineuse n'a pas la même importance ; on remarque que la température est importante mais qu'il y a aussi des températures plus favorables que d'autres. Nombreux sont les paramètres qui se font remarquer. Par curiosité on peut de cette manière à chaque fois continuer à chercher jusqu'à remettre un nouveau « ça va de soi » en question. Pourquoi est-ce que la musique ou d'autres sons n'auraient-ils pas d'influence ? Les oiseaux nous prédisent l'éclosion du printemps, cette symphonie orchestrale qui fait danser la nature. On remarque que ces sons ne sont pas n'importe quoi.

En 1976, le peintre célèbre Marc Chagall peignit un tableau magnifique de la nature intitulé : « le souvenir de la flûte enchantée ». Si vous aviez l'occasion de l'admirer une fois dans votre vie, il se pourrait que le message vous soit dévoilé d'un flash à l'esprit. Un jour il a écrit aussi : « la bible est une résonance de la nature ». Il se pourrait qu'il y ait une part de vérité dans ce qu'il affirme. Quoi qu'il y ait, cela sonne comme de la musique à mes oreilles.

Le chant du maïs

Chez les Indiens Hopis, peuple vivant dans les régions arides de l'Arizona et du Nouveau-Mexique (« hopi », dans leur langue, signifie « pacifique »), un personnage mythologique, du nom de Kokopelli, est associé à la fertilité et à la germination.

Les autres peuples Indiens le connaissent souvent comme le « joueur de flûte bossu ». Sa silhouette unique a été dépeinte, au fil des siècles, sur de nombreuses pierres et poteries des deux Amériques.

Pour beaucoup, la bosse de son dos est un sac de semences qu'il sème à tous vents.

Quant à sa flûte, elle est la source de l'esprit insufflé dans chacune des graines.

Écoutons l'histoire de John Kimney, ethnobotaniste, qui était alors l'hôte de David Monongye, chef religieux et ancien de la tribu des Hopis.

« C'était le mois de juillet, il y a plusieurs années de cela, et j'étais invité pendant quatre semaines à Third Mesa, dans le pays Hopi. Cela faisait trois semaines qu'il n'avait pas plu et les terres suffoquaient sous l'emprise des chaleurs torrides. C'était le milieu de la journée et mon hôte s'était assoupi paisiblement dans la fraîcheur de sa maison de pierre. Je ne pouvais pas rester en place. Je fermai doucement la porte moustiquaire derrière moi et je m'enfonçai dans la chaleur de la kishnobi, la place du village.

Je cherchai du regard à déceler un quelconque mouvement mais tout était aussi calme qu'à minuit. Seul un chien remua pour ne rien perdre du peu d'ombre de midi. Tout le reste du village semblait respecter le rituel de la sieste profonde que Tawa, le Père-Soleil, leur imposait quotidiennement. « Juste les chiens fous et les Anglais au soleil de midi » murmurai-je d'un ton rêveur.

Je ne savais même pas où j'allais en descendant le bord de la mesa, sur un sentier qui avait été, il y a longtemps, comme picoré dans les roches tendres, durant des jours plus frais.

Lorsque j'atteignis le bas de la falaise, je vis un lézard qui se faufilait hâtivement sur un chemin poussiéreux. Je le suivis alors, comme si cette créature me guidait. Après une marche d'environ un quart d'heure, le sentier bifurqua soudain vers le nord, autour d'un tas d'éboulis. Avant que je pusse voir de l'autre côté des rochers, j'entendis faiblement une voix qui chantait. Je ralentis mon pas et je risquai un regard.

Il y avait devant moi une étendue de maïs, la plus vaste qu'il m'ait été donné de contempler dans cette région. Elle était si grande qu'elle ne semblait pas pouvoir être Hopi. Je ne voyais encore personne mais le chant devint plus clair.

Je devinai que c'était la voix douce et puissante d'un vieillard. Mais où était-il donc ? J'attendis encore quelques minutes, en écoutant ce champ de maïs qui chantait. Et puis soudain, des touffes vertes de maïs, émergea une tête blanche qui, au fil des rangs, se mouvait lentement sans cesser de chanter. Je pris tout à coup conscience de ce que mes yeux voyaient. Ce champ de maïs, en plein milieu de l'été, était magnifique et luxuriant. Il y avait, à peu près, une douzaine d'épis qui mûrissaient dans chaque touffe et une évaluation rapide m'indiqua qu'il y avait sans doute 1.200 touffes de plants de maïs.

Le sol était sec et parcheminé à la suite de la longue sécheresse et, cependant, le maïs ne montrait que peu de signes de flétrissement au contraire de la plupart des autres champs que j'avais pu observer tout autour du village.

Les plaintes que j'avais entendues de la part des fermiers vivant près de la maison où je demeurais m'avaient laissé penser que tout le maïs dépérissait de soif. Pourtant, ce champ semblait tout juste avoir été béni par la pluie !

Je remontai tranquillement le long du chemin menant au village, sans être vu par le vieillard. Mon hôte était éveillé et il me demanda où j'étais allé. Lorsque je lui expliquai ce que j'avais vu et entendu, l'intérêt qu'il témoignait pour l'objet de mes errances se transforma en sourire amusé.

« Je vois que tu as trouvé le champ de Titus » dit-il, en émettant un petit rire étouffé.

« Mais pourquoi ce champ est-il si resplendissant ? Possède-t-il une source d'eau secrète ? »
Grand-Père se contenta de rire. « Bien sûr que non. Mais il possède Navoti. »

« Qu'est ce que cela ? » demandai-je en pensant que peut-être il existait un fertilisant secret accessible seulement à certains clans.

« Il possède la Voie Hopi » m'expliqua Grand-Père, après une pause pensive. « Il connaît les vieux chants qui rafraîchissent ses enfants maïs. Il récite ses prières correctement pendant le semis. Et, ce qui est plus important que tout, il sait qu'il ne faut pas se faire du souci, car l'angoisse nuit aux plantes tout autant que la sécheresse. Plutôt que d'angoisser, ce qui rendrait ses enfants nerveux, il va vers eux dans la chaleur du jour et il leur chante les vieux chants qui sont, pour ses enfants, source de courage ».

« Mais Grand-Père, les autres hommes s'aperçoivent sûrement de la différence de son maïs. Pourquoi n'apprennent-ils pas ses chansons et pourquoi ne chantent-ils pas à leurs maïs ? »

Mon vieux maître Hopi soupira. « Cela ne servirait à rien. Navoti ne vit plus dans les semences des autres ».

À la fin de ce mois important que je passai sur la mesa, je repartis en voiture vers le nord, en longeant la vallée de Rio Grande, pour rejoindre Taos, la ville où je demeurais. Lors de mon passage à travers chacun des dix-neuf Pueblos, je ressentis comme si quelque chose m'appelait. Je m'aperçus, peut-être pour la première fois, combien peu les anciennes cultures étaient pratiquées, même la luzerne.

Je ressentis comme si c'étaient les semences qui m'appelaient. Je pris conscience que la source du pouvoir que je ressentais était piégée dans les appentis, dans les pots de terre, dans les boîtes de café et dans les seaux remisés dans les coins sombres, elle l'était également dans les vieux tapis de maïs tressé.

Les graines qui m'appelaient étaient les vieilles graines, récoltées avant la venue des supermarchés, avant la venue des petits sachets en aluminium que l'on trouve sur les étagères des boutiques au début de chaque printemps.

C'étaient les graines dont Grand-Père m'avait parlé, celles qui possédaient encore le Navoti des âges passés. Après quelques cinquante années, leur vitalité était intacte. Le climat sec des hauts plateaux avait favorisé la conservation d'un ancien pouvoir qui vivait à l'époque où les hommes chantaient pour leurs plantes. C'est vers moi maintenant, que ces semences envoient leurs chants dans l'espoir d'être entendues avant de s'évanouir pour toujours dans l'oubli.

**Extrait de l'ouvrage publié par le Seed Savers Exchange "The First Ten Years" 1986.
Traduction de Dominique Guillet.**

Table des matières

1. Analyse de la notion de son.....	7
1.1 La notion de son.....	7
1.2 Sortes de sons.....	9
1.3 La dose.....	12
1.4 La représentation du son.....	14
1.5 La propagation du son dans un espace ouvert.....	16
1.5.1 Absorption par l'air.....	17
1.5.2 Influence du vent.....	18
1.5.3 Influence de la température.....	19
1.6 Absorption de sons par des surfaces dures.....	20
2. Historique.....	23
2.1 Rituels auprès de certaines communautés.....	23
2.2 Les dernières décennies.....	24
2.3 Recherches récentes.....	25
3. Théories et découvertes.....	29
3.1 Régulation de l'expression génétique.....	29
3.1.1 Protéines dans la plante.....	29
3.1.2 Régulation épigénétique de la synthèse des protéines par résonance d'échelle.....	31
3.1.3 Influencer la synthèse des protéines.....	32
3.2 Activation des gènes par agitation.....	37
3.3 Influence sur la perméabilité de la membrane cellulaire et la pénétrabilité de la paroi cellulaire.....	38
3.3.1 Cavitation.....	38
3.3.2 Sonication.....	39
3.4 Absorption des sons par les plantes.....	40
3.5 Résonances des organelles cellulaires.....	42
4. Observations confirmant les théories.....	44
4.1 Influence des fréquences sonores variables sur la croissance des plantes.....	44
4.2 La différence entre les compositions musicales et les séquences sonores épigénétiques décodées.....	46
4.3 La germination des graines.....	48
4.4 Absorption de nutrition foliaire et assimilation améliorée.....	50
4.5 Maturité précoce.....	51
5. Interactions entre fréquence, intensité, durée et température.....	53
5.1 L'influence d'une seule fréquence sonore.....	53
5.2 L'influence de la puissance sonore.....	53
5.3 Durée du traitement sonore.....	54
6. Le plant de tomate.....	55
6.1 Quelques données botaniques.....	55
6.2 Facteurs de croissance.....	55
6.2.1 Quelques facteurs climatiques.....	55
6.2.2 La distance de plantation.....	56
6.2.3 Étêter, tailler et fertiliser les fleurs.....	56

6.3 La fonction de quelques protéines.....	57
6.3.1 Extensine.....	57
6.3.2 Thaumatine.....	58
6.3.3 Cytochrome C.....	58
6.3.4 La protéine anti-sécheresse Tas 14.....	59
6.3.5 La protéine de floraison Lat52.....	60
6.4 Normes de qualité.....	60
7. Expériences avec des séquences sonores épigénétiques.....	61
7.1 Plants de tomate.....	61
7.1.1 Expérience de plein air.....	61
7.1.2 Expériences en serre.....	64
7.1.3 Expérience dans la région aride du Sénégal.....	65
7.2 Algues bleues.....	66
7.3 Maturation d'avocats.....	67
8. Effets secondaires néfastes.....	68
8.1 Séquences sonores épigénétiques.....	68
8.2 Les ultrasons.....	70
8.3 Autres sons.....	70
9. Plantes sensibles à certains sons spécifiques.....	71
9.1 La technique avec séquences sonores spécifiques.....	71
9.2 Son et nutrition foliaire.....	71
9.3 Autres techniques.....	72
10. Applications pratiques en agriculture et horticulture.....	73
10.1 Alternative pour la manipulation génétique et la sélection.....	73
10.2 Optimisation de la nutrition foliaire.....	74
10.3 Diminution des besoins en eau.....	74
10.4 Précocité et période de croissance raccourcie.....	75
10.5 Contre les maladies, fléaux et attaques diverses.....	75
10.6 Réduction de l'usage de pesticides.....	76
10.7 Des rendements plus élevés.....	77
10.8 Conservation.....	78
10.9 Applications dans l'industrie alimentaire.....	79
10.10 Autres applications possibles.....	80
10.11 Difficultés et coûts lors de l'utilisation de ces techniques.....	80
11. Description générale des expériences exécutées.....	81
11.1 Objectif.....	81
11.2 Matériel et méthode.....	81
11.2.1 Les plants de tomates.....	82
11.2.2 Le traitement sonore.....	82
11.2.3 Matériel et méthode ; la serre froide.....	83
11.2.4 Matériel et méthode ; Serre tropicale.....	88
11.3 Résultats et discussion : La serre froide.....	90
11.5 Conclusions.....	101
11.5.1 Conclusion : serre froide.....	101
11.5.2 Conclusion : serre tropicale.....	102
12. Conclusion générale.....	103

Introduction

Le titre de cette thèse de fin d'études peut être compris au sens très large. Cependant le titre est clairement défini avec des termes comme « croissance », « développement », « fréquences sonores » et « variables ». Dans variable on peut reconnaître le mot « varia » qui veut dire un peu de tout. On peut aussi décrire variable comme changeant. Ainsi on pourrait décrire la musique et le bruit comme une addition de fréquences sonores variant d'une fréquence vers une autre.

Le but de ce travail est de donner au lecteur neutre une vue d'ensemble claire pour savoir dans quelle mesure certains sons pourraient ou non avoir une influence sur la croissance des plantes. Pour éclaircir ce sujet assez controversé on aura besoin de savoir ce que sont véritablement les sons. Ensuite on abordera l'état actuel de la recherche sur ce sujet. On décrira plusieurs découvertes qui tentent d'expliquer l'influence de sons sur le développement et la croissance des plantes.

Pour illustrer une de ces découvertes on expliquera en détail l'expérience qui a été faite dans le cadre de cette thèse.

Dans la dernière partie on essayera de donner une vue plus concrète sur les applications possibles de ces techniques dans l'agriculture et l'horticulture.

Ce travail n'a pas pour fonction de faire une étude critique exhaustive de l'ensemble du sujet. L'appréciation de la valeur des découvertes décrites est laissée au lecteur. Chacun est libre de continuer cette recherche sur comment et pourquoi les plantes pourraient être sensibles à certains sons. Quelques remarques critiques et réfléchies proposées dans ce texte pourraient donner au lecteur la liberté de réfléchir à certaines questions.

Le but principal de ce travail est de procurer une vue d'ensemble sur les connaissances actuelles de l'influence de certains sons sur les plantes.

1. Analyse de la notion de son.

1.1 La notion de son.

La notion de son n'est pas facile à décrire en quelques mots. Il est même impossible de le considérer comme une constante. En effet le son se compose lui-même de tant de paramètres différents que la recherche en est parfois très difficile.

On peut rencontrer le son sous forme de musique, de bruit, de timbre, une composition de différents sons, une succession de sons, etc. Toutes ces formes de sons ont différentes propriétés. Il est difficile de trouver une définition bien précise qui permette de séparer le bruit de la musique.

Sans matière il n'y a pas de son possible selon la physique établie. Les fréquences acoustiques sont de caractère mécanique et elles ont besoin d'un milieu précis pour se propager. Cela ne vaut pas pour les ondes électromagnétiques qui n'ont pas besoin d'un tel milieu et peuvent se propager dans le vide.

La source sonore va entraîner les molécules de l'air dans un mouvement. Ce sont elles qui poussées par la source sonore qui vont se cogner contre les molécules avoisinantes. Les premières molécules rebondissent tandis que les secondes propagent le mouvement aux molécules avoisinantes successives, etc. Au fond, les molécules ne se déplacent pas beaucoup, c'est le mouvement qui se propage. Les molécules qui rentrent en collision l'une avec l'autre occasionnent une compression tandis que les molécules qui rebondissent causent une raréfaction ou dilatation. Le médium dans lequel le son se propage va donc successivement se compresser et se dilater. Ce médium pourrait aussi bien être un gaz, un fluide ou une matière solide, il peut être de l'air mais aussi bien de l'eau ou plus précisément chez les plantes le contenu d'une cellule et la paroi cellulaire. Chaque particule de matière va effectuer un mouvement élastique par rapport à son état d'équilibre initial. On peut constater que les molécules présentes dans une matière dans laquelle le son se propage, bougeront momentanément. De ce fait, il y aura très localement des endroits (ou se succéderont des endroits) avec une augmentation de concentration et d'autres avec des endroits de dilution de concentration. (Smith, 1988)

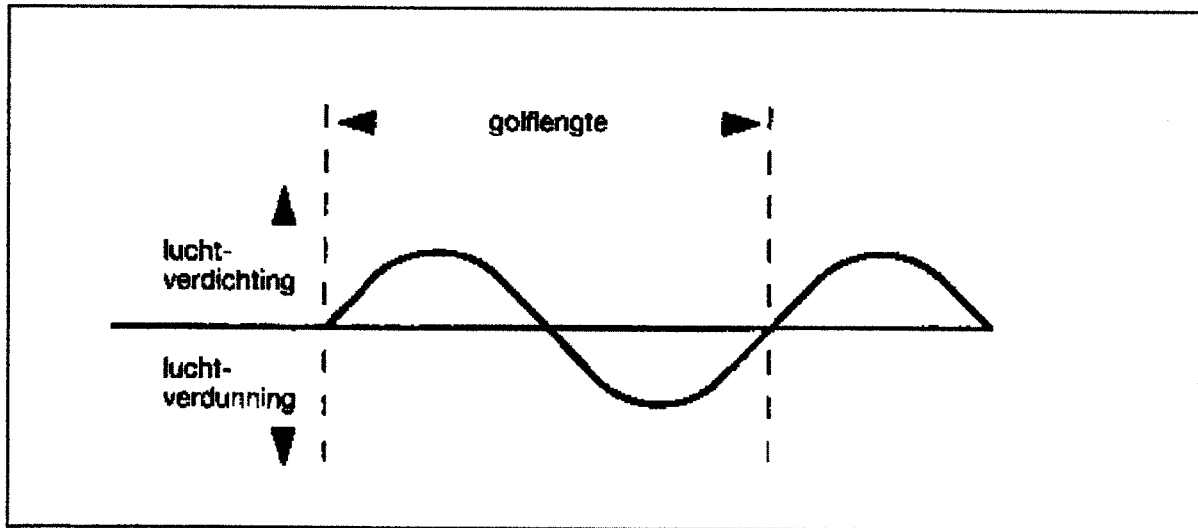


Figure 1 : L'amplitude ou la hauteur et la profondeur de l'onde donnent l'intensité. La longueur de la dilatation et de la compression est donnée par la longueur d'onde. (Smith, 1988)

La représentation graphique d'un ton simple est caractérisée par la succession régulière de montées et de descentes. Les pics donnent une mesure pour la compression et les descentes pour la diminution de la pression. Une fois que la cause de la perturbation qui crée le son s'arrête, les vibrations s'atténuent et disparaissent.

Tout cela se passe à une vitesse bien précise qui dépend du médium dans lequel le son se propage. La vitesse du son dans l'air est de 344m/s à 20°C et dans l'eau la vitesse est encore quatre fois plus rapide. La vitesse de propagation du son dépend très fortement du milieu dans lequel il se trouve. (Smith, 1988)

Entre la fréquence f , la longueur d'onde λ et la vitesse de propagation c du son, il existe l'équation suivante ;

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Par exemple selon l'équation auprès d'une fréquence de 1000Hz correspond une longueur d'onde de 33,4cm. (Lindeman, 1981)

Les phénomènes qui coïncident avec les fréquences sonores ne sont, selon Mirtskhulava (1991), pas seulement d'ordre mécanique. Ensemble avec les ondes sonores se créent aussi des champs magnétiques faibles qui pourraient à leur tour avoir une influence sur leur environnement. (Mirtshulava, 1991)

Joël Sternheimer (1992) qui est physicien quantique a aussi découvert certains phénomènes ondulatoires qui existent parallèlement avec les fréquences sonores. Il les appelle des ondes d'échelle.

1.2 Sortes de sons.

Un son clair ou simple nous montre une course sinusoïdale en fonction du temps. Il est complètement caractérisé par :

1. L'amplitude ou la déviation maximale qui est une mesure pour la force ou la pression sonore.
2. La fréquence ou le ton, donc le nombre de vibrations par seconde exprimée en Hertz. 1 Hz = 1 vibration par seconde, 1 kHz = 1000 vibrations par seconde.

Les vibrations d'air comprises entre 20 et 20.000 Hz peuvent être perçues par l'oreille humaine. On appelle cela le spectre audio perceptible par l'oreille humaine. Les fréquences en dessous de 20 Hz s'appellent des infrasons. Les ultrasons sont les fréquences au-dessus de 20.000 Hz ou 20 kHz.

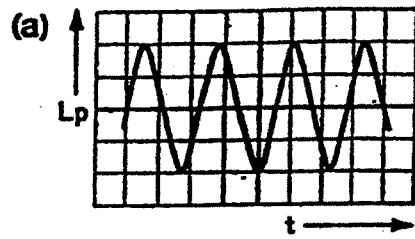
Un ton propagé par un instrument de musique ne se compose pas seulement du ton de base mais comprend aussi toute une série d'harmoniques. Le ton de base peut être considéré comme le porteur de ces harmoniques. Des harmoniques sont des fréquences sonores qui peuvent différer d'un ou plusieurs octaves par rapport à la fréquence de base. Ces harmoniques enrichissent le ton. A cause de ces harmoniques le ton résultant sur le graphique ne produit plus la forme pure sinusoïdale. Chaque instrument de musique est source d'autres harmoniques.

Un bruit est généralement d'une complexité extrême. Un bruit peut être réduit à une superposition de toute une série de tons singuliers de fréquences différentes. Le graphique représentant un bruit est très irrégulier.

Il existe aussi le son d'impulse, par exemple un coup de feu d'un fusil. Un son d'impulse est caractérisé par une très grande amplitude de départ qui diminue très rapidement jusqu'à zéro.

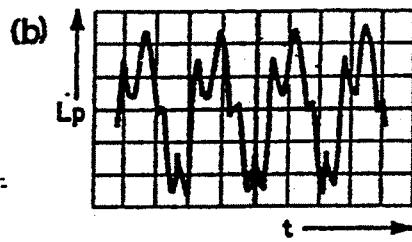
Dans le domaine de l'acoustique le changement de pression sonore est très important car l'oreille réagit seulement au changement de pression généré par le son. On veut dire par là que sans changement de pression sonore on ne perçoit pas le son et on ne peut donc pas le mesurer. (Hassall et al., 1979)

A partir de la représentation graphique ondulatoire d'un son on peut, par une analyse de fréquences, obtenir un spectre de fréquences dont est composé le son initial.



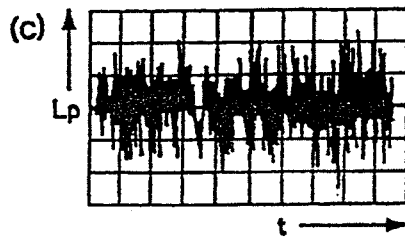
ZUIVERE TOON

TON SINUS



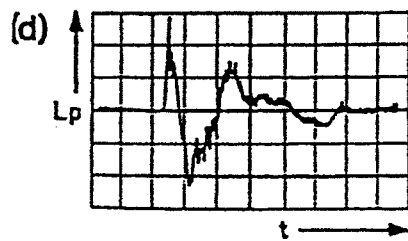
KLANK

TON



LAWAAI

BRUIT



KNAL

DETONATION

Figure 2 : Le cours d'un signal acoustique dans le temps. (Smith, 1988)

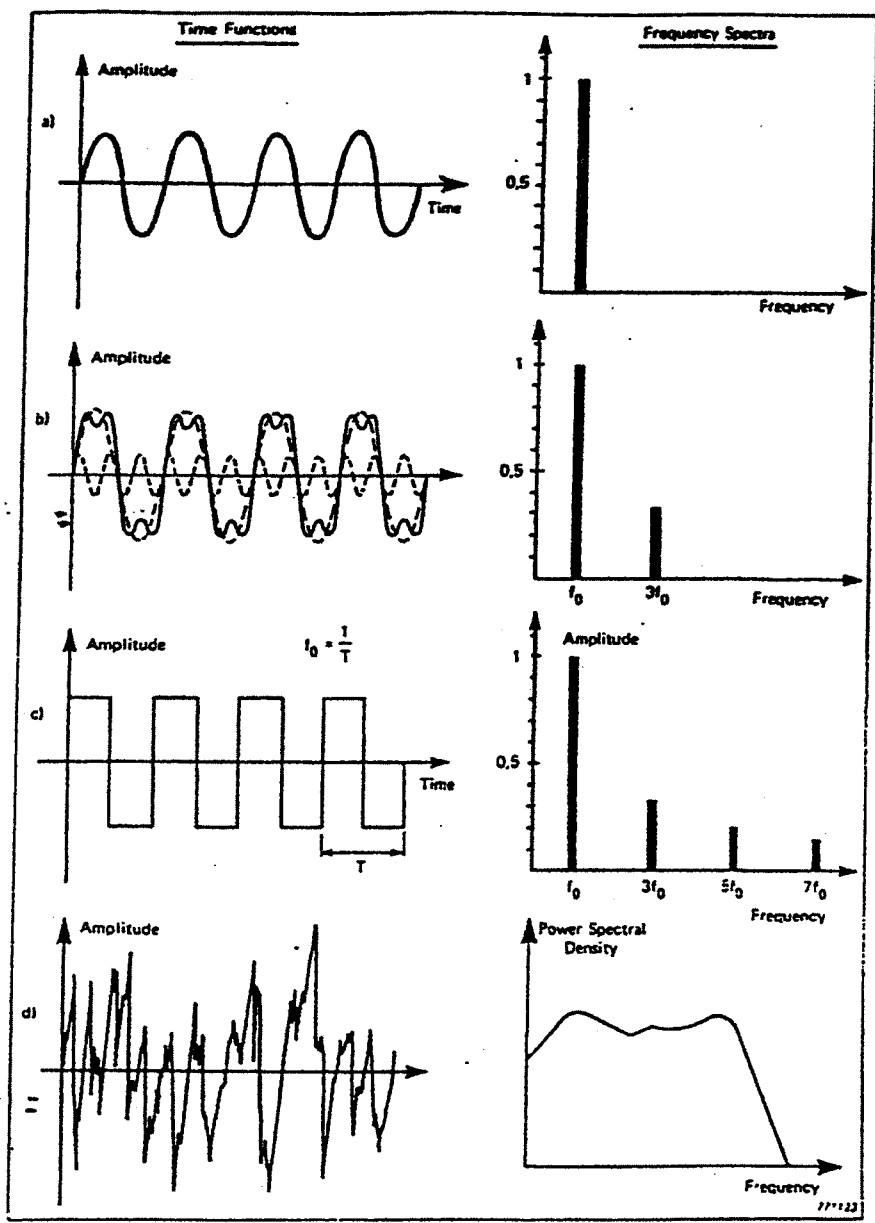


Figure 3 : Représentations de sons avec leurs spectres de fréquences respectifs. (Hassal, 1979)

1.3 La dose

Une source donne une impulsion de sons aux molécules de l'air qui l'entoure. Cette impulsion peut être plus ou moins forte. La force de l'impulsion sonore va déterminer l'intensité du son qui se propagera. L'intensité dépend de l'amplitude des pics et se mesure en Watt/m². La puissance ainsi émise crée localement une intensité sonore mesurée en Watt/cm² ou parfois aussi en Watt/m².

Chaque source sonore est caractérisée par la puissance sonore qu'elle peut émettre. Cette puissance sonore peut être également représentée comme énergie sonore émise par unité de temps et elle est mesurée en Watt.

On doit bien se rendre compte que même si la pression sonore peut paraître très grande, il ne s'agit que d'une quantité d'énergie très infime. Si on pouvait transformer l'énergie de notre voix directement en électricité, il faudrait que 100 millions de personnes puissent crier ensemble pour faire brûler une lampe de 100 Watt. Si on pouvait transformer la même énergie acoustique directement en chaleur, alors il faudrait un million de personnes criant très fort pendant une heure pour réchauffer une tasse de café.

La mesure Watt/cm² n'est pas très significative avec ce que l'on entend réellement. Le décibel est aussi une mesure de la puissance sonore mais sur une échelle logarithmique. Notre oreille perçoit les différences d'intensités sonores aussi d'une façon plus logarithmique, ce qui fait que le décibel nous paraîtra plus en accord avec la réalité perçue de l'intensité des sons mesurées. Quand l'intensité d'un son est dix fois plus forte qu'une autre, on appelle cette différence 10 décibel. Le décibel est une mesure pour le niveau de pression sonore. (Hassall et al., 1979 ; Smith, 1988)

Les exemples suivants donnent une idée plus claire du niveau sonore.

Groupe pop qui joue live : 110 dB

Parler normalement : 55 dB

Une bibliothèque calme : 35 dB

Pour arriver à doubler la pression sonore du bruit causé par dix haut-parleurs, il faudrait en mettre 100 à la place.

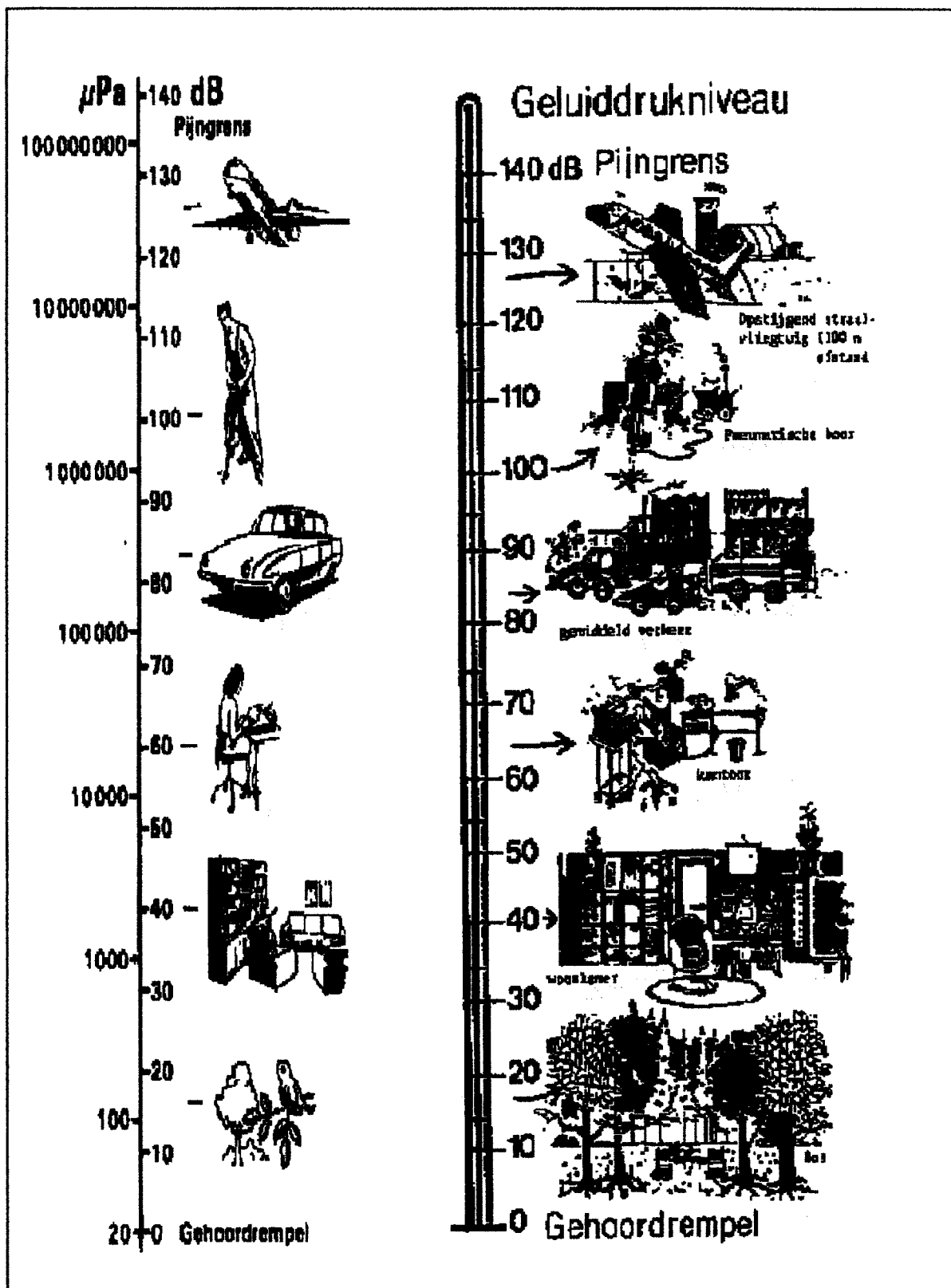


Figure 4 : Sources sonores et l'intensité sonore qu'ils produisent globalement. (Smith, 1988)

1.4 La représentation du son

On doit tenir compte que beaucoup de sons sont d'un caractère évolutif, on veut dire par là qu'ils se créent, existent et puis meurent. Pendant leur évolution ils peuvent changer d'intensité (pression sonore) et de fréquence (de ton).

Par ces faits on a besoin d'une représentation en trois dimensions afin de pouvoir décrire complètement un son. Dans la représentation tridimensionnelle on peut distinguer trois faces.

1. La face dynamique qui montre l'évolution de la pression sonore dans le temps (dB/sec).
2. La face spectrale ou le niveau sonore donné correspond à certaines fréquences spécifiques (dB/Hz).
3. La face musicale qui montre l'évolution des fréquences en fonction du temps (Hz/sec).

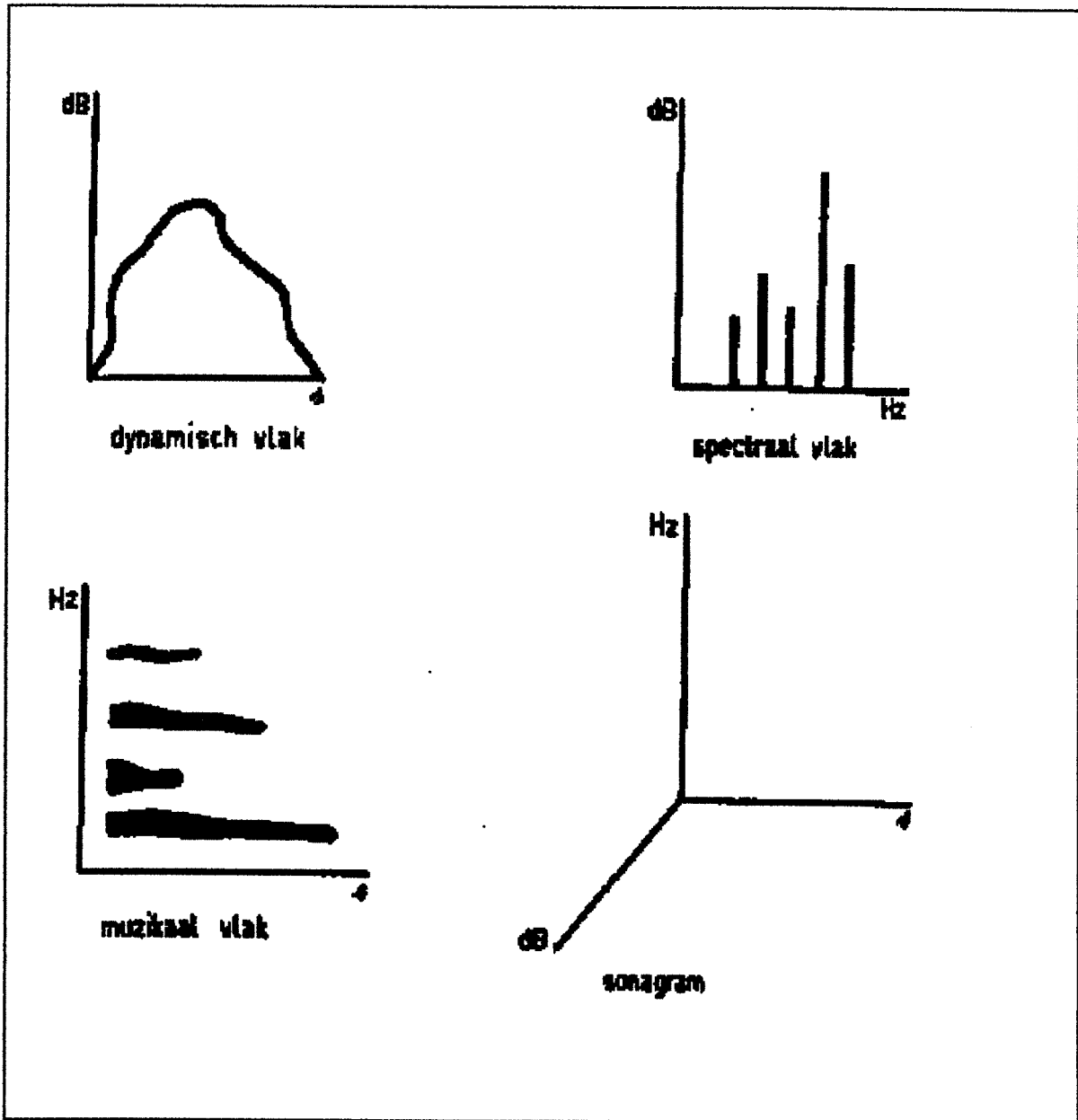


Figure 5 : La représentation tridimensionnelle d'un son variable. La figure donne une vue tridimensionnelle du bruit produit par un avion DC8 à 200 m de d'altitude. (Myncke, 1975)

La composition de ces trois faces donne le graphique tridimensionnel qui peut avoir une forme très irrégulière. On appelle le graphique tridimensionnel un sonogramme. Une autre manière pour représenter des sons est la notation musicale. Grâce à la notation musicale un averti ou un musicien pourra reproduire ou retrouver les sons représentés (Bruno H. Repp, 1990). La notation musicale permet d'écrire des compositions et de les représenter schématiquement. La figure nous montre quelques exemples de notations musicales. Les lettres en dessous des notes musicales montrent les acides aminés correspondants comme décrits dans le brevet de Joël Sternheimer (1995) sur la régulation épigénétique. On peut

prendre ces notation musicales comme des bouts de musique « classique » écrites. Pour de plus amples informations sur tous les symboles de la notation musicale on suggère de se référer à des cours de musique.

Beginning of the "Canon in D major" of Pachelbel

GTPase-activating protein, alternate splice form - human
WY H - K L - T I - E -

Enzyme de pigmentation des fleurs de Peunia hybrida
Chalcone synthase
EN INHIBITION
Début
M V T V E E Y R K A Q R A E

Symphony No.6: the first theme of the first movement

Alcohol dehydrogenase II (S. Cerevisiae): Enzyme for fermentation of yeast
L E H K D I

Figure 6 : La notation musicale. (Sternheimer, 1995)

1.5 La propagation du son dans un espace ouvert

Considérons un point comme source sonore qui diffuse des ondes sphériques dans un espace ouvert. Ces ondes se dispersent à mesure qu'elles s'éloignent de la source. Cela a comme conséquence que l'intensité sonore diminue. Durant chaque doublement de la distance séparant l'onde de sa source, la surface recouverte par l'onde sonore est multipliée par quatre. L'intensité est donc inversement proportionnelle au carré de la distance. Cela correspond à une diminution de 6 dB à chaque fois que la distance est doublée. (Myncke, 1975) La figure 7 nous montre clairement comment le son se disperse

au départ d'un point source. A cause de la dispersion du son, l'intensité diminue fortement. Durant la propagation d'un son sur de longues distances il y a encore d'autres effets qui causent des variations sonores. Sans tenir compte de certains obstacles les principaux effets sont :

1. Absorption par l'air
2. Influence du vent
3. Influence de la température

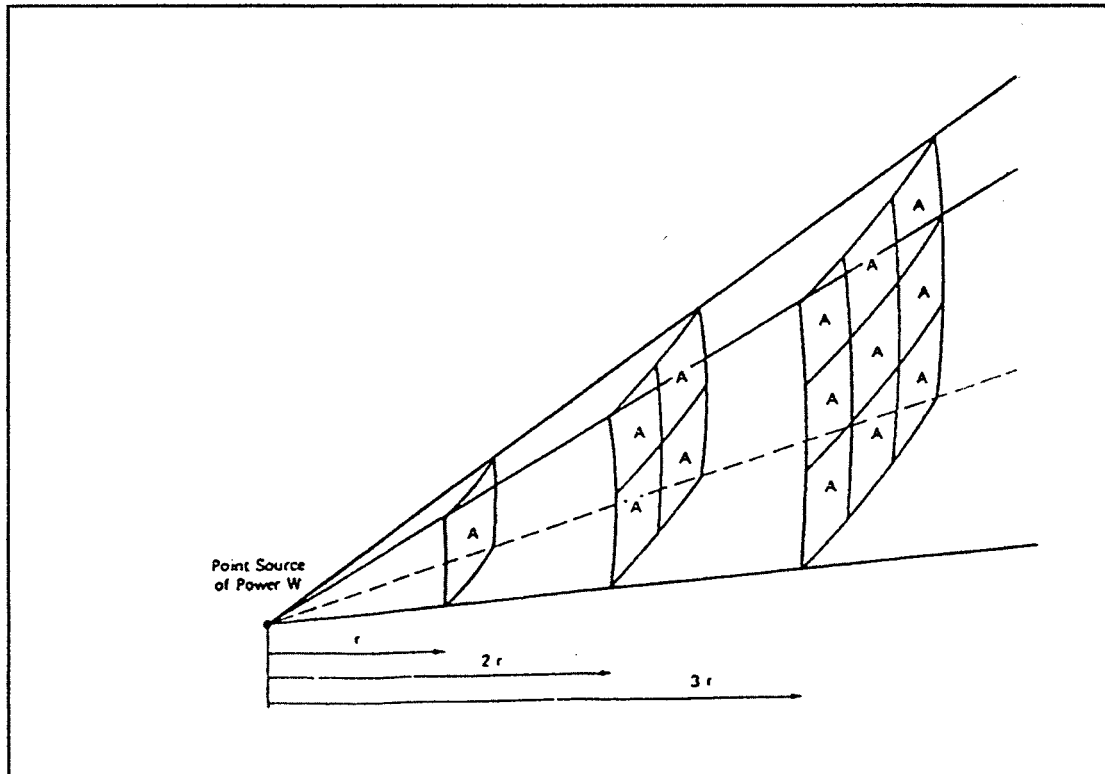


Figure 7 : La dispersion d'un son à partir d'un point comme source sonore. (Hassal, 1979)

1.5.1 Absorption par l'air

Il se passe une absorption moléculaire. L'onde acoustique exerce une certaine force sur les molécules. Cette force est transformée en chaleur, ce qui va de pair avec une perte d'énergie acoustique. La quantité d'énergie perdue et la diminution d'intensité correspondante dépend de la fréquence du son, de la viscosité, de l'humidité ambiante et de la température du médium.

Ce sont les fréquences sonores hautes qui sont absorbées le plus. (Table 1) Le maximum de l'absorption se situe auprès de 5 à 20 % d'humidité relative. On peut en déduire que la brume du matin ou que le brouillard aura moins d'influence sur la diminution de l'intensité sonore que l'air sec. Car plus l'humidité relative augmente, plus bas est le coefficient d'absorption du son de l'air par rapport à l'intensité du son. Cela veut dire que de l'air

plus sec peut faire diminuer plus fortement l'intensité sonore qu'une même quantité d'air plus humide. (Myncke, 1975)

Table 1 : Influence de la fréquence sonore sur la diminution du niveau de pression sonore à 100m à 10°C et 80% de taux d'humidité relative. (Myncke, 1975)

Fréquence Hz	Diminution du niveau de pression sonore DB/100m
500	0,15
1000	0,38
2000	0,93
4000	2,46
6000	4,80

1.5.2 Influence du vent

Il est connu que dans le sens du vent les bruits sont beaucoup mieux perçus sur des longues distances. Ce serait incorrect de croire que c'est le vent qui porte le bruit dans son sens. La vitesse de propagation du bruit est de 1200 km/h, tandis que du vent à 40 km/h est déjà considéré comme fort. L'effet de la vitesse du vent peut donc être négligée.

La figure 8 nous montre clairement comment le vent influence la propagation du son. La vitesse du vent sera plus petite à plus basse altitude qu'à plus haute à cause du frottement avec le sol. Cela a comme conséquence qu'il va exister un gradient de la vitesse du vent en fonction de l'altitude. Des mesures sur des prairies où il y avait un vent de 16 km/h nous donnent les différences d'intensité sonore suivantes entre le vent en face et dans la même direction; à 200m de la source sonore il y a une différence entre le vent dans la même direction et en face de 7 dB, à 100m : 5 dB, à 50m : 2 dB. Sur la figure on voit que la propagation du son va parcourir un chemin vers le haut s'il se déplace face à la direction du vent. (Myncke, 1975 ; Hassall, 1979)

Il est intéressant de prendre ces phénomènes en considération si on veut employer des sons dans des espaces ouverts à l'air libre.

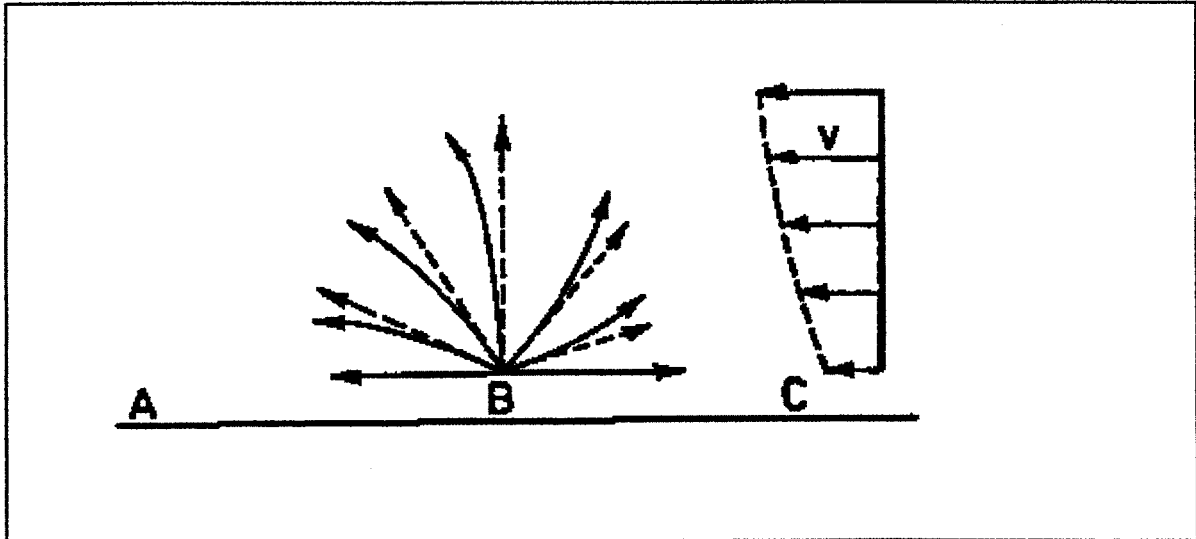


Figure 8 : Influence du vent sur la propagation du son. (V = vitesse du vent) (Myncke, 1975)

1.5.3 Influence de la température

Des différences de températures peuvent aussi avoir une grande influence sur la propagation du son sur de grandes distances. La vitesse du son est plus grande dans de l'air chaud et proportionnelle au carré de la température.

Pendant la journée le soleil réchauffe le sol. C'est pourquoi la température de l'air au sol sera plus haute que la température des couches supérieures. La nuit le sol va se refroidir à nouveau et il est possible que le gradient de la température s'inverse. (Myncke, 1975; Hassall, 1979) quand il y a un gradient positif de la température vers les couches supérieures, alors la propagation du son va courber vers le sol (c'est une situation d'inversion). Si inversement il y a un gradient positif de la température vers le sol, alors la propagation du son va courber vers les couches supérieures. En général la température au sol est plus grande ce qui aura comme conséquence que la propagation du son va pencher vers le sol. (Smith, 1988)

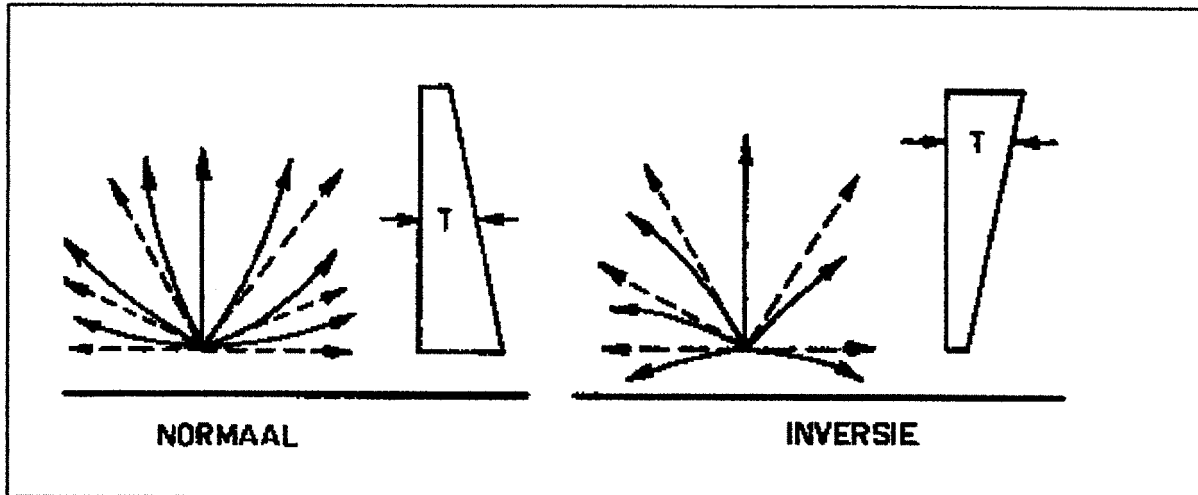


Figure 9 : Influence du gradient de la température sur la propagation du son. (Myncke, 1975)

1.6 Absorption de sons par des surfaces dures

Les murs dans des locaux ou des serres peuvent influencer très fortement l'acoustique. Selon les surfaces, il est possible que certaines fréquences sonores soient absorbées, réfléchies ou simplement laissées passer à travers.

Une surface va absorber une partie des sons qui passent et la transformer en chaleur. Une deuxième partie sera réfléchiée et une troisième partie va traverser. L'absorption du son par une surface dure est très dépendante de la fréquence et du type de matériel dont la surface est composée. (Smith, 1988)

Il existe plusieurs mécanismes d'absorption de sons. Physiquement on peut en distinguer trois principaux.

1. Absorption par porosité ;
D'habitude la quantité absorbée augmente proportionnellement avec la fréquence sonore. De telles surfaces sont par exemple : la laine de verre, mousse plastique avec des cellules ouvertes,...
2. Absorption par résonance (résonateur Helmholtz) ;
Un résonateur est un volume fermé comme une bouteille par exemple, qui est en liaison avec le monde extérieur par un col. Ce type de résonateur est aussi appelé un résonateur Helmholtz. La fréquence de résonance peut être trouvée par différentes formules.

$$fr = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{p}{b \times l}} \quad (\text{Hz})$$

fr = fréquence de résonance en Hz

c = la vitesse de propagation du son en m/s

p = la perforation ou le rapport entre le perforé et la surface totale
 b = longueur du col en m
 l = profondeur du volume en m

Des parois ou cloisons qui se composent de nombreuses petites cavités de résonances peuvent absorber une certaine quantité de fréquences résonantes.

Les feuilles des plantes possèdent aussi certaines cavités reliées à l'air libre. Ces cavités se situent derrière les pores des stomates. Il se pourrait que ces stomates soient influencées par certaines fréquences de résonances. (voir 3.4)

3. Absorption par une membrane ;

Une plaque attachée à une certaine distance parallèle d'une paroi possède aussi une fréquence de résonance qui est donnée par ;

$$f_r = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho}{m \times d}} \quad (\text{Hz})$$

ρ = le poids relatif de l'air en kg/m^2

m = la masse par unité de surface en kg/m^2

d = la distance jusque la paroi en m

Un exemple de ce cas est une fenêtre.

Une paroi lisse en béton massif n'absorbe presque pas de sons. Une surface comme cela réfléchira presque tous les sons.

Sur la figure 10 on peut remarquer les différents types d'absorption de sons. La figure nous donne aussi une bonne idée des fréquences sonores qui sont absorbées selon les différents types de mécanismes d'absorption. (Myncke, 1975)

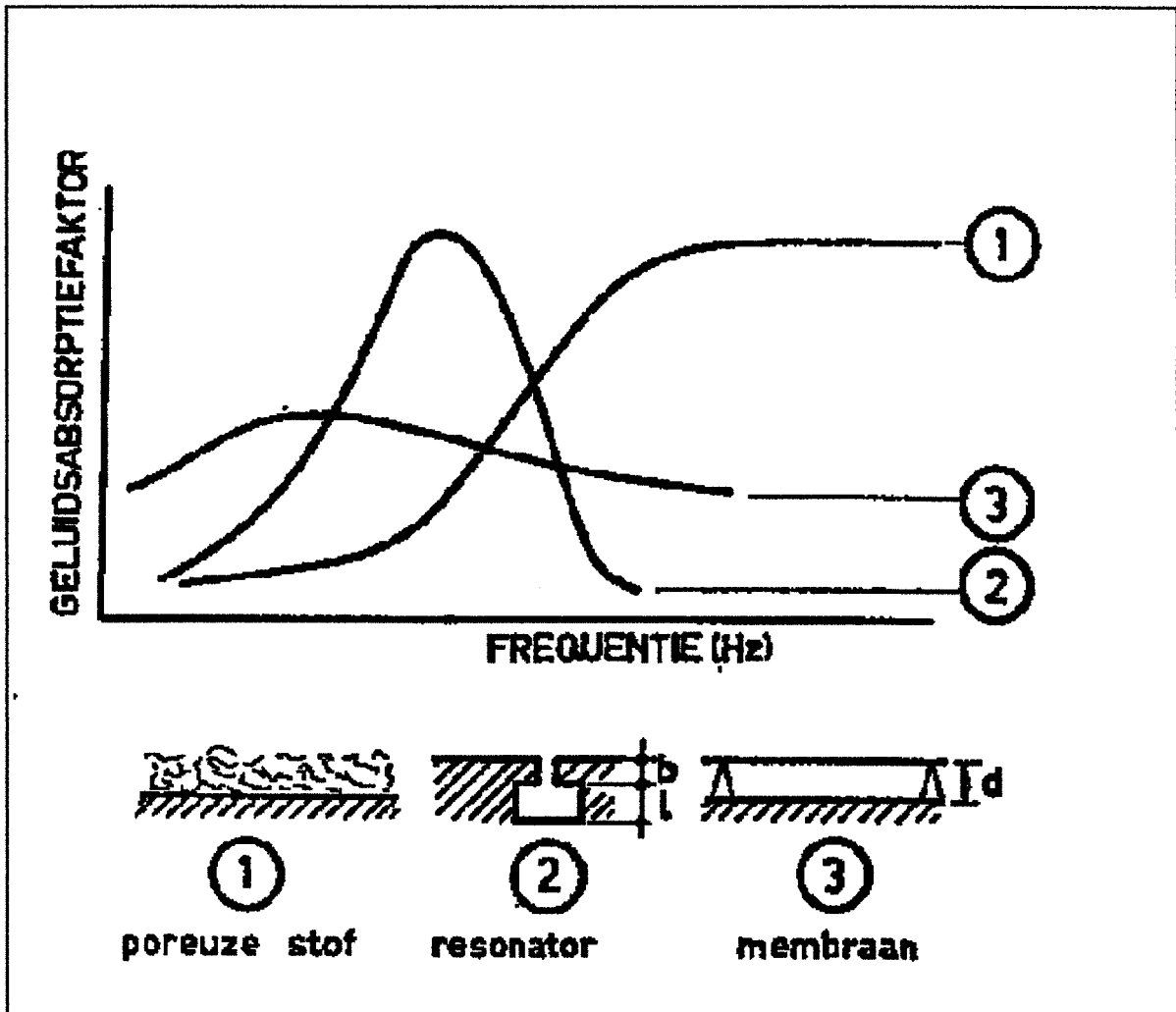


Figure 10 : Trois différents mécanismes d'absorption de sons. (Myncke, 1975)

Des surfaces comme des murs, des plafonds ou autres parois feront qu'une partie du son sera réfléchi. Tout ce qui n'est pas passé à travers et qui n'est pas absorbé par la paroi sera réfléchi. Cela va augmenter le niveau de pression sonore dans la pièce par rapport à un endroit en plein air. Une source sonore enfermée dans une pièce va causer plus de décibels que si elle se trouvait en plein air. Un observateur dans la pièce recevra plus de sons d'une intensité plus grande, que s'il se trouvait en plein air avec la même source sonore. (Myncke, 1975)

2. Historique

2.1 Rituels auprès de certaines communautés

Quelques histoires anecdotiques et sources historiques démontrent déjà l'existence d'une croyance que certaines suites de sons auraient une influence sur la croissance des plantes. Sur certaines îles de l'océan Pacifique il existe des agriculteurs qui imitent le chant des oiseaux de la région pour arriver à obtenir de plus grandes récoltes de leurs champs. (Malinowsky, 1930) De telles pratiques existent aussi en Inde.

En Inde une légende nous raconte que le dieu Krishna faisait jouer de la musique pour que ses plantes soient plus vigoureuses. Darwin laissait jouer sa fille au violon avec la conviction que ses plantes d'intérieur seraient influencées favorablement.

Les membres de la tribu Hopi vivant dans les plaines arides d'Arizona et du Nouveau Mexique ont aussi beaucoup d'expérience sur la musique et les plantes. Ils chantent des chants qui sont transmis de génération en génération pour améliorer la croissance des plants de maïs. Ces chants de maïs y sont toujours appliqués. (Pelt, 1996)

Les Hopis connaissent de tradition la figure mythique s'appelant Kokopelli. Kokopelli y est associé avec la fécondité et la germination. D'autres tribus l'appellent souvent "le joueur de flûte bossu". Pendant des siècles il a été peint sur les rochers et les poteries. La bosse serait un sac rempli de semences qu'il sèmerait pendant qu'avec sa flûte il leur insuffle l'esprit ou les enchanterait.

La rencontre entre l'ethnobotaniste, John Kimney et David Monongye, un maître spirituel de la tribu Hopi, nous raconte une belle histoire éclairante.

John raconte : *« devant moi il y avait un champ étendu de maïs, plus grande que la plupart de la région. Plus je me rapprochais du champ de maïs, plus clairement j'entendais le chant. Soudainement un homme âgé avec une barbe blanche est apparu en chantant à travers les rangées de maïs. Je devenais soudainement conscient de ce que je voyais. Le champ de maïs était magnifique et vigoureux et ça en pleine période de sécheresse. Le sol était sec et crevassé. Ces plants de maïs ne semblaient pas en souffrir beaucoup par rapport à beaucoup d'autres que j'avais remarqués dans la région du village. La plupart des agriculteurs se plaignaient mais ce maïs paraissait béni par la pluie. » « Pourquoi ce maïs paraît si rayonnant de santé ? » Demandais-je à David. Le grand-père répondait en souriant : « Il possède Navoti ». « Qu'est-ce que c'est ? » Lui demandais-je, pensant que ça pourrait être un engrais secret. « Il possède la voie Hopi ». Après une petite pause David commença à expliquer : « Il connaît les vieux chants qui rafraîchissent ses enfants, le maïs. Il prie correctement durant la semence. Le plus important, c'est qu'il sait qu'il ne doit pas se faire de soucis, car les soucis comme la sécheresse nuisent aux plantes. A la place d'être soucieux ce qui pourrait énerver ses enfants, il les approche dans la chaleur de la journée en chantant les vieux chants aux plantes, la source de courage pour ses enfants. »*

« Mais grand-père, les autres agriculteurs remarquent sûrement la différence avec leurs plantes. Pourquoi est-ce qu'ils n'apprennent pas ces chants et pourquoi est-ce qu'ils ne chantent pas ? » « Ca ne servirait à rien, Navoti ne vit plus dans les semences des autres, ... »

Cette histoire comme tant d'autres démontre que l'idée n'est certainement pas nouvelle que la musique aurait une influence sur la croissance et la santé des plantes. Cette idée est répandue dans le monde entier à travers légendes, chants, rituels et histoires de tous genres.

2.2 Les dernières décennies

Sous ce point on abordera quelques noms de pionniers et leurs activités. Plus loin dans cette thèse on abordera cela avec plus de chiffres et de données concrètes.

Il y a relativement peu de recherches disponibles sur le sujet. Le problème est probablement qu'il est très difficile de distinguer les paramètres du son et d'arriver à des conclusions. En tenant compte que le son est un facteur presque inconnu jusqu'à nos jours, il est très difficile de savoir quels sont les autres facteurs qui pourraient avoir des interactions avec lui. C'est aussi pour cette raison, qu'il est préférable que, dans des expériences de ce genre, tous les autres facteurs, hormis le son, soient le plus possible identiques.

On ne peut pas nier le fait qu'il existe aussi beaucoup de tabous et de préjugés qui rendent plus difficile la vie et le travail des chercheurs dans ce domaine. La science a d'énormes difficultés à rassembler des points de vue de plusieurs disciplines parfois très différentes et fort éloignées. Au long de ce travail on pourra remarquer que les connaissances parfois fort éloignées de la musique, la physique quantique, la biologie moléculaire et la biotechnologie etc. contribuent aux découvertes de nouvelles relations dans la recherche de l'influence de la musique sur les plantes. Aux quatre coins du monde il y a des chercheurs, chacun issu de sa spécialisation respective, qui essayent de comprendre et d'arriver à des découvertes sur la manière dont les sons influencent les organismes vivants. Par exemple certains acupuncteurs chinois ont découvert qu'on peut aussi faire de l'acupuncture avec des sons et que les plantes possèdent aussi des points d'acupuncture. (Hou, 1994) Pour arriver à cette découverte on a eu besoin des connaissances de disciplines très différentes comme la biologie, l'acoustique et l'acupuncture.

Recherche de Dr Singh

Durant les années soixante le Dr Singh, botaniste à l'université indienne d'Annamalai, faisait écouter certaines musiques aux plantes. Il y a peu d'informations sur ce sujet dans le livre de Jean-Marie Pelt « les langages secrets de la nature ». Le Dr Singh constatait que les plants traités avec de la musique avaient une croissance plus rapide et qu'ils devenaient plus robustes que les plants témoins. En plus il constatait que les plantes traitées musicalement paraissaient fleurir plus rapidement. Aussi il prétend avec quelques essais à l'appui que les récoltes sont plus riches quand on utilise un fond musical. Le Dr Singh pratiquait même quelques expériences à grande échelle dans lesquelles il fait émettre de la musique par des haut-parleurs sur des champs cultivés. Ces expériences lui indiquaient que les cultures poussaient plus vite sur les champs traités avec la musique que les témoins. (Singh, 1963 ; Pelt, 1996)

Recherche de Dorothy Retallack

Vers la fin des années soixante Dorothy Retallack, biologiste et mélomane, commençait des recherches sur l'influence de la musique sur les plantes. Elle a fait quelques découvertes qui

ont éveillé plusieurs réactions de controverse dans le monde scientifique. Selon D. Retallack les plantes auraient une préférence pour la musique orientale. Les plantes pousseraient jusqu'à deux fois plus vite. C'est surtout la musique « Raga » sur les instruments à cordes qui a beaucoup d'effets. En second lieu, les plants auraient une préférence pour la musique classique, surtout Johan Sebastian Bach, suivi par le Jazz pour autant qu'on en retire les percussions. Les instruments de percussions seraient totalement déconseillés car ils provoqueraient des lésions irréversibles. La musique rock, 'hard' et 'acid' cause à long terme beaucoup de dégâts aux plantes.

Elle a aussi constaté que certaines plantes choisissaient de pousser de préférence vers l'émetteur sonore plutôt que vers la lumière. Dans quelques expériences modestes, Jean-Marie Pelt devait constater le même effet sur la préférence de certaines plantes, même quand l'émetteur et la lumière était diamétralement opposés. (Retallack, 1973 ; Pelt, 1996) Certains ont tenté de découvrir des répertoires musicaux pour les plantes. On prétend par exemple que le *concerto pour violon en la mineur* de Jean-Sébastien Bach stimule la croissance des plantes. L'*Ave Maria* de Verdi favoriserait la floraison tandis que la *marche nuptiale* de Mendelssohn serait favorable en période de germination. (Pelt, 1996) L'approche scientifique par laquelle ils arrivent à de telles conclusions paraît assez floue et se rapprocherait peut-être plus du goût personnel des auteurs.

Recherche de P. Weinberger et M. Measures

Les Canadiens P. Weinberger et M. Measures ont contribué fortement durant les années septante à la connaissance dans les recherches sur ce sujet de l'influence de certains sons sur les plantes. Après avoir constaté des effets positifs de certaines musiques sur la croissance de plantules de blé d'hiver ils ont approfondi leur recherche. Ils ont cherché à déterminer la nature des sons et des intensités sonores qui produisent le meilleur résultat. De leurs expériences ressortaient que l'utilisation d'une fréquence de 5 kHz pour une intensité sonore de 92 décibels augmentait la croissance des pousses secondaires de façon tout à fait significative. (Weinberger, 1979) C'est une des recherches les plus sérieuses conduite dans la compréhension de la relation entre les plantes et les sons. Elles nous éclairent aussi pour comprendre comment certains sons influencent la croissance et le développement des plantes. Leurs recherches sont souvent citées en références dans certains brevets sur des techniques qui influencent les plantes par certains sons.

2.3 Recherches récentes

On ne peut pas nier l'existence pure et simple des découvertes parfois très controversées des dernières décennies. Dans la revue « New Scientist » plusieurs articles sur l'influence de la musique sur les plantes ont déjà été publiés. Un article récent parle d'un professeur de sciences, Lorne Cook, qui chaque année fait une expérience avec ses élèves. L'expérience consiste à faire passer plusieurs types de musiques à plusieurs groupes de plantes. L'auteur de l'article, Janice Dineen (1993), qui y fait référence dans son livre « Music » dit aussi que les plantes témoins continuent à pousser normalement et gardent leurs racines comme au début de l'expérience. Les plantes qui écoutaient la musique classique poussaient sous un angle de 45° vers les boxes et développaient des racines très vigoureuses avec beaucoup plus de radicelles que les plantes témoins. Les plantes écoutant

la musique rock mouraient ou montraient un fort ralentissement de leur croissance, celles qui survivaient avaient un très faible développement de racines et radicelles. J. Dineen continue son histoire en racontant que les élèves faisaient très attention à ce que les facteurs comme la lumière et l'eau soient identiques chez les différents groupes de plantes. (Curtis, 1999) Du fait que cette expérience est reproduite chaque année on pourrait peut-être supposer que le monde scientifique n'a pas pu nier l'existence des faits. Plus d'informations devraient être demandées pour avoir une vision plus claire sur le déroulement exact de ces expériences décrites dans l'article du New Scientist.

Le fait que les plantes semblent avoir des préférences musicales comme le suggère aussi cette expérience est illustré par différentes sources totalement indépendantes. Il semble surtout y avoir un accord sur l'influence positive de la musique classique sur les plantes.

Recherche de Jean-Marie Pelt

Jean-Marie Pelt est professeur de botanique à l'université de Metz et président de l'Institut Européen d'écologie (1999). Il a répété pendant quatre ans, de 1990 à 1994, des expériences sur la sensibilité des plantes à la musique avec quelques autres chercheurs. Ils faisaient des expériences pour étudier si la musique aurait une quelconque influence sur les plantes. Il n'y a pas beaucoup de détails sur la méthode, le plan de l'expérience etc. mentionnés dans son livre « Les langages secrets de la nature ». (Pelt, 1996)

Pour les expérimentations, ils ont utilisé des graines d'espèces clonées afin d'éliminer au maximum la variabilité génétique des plantes. Ce qu'il veut dire dans son livre par 'graines d'espèces clonées' n'est pas très clair. Les graines sont semées dans des boxes conçus pour ces expérimentations. Les plantes du premier box étaient soumises à la musique durant douze heures par jour. Les plantes de l'autre box servaient de témoins. Il était possible de régler la température, l'humidité et la luminosité des boxes. Ils ont reproduit plusieurs fois la même expérience sous les mêmes conditions avec à chaque fois une autre musique. Les résultats montrèrent que ces expériences ne sont qu'imparfaitement reproductibles et que le nombre de paramètres mis en œuvre dans de telles expériences est fort élevé. (Pelt, 1996) Neuf espèces ou variétés de plantes ont été utilisées dans ces expériences ; une volubile (haricot calypso), lentille, petit pois, haricot astrel, avoine, *Tradescantia* (misère), *Areca*, *Cereus*, *Chlorophytum*. Sept sortes ont vu leur croissance accélérée par la musique dans de proportions statistiquement significatives. Ce qui permet selon Jean-Marie Pelt d'affirmer sans aucune hésitation que « les plantes sont effectivement sensibles à la musique ». Chaque plante a réagi à sa manière. Certaines ont poussé plus vite que d'autres ; surtout l'avoine, les lentilles, et le chlorophytum qui sont fort sensibles à la musique de Vivaldi et de Mozart. D'autres plantes ont réagi à la musique comme à la lumière. Le haricot calypso, une plante volubile, en est un bel exemple qui orientait sa croissance vers l'émetteur, le préférant, plutôt que de pousser dans la direction de la lumière du jour (Pelt, 1996). Ceci confirme ce que Dorothy Retallack (1993) avait aussi remarqué auparavant .

La raison pour laquelle les plantes préfèrent pousser vers les émetteurs plutôt que vers la source lumineuse n'est pas encore expliquée. Ce phénomène est signalé par plusieurs auteurs indépendants.

Après avoir remarqué que la musique a un effet positif sur la croissance des plantes ils ont vérifié si les plantes préféraient certaines musiques à d'autres. Pour les trois sortes de

musiques qu'ils ont utilisées dans les expérimentations ils ne pouvaient pas déduire de règle générale. Les trois musiques utilisées sont de Vivaldi, Mozart et de Van Halen (rock). Aucune des trois sortes de musique n'avaient d'effets défavorables sur les plantes, donc aucune n'a été un requiem pour les plantes. Selon eux il est a priori très difficile de mesurer l'effet d'une sorte de musique pour une sorte de plante. (Pelt, 1996)

Après nous avoir raconté les expérimentations qu'il a faites à ce sujet, il finit avec la phrase ; « à l'heure où on parle tant de biodiversité, peut-être faut-il admettre que les plantes n'ont pas 'de goût standard', qu'elles sont inégalement sensibles à la musique au gré de leurs particularités biochimiques ou autres ». (Pelt, 1996)

Recherche de Joël Sternheimer

Les travaux et recherches de Joël Sternheimer (1992) nous apportent des informations plus précises sur la nature de la sensibilité des plantes à la musique (voir 3.1). Il aborde le problème par la physique quantique et la biologie moléculaire. Il a découvert certaines ondes jusque là encore inobservées et quelques applications concrètes sur les plantes. Ces découvertes sont petit à petit prises plus au sérieux par les entreprises, l'industrie, la recherche et le monde de l'horticulture et de l'agriculture. Certains appliquent déjà ces découvertes.

On pourrait craindre que pendant que le monde scientifique sera resté les yeux fermés, l'industrie ne l'aura pas attendu pour développer les premières applications et qu'un jour il pourrait se réveiller en constatant que les faits l'ont dépassé. Ainsi au Japon une entreprise vend déjà des premiers pains 'musicaux'. Un autre exemple est fourni par un producteur de tomates hollandais qui a utilisé des séquences musicales décodées pour contrer avec succès une épidémie virale sur ses plants de tomates. Les dirigeants de l'entreprise hollandaise confirment bien des influences physiologiques sur les plants de tomates traités. Ils ont constaté une meilleure croissance et un verdissement des feuilles des plants infectés par le virus et traités musicalement.

Il existe déjà plusieurs applications et brevets d'inventions qui démontrent une influence de certains sons sur les plantes. Dans certains de ces brevets on décrit quelques résultats plus que positifs d'expérimentations passées. On pourrait se demander si c'est réellement possible d'obtenir des récoltes doublées grâce à ces nouvelles techniques.

Un brevet d'invention ne prouve pas la vérité d'une technique ou découverte enregistrée. Souvent on appuie le brevet par d'innombrables illustrations, références et preuves nécessaires pour le soutenir.

Selon le département du commerce du ministère belge des affaires économiques il est très improbable qu'un particulier ou une entreprise fasse déposer son invention sans avoir la certitude, l'intérêt ou la preuve de la validité de son invention. Car pour faire déposer une invention il y a quand même aussi des coûts élevés, des risques et des charges administratives qui accompagnent une telle démarche.

Un brevet d'invention européen est toujours soumis à une recherche approfondie de recevabilité et de nouveauté. Il est toujours possible d'attaquer un tel brevet pour sa validité. Les coûts pour breveter une invention sont considérables. Une telle recherche approfondie de nouveauté et de recevabilité permet de contrôler la validité, la justesse et la

valeur du brevet. Cela est prévu ainsi dans la loi sur les brevets d'invention (PIIE, 2000). Une technique réalisable commercialement ne prouve pas pour autant que la technique repose sur un phénomène scientifiquement élucidé.

Recherche de Dan Carlson

Aux Etats Unis et en Australie existe une entreprise connue sous le nom de « Dan Carlson Scientific Enterprises » . La technique que Dan Carlson a développée s'appelle « Sonic Bloom ». Cette technique utilise des fréquences sonores qui améliorent fortement l'absorption foliaire des produits pulvérisés, engrais ou autre. Beaucoup de témoignages, expériences et brevets soutiennent la technique Sonic Bloom. Un nombre grandissant d'agriculteurs sont de fervents utilisateurs de cette technique et sont convaincus de l'efficacité des applications possibles avec Sonic Bloom.

Les plantes ne sont pas seules à être sensibles aux sons, l'être humain et d'autres organismes vivants le sont aussi. Dans ce sens il y a de plus en plus de recherches médicales menées actuellement. Tout un dossier sur la musique dans la médecine est publié dans le magazine renommé « Engineering in Medecine and Biology ». Les symptômes physiologiques et quelques applications médicales deviennent petit à petit plus connus sans qu'on en comprennent forcément totalement les mécanismes. Il y a encore relativement peu de connaissances dans la médecine autour des mécanismes mis en œuvre en utilisant des sons sur des organismes vivants. (Daemer, 1999 ; Schneck, 1999)

En conclusion on peut dire que ce domaine est encore insuffisamment exploré et qu'il ne reçoit pas l'attention qu'il mérite vu les applications énormes déjà possibles découlant des découvertes actuelles. Dans le monde entier, des chercheurs intéressés ont contribué difficilement aux premières découvertes autour du sujet de l'influence de la musique sur les organismes vivants.

3. Théories et découvertes

3.1. Régulation de l'expression génétique

Avant d'approfondir le mécanisme d'influence des sons sur l'expression génétique, voici un bref rappel de la fonction et de la formation des protéines.

3.1.1 Protéines dans la plante.

3.1.1.1 Propriétés des protéines

Les protéines interviennent dans tous les aspects de la vie. Elles sont parfois appelées "le support architectural" de la vie. Elles existent sous différentes formes: protéines de structure, protéines de transport, hormones, fournisseurs d'énergie, etc..

Les protéines de structure sont importantes en tant qu'éléments constructifs des membranes cellulaires, des organelles cellulaires et de tout un ensemble de structures cellulaires comme les mitochondries, les plastides et le réticule endoplasmique. Les extensines par exemple sont des protéines de structure de la paroi cellulaire.

Les protéines de transport sont surtout importantes dans les processus métaboliques pour le transport d'autres molécules ou électrons. Les cytochromes par exemple ont une fonction importante dans le transport d'électrons dans la chaîne respiratoire ainsi que lors de la photosynthèse.

Les hormones peuvent fonctionner comme des messagers chimiques pour transmettre des signaux ou induire des activités métaboliques comme la formation de certaines hormones de croissance pour les plantes.

La systémine est un exemple de régulateur de croissance des plantes. C'est un petit peptide composé d'acides aminés qui induirait l'activité de certains gènes de défense dans le tissu blessé des plantes.

Les enzymes en qualité de catalyseurs organiques contribuent à presque toutes les réactions biochimiques dans la cellule.

D'autres protéines ont un rôle important dans les mécanismes de défense et de résistance des cellules végétales contre les maladies et autres ravageurs (par ex. d'insectes). (Avila, 1995)

Certaines protéines jouent aussi un rôle en tant que livreurs d'énergie dans la cellule. On retrouve ainsi beaucoup de protéines dans l'endosperme de la graine où elles servent à emmagasiner de l'énergie.

3.1.1.2 La synthèse des protéines

Les protéines sont constituées de chaînes d'acides aminés. Les plantes ont le choix entre 20 différents acides aminés pour former leurs protéines. Tous ces acides aminés peuvent se combiner de différentes façons. A partir d'une chaîne de plus de 50 acides aminés on parle d'une protéine. Certaines protéines sont composées de plusieurs centaines d'acides aminés. (Raven et al., 1999).

Il existe de façon virtuelle un nombre infini de combinaisons possibles. Chaque protéine a une séquence d'acides aminés spécifique. (Avila, 1995).

L'information génétique:

Les chaînes d'ADN des chromosomes qui se trouvent dans le noyau de la cellule, portent l'information génétique nécessaire à la formation des protéines utiles au bon fonctionnement de la cellule. La suite des bases dans les molécules d'ADN est la matrice pour l'arrangement des acides aminés dans les protéines produites (voir figure 11).

Grâce à l'ARN messenger (transcription) et l'ARN de transfert (traduction) l'information que contient l'ADN est traduite en protéines. Les molécules d'ADN portent aussi l'information, fonctionnant comme une matrice, pour la production de l'ARNt et l'ARNm. (Avila, 1995).

Chaque morceau d'ADN qui porte le code d'une protéine est appelé gène.

Le processus de transcription

La molécule d'ARNm est aussi appelée ARN messenger. L'ARNm reprend les morceaux d'information de l'ADN qui codent pour une protéine (voir fig.11). Les gènes sont retranscrits de l'ADN vers l'ARNm. C'est ce que l'on appelle le processus de transcription. Après cette phase de transcription l'ARNm quitte le noyau de la cellule et migre vers les ribosomes du "cytosol". Les protéines sont fabriquées sur le ribosome. L'ARNm accroché au ribosome possède la suite de bases codant pour une protéine. L'information se trouvant sur l'ARNm est lue par le ribosome.

Le processus de traduction ou d'élongation

Dans les ribosomes les codes ARNm sont changés en protéines spécifiques. C'est ce que l'on appelle le processus de traduction. L'ARNm sert de matrice pour la formation d'une protéine spécifique (voir fig.11). A partir de maintenant l'ARNt entre en jeu. Différentes molécules d'ARNt sont également produites dans le noyau cellulaire, comme l'ARNm. Il existe au moins un type d'ARNt par type d'acide aminé. Les molécules de transfert ou ARNt portent chacune un acide aminé spécifique.

Le code de l'ARNm est maintenant changé dans le ribosome en une protéine grâce à l'action des molécules d'ARNt. Les molécules de l'ARNt portent un par un l'acide aminé spécifique vers le ribosome. En fonction de l'ordre des bases de l'ARNm d'autres acides aminés seront portés vers le ribosome. Les acides aminés qui arrivent au ribosome sont ensuite, selon le code de l'ARNm, combinés dans un ordre donné pour former une protéine. La chaîne

d'acides aminés formée au ribosome est en fin de compte la protéine déterminée correspondant au code du gène du noyau cellulaire. (Haesaert, 1997).

3.1.2 Régulation épigénétique de la synthèse des protéines par résonance d'échelle.

Une série de recherches et de découvertes récentes sur le caractère de sensibilité des plantes à la musique est exposée par Joël Sternheimer (1992). Il analyse le problème par la physique quantique et la biologie moléculaire. Pour pouvoir comprendre sa théorie une connaissance sur la formation des protéines dans la cellule est nécessaire. (voir 3.1)

Le travail de Sternheimer est basé sur plusieurs phénomènes complexes et les lois de la physique quantique. Pour résoudre certains problèmes liés à sa discipline il a formulé l'existence d'ondes encore alors inconnues.

Enfin il est utile de savoir qu'en physique quantique la matière a un double aspect ondulatoire et corpusculaire et selon l'approche on considère la matière soit comme un phénomène d'ondes, soit comme un corps avec une masse.

Un des articles de base pour comprendre la découverte de Joël Sternheimer a été publié le 12 décembre 1983 au C.R.Acad.Sc.Paris. Cet article, intitulé "music of elementary particles" est présenté par André Lichnerowicz. Sa recherche prouve l'existence de lois 'musicales' dans l'organisation vibratoire de la matière.

Ces ondes qu'il a découvertes relient plusieurs 'échelles' ou 'niveaux' d'un système de corps quantiques. C'est-à-dire que les ondes d'échelle relient la partie inférieure d'un système avec la partie supérieure dont elle est composée et vice versa. Pour cette raison il les a appelées les 'ondes d'échelle'.

Ces ondes d'échelle servent de système de communication entre la partie plus petite (ou inférieure) et la partie plus grande (ou supérieure) d'un même système. On pourrait considérer tous les éléments et composants qui contribuent à la synthèse des protéines comme faisant partie d'un même tout ou d'un même système. Selon la théorie on pourrait aussi considérer que tous les composants qui contribuent au processus de synthèse (acides aminés, ARNm, ARNt et futures protéines) interagissent selon un système de communication par ondes d'échelle. Ce système de communication entre les différentes parties contribuerait à une meilleure coordination de tout le processus de synthèse par phénomènes de résonances (Sternheimer, 1992; Pelt, 1996).

On pourrait se demander si ces processus valent aussi pour d'autres combinaisons chimiques et leurs réactions entre elles. Il est étonnant de constater à quel point on retrouve peu d'articles dans la littérature physique sur cette théorie.

Le 28 mai 1994 la revue scientifique 'New Scientist' a publié un article à son sujet avec pour titre "Good vibrations give plants excitations". Cet article décrit sa découverte de façon schématique ainsi que les possibilités qu'offre sa technique pour influencer la synthèse des protéines dans les organismes. (Coghlan, 1994).

Au vu de toutes les implications qui sont en corrélation avec la découverte de Sternheimer on peut s'étonner du peu de littérature scientifique critique disponible sur le sujet.

3.1.3 Influencer la synthèse des protéines

Selon Sternheimer (1992) le système de synthèse des protéines avec les acides aminés de l'ARN, les ribosomes et l'ARN de transport permet de contrôler le bien-fondé de sa théorie d' 'ondes d'échelle' et de 'résonance d'échelle'. Sur la base de ses découvertes en physique Sternheimer a développé une technique qui permet d'influencer le processus de synthèse des protéines.

Cette technique est décrite de façon détaillée dans un brevet. La technique est brevetée au niveau international depuis 1992 sous le titre: "Procédé de régulation épigénétique de la biosynthèse des protéines par résonance d'échelle." (Sternheimer, 1997) Le brevet d'invention décrit en détail le fonctionnement, donc de quelle façon on peut influencer la synthèse des protéines par des séquences précises de sons. Il serait plus précis de dire que sa technique permet dans une certaine mesure d'influencer l'expression des gènes.

La limite, inhérente à sa technique, est que des cellules aptes à produire les protéines doivent être présentes dans l'organisme avant de pouvoir l'appliquer et influencer leurs synthèse.

Les séquences sonores épigénétiques spécifiques peuvent alors dans certaines mesures stimuler ou inhiber le processus d'élongation de la protéine correspondante.

Sternheimer mentionne que cette méthode offre la possibilité de stimuler ou d'inhiber l'expression d'un gène donné avec un facteur allant jusqu'à 20.

Quand l'acide aminé, transporté par son ARN de transfert ou ARN-t, se fixe pendant la synthèse au ribosome il doit, selon ses calculs, émettre un signal. Ce signal est une succession de fréquences. La suite des intervalles de fréquences, inhérent au processus de synthèse, fonctionne comme un 'message' qui accompagne le processus de synthèse de la protéine et qui le régule dans l'organisme où elle a lieu. La suite des intervalles de fréquences est invariante d'échelle.

Un enchaînement de phénomènes de résonances entre les différentes fréquences des acides aminés, ARN-t et ARNm et la protéine correspondante sert de coordination du processus de synthèse. L'organisation de cette suite de fréquences d'ondes des acides aminés de la chaîne protéique forme une véritable série de fréquences correspondant à une séquence spécifique propre à la protéine. Quand on traduit ces séries dans le spectre auditif elles forment des sortes de mélodies. Une mélodie qui correspond à une protéine donnée s'appelle une séquence sonore épigénétique ou une protéodie. Sternheimer a également découvert que les lois qui sont à la base de ces séquences son montrent de fortes correspondances avec celles qu'on retrouve dans les compositions musicales.

A chaque acide aminé correspond une certaine fréquence calculable. Les signaux servent selon Sternheimer, par des effets de résonances, à lier les acides aminés avant qu'elles ne soient liées chimiquement, avec la protéine en construction dont elles feront partie. (Sternheimer, 1992; Pelt, 1996).

Le mécanisme d'absorption du son

Quand les plantes 'écoutent' ou absorbent les mélodies qui passent, les ondes acoustiques sont transformées 'microphoniquement' en ondes électromagnétiques, qui à leur tour, sont source des 'ondes d'échelles'.

Les ondes sonores sont transformées sur les plantes en courants électriques dont la modulation est source d'ondes d'échelles. Quand les ondes sonores atteignent certains endroits des cellules elles sont transformées en ondes électriques. Les endroits où a lieu ce processus de transformation des ondes sonores sont ceux de résistance électrique minimale de la plante. Ces points chez la plante sont analogues aux points d'acupuncture des plantes. On pourrait comparer ce processus de transformation sonore avec ce qui se passe dans l'oreille humaine quand les sons atteignent les cellules ciliées. Celles-ci sont des cellules spécifiques présentes dans la cochlée de l'oreille humaine et sensibles aux stimulus sonores. Dans ce cas précis les cellules ciliées sont les endroits de résistance minimale comme aussi les points d'acupuncture chez l'homme. Dans ces cellules ciliées très sensibles, des courants électriques sont formés suite à la réception des sons. Les courants émis sont appelés « potentiels microphoniques » car ils prennent les mêmes formes que les ondes sonores telles qu'elles se produisent dans un microphone. (Sternheimer, 1993).

Après ce processus de transformation des ondes sonores, les ondes d'échelles atteignent les ribosomes où elles influencent la synthèse des protéines par des effets de résonance. Tout le système qui sert à la production de la protéine commence alors à produire la protéine correspondant spécifiquement à cette mélodie. Pour chaque protéine il est possible de décoder la séquence sonore épigénétique. Il est possible de décoder la séquence sonore stimulante d'une protéine. Sur cette même base théorique, Sternheimer peut décoder la mélodie qui freine la synthèse de certaines protéines. Il est donc aussi possible de décoder des versions 'inhibitrices'.

Les séquences sonores inhibitrices sont comme une sorte de séquences sonores d'anti-phase (ou une séquence sonore symétrique) par rapport à la séquence stimulante.

Selon qu'on administre la séquence sonore spécifique en phase ou en anti-phase elle va stimuler ou inhiber la synthèse de la protéine correspondante (Sternheimer, 1998).

Les mélodies sonores obtenues sont des transformations des mélodies moléculaires des protéines dont les mélodies sonores sont 76 octaves plus basses que les fréquences des protéines à l'échelle moléculaire. L'information est contenue par les suites d'intervalles identiques entre les séquences aux différentes échelles (Sternheimer, 1993).

Après décodage d'une certaine protéine selon la technique décrite dans le brevet de Joël Sternheimer, on obtient une série de fréquences spécifiques correspondant à la protéine. Selon le modèle, différentes protéines possédant une même série de fréquences identiques auront un effet agoniste l'un sur l'autre. Ces protéines-là possèdent des fréquences dites homologues et sont appelées des protéines homologues. Lors de la synthèse d'une de ces protéines, toutes les autres protéines homologues, avec des séries de fréquences correspondantes, seront également influencées.

Un phénomène se produit où les différentes protéines homologues peuvent influencer leurs processus de synthèse. Par une sorte de mécanisme de résonance les différentes protéines homologues influenceront leurs synthèses en la stimulant ou l'inhibant, pendant que leurs acides aminés peuvent se différencier. Le décodage d'une même série d'acides aminés

résulte en une même série de fréquences mais ce n'est pas vrai réciproquement. Ces interactions par résonance d'échelle entre protéines homologues servent de cette façon pour influencer différentes protéines à d'autres endroits de synthèse. Ces mécanismes d'interactions sont appelés par Sternheimer des « interactions épigénétiques non-locales dans l'expression des gènes ». Ces sortes d'interactions diffèrent clairement des interactions chimiques connues. D'après Sternheimer ces mécanismes contribuent à maintenir certains équilibres entre la synthèse de différentes protéines.

Selon les chercheurs qui utilisent cette technique, elle permet de contrôler les propriétés. Grâce au code de leurs acides aminés il est possible de prévoir la fonction de certaines protéines. Les séries de fréquences des protéines décodées peuvent être traduites en séries de fréquences sonores correspondantes. Ces séries de fréquences sonores sont aussi appelées séquences sonores épigénétiques. Selon Sternheimer on pourrait grâce aux mêmes qualités de résonance, influencer la synthèse des protéines. Cette technique leur permet de régler l'expression des gènes épigénétiques et ceci selon Sternheimer (1997) d'une manière beaucoup plus souple et contrôlable que par modification génétique.

Certaines séries d'expériences où l'expression des gènes est influencée par ces séquences sonores spécifiques épigénétiques furent déjà effectuées. Chaque fois, selon les chercheurs, les effets des traitements sonores ont été observés à l'échelle macroscopique. Joël Sternheimer précise avec son modèle, que ce n'est pas n'importe quelle musique qui a une influence sur les plantes. Il s'agit d'une suite bien précise de fréquences sonores spécifiques qui contiennent une information bio-physique très précise. Les sons audibles sont pour lui le meilleur moyen de transmettre cette information : le contrôle du son est plus facile, son utilisation donne plus de garanties de sécurité et le son comme porteur a plus d'avantages pratiques que d'autres ondes électromagnétiques porteuses existantes. (Sternheimer, 1995)

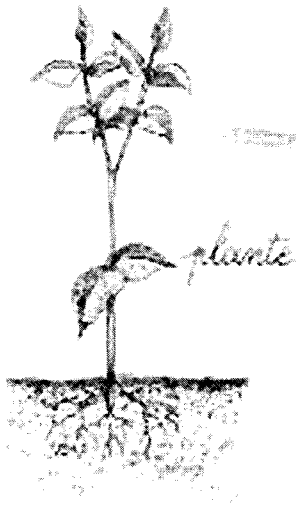
Naturellement l'utilisation de sa technique exige une parfaite connaissance de la plante avec laquelle on veut mener l'expérience, car de la connaissance des protéines à stimuler ou à inhiber découle la composition musicale. Sur la base de ses nouvelles découvertes Sternheimer a fait réaliser des expériences (voir 8) et obtenu des résultats positifs (Sternheimer, 1992; Pelt, 1996). Les expériences réalisées dans le cadre de cette thèse sont basées sur des techniques développées par Joël Sternheimer.

Très schématiquement on pourrait suggérer, sur la base du modèle développé par Sternheimer, que les structures de la matière vivante sur la base d'une extension de la physique quantique, supposent des vibrations, qui, quand elles changent d'octave, deviennent de la musique audible. (Sternheimer, 1995; Pelt, 1996).

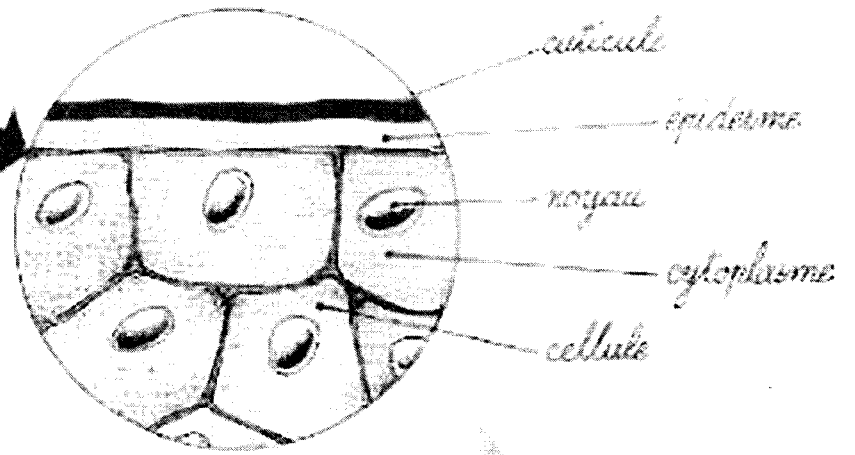
Les structures de la matière vivante supposent des vibrations, cependant, explique Joël Sternheimer, « les vibrations quantiques ne font pas de la musique, c'est la généralisation que j'en propose qui en leur adjoignant des harmoniques leur fait véhiculer une information laquelle est invariante d'échelle ». Cependant le résultat diffère de la musique, même s'il y a une intersection non-vide avec les mélodies issues de l'inspiration humaine. C'est cette intersection qui, selon Sternheimer, permet de rendre compte des effets observés notamment de la musique sur les plantes. L'effet des séquences sonores épigénétiques est produit par l'information qu'elles contiennent, laquelle est invariante d'échelle et donc

transposable et principalement contenue dans la suite des intervalles des fréquences et de la structure harmonique qui en découle, c'est à dire dans la variation du son et son timbre et non par le son lui-même. De telles séquences sonores épigénétiques suivent les mêmes lois d'harmonie, de mélodie, de rythmique et de tempo que la musique 'classique' mais pas les mêmes lois cognitives. (Sternheimer, 2001)

La théorie est ici développée de façon simplifiée mais il s'agit en réalité d'un phénomène très complexe, où toutes les différentes parties qui participent à la synthèse des protéines interagissent par ondes d'échelles et permettent ainsi une meilleure coordination du processus de synthèse.

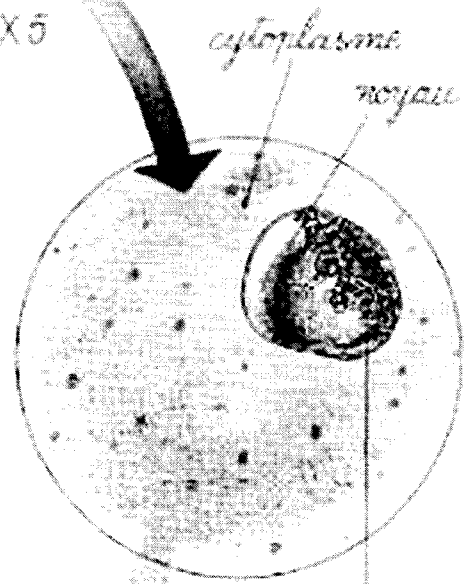


X 1000



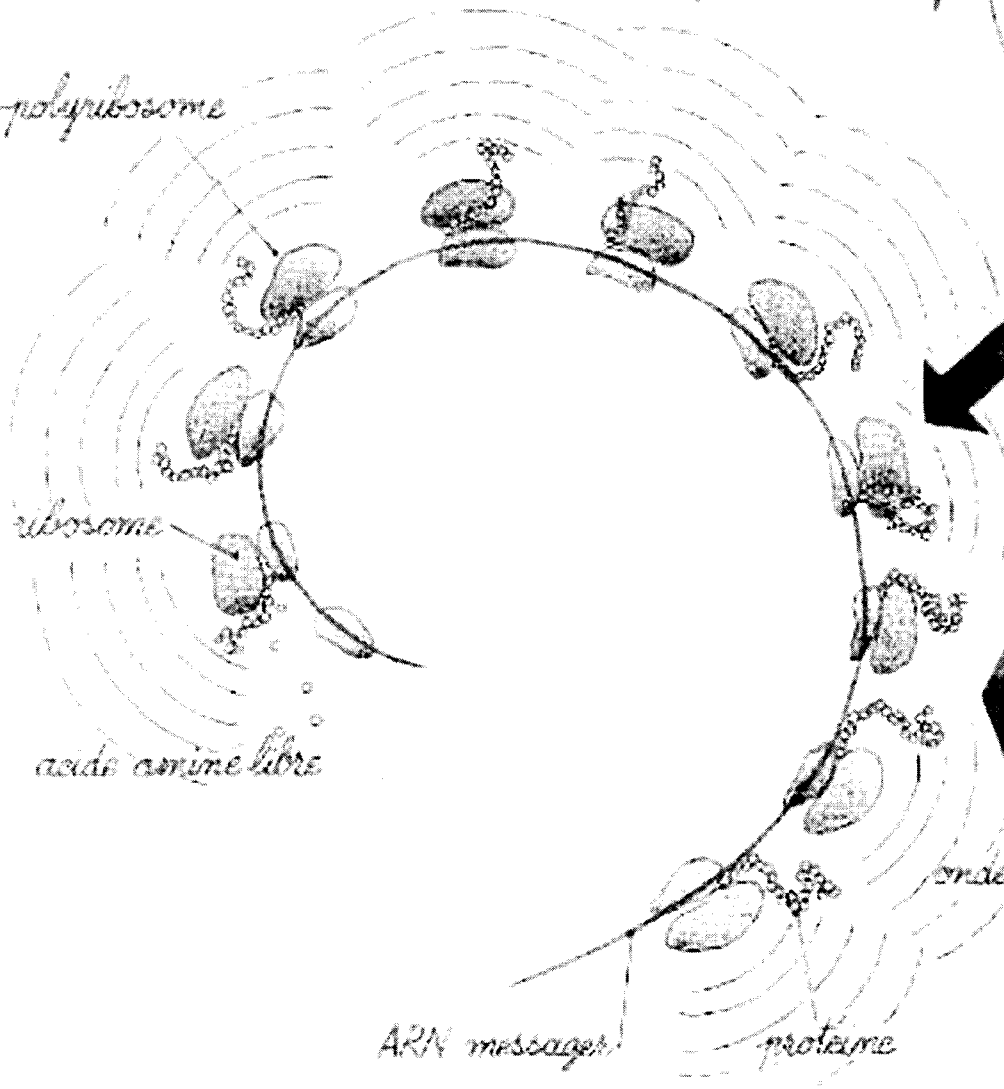
transcription de l'information
génétique en ARN messager dans
le noyau, puis traduction de
l'ARN messager en protéine dans le
cytoplasme

X 5



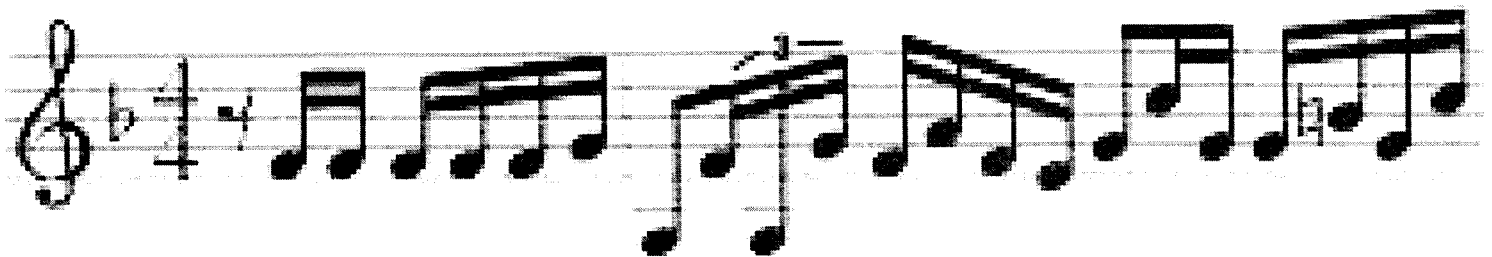
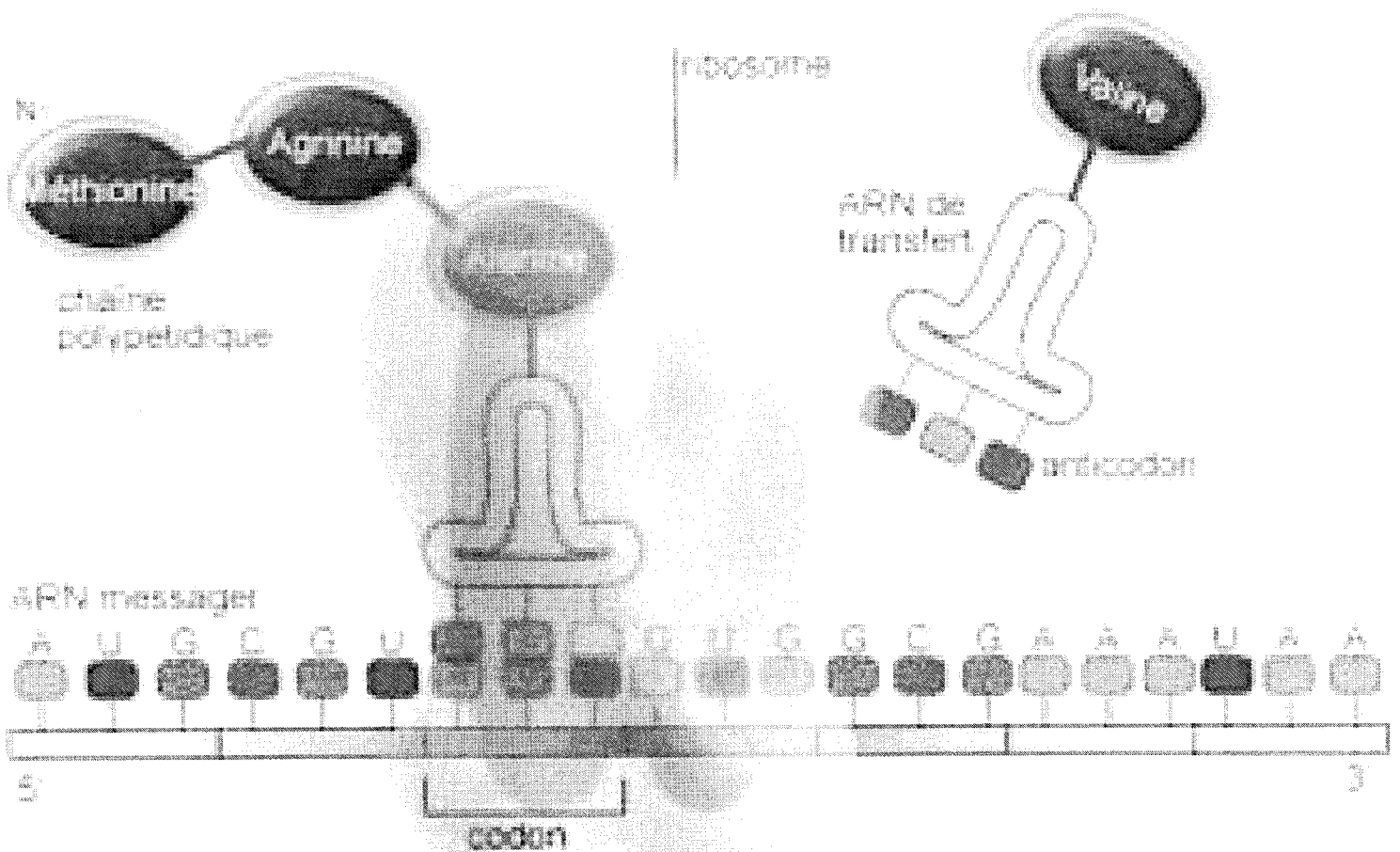
chromatide
= information
génétique

X 50



les ondes émises
lors de la synthèse des
protéines, permettent
une communication
avec l'ensemble de
l'organisme

onde d'échelle



Des séquences musicales précises, tel une clé ou un code secrêt, peuvent réguler, stimuler ou inhiber la biosynthèse des protéines correspondantes.
 SRP : Séquences de Résonances des Protéines

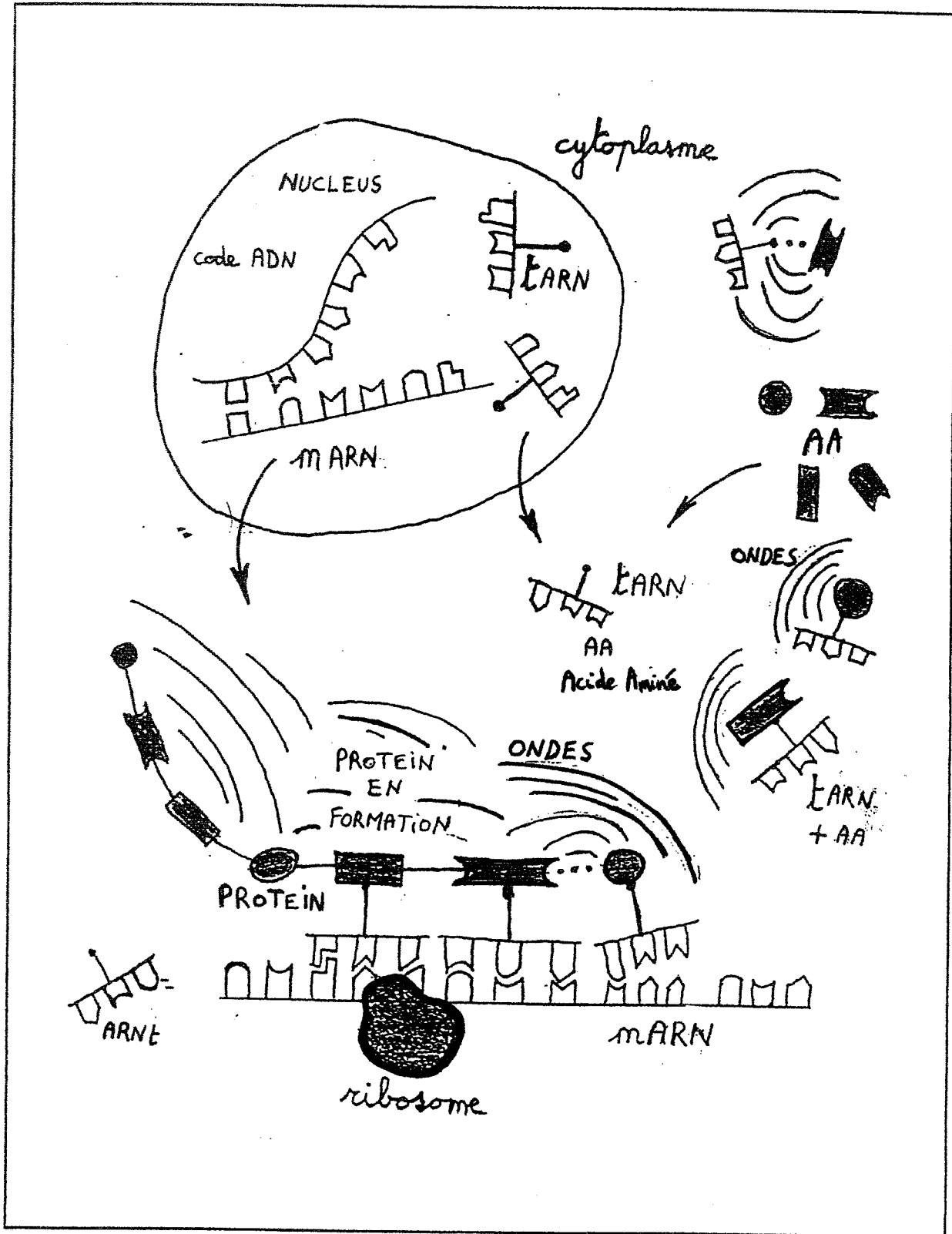


Figure 11: Représentation graphique des phénomènes de résonance entre les composants qui participent à la synthèse des protéines.

3.2 Activation des gènes par agitation

Deux biologistes moléculaires, Janet Braam et Ronald Davies, ont découvert comment les sons pouvaient d'une autre façon influencer la synthèse des protéines (1990). Ils ont découvert que l'on pouvait activer certains gènes simplement en bougeant ou en secouant les plantes. Lors de leur recherche sur le mécanisme qu'ils utilisaient pour activer certains gènes avec des hormones, ils ont découvert d'autres mécanismes d'activation. Ils menaient leur expérience avec '*Arabidopsis thaliana*', une plante souvent utilisée dans la recherche génétique pour sa vitesse de croissance élevée, sa succession de génération rapide et son petit génome. Braam et Davis ont traité les plantes avec une solution de l'hormone gibbérelline. Ensuite, ils ont isolé et étudié un groupe de neuf gènes qui semblaient être activés par un traitement hormonal. A leur grand étonnement ils ont découvert que des neuf gènes activés par le traitement, cinq l'étaient aussi quand la plante était uniquement arrosée d'eau pure. Après de plus amples recherches ils ont constaté qu'un léger mouvement, un simple toucher de feuille ou le souffle d'un vent froid suffisait à activer les 5 gènes. Ils furent également surpris de constater qu'un des gènes concerné était responsable de la production de la protéine calmoduline. La calmoduline joue un rôle important dans tous les processus qui concernent le contrôle de la concentration d'ion de calcium, c.-à-d. la contraction des muscles, les fonctions des enzymes, le fonctionnement des neurotransmetteurs et autres messagers chimiques. Elle joue aussi un rôle important dans la stimulation ou l'activation de processus biochimiques importants dans le métabolisme. D'autres gènes semblent également coder pour la production de protéines semblables à la calmoduline.

Beaucoup d'expériences seront nécessaires pour réellement pouvoir comprendre comment et pourquoi certains gènes sont activés dans ces circonstances. Il s'agit selon les deux biologistes, d'une percée dans la meilleure compréhension de la raison pour laquelle les plantes soumises au vent ont tendance à rester plus petites.

Le mouvement occasionné par le vent active certains gènes qui jouent un rôle dans la croissance de la plante, ce qui, selon les chercheurs, expliquerait partiellement pourquoi les plantes restent plus petites. (Boyd et Braam, 1990).

Sous l'effet du vent et du mouvement la plante investirait aussi plus en tissu de soutien comme par exemple le collenchyme et moins en allongement cellulaire. Ceci aura une influence dans la pousse et le développement de la plante.

Plus tard ces chercheurs ont essayé d'étudier si les vibrations dues au son pouvaient peut-être avoir des effets identiques. Les mêmes biologistes spéculent sur le fait que la musique pouvait aussi activer certains gènes. Dans cette logique ils ont réalisé une expérience où ils ont joué pendant seulement 1 minute la musique Rock des Talking Heads à 60 décibels. Ils n'ont constaté aucun effet. 60 Décibels représentent une puissance sonore un peu plus forte qu'une conversation normale. Il se peut que la musique ne soit pas assez forte ou que les plantes ont réagi en activant un autre groupe de gènes. Les biologistes spéculent, mais la question reste ouverte et encore trop peu étudiée (Boyd et Braam, 1990).

L'influence des mouvements dus au vent ou autres facteurs sur la croissance des plantes est connue. Une différence dans la croissance des plantes résulte de différences des processus de croissance au niveau cellulaire. On pourrait alors supposer que les mouvements de la plante peuvent influencer les processus de croissance cellulaire. De cette façon les cellules

végétales pourraient produire par exemple plus de tissu de soutien, de cellulose et d'hémicellulose, en réponse aux facteurs extérieurs comme des mouvements qui peut-être pourraient activer des gènes qui sont à la base de ces processus cellulaires. Selon ces mêmes chercheurs, il n'est pas encore certain que les vibrations sonores puissent aussi activer certains gènes. Il s'agit jusqu'à ce jour d'une supposition qui demande plus de recherche.

3.3 Influence sur la perméabilité de la membrane cellulaire et la pénétrabilité de la paroi cellulaire.

Certaines fréquences sonores permettraient d'influencer la perméabilité de la membrane cellulaire et la pénétrabilité de la paroi cellulaire.

3.3.1 Cavitation

La cavitation est un phénomène qui peut être induit par les ultrasons. Par cavitation on désigne un phénomène où des petites bulles de gaz se forment très vite et s'effondrent sur elles-mêmes sous l'effet des fréquences des ultrasons. Normalement les bulles de gaz s'effondrent sur elles-mêmes presque immédiatement. Les ultrasons peuvent provoquer une cavitation dans les produits traités tels des liquides ou des solides humides (Halstead, 1969).

Il est admis que la cavitation est l'effet principal occasionné par les ultrasons. Deux sortes de cavitations sont décrites: La première sorte est une cavitation où les bulles formées s'effondrent immédiatement sur elles-mêmes. Leur durée d'existence est très courte. Celle-ci est aussi appelée « transitor or collapse cavitation ». L'effondrement des bulles sur elles-mêmes provoque d'énormes pressions et des températures élevées. Cela provoque une onde de choc qui peut avoir des effets mécaniques sur son entourage. L'onde de choc peut occasionner des destructions sur le matériel environnant comme les cellules, la paroi cellulaire, la membrane cellulaire et des grandes molécules.

La deuxième sorte de cavitation est la cavitation stable. Les bulles restent intactes et cependant augmentent et diminuent de volume dans un mouvement continu et rapide. Ce phénomène provoque une circulation accrue dans le liquide environnant détectable comme micro courant. Des petites vitesses de courants induisent un mélange intense du liquide environnant. De grands courants peuvent parfois prendre une telle ampleur qu'ils abîment des macromolécules ou cellules. Le type de cavitation produit dépend du niveau sonore. Les grandes amplitudes stimulent surtout la cavitation 'collapse'.

Malgré cela, les deux types de cavitations se produisent en même temps dans le médium lors d'un traitement aux ultrasons. La grandeur des bulles peut atteindre quelques micromètres de diamètre (Joersbo, 1992).

Un traitement aux ultrasons de semences peut par exemple provoquer un changement de perméabilité du spermodermis (voir 3.3.2.; effets physiologiques). L'embryon de la graine se retrouve ainsi dans une nouvelle situation où les facteurs environnants tels la température, l'eau, l'oxygène auront plus d'influence. L'influence de la température lors d'un

traitement aux ultrasons est aussi important. Une température élevée rend le traitement aux ultrasons plus efficace par rapport aux effets de cavitation.

3.3.2 Sonication

A l'origine, la sonication est une méthode développée pour déplacer des gènes vers d'autres cellules végétales. Cette méthode utilise les ultrasons et le phénomène de cavitation. Les ondes sonores facilitent l'absorption des acides aminés dans les cellules végétales ou dans les protoplastes.

La perméabilité des membranes cellulaires serait influencée par les ondes sonores. Les acides aminés, mais aussi d'autres molécules, sont absorbés plus facilement grâce à ce traitement, tout en gardant la cellule végétale intacte (Joersbo, 1992).

Même si la méthode utilisée vient de la biotechnologie, elle éclaire le processus par lequel des molécules, grâce à certains sons, peuvent facilement entrer dans des cellules végétales.

Effets biochimiques

Les macromolécules comme les polysaccharides, les protéines, l'ADN et même l'ARN peuvent se dégrader dans un environnement aquatique sous l'effet d'ultrasons. D'autre part la sonication peut stimuler la synthèse des protéines. Ceci a été constaté entre autres par Joersbo et Brunstedt (1992) chez les cellules végétales.

Joersbo et Brunstedt (1992) ont soumis des cellules et des protoplastes de betteraves sucrières à des ultrasons de 20 kHz pendant 220-770 ms avec une intensité de 1,2-3,5 W cm⁻². Ils ont constaté que la synthèse des protéines a été stimulée de l'ordre de 31 à 90% par rapport au groupe témoin. Des doses sonores plus fortes ont par contre à nouveau diminué la synthèse des protéines de même que la capacité de vie des cellules.

L'étude microscopique a dévoilé que les bulles en oscillation induisaient localement un courant intracellulaire cytoplasmique. Cela pourrait générer un plus grand mélange et diffusion des produits cellulaires et stimuler le métabolisme cellulaire (Joersbo, 1992).

Effets physiologiques

On a remarqué que les ultrasons peuvent endommager légèrement la paroi cellulaire entre autres suite aux phénomènes de cavitation. Des changements de la membrane plasmique sont surtout dus aux différences de perméabilité. Un traitement aux ultrasons peut changer la perméabilité de la membrane plasmique. On n'a pas encore complètement éclairci de quelle façon la perméabilité de la membrane plasmique et de la paroi cellulaire change sous l'effet des ultrasons. La cavitation y joue certainement un rôle important. Les grandes oscillations de pression produites par le phénomène de cavitation pourraient provoquer des ruptures ou déchirements réversibles dans la membrane.

A travers ces nouvelles ouvertures des "parties cellulaires étrangères" pourraient alors migrer ou être absorbées (Joersbo, 1992).

Les ultrasons peuvent aussi agir sur les chromosomes. En dessous d'une certaine dose, il semblait n'y avoir aucun dommage. On peut varier la dose selon l'intensité ou le temps de

traitement. Au-dessus d'une dose critique des fragmentations et un accroissement de fractions des chromosomes furent observés.

La croissance de certaines cellules végétales peut aussi être influencée. Des expériences avec des ultrasons sur des cellules de racines ont prouvé que la croissance pouvait être fortement réduite, surtout chez les cellules avec une forte teneur en gaz. Certaines cellules peuvent dans des conditions normales contenir 3 à 4 % de gaz (Joersbo, 1992).

Joersbo et Brunstedt (1992) ont aussi démontré que grâce aux ultrasons on pouvait introduire des plasmides d'ADN dans les protoplastes des cellules de betteraves sucrières et de tabac. Pour cela ils ont traité les protoplastes avec des ultrasons de 20 kHz pendant un temps court de 500 - 800 ms et une puissance sonore de 0,5 - 1,5 Wcm⁻². Avec les mêmes techniques ils ont démontré que les cellules des betteraves sucrières pouvaient absorber des particules de virus intactes! Ce qui a conduit à un degré d'infection accru.

Brunstedt et Joersbo (1992) ont remarqué que la sensibilité aux infections virales des betteraves sucrières traitées, jusqu'à une heure après traitement, ne diminuait que partiellement.

Des expériences similaires pour illustrer l'amélioration de la perméabilité ont été menées même sur des tissus végétaux entiers. Le tissu foliaire de la plante de tabac a été utilisé pour essayer d'y introduire des plasmides d'ADN. Pour obtenir un résultat significatif on a dû le soumettre à un traitement 1500 à 2000 fois plus long, jusqu'à 30 minutes.

La puissance sonore utilisée était de 0,5 Wcm⁻² (Joersbo et al, 1992).

Les phénomènes provoqués par les ultrasons comme la sonication et la cavitation sont essentiellement de caractère mécanique. On pourrait se demander si cette technique est praticable à grande échelle. Encore trop peu de recherche ont été effectuées pour définir de façon précise avec quelle fréquence sonore et quelles intensités l'absorption de molécules a lieu de façon optimale. Peut-être que cette technique offre des possibilités pour influencer la capacité d'absorption chez les plantes lors de traitements avec des solutions pour nutrition foliaires.

Les brevets de Charnoe (1975) et Carlson (1989) font référence à des techniques similaires qui influenceraient la croissance de la plante.

3.4 Absorption des sons par les plantes

Depuis longtemps on utilise arbustes, arbres, buissons et autres plantes le long des routes pour s'isoler de bruits dérangeants.

Les précédents paragraphes ont déjà donné quelques explications sur l'absorption des sons et de certaines fréquences par des surfaces solides. Il existe peu d'informations sur l'utilisation par les plantes de tels mécanismes comme la fonction membranaire, la fonction de résonateur ou la porosité par l'absorption de certaines fréquences. On pourrait comparer les espaces, les cryptes sous-stomatiques, qui se trouvent derrière les stomates aux espaces de résonance qui par un système d'absorption sonore pourraient absorber des fréquences spécifiques (voir fig.12).

Chaque plante possède des stomates spécifiques qui diffèrent en taille et en nombre. Si l'on considérait un stomate et sa crypte sous-stomatique *comme un résonateur*, les fréquences

de résonances seraient donc aussi sélectionnées spécifiquement pour chaque plante. Il existe à ce jour peu d'information sur l'influence de cette forme d'absorption sonore sur les plantes.

Dans différents brevets de Carlson (1989) il est mentionné des fréquences spécifiques qui stimuleraient l'ouverture des stomates.

On pourrait peut-être comparer un stomate et sa crypte sous-stomatique à une bouteille. Le phénomène de résonance d'une bouteille est bien connu dans lequel le cou de la bouteille résonne ou vibre lors de certaines fréquences sonores. Lors de ce phénomène de résonance on peut introduire dans la bouteille un objet (rond) avec un diamètre un rien plus grand que le diamètre du cou de la bouteille. La résonance de l'espace et du cou de la bouteille agrandit temporairement cet espace et le cou.

En projetant ce phénomène sur les stomates on pourrait s'attendre à ce que, lors des phénomènes de résonance, l'ouverture entre les cellules occlusives s'agrandisse un peu et puisse laisser passer un rien de plus. L'ouverture des stomates serait ainsi stimulée par les fréquences de résonance.

La résonance alternée d'un espace vide peut aussi induire des différences de pression dans cet espace par rapport à l'espace environnant. Ces différences de pression peuvent alors induire un phénomène de 'pompe'. Il n'est pas évident de savoir si les stomates, grâce à cette technique, travaillent comme une mini-pompe.

On pourrait obtenir une résonance alternée si l'on n'administre pas de fréquence de résonance constante mais par court intervalle de temps. Cela pourrait être obtenu par des fréquences sonores ondulatoires qui selon certains intervalles de temps varient entre une fréquence sonore minimale et une fréquence maximale.

Si la fréquence de résonance se trouve entre ces limites on pourrait obtenir le phénomène de résonance alternée. Tout ceci est de l'ordre des théories spéculatives mais qui pourraient être possibles selon les lois de la physique. Pour savoir si le phénomène d'absorption sonore et d'interaction avec les stomates peut véritablement être expliqué de cette façon il faudrait faire de plus amples recherches.

Carlson (1989) prétend que les fréquences sonores de +/- 4 à 6 kHz stimulent la plante pour ouvrir les stomates. Dans son brevet la technique utilisant une fréquence sonore ondulée est décrite. Cette fréquence sonore devrait selon la technique, varier de préférence avec un intervalle de temps de 0,1 à 0,5 s entre 4,7 et 5,3 kHz. Cela permettrait ainsi aux stomates d'absorber plus de nutrition foliaire.

Le brevet de Charmoe (1975) décrit une technique qui prétend pouvoir stimuler ou freiner la croissance des plantes par certaines fréquences sonores préférées de ces plantes. Pour chaque plante il existerait une fréquence préférentielle qui stimulerait sa croissance et une autre fréquence qui la freinerait. Il y est aussi mentionné que plusieurs fréquences préférentielles pourraient exister par sorte de plante. Ces fréquences préférentielles peuvent être identifiées de deux façons. Selon qu'on travaille avec des semences ou des plantes on préférera une méthode à l'autre.

La première méthode pour définir la fréquence préférentielle des plantes consiste à soumettre une partie de la plante, par exemple une feuille, à un léger courant continu de maximum 40 mA. Ensuite on soumet la plante à une suite de fréquences sonores différentes et on mesure en même temps la variation du courant électrique. Quand la fréquence préférentielle est jouée on observe une réponse de la plante : on observe sur

l'oscilloscope un changement visible des pics et creux du courant, mesurés par rapport au niveau de base. (Charnoe, 1975).

La deuxième méthode, utilisée surtout pour les semences, consiste à soumettre les graines à des fréquences sonores différentes bien précises. Lors de l'administration de ces fréquences on mesure l'intensité des fréquences sonores réfléchies et on recherche la fréquence qui a été la mieux ou le plus absorbée (Charnoe, 1975). Ces mesures peuvent être effectuées avec des appareils conventionnels.

Dans le brevet de Charnoe (1975) il est mentionné que certaines fréquences sonores préférentielles des plantes faciliteraient le transport de molécules et de liquides entre les cellules des plantes et à travers les parois cellulaires. Selon l'inventeur Charnoe les conséquences de ces traitements sont une accélération des processus métaboliques dans la plante ou les semences. L'accélération du métabolisme produirait une accélération de la germination des graines et une croissance accélérée des plantes.

Selon Charnoe d'après l'utilisation des fréquences sonores préférentielles stimulantes ou inhibantes, la croissance de la plante serait stimulée ou inhibée. (Charnoe, 1975).

Les effets réels des fréquences sonores préférentielles de Charnoe restent imprécis. Une explication claire de la corrélation entre ces propriétés électriques, les fréquences sonores préférentielles trouvées et l'influence possible sur la croissance de la plante est absente dans la description de la technique. On s'aperçoit que de tels phénomènes ne sont mentionnés que dans certains brevets et recherches d'acupuncture.

Des expériences précédentes avec l'acupuncture, les fréquences sonores et les plantes montrent que des phénomènes électriques dans la plante sont influencés par certaines fréquences sonores (Hou et al., 1994; Yoshiyuki et al., 1992).

Dans ces précédentes expériences la croissance de la plante ne fut pas étudiée mais seulement ses caractéristiques électriques et sonores. L'influence de ces fréquences sonores sur la croissance de la plante est encore insuffisamment expliquée. Pour comprendre le phénomène dans son entièreté et découvrir ce qui se déroule réellement dans la plante, il faudrait effectuer plus de recherches.

3.5 Résonances des organelles cellulaires.

Les chercheurs Weinberger et Measures (1968) ont réalisé des expériences sur l'influence de certaines fréquences sonores sur la germination et la croissance de deux variétés de blé (froment). Ils se sont aperçu que les deux variétés de froment ne réagissent pas en même temps par rapport au traitement sonore. Selon la fréquence sonore utilisée et la température, les paramètres de croissance (poids de matière fraîche et sèche, etc.) étaient parfois 2 à 3 fois supérieurs. Ces résultats étonnants pouvaient à l'époque (niveau de connaissance en ces temps) être difficilement expliqués notamment quant à la question de savoir quelles fréquences sonores pouvaient influencer les plantes. Ils ont aussi remarqué que l'influence du traitement sonore était transmise aux générations cellulaires suivantes. Ce phénomène a été également mentionné par Dan Carlson. Jusqu'à présent les chercheurs n'ont pas expliqué ce phénomène.

Pour essayer d'expliquer leurs résultats Weinberger et Measures ont développé une nouvelle hypothèse. Ils ont constaté que les quantités d'énergies correspondant aux fréquences sonores administrées (5 kHz et 12 kHz) étaient très minimales. Ces quantités

d'énergie avaient un ordre de grandeur d'un billionième de ce qui serait nécessaire pour briser une liaison chimique. Ces petites quantités d'énergie étaient aussi trop minimes pour produire la cavitation d'eau.

Cependant la quantité d'énergie administrée était suffisante pour produire des résonances des organites cellulaires dont la fréquence naturelle de vibration correspondrait aux fréquences sonores administrées. Dans ce cas, chaque vibration sonore successive d'une fréquence sonore pourrait produire un effet cumulatif sur la vibration de l'organite cellulaire. Une organelle cellulaire résonante vibrerait alors avec plus d'intensité. Les effets de résonance des organites cellulaires pourraient induire des changements dans les processus biochimiques et biophysiques qui se produisent respectivement dans et autour des organites en résonance. De cette façon ces influences accompagnées de possibles changements qui auraient lieu dans certains processus intracellulaires, induisent des différences de croissance et de germination. Cet effet aiderait selon les chercheurs à expliquer pourquoi différentes variétés de froment réagissent de façon différente au tremblement avec la même fréquence sonore. Ils expliqueraient aussi pourquoi d'autres fréquences sonores pourraient influencer encore plus d'autres plantes et variétés. (Weinberger et Measures, 1968).

Dan Carlson (1989) prétend également que certaines fréquences sonores feraient résonner des organites cellulaires avec comme corollaire des courants cytoplasmiques plus intenses. Cet effet contribuerait selon lui à la stimulation de la croissance et du développement des plantes.

Selon une loi élémentaire de physique chaque objet possède une fréquence de résonance. Peu de chercheurs font état comme Weinberger et al. (1968) et Carlson (1989) d'une probable influence de ces fréquences de résonance sur les organites cellulaires. On pourrait s'interroger si le traitement des plantes avec ces fréquences sonores ne leur est pas néfaste. De même les questions de savoir quelles intensités sonores les résonances peuvent avoir et quelles sont les fréquences de résonance de ces organelles cellulaires, restent imprécises.. La théorie selon laquelle les résonances des organites cellulaires peuvent influencer le métabolisme cellulaire ne reste jusqu'à présent une hypothèse, qui devrait si possible être confirmée ou infirmée par des plus amples recherches.

4. Observations confirmant les théories

4.1 Influence des fréquences sonores variables sur la croissance des plantes.

Différentes études démontrent que certains ultrasons inaudibles ainsi que des fréquences sonores audibles ont une influence sur la croissance et le développement des plantes. (Weinberger et Das, 1972).

Après avoir pris connaissance de ces précédentes études les chercheurs Weinberger et Graffe (1973) ont décidé d'analyser si certains extraits musicaux ou un bruit quelconque auraient aussi de l'influence.

Les expériences furent réalisées avec des plants de concombres, de maïs et d'avoine. Chaque expérience fut réalisée trois fois. Quatre extraits musicaux furent soumis à une analyse approfondie de leurs fréquences. On essaya alors de déterminer si un ensemble spécifique de fréquences sonores avait des effets améliorant la croissance. Les différents extraits musicaux furent obtenus auprès du centre canadien pour l'étude du folklore. Certains chants agraires traditionnels furent en particulier sélectionnés. Les graines et ensuite les plantes furent traitées pendant une période de croissance de huit semaines. Tous les facteurs: lumière, intensité, température, etc. furent mesurés avec précision. Dans aucun des cas une influence significative des enregistrements sonores sur la germination des plantes ne put être constatée. Les paramètres de croissance par contre indiquaient des influences significatives, particulièrement sur la croissance des plants de concombre (voir tableau 2). Comme paramètres de croissance on utilisa le nombre de feuilles, la hauteur des plantes, le nombre des fleurs et le poids de matière fraîche et sèche des 'tops'. La description des expériences n'explique pas clairement ce qui est désigné par 'tops'.

Tableau 2: Concombre variété Straigh Eight après huit semaines de croissance, moyennes avec le test de signification de Scheffé (Weinberger, 1973).

Extraits musicaux	Hauteur (cm)	Poids de matière fraîche (g) des sommets	Poids de matière sèche (g) des sommets	Nombre de fleurs	Nombre de feuilles
Contrôle	25,4 b	6,9 b	0,6 b	20,2 b	10,8 b
II	26,1 b	5,8 b	0,5 b	31,7 b	11,2 b
VI	51,0 a	12,7 a	1,0 a	61,3 a	18,7 a

Le tableau reprend les différents paramètres de croissance de la plante de concombre. Il en ressort que la mélodie VI a beaucoup d'influence. Cet extrait musical, VI est aussi appelé 'Flûte Sopilka'. On le retrouve dans le musée canadien du folklore (Museum of Man) à Ottawa sous le code 'vegetables, Klymatz collection'. Sous l'effet du traitement, le poids de matière fraîche des sommets (tops) et la hauteur des plantes de concombres ont été

doublés. Le nombre de fleurs a même été triplé. Même le nombre de feuilles a augmenté de façon significative chez les plantes traitées au 'Flûte Sopilka'(N°VI).

L'extrait musical N°II n'a eu que peu d'influence, sauf un accroissement de 50% du nombre de fleurs.

Chez le maïs et l'avoine le traitement avec l'extrait musical 'Flute Sopilka' (N°VI) n'a fait qu'augmenter de façon significative le poids de matière sèche des sommets. Alors que chez les plantes d'avoine la hauteur moyenne fut aussi influencée de façon significative avec le n° VI et également le N°II (voir tableau). Malheureusement les auteurs ne fournissent pas les partitions des extraits utilisés, seulement *leur transformées de Fourier*.

Tableau 3: Paramètres de croissance de l'avoine et du maïs après 8 semaines (Weinberger, 1973).

Extraits musicaux	Maïs var. Golden Bantam		Avoine var. Russel	
	Hauteur (cm)	Poids de matière fraîche (g)	Hauteur (cm)	Poids de matière fraîche (g)
Contrôle	78,9 a	13,9 b	66,5 a	36,4 b
II	78,6 a	15,1 ab	70,3 b	37,3 b
VI (Flûte Sopilka)	82,9 a	17,2 a	76,0 c	43,9 a

Les autres extraits musicaux n'ont pas eu d'influences significatives sur les paramètres de croissance des plantes. Selon Weinberger et Graffe il est clair que les plantes sont influencées par certains sons. Les recherches précédentes de par ex. Weinberger (1969) confirment aussi cela. Ils concluent que les plantes doivent posséder un spectre audio-action. Leur recherche n'a pas pu préciser en détail quel est ce spectre. Ce spectre audio-action peut selon eux n'être découvert qu'en recherchant l'influence de fréquences sonores situées sur une largeur de bande étroite de l'espace audio. De cette manière ils suggèrent de scanner l'entièreté de l'espace audio sur des fréquences sonores influencées (Weinberger, 1973).

4.2 La différence entre les compositions musicales et les séquences sonores épigénétiques décodées.

On peut se demander quelle est la différence entre la musique composée et la musique spécifique pour protéines. Nous analyserons ici surtout les différences quantitatives. On pourrait croire que les effets observés ne sont pas induits par la musique en général et on pourrait aussi se questionner si la musique spécifique pour protéines est réellement plus active. Pour bien prendre conscience qu'il s'agit réellement de musique spécifique pour protéines (ou de séquences sonores épigénétiques) on peut faire référence aux expériences de Pedro Ferrandiz. Dans ses expériences il influence avec de la musique pour protéines spécifiquement l'enzyme alcool-déshydrogénase qu'on retrouve dans la levure à pain. (Ferrandiz, 1993).

L'enzyme alcool-déshydrogénase permet la transformation de l'acétaldéhyde en éthanol. L'acétaldéhyde et le dioxyde de carbone sont produits dans le pain par décomposition des sucres. Les levures servent à produire l'enzyme alcool-déshydrogénase (ADH).

Une plus grande production de l'enzyme spécifique ADH servira à transformer plus d'acétaldéhyde. Plus d'acétaldéhyde transformé permet dans la même chaîne de réaction une transformation plus facile des sucres en acétaldéhyde et dioxyde de carbone. Trop d'acétaldéhyde donne au pain moins de goût et un goût plus rance. Moins d'acétaldéhyde ou plutôt plus d'acétaldéhyde transformé aura pour conséquence que le pain lèvera mieux.

Les résultats de ses expériences démontrent clairement la spécificité de la musique pour influencer une protéine donnée, ici en l'occurrence l'enzyme ADH. Il a constaté que les pains musicaux ont meilleur goût et avaient également un plus grand volume. Il a aussi continué ses expériences et constaté que le degré d'acidité des pains musicaux était plus bas que les pains de contrôle. Chaque constat a confirmé l'action dirigée de la musique décodée pour protéine pour stimuler un enzyme donné - ici l'ADH.

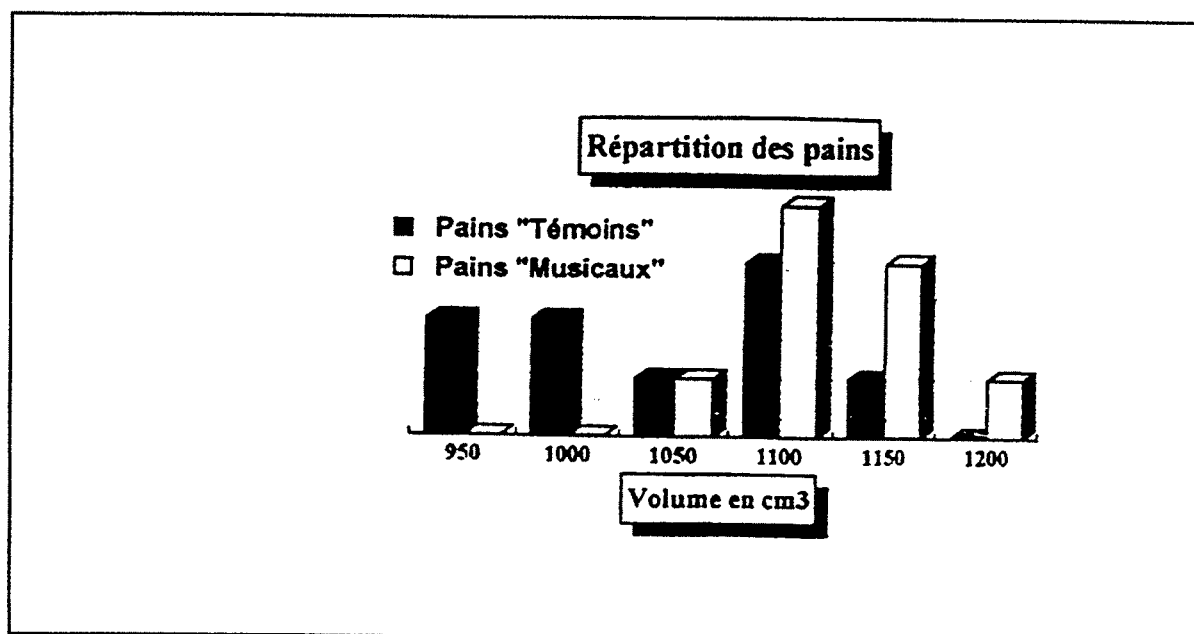


Figure 13: Répartition des pains (Ferrandiz, 1993)

L'expérience suivante éclaire la différence entre la musique composée (la composition musicale) et la musique spécifique pour protéines. La première expérience fut réalisée avec du pain nommé pain Pasco commercialisé par la Boulangerie industrielle japonaise "Shikishima Bread co". Le but des expériences était de contrôler avec quelle intensité les différents extraits musicaux influenceraient la fermentation des levains dans la pâte à pain.

Lors d'une expérience on a également utilisé de la musique très peu spécifique c.-à-d. un extrait musical classique quelconque. La musique fut jouée pour la fermentation du saké, un alcool de riz japonais. Des résultats significatifs ne furent obtenus qu'après 1 à 2 mois de traitement musical.

Alors qu'avec la symphonie musicale de Beethoven (symphonie n°6, en Fa majeur) le pain Pasco s'améliorait déjà de façon significative après une diffusion musicale de 72 heures pendant le processus de fermentation de la pâte à pain. La durée normale pour la fermentation du pain est de 1 h à 1 h 30. Lors de cette expérience ce temps de fermentation a été rallongé pour pouvoir administrer les extraits musicaux. Avec la musique spécifique pour protéines, décodée pour l'enzyme alcool-déshydrogénase on peut obtenir le même résultat sur une durée encore beaucoup plus courte. Ainsi il suffit d'une diffusion de 1h à 1h30 avec de la musique spécifique pour protéines. Par son caractère la musique spécifique agit avec plus d'efficacité et de manière mieux dirigée. Ce temps de 1h à 1h30 est également la durée normale pour le processus de fermentation. Ce pain 'Pasco' est commercialisé depuis 1990 au Japon et porte le nom de "pain musical" dans la publicité.

Avec la musique décodée spécifiquement pour protéines on a donc obtenu le même résultat, mais 50 fois plus vite qu'avec la symphonie de Beethoven et 500 à 1000 fois plus vite qu'avec la musique classique non-spécifique. Les différences s'expliquent par l'efficacité des différents extraits musicaux.

Des calculs permettent d'expliquer ces observations et constats. On y compare la quantité d'information épigénétique présente dans les différents extraits musicaux. Donc la quantité d'information biophysique utile entre les différentes séquences sonores. On compare la quantité d'information dans l'extrait musical avec l'information de la protéine à stimuler.

L'extrait musical de la symphonie de Beethoven ne contient que six notes des 348 qui codent pour l'enzyme alcool déshydrogénase. Cet enzyme est composé d'une chaîne d'environ 348 acides aminés. Six notes ne représentent donc que $1/58^{\text{ième}}$ de l'information complète de la molécule. Avec la musique décodée spécifique pour protéines des résultats significatifs furent observés après 1h à 1h30.

En utilisant la symphonie il faudra donc 58 fois plus de temps pour obtenir le même résultat ou 1 à 1h30 fois 58 ce qui représente environ 60 à 90 heures. Le temps théorique de diffusion obtenu par les calculs correspond aux résultats expérimentaux. Ils donnent une idée de l'ordre de grandeur. Les calculs réels pour obtenir le temps exact sont un peu plus complexes et prennent aussi en compte les rapports relatifs entre les quantités des différents acides aminés de l'enzyme ou de la protéine qu'on veut stimuler. La musique spécifique pour protéine ainsi décodée contiendra l'information la plus pertinente et la musique non-spécifique la moins pertinente. Quand on a contrôlé la quantité utile ou l'information pertinente des différents extraits musicaux on peut donc calculer combien de temps il faudra jouer les différents extraits musicaux pour obtenir le même résultat. Cette

méthode permet de calculer les temps proportionnels réciproques des extraits à administrer. (Takada, 1992; Ohara, 1993; Sternheimer (réponse à une notification officielle de l'office Européen des brevets), 1992, '94 - 95).

4.3 La germination des graines

Différents rapports attestent les effets bénéfiques des ultrasons sur le pourcentage de germination des graines de plantes agricoles. Weinberger et Measures (1969, 1970, 1973) ont publié des résultats intéressants à ce sujet. Il en ressort que grâce à des fréquences sonores spécifiques, avec une certaine intensité, on peut obtenir des résultats significatifs sur la force de germination des semences et la croissance des plantules.

Les chercheurs Weinberger et Measures (1973) ont réalisé des expériences détaillées sur les effets des sons audibles sur le taux total d'acides aminés et d'acides aminés solubles dans l'alcool dans les graines de blé.

Les résultats ont montré qu'il existait une influence significative du son sur les concentrations d'acides aminés. Les sons utilisés avaient 5 kHz à 92 dB. Les concentrations ont été déterminées dans l'endosperme et l'embryon des graines traités et ceux du groupe de contrôle. Le doublement du taux d'alanine dans l'embryon des graines traitées pourrait indiquer la présence de cellules à croissance rapide. Différents résultats démontrent que le son influence aussi les acides nucléiques et le métabolisme des acides aminés. (Measures, 1973)

D'autres chercheurs ont également réalisé des expériences sur des buissons et des arbres avec des résultats positifs. Ruban et Komarov (1955) ont trouvé que les graines de *Lonicera sp.* et *Ligustrum sp.* traitées aux ultrasons ont besoin de beaucoup moins de temps pour leur stratification. Leur pourcentage de germination a également augmenté.

Kozubov et Ganiushkina (1949) ont constaté que la vitesse de croissance des plantules augmentait après un traitement aux ultrasons. Ces résultats furent obtenus avec des plantules de *Pinus sylvestris L.*, *Picea abies Karst.* et *Caragana arborescence Lamb.*

Timonin (1966) a étudié le pourcentage de germination de certaines plantes. Pour cela il a utilisé des graines de 3 à 4 ans de *Picea glauca Voss.* et *Pinus banksiana Lamb.*, respectivement Sapinette blanche ou Epinette blanche et le Pin de Banks. Les graines avaient à l'origine un faible taux de germination. Elles ont été soumises à un traitement aux ultrasons. Pendant 20 heures les graines ont été mises à tremper dans de l'eau distillée à température ambiante (de chambre). Ensuite, des groupes de graines furent soumis à différents traitements aux ultrasons respectivement d'une, deux, quatre et six minutes. Le groupe témoin n'a pas été traité aux ultrasons. La seule différence entre les groupes était une différence dans la durée du traitement aux ultrasons. Le pourcentage de germination de la Sapinette blanche était clairement plus élevé dans certains groupes. Ceci fut constaté chez les groupes traités respectivement avec une durée de son de une, deux et quatre minutes. Chez le Pin de Banks toutes les graines sont pratiquement mortes sauf quelques-unes du groupe de contrôle (Timonin, 1966).

Après le quinzième jour le pourcentage de germination des groupes traités de la Sapinette blanche étaient respectivement de 11, 19 et 15 %. Le pourcentage de germination du

groupe témoin par contre n'était que de 1 pour cent. Les graines appartenant au groupe avec le plus long traitement aux ultrasons, celui de six minutes, sont toutes mortes. Finalement la longueur de l'hypocotyle et le poids de matière sèche furent aussi mesurés. Les résultats démontrent clairement l'influence d'un traitement aux ultrasons sur la germination des graines et la croissance des plantules.

On a remarqué que la longueur moyenne des hypocotyles des plantules de la Sapinette blanche, du groupe traité pendant 2 minutes, avait plus que doublé par rapport au groupe de contrôle. Le traitement aux ultrasons avait aussi une influence significative sur le poids de matière sèche des plantules.

Tableau 4: Longueur et poids de matière sèche des plantules mesurées 30 jours après les avoir semées (Timonin, 1966).

Temps du traitement (minutes)	Longueur moyenne de l'hypocotyle	Poids moyen de matière sèche
1	17,0	2,25
2	21,8	3,10
4	18,9	2,50
6	0	0
contrôle	9,7	2,00

Selon Timonin (1966) l'utilisation d'ultrasons pour stimuler la germination des graines de conifères mériterait de plus amples recherches. Les traitements aux ultrasons stimuleraient probablement la germination des graines de conifères par un effet mécanique qui rendrait les parois cellulaires des graines plus pénétrables et les membranes cellulaires peut-être aussi, favorisant ainsi leur germination.

Les chercheurs Halstead et Vicario (1969) ont essayé par le biais de quelques expériences d'interrompre la dormance de *Zizania aquatica* ou riz sauvage. L'embryon au repos ou la graine ne redevient active, après sa dormance, que sous l'influence de facteurs environnants spécifiques. La dormance des germes est ainsi interrompue.

Halstead et Vicario (1969) ont essayé d'interrompre la dormance des graines avec des solutions d'éthanol, des solutions d'eau chaude à différentes températures, ainsi qu'avec des traitements aux ultrasons.

Au début de l'expérience toutes les graines de *Zizania aquatica* étaient au stade de la dormance. Selon l'intensité et la durée du traitement aux ultrasons les résultats étaient fort différents. Lors de cette expérience une germination de 74 % fut obtenue avec un traitement de 10 minutes et une intensité de 70 kc/s (L'unité kc/s équivaut au kHz). Une augmentation de l'intensité ou de la durée du traitement avait pour conséquence une diminution du pourcentage de germination. Le tableau n°5 suggère une interaction entre la température et l'intensité du traitement. Quand l'eau est gardée à 50°C pendant une durée de 10 minutes, toutes les graines restent en dormance, sauf lors d'une intensité de 100 kc/s où on mesure un taux de germination de 36 %. Avec une température de 25 °C la force de germination augmente chaque fois qu'on augmente l'intensité du son.

Tableau 5: Pourcentage de germination des graines de *Zizania aquatica* après traitement aux ultrasons. (Halstead, 1969)

Temps	Température	Intensité des ultrasons en kc/s				
		0	70	80	90	100
10 min	50 - 70 °C	0	74	51	37	0
15 min	50 - 70 °C	0	16	0	0	0
10 min	50 °C	0	0	0	0	36
10 min	25 °C	0	5	12	14	35

Dans ses expériences les traitements aux ultrasons combinés avec les traitements à l'eau chaude semblent offrir des possibilités prometteuses pour interrompre la dormance du riz sauvage. Les meilleurs résultats furent obtenus avec un traitement aux ultrasons pendant 10 minutes, une intensité de 70 kc/s et une température de 50-70°C. (Halstead, 1969).

4.4. Absorption de nutrition foliaire et assimilation améliorée

L'explication du mécanisme de la sonication démontre comment certaines fréquences sonores peuvent changer la perméabilité des cellules végétales. Ceci permet de rendre la technique de nutrition foliaire plus efficace. Il existe plusieurs brevets basés sur l'une ou l'autre variante de ce principe.

Un de ceux-ci est le brevet N° US4680889 (1989) de Dan Carlson. Celui-ci décrit quand et comment il faut traiter les plantes avec certaines fréquences sonores et une nutrition foliaire pour obtenir les meilleurs résultats. On utilise des fréquences sonores audibles qui varient de 4000 à 6000 Hz. Il est même conseillé d'utiliser des fréquences de 4,7 à 5,3 kHz. On peut garder la fréquence sonore sélectionnée constante, mais il est préférable de les faire varier entre 4,7 et 5,3 kHz pendant une période de 0,1 à 0,5 secondes. Il est conseillé de garder la période de variation de fréquence constante. L'intensité sonore conseillée doit avoir un minimum de 115 décibels et de préférence se situer entre 115 et 120 dB, ce qui est beaucoup. (Carlson, 1989).

Les inventeurs, Carlson (1989) et Hou (1995) supposent que les fréquences sonores stimulent les mouvements par osmose dans les cellules végétales et augmentent la perméabilité des membranes cellulaires, stimulant ainsi le mouvement et l'absorption des nutriments. Ceci induirait même l'accélération du métabolisme et de la croissance. Même sans nutrition foliaire, le traitement sonore seul induirait une meilleure stimulation de la croissance et du développement des plantes. Comme nutriments foliaires ils utilisent la plupart du temps des produits qu'on trouve usuellement dans le commerce comme engrais foliaire.

Le brevet de Dan Carlson (1989) utilise aussi des hormones de croissance pour végétaux tels les gibbérellines qui stimulent la croissance et l'élongation des cellules des parties végétales aériennes. (qui se trouvent au-dessus du sol)

Selon Carlson (1989) ces fréquences sonores ne stimuleraient pas seulement la nutrition foliaire mais aussi l'absorption par les racines.

Le traitement peut durer quelques secondes ou plus longtemps : il doit durer au moins 15 secondes et de préférence de 30 secondes à 30 minutes. Le choix des appareils utilisés pour

le traitement sonore a peu d'importance et celui-ci peut être réalisé avec les appareils conventionnels qu'on trouve dans le commerce. Pour obtenir des résultats positifs avec la nutrition foliaire il faut traiter avec les fréquences sonores selon la technique préconisée avant, pendant et après pulvérisation avec l'engrais foliaire.

Le traitement sonore sera efficace tout le temps où l'engrais foliaire se trouve encore en milieu liquide sur les feuilles. (Carlson, 1989).

L'invention de Hou qui fut aussi brevetée, utilise des fréquences sonores basses de 50 à 3500 Hz. Quand on apporte aussi une nutrition foliaire le traitement sonore doit au moins avoir débuté une demi-heure auparavant. Une durée totale du traitement sonore de 2 à 8 heures est conseillée avec au moins 50 dB à l'endroit de la plante. (Hou, 1995).

Expériences avec isotopes

Le brevet de Dan Carlson (1989) contient une expérience qui vérifie si les fréquences sonores stimulent réellement l'absorption de la nutrition foliaire. Les proportions d'absorptions des nutriments furent déterminées entre le groupe de plantes traitées avec les fréquences sonores et le groupe témoin non-traité. L'expérience fut réalisée avec des plantes de tomates. La méthode consistait à pulvériser les plantes traitées, selon la technique, sur 2 cm de l'avant dernière feuille avec une nutrition foliaire en même temps que les fréquences sonores. Un isotope de (Fe-59) fut ajouté à la solution nutritive foliaire. Le groupe témoin ne fut pas traité avec les fréquences sonores mais seulement avec la nutrition foliaire.

Après 24 heures la quantité absorbée fut contrôlée et la quantité d'isotopes absorbée dans certaines parties des plantes fut mesurée avec un appareil spécial.

Les parties des plantes contrôlées étaient: un petit bout de tige juste au-dessus de la feuille traitée (SB) et un petit bout de tige juste sous la feuille traitée (SO). L'appareil mesurait la concentration de l'isotope en nombre d'impulsions par minute et par milligramme

Chez les plantes traitées au son on a mesuré pour la partie SB $2,47 \pm 0,4$ et pour la partie SO $2,5 \pm 0,17$. Chez les plantes non-traitées au son on a mesuré pour la partie SB $0,4 \pm 0,1$ et pour la partie SO $1,13 \pm 0,42$. Ceci prouve l'effet visible des fréquences sonores sur l'absorption des nutriments foliaires (Carlson, 1989).

4.5. Maturité précoce

Les chercheurs russes, Isotomina et Ostrovsky (1935) ont démontré dans les années trente que les tubercules de pommes de terre et les graines de différentes plantes traitées aux vibrations des ultrasons obtenaient de plus grands rendements. Les plantes mûrissaient également plus tôt. Au vu des bons résultats de cette expérience, on pourrait se demander pourquoi il n'existe pas plus de recherches récentes à ce sujet.

La stimulation et la maturité précoce de certaines plantes après traitement des méristèmes apicaux aux ultrasons ont également été observées par des chercheurs américains (Newcomer et Wallace, 1949).

Dans des études expérimentales où des recherches furent effectuées sur les propriétés mutagènes des vibrations ultrasoniques une découverte inattendue fut faite. On a découvert par hasard que les variétés d'orge traitées aux ultrasons mûrissaient plus tôt que

les groupes de contrôle non traités. Obolensky traita deux variétés d'orge: Olli, une variété hâtive et Montcalm, une variété moins hâtive. Il obtint les meilleurs résultats après un traitement aux ultrasons de six minutes. Un traitement plus long ou plus court conduisit à de moins bons résultats de maturité précoce. Le traitement aux ultrasons fut effectué sur des graines qui germaient. Le traitement n'avait pas d'influence sur la taille finale des plantes. (Obolensky, 1954).

5. Interactions entre fréquence, intensité, durée et température

La littérature existante sur l'influence de certaines fréquences sonores sur la croissance des plantes montre que des interactions doivent exister entre la fréquence, l'intensité, la durée et la température. Il existe peu de connaissances sur ces probables interactions. Les recherches citées ci-après donnent un aperçu des premières découvertes sur le sujet.

5.1 L'influence d'une seule fréquence sonore

Comme cités précédemment les ultrasons peuvent à certaines doses (autres intensités, durée,...) provoquer des cassures de chromosomes et autres dommages du matériel nucléaire de la cellule.

Ceci serait dû aux effets qui vont de pair avec les phénomènes de cavitation, comme le mélange intense des composants cellulaires qui influence probablement les opérations dans le noyau. (Newcomer et Wallace, 1949).

Hageseth (1974) a constaté que certaines fréquences sonores n'avaient pas toujours la même influence sur la concentration de protéines spécifiques dans les graines en germination. Il trouva une relation entre la température et les changements de concentration d'enzymes spécifiques dans les graines lors de certaines fréquences sonores.

Charnoe trouva qu'on pouvait stimuler la croissance de plusieurs espèces de plantes avec une fréquence sonore de 4960 Hz. C'est du moins ce qu'il affirme dans son brevet. Pour stimuler la germination de la majorité des graines, il prétend qu'une fréquence de 330 Hz est la mieux adaptée. Des fréquences de 230 et 350 Hz semblent aussi être favorables. (Charnoe, 1975).

Dans d'autres brevets, comme dans celui de Carlson (1989), il n'est pas désigné de fréquence spécifique unique mais un éventail de fréquences sonores qui se situent entre une limite inférieure et une limite supérieure. On constate que les fréquences désignées par Charnoe comme stimulantes se trouvent aussi entre les marges conseillées par d'autres brevets.

5.2 L'influence de la puissance sonore

Les expériences de Halstead sur la germination des graines de riz sauvage indiquent l'influence de l'intensité sonore sur les résultats obtenus lors de certaines fréquences spécifiques. Certains résultats sont illustrés dans le tableau 5. Selon la température, des intensités plus fortes peuvent diminuer ou justement augmenter le pourcentage de germination.

Ceci suggère une interaction entre l'intensité sonore et la température (Halstead, 1969). Dans le brevet de Charnoe (1975) il est affirmé que l'intensité sonore n'est pas le facteur critique pour obtenir de bons résultats, du moment qu'il est situé entre 70 et 120 dBs. Des intensités sonores plus fortes étaient qualifiées de gaspillage d'énergie. Il est néanmoins

mentionné qu'une intensité sonore optimale existait qui devait être trouvée par voie expérimentale. (Charnoe, 1975).

5.3 Durée du traitement sonore

Les expériences de Timonin semblent démontrer que la durée du traitement sonore peut avoir une influence importante. Il existe donc une durée optimale avec laquelle l'on peut espérer obtenir les meilleurs résultats présumés.

Timonin montre que la durée du traitement aux ultrasons peut favoriser la germination des graines, mais un traitement de six minutes aux ultrasons semblait cependant être mortel pour les graines. (Timonin, 1966).

6. Le plant de tomate

Vous trouverez dans les prochains paragraphes une description de plusieurs caractéristiques de la plante de tomate. Cette plante fut couramment utilisée dans de nombreuses expériences sur l'influence des séquences sonores. Ces expériences sont décrites dans les chapitres suivants.

6.1 Quelques données botaniques

La plante de tomate se nomme *Solanum lycopersicum* ou *Lycopersicon lycopersicon* ou *L. esculentum*. Tous ces noms sont des synonymes et désignent une même plante qui comprend plusieurs races.

La tomate appartient à la famille des Solanacées ou *Solanacea*. La tomate est une plante persistante, vivace cultivée comme une annuelle. C'est une plante subtropicale originaire d'Amérique Latine (entre autres Chili et Pérou). La tomate n'est pas spécifiquement une plante de journée courte ou longue, elle fleurit et noue ses fruits pendant des journées de sept à dix-neuf heures. (Dries, 1980).

6.2 Facteurs de croissance

Pour ce mémoire plusieurs expériences ont été réalisées. Celles-ci sont traitées dans les chapitres suivants. Les facteurs qui sont importants pour ces expériences sont commentés ici de façon plus détaillée.

6.2.1 Quelques facteurs climatiques

Par facteurs climatiques nous désignons dans le contexte de ce travail surtout la quantité de lumière, la température et l'humidité relative de l'air. Pour cultiver des plantes fortes et en bonne santé il faut une chaleur suffisante (20°C) en combinaison avec beaucoup de lumière. Un manque de lumière et de chaleur pendant la période de culture (de formation de la plante) donne des plantes dégingandées. Une plante dégingandée ou étiolée est une plante d'apparence maigre, fine et faible. La plante semble alors étirée.

Les tomates puisent beaucoup d'eau dans le sol. Elles n'aiment pas l'air humide. Il vaut mieux garder un taux d'humidité relatif de 70%. Un manque d'eau freine le développement de la plante.

Un manque de lumière constitue un facteur limitant la production par plante ; celle-ci augmente en fonction de la quantité supplémentaire de lumière qu'elle reçoit. Plus de lumière signifie plus d'assimilation, ce qui permet un meilleur développement de la fleur et de la grappe.

Cela peut conduire à une meilleure nouaison des fruits. (Koot, 1979).

Des fleurs déformées sont un exemple de manque de lumière. Ces fleurs ont des pétales de même longueur ou plus courts que les sépales. Les fleurs restent petites et ne s'ouvrent pas. (Goossens, 1979).

La manipulation consistant à ôter des feuilles a des conséquences sur le développement et la production. Cette intervention est appelée effeuillage.

Des expériences ont démontré qu'un effeuillage tardif donne une bien meilleure production qu'un effeuillage hâtif.

Ces meilleurs rendements en kg sont la conséquence d'un poids plus important de fruits. (Tuinderij Leidraad, 1979).

6.2.2 La distance de plantation

Les plantes grandissent à la même vitesse indépendamment de la distance de plantation, qu'elle soit petite ou grande. La plante est plus forte et la tige plus épaisse à mesure que les distances de plantation s'éloignent.

Tableau 6: Croissance en hauteur (longueur) en fonction de la distance de plantation, en cm par plante (Veenman, 1978).

Distance de plantation (cm)	Croissance en hauteur (longueur) (cm)
54,5	127,0
60,0	126,2
66,7	128,8
75,0	124,4
85,7	124,9

L' "étirement" des plantes quand elles sont plantées à courte distance ne semble pas être dû à une forte croissance longitudinale, mais au fait que les plantes restent plus minces. Elles semblent alors étirées. A mesure que la distance de plantation augmente, les tiges, feuilles et grappes se développent mieux. Une plantation serrée, avec pour conséquence que chaque plante dispose de moins de lumière, donne des tiges, feuilles et grappes peu vigoureuses et molles et donc aussi une diminution de la qualité des fruits. (Veenman, 1978).

6.2.3 Etêter, tailler et fertiliser les fleurs.

La plante de tomate forme dans ses aisselles de nouveaux bourgeons appelés ailerons ou gourmands. En culture les gourmands sont ôtés avant d'atteindre 10 cm.

Les fleurs poussent en grappes par quatre ou plus, selon la variété et un certain nombre d'autres facteurs. Une plante mature possède plusieurs grappes de fleurs. Parfois quelques fleurs ou petits fruits sont ôtés de la grappe. Cette taille permet d'obtenir des fruits plus gros.

Dans des conditions normales une autofécondation a lieu. Dans les serres, le pollen ne se libère pas facilement, contrairement aux cultures de plein air où les insectes et le vent

jouent un rôle prépondérant. Pour cette raison il faut secouer, faire vibrer les plantes en serre ou importer des insectes dans la serre pour permettre la fécondation.

Les conditions de base pour une bonne fécondation sont une température suffisamment haute ($\pm 18^{\circ}\text{C}$) et une bonne humidité de l'air (65 à 70 %). Pas de fécondation signifie pas de fructification et donc pas de formation de tomates.

Une plante de tomate continue de pousser si on lui en donne l'occasion. Mais ceci peut s'avérer néfaste pour une bonne récolte. Aussi selon la technique de culture la tête de la tige principale est ôtée (pincée) dès que la plante a formé un nombre suffisant de grappes à fleurs. Ceci s'appelle étêter. On garde au minimum un des gourmands qui apparaissent dans les aisselles supérieures. Ces bourgeons entretiennent une bonne circulation de la sève jusqu'en haut de la plante. Pour cela ils sont parfois aussi nommés tire sève. Cela permet de ne pas interrompre la croissance des tomates. Quand on taille les gourmands on ôte toujours le plus grand gourmand et on laisse le plus petit.

Les tomates sont cueillies quand elles sont tout à fait mûres, donc rouges, ou presque mûres, à demi rouges. Dans ce dernier cas elles mûrissent spontanément après la cueillette..

6.3 La fonction de quelques protéines

Les protéines décrites ont été choisies pour leur importance relative pour la plante et les fonctions primordiales qui vont de pair.

6.3.1 Extensine

Brownleader (1996) étudia les extensines des plantes de tomates. Les extensines font partie intégrante de la paroi cellulaire. C'est un matériau important de la paroi cellulaire – c'est une protéine structurale de la paroi cellulaire. Les protéines d'extensine sont synthétisées sur les ribosomes et transportées ensuite à travers les vésicules de Golgi vers la paroi cellulaire. Les extensines sont communément connues et se retrouvent aussi spécifiquement chez la plante de tomate. (Brownleader, 1996).

Selon Sternheimer (1998) les extensines stimulent la croissance de la plante et particulièrement l'élongation cellulaire des cellules végétales et donc l'élongation de la plante.

Les extensines ont aussi un rôle important dans la résistance des plantes aux maladies par leur fonction comme matériau constructif de la paroi cellulaire. Elles sont fortement impliquées dans la croissance et le développement des cellules végétales.

La paroi cellulaire serait constituée de 5 à 15% de cette protéine qui joue aussi un rôle important dans les processus de croissance de la paroi cellulaire et les mécanismes de défense de la cellule (Brownleader, 1996).

Les extensines font partie de la famille des glycoprotéines riches en hydroxyproline (HrGPS). Cette famille de protéines représente la fraction principale des protéines de la paroi cellulaire chez les plantes évoluées, et surtout chez les dicotyles. Les protéines de cette famille contiennent généralement beaucoup de séquences d'acides aminés semblables. Des expériences où des cellules de tabac furent traitées aux inhibiteurs de prolyl

hydroxylase ont eu pour résultat le développement des cellules dites monstrueuses qui continuent de se développer, de grandir sans se diviser.

L'expérience n'a pas permis de désigner de façon détaillée laquelle des protéines HrGP était impliquée dans ce processus. Les extensines contiennent beaucoup d'hydroxyprolines desquels les enzymes de prolyl hydroxylase furent inhibées dans l'expérience. (Showalter, 1993)

6.3.2 Thaumatine

La thaumatine est une protéine qui se retrouve surtout dans la plante de tomate. Elle a une force de douceur extrême et peut être goûtée sur la surface gustative complète de la langue. Cette propriété est plutôt exceptionnelle dans la nature, mais une qualité spécifique de cette protéine. Elle n'est pas toxique ni cancérigène. La thaumatine serait même la protéine la plus édulcorante du monde (Pressey, 1997). Dans le commerce cette protéine est parfois désignée du nom de Talin.

6.3.3 Cytochrome C

Les protéines de cytochrome jouent des fonctions importantes en tant que porteuses d'électrons dans la respiration et la photosynthèse. Dans l'appareil de photosynthèse les cytochromes transportent les électrons entre deux systèmes de photosynthèses existants.

Le système du cytochrome utilise ce transport d'énergie des électrons pour transformer l'ADP en ATP riche en énergie et fonctionne également comme pompe à protons.

Dans la chaîne de respiration le cytochrome C, avec d'autres protéines de cytochromes semblables, intercepte les électrons libérés par des réactions biochimiques dans la cellule. Les électrons interceptés sont ensuite transportés par la chaîne de porteurs d'électrons, pour ensuite se lier aux protons d'oxygène et d'hydrogène pour former de l'eau. Finalement le système oxygène hydrogène est réduit en eau (Kiekens, 1998).

Les cytochromes jouent surtout un rôle important dans le règne végétal dans le système de photosynthèse. Le cytochrome C est une des premières protéines qu'on a essayé de séquencer dans tous les organismes. On arrive ainsi par les petites différences dans la construction de la protéine à observer le degré de parenté entre les différents organismes. (Raven et al., 1999).

De grandes parties des différents chromosomes présents dans la chaîne de respiration sont identiques. Cela veut dire que des séries complètes de séquences d'acides aminés dont les cytochromes sont composés sont semblables. Selon la méthode de Sternheimer la stimulation musicale de production d'un cytochrome précis, en stimulerait aussi d'autres. Ceci est du aux phénomènes de résonance entre parties identiques. (Sternheimer, 1998). Le transport d'électrons dans l'appareil de photosynthèse est surtout réglé par les protéines de cytochrome. (Différentes protéines de cytochrome existent qui servent ensemble au transport d'électrons).

Le complexe de cytochrome b/f fonctionne comme une pompe à protons dans l'appareil de photosynthèse. La fonction de pompe à protons est centrale dans la fabrication de liaisons énergétiques comme l'ATP. (Raven et al., 1999).

Beaucoup de recherches furent effectuées avec des plantes transgéniques et aux quantités réduites du complexe cytochrome b/f. La diminution des quantités du complexe cytochrome b/f produit une diminution importante de l'assimilation de CO₂. On remarque presque une relation linéaire entre la diminution de quantité du complexe cytochrome b/f et une diminution de l'assimilation de CO₂. La capacité de transport d'électrons est un facteur limitant pour l'assimilation de CO₂ et de la lumière.

Dans des plantes avec des quantités réduites de cytochrome b/f cette capacité de transport était fortement réduite. Ceci résulta également en une synthèse réduite de molécules d'ATP et de NADPH. (Ruuska et al., 2000).

6.3.4 La protéine anti-sécheresse Tas 14.

TAS 14 est une protéine qui joue un rôle important dans la tolérance des plantes de tomates à la sécheresse. C'est donc une protéine de tolérance à la sécheresse. Les plantes de tomates qui ont des défauts dans cette protéine ou qui manquent de cette protéine auront des problèmes en cas de sécheresse. Pendant une période de sécheresse cette protéine contribuera à maintenir un équilibre hydrique, de façon à éviter des dommages aux plantes. C'est une protéine dont la production est augmentée en période chaude et lors de fortes températures, stimulant ainsi la résistance de la plante à la sécheresse.

Il y a des homologies génodiques de la protéine Tas14 ou déshydrine avec les 'Heat shock protéins'. Les protéines du froid sont de la même famille biologique et traduisent donc une origine commune. TAS 14 est aussi connue sous le nom de déshydrine. La production de déshydrine est stimulée par le stress dû à la sécheresse. On a découvert une relation entre la présence de grandes quantités de déshydrine, ainsi que d'autres protéines et la résistance à la sécheresse des plantes. (Pelah, 1996).

Les gènes qui codent pour les protéines de déshydrine sont activés par le froid et la sécheresse. Les protéines de déshydrine sont produites par toutes les plantes en réaction aux facteurs environnants qui produisent la déshydratation. Ceux-ci peuvent être le stress dû à la sécheresse, les températures de gel ou le stress osmotique. Les taux de déshydrines peuvent selon Close donner une indication sur leur capacité de tolérance au stress dû à la sécheresse des plantes. (Close, 1996).

Dans des expériences avec des lignées de tournesols tolérants à la sécheresse et des lignées sensibles à la sécheresse il semblerait que les protéines de déshydrine jouent un rôle très important dans des mécanismes de tolérance à la sécheresse. Les deux lignées de plantes furent soumises à une sécheresse progressive. Certains gènes qui sont induits par la sécheresse furent déjà identifiés comme codant pour les protéines de déshydrines. L'accumulation de ces transcripts de gènes fut comparée en fonction de l'humidité du sol et le statut hydrique de la feuille pendant une sécheresse progressive. Les résultats confirment que les lignées tolérantes à la sécheresse accumulent beaucoup plus de transcripts de déshydrines en réaction à la sécheresse progressive. L'accumulation de transcripts de déshydrines est associée à des mécanismes de tolérance à la sécheresse impliqués dans le maintien de la turgescence de la cellule.

Les chercheurs suggèrent que les déshydrines sont impliquées dans la prévention de déshydratation des cellules. Selon les chercheurs l'accumulation des transcripts de déshydrines ne correspond pas nécessairement à l'accumulation des protéines

correspondantes. On ne peut donc pas conclure que nécessairement aussi plus de déshydrines sont produites. (Cellier et al., 1998).

6.3.5 La protéine de floraison Lat52

La protéine Lat 52 est essentielle pour le bon développement des grains de pollen chez la plante de tomate. Un déficit en Lat 52 ou des défauts dans le bon fonctionnement de la protéine conduisent à la stérilité. (Muschiatti et al., 1994).

Lat 52 est aussi appelée protéine de floraison car c'est un chaînon important dans la formation des parties florales fertiles. (Mc Cormick, 1994).

Cette protéine identifiée chez la plante de tomate est nécessaire pour l'hydratation des grains de pollen et la germination des grains dans le tube pollinique. (Mc Cormick, 1994).

6.4 Normes de qualité

Les tomates sont divisées en classes selon leur qualité. Les paramètres utilisés sont principalement la taille, la capacité de conservation et la présence ou l'absence de côtes ou autres possibles défauts. Un taux élevé de sucre qui influence favorablement le goût peut aussi être important. Selon la variété, on tient aussi compte de caractéristiques spécifiques comme la couleur, la taille, l'homogénéité, la maturité simultanée des tomates sur une même grappe. La couleur est un paramètre important pour évaluer la qualité.

7. Expériences avec des séquences sonores épigénétiques

Beaucoup d'observations et de commentaires peuvent être faits sur l'approche scientifique et le traitement des données des expériences réalisées pour démontrer l'utilité de ces séquences sonores épigénétiques. Des expériences déjà réalisées auparavant sont décrites ici sommairement. Ceux qui le désirent peuvent se procurer plus de données chiffrées, détails et d'analyses statistiques auprès des auteurs respectifs.

On ne sait pas pourquoi plusieurs de ces expériences ne furent pas réitérées jusqu'ici.

7.1 Plants de tomate

Dans les années '90 Joël Sternheimer, Pedro Ferrandiz, M. Ulmer, J.M.Huber, M. & O. Gueye et al. réalisèrent quelques expériences sur des plants de tomate. Ces expériences visaient à étudier la spécificité, les caractères spécifiques et le mode de fonctionnement des séquences sonores épigénétiques décodées.

7.1.1 Expérience de plein air

Selon les chercheurs qui ont participé à l'expérience (M.Ulmer, B. Gil, P.Ferrandiz, J. Sternheimer, 1993) les résultats obtenus montrent clairement les effets des séquences sonores épigénétiques. Ils obtenaient une différence significative de plus de 8 écarts types qui prouverait l'existence de l'effet dû à ces séquences sonores décodées et une différence significative de 5 écarts types qui démontrerait leur spécificité. Les chercheurs mettent aussi l'accent sur l'utilité économique de cette technique dans le cas des tomates, où ils ont obtenu une hausse de production avec un facteur 20 pour une quantité d'eau donnée. Ce résultat fut obtenu par le décodage de seulement 6 molécules en leurs séquences sonores correspondantes avec un traitement sonore total de seulement 3 minutes par jour.

La technique avec séquences sonores épigénétiques, qui est aussi décrite dans le brevet n° FR9206765, fut utilisée lors de cette expérience. La synthèse de protéines spécifiques de différentes sortes de plantes fut stimulée avec un choix précis de séquences sonores décodées. Les mélodies étaient choisies pour stimuler certaines protéines qui jouent un rôle important dans la croissance et le développement des différentes sortes de plantes, avec pour but d'obtenir un plus grand rendement. (Ulmer et al., 1993).

Les plantes utilisées étaient des plantes de tomates, de poivrons, de carottes, de haricots verts à couper, de poireaux, d'oignons, de betteraves plus quelques autres. Elles furent divisées en deux groupes identiques et plantées le 19 mai 1993 dans deux jardins aux conditions environnementales identiques et un même travail du sol. Tous les jours on traita pendant quelques minutes un des jardins avec les séquences sonores, l'autre jardin servant de témoin. Les séquences sonores administrées étaient, pour les tomates : thaumatococine 1 (pour le goût), cytochrome C (métabolisme énergétique) et extensines de tomates (pour la croissance) et à partir du 18 juillet aussi la LAT52 ('protéine de floraison' de la plante de tomate), TAS14 (protéine 'anti-sécheresse').

Pendant quelques jours on administra aussi les séquences sonores inhibitrices correspondantes du virus de la mosaïque de la tomate car quelques plantes commencèrent à être touchées. L'infection virale s'arrêta après administration de deux séquences sonores inhibitrices, une séquence d'une protéine du manteau cellulaire et l'AL2. Les autres plantes reçurent aussi d'autres séquences sonores spécifiques comme l'extensine de carottes et la ferrédoxine des épinards. (Ulmer et al., 1993).

Les résultats furent remarquables. Le jardin musical avait un rendement nettement supérieur pour toutes les sortes de plantes. On récolta deux fois plus de tomates, qui étaient 2,5 fois plus grosses que les tomates du jardin témoin. Les oignons et les poireaux avaient un poids 3 à 4 fois supérieur à ceux du jardin témoin. On récolta aussi plus de haricots verts et le goût des différents légumes récoltés semblait aussi être meilleur. En plus pendant la période de sécheresse deux arrosages par semaine suffisaient dans le jardin musical où des séquences sonores de la protéine anti-sécheresse TAS14 furent administrées quotidiennement contrairement aux apports d'eau quotidiens nécessaires dans le jardin témoin.

Tableau 7 : Nombre de tomates et fleurs observées le 04/08/1993 dans le jardin témoin et le jardin musical. (M.Ulmer, 1993).

N° plante	Jardin contrôle			Jardin musical		
	Nombre de tomates sur la plante	Nombre de fleurs	Tomates récoltées	Nombre de tomates sur la plante	Nombre de fleurs	Tomates récoltées
1	8	3	1	20	7	1
2	10	5	-	29	30	-
3	10	15	-	22	6	2
4	9	7	-	22	20	-
5	7	5	1	24	25	-
6	11	6	-	24	13	-
7	11	13	-	21	30	-
8	11	0	-	34	33	-
9	11	4	-	17	25	1
10	14	6	-	28	35	-
11	15	9	-	13	15	-
12	13	12	-	12	15	1
13	15	14	-	17	20	-
14	13	12	-	18	10	-
15	16	7	-	12	20	-
16	9	16	-	17	20	-
17	9	9	-	8	20	2
18	8	8	1	17	25	-
19	10	2	-	19	10	-
20	9	4	-	25	20	-
Total	219	157	3	399	399	7
Moyenne	11.0 ±2.5	7.9±4.5	-	20.0 ±6.2	20.0 ±8.2	-

Des mesures furent effectuées le 14/07/1993 sur le nombre de tomates et de fleurs. Ces mesures ne permettaient pas de constater de différences significatives entre le nombre de fleurs dans le jardin témoin et le jardin musical.

Les mesures du 04/08/1993 où les séquences musicales du LAT52 (spécifique pour la floraison des plantes de tomates) furent administrées depuis déjà 18 jours, par contre, montrent des différences significatives dans le nombre de fleurs. Ceci démontre clairement, selon les chercheurs, la spécificité de l'influence des séquences sonores. (Ulmer et al., 1993)

7.1.2 Expériences en serre

Les expériences précédentes sur les plantes de tomate (Ulmer et al., 1993) ont permis, selon les chercheurs, d'obtenir des résultats très significatifs. Des expériences furent élaborées pour contrôler l'exactitude du modèle proposé de stimulation sonore.

A partir du modèle fut déduite la théorie selon laquelle le traitement avec les séquences sonores aurait moins d'influence lors de températures élevées. D'après la théorie, l'influence du traitement avec ces séquences sonores diminuerait avec l'augmentation de la température. Pour vérifier cette déduction théorique on mit en place une expérience dans des conditions de culture chaude. (Huber et al., 1994). Différentes expériences furent menées par Hageseth et al. (1975) et Weinberger et al. (1968) sur l'influence du son sur des plantes. Elles montrent une forte dépendance des effets observés de la température jusqu'à n'avoir presque plus aucun effet au-delà des 30°C. Les températures basses augmentent les influences sonores et les températures élevées font presque disparaître les influences sonores.

Les expériences avec des plantes de tomates dans les serres se déroulèrent de mai à août. Deux expériences furent mises en place. Dans la première expérience deux serres tunnel en plastique furent utilisées et dans la deuxième expérience deux serres en verre. Dans chacune de ces expériences une serre restait non traitée et servait de témoin tandis que l'autre servait à l'expérimentation. Différentes variétés de plantes de tomates furent utilisées dans les deux serres. (Huber et al., 1994). Les protéines converties en leurs homologues musicales étaient les extensines, le cytochrome C, la thaumatine et la LAT52. Dans les serres en verre classiques on administra en plus la musique de la protéine 'anti-sécheresse' TAS14.

- Serres tunnels : extensines + cytochrome C + thaumatine + LAT 52

- Serres en verre : extensines + cytochrome C + TAS14 + Hsp27 (complément pendant les journées très chaudes)

Les séquences sonores furent jouées quotidiennement pendant quelques minutes à l'aide d'une installation musicale automatique. Les serres avaient une température de 35 à 39°C. Les plantes de tomates des serres tunnels reçurent une quantité d'eau normale, tandis que les plantes de tomates dans les serres en verre reçurent un peu moins d'eau. (Huber et al., 1994).

Une mesure effectuée à la mi-août dans les serres tunnels montrait que les plantes de tomate traitées portaient en moyenne 25% (différence de 2 écarts types, $p < 0,05$) plus de tomates, ce qui était une différence plus petite qu'observée l'année auparavant en 1993 lors de l'expérience en plein air avec des températures plus basses.

Les différences étaient encore plus grandes dans les serres en verre : 32% de tomates en plus dans la serre musicale. On remarqua surtout la bien meilleure résistance à la sécheresse des plantes de tomates traitées. Dans les serres témoin les plantes souffraient visiblement plus de la sécheresse, pratiquement toutes les feuilles étaient jaunes tandis que dans la serre musicale toutes les feuilles étaient encore vertes. Cette observation fut nettement constatée sur chacune des 25 plantes dans la serre musicale et de contrôle, ce qui était très significatif, plus de 7 écarts types. (Huber et al., 1994).

Selon les observations réalisées, il semblait que les effets des séquences sonores des protéines étaient relativement diminués lors de températures de 35 – 39°C, sauf pour la

protéine TAS14. La protéine TAS14, protéine de tolérance à la sécheresse, était selon les chercheurs pratiquement la seule responsable des différences dans les serres en verre. Cette interprétation fut confirmée quand le traitement avec la séquence sonore de la TAS14 fut arrêté. Les différences diminuèrent et une dizaine de jours après l'arrêt du traitement on ne remarqua plus aucune différence, toutes les feuilles devenaient jaunes sous l'effet de la sécheresse. (Huber et al., 1994).

La protéine TAS14, contrairement aux autres protéines, est une protéine dont la température idéale de formation est relativement haute.

Selon les chercheurs les résultats confirment que les séquences sonores décodées stimulent certaines protéines précises correspondantes, ici surtout la protéine TAS14. L'hypothèse, déduite par la théorie, que les températures élevées diminuent les effets de la stimulation sonore est également confirmée. Les chercheurs suggèrent aussi que chaque protéine doit posséder une température optimale où la sensibilité à l'influence du traitement sonore est la plus grande. Chaque protéine devrait avoir des pics de résonance où la stimulation épigénétique a plus d'influence, en tenant compte de chaque co-facteur (p.ex. température, humidité,...) ayant une influence sur la synthèse d'une protéine donnée. (Huber et al., 1994).

Les résultats semblent, selon les chercheurs, économiquement très intéressants, surtout dans des régions avec des conditions climatiques suboptimales, où la sécheresse est le facteur de stress principal. Dans ces régions, les protéines de cultures agricoles qui jouent un rôle important dans des mécanismes de résistance à la sécheresse, pourraient être stimulées. (Huber et al., 1994). En 1996 une expérience semblable fut réalisée au Sénégal.

7.1.3 Expérience dans la région aride du Sénégal.

L'expérience a été réalisée dans une région sèche située à environ 100 kilomètres au sud de Dakar au Sénégal. Elle visait à contrôler les effets de la stimulation épigénétique de la protéine TAS14 sur un grand nombre de plants de tomate, cultivés en plein air.

On l'a vu, la protéine TAS14 est une protéine importante de tolérance à la sécheresse des plantes de tomate.

Un champ de plusieurs centaines de plants de tomates fut traité avec des séquences sonores. Les mélodies furent administrées tous les jours pendant 3 minutes. Les résultats furent remarquables, le rendement fut selon les chercheurs multiplié par vingt. (Gueye et al., 1996).

Sur demande de la firme Recofi on expérimenta sur quelques centaines de plantes de tomates qui furent transplantées dans un champ sec. Le champ fut ensuite divisé en deux parcelles identiques et adjacentes, nommé jardin témoin (JT) et jardin musical (JM).

Les plants de tomate du jardin musical furent traités une fois par jour avec 3 minutes de la séquence sonore spécifique de la TAS14. Ceci fut réalisé avec l'aide d'un magnétophone normal, un radiocassette ordinaire du commerce, qui fut déplacé tous les 3 mètres de façon à traiter la parcelle entière. (Gueye et al., 1996).

Suite à l'expérience acquise lors des expériences précédentes les plantes du JT furent arrosées 2 fois par jour pour éviter leur déshydratation. Les plantes de tomate du JM reçurent seulement un arrosage par jour et furent traitées avec les mélodies spécifiques de la protéine TAS14.

La quantité de rayonnement solaire, de pluie et la température étaient identiques pour toutes les plantes. (Gueye et al., 1996).

Après 11 jours de traitement musical, l'accélération de la croissance et du développement des plantes traitées du JM était nettement observable par rapport aux plantes non traitées du JT. La différence de croissance devenait encore plus visible les jours suivants (Gueye et al., 1996).

Après 33 jours de traitement musical les chercheurs remarquaient que les plantes traitées du JM semblaient avoir un développement plus ample et mieux fourni. C'était assez remarquable car les plantes du JM n'avaient reçu de l'eau qu'une fois par jour, contrairement aux plantes de tomate non-traitées qui avaient reçu deux arrosages par jour. (Gueye et al., 1996).

On constata que beaucoup de tomates musicales étaient déchirées à hauteur du calice. Ceci était probablement dû à un taux d'eau trop élevé (ou des tomates saturées en eau), combiné aux effets du plein soleil et de forte chaleur sur les tomates. Les chercheurs appelèrent ce phénomène 'l'effet saucisse' car la peau d'une saucisse se déchire aussi lors de la cuisson sous l'influence des pressions internes et une peau chauffée moins élastique.

Après le 72^{ème} jour de traitement musical le phénomène fut encore une fois confirmé. Selon les chercheurs cela signifiait une overdose musicale chez les tomates qui du fait, étaient trop saturées en eau. (Gueye et al., 1996).

Les tomates du JM étaient clairement plus grandes, leur diamètre avait environ 8 à 10 cm, tandis que celles du JT étaient nettement plus petites avec une grandeur moyenne de 5 à 7 cm. On observa une nette différence de hauteur entre les plantes du JM et celles du JT. Les plantes du JM avaient une hauteur moyenne de 170 cm, les plantes du JT 90 à 100 cm.

Selon l'emplacement des haut-parleurs dans le champ on observa aussi nettement un gradient de la hauteur des plantes, plus haut près des haut-parleurs.

Les chercheurs observèrent également l'influence remarquablement précise des séquences sonores choisies sur les protéines spécifiques des plantes de tomate, car apparemment on n'observa pas d'effets significatifs sur la végétation environnante. (Gueye et al., 1996).

Après 60 jours de traitement musical, les chercheurs constatèrent que le rendement de la récolte de tomates du jardin musical était beaucoup plus grand que celui du jardin témoin. Selon les chercheurs, en tenant compte du poids total récolté de tomates et de la quantité d'eau dont les plantes ont eu besoin, le rendement du jardin musical était vingt fois supérieur au jardin témoin. (Gueye et al., 1996).

L'importance de cette technique pour la stimulation de la protéine 'résistance à la sécheresse' (anti-sécheresse) TAS14 est selon les chercheurs de la firme Recofi indiscutable. (Gueye et al., 1996).

7.2 Algues bleues

Une critique habituelle sur les expériences illustrant l'influence musicale de la synthèse protéique consiste à dire que le nombre de paramètres qui influencent le déroulement de l'expérience est trop grand. On songea donc à une expérience où interférerait un minimum de paramètres. On choisit lors d'une expérience d'utiliser des algues bleues. Ce fut aussi la première fois qu'une expérience pareille fut élaborée dans un milieu aquatique. (Ferrandiz, 1995).

Les algues bleues utilisées, des cyanobactéries, étaient du genre *Anabaena variabilis*. Une solution de 12 ml d'algues bleues fut diluée dans 150 ml d'eau minérale. On y ajouta 40 g d'engrais avec 8% d'azote et des petites quantités de gravier de rivière pour l'apport d'oligo-éléments. La solution fut laissée au repos pendant quatre jours pour acclimatation. Le 30 avril 1995 la culture fut partagée entre deux cuves de 750 ml et éclairée avec la lumière naturelle. Les deux cuves se trouvèrent dans des conditions environnementales identiques.

Une des cuves reçut, à partir de ce moment, les séquences sonores musicales pour la stimulation de protéines spécifiques. L'autre cuve servait de contrôle. Les sons furent administrés à l'aide d'un haut-parleur aquatique du type Altec UW-30.

Les séquences sonores choisies étaient originaires de plusieurs protéines spécifiques qui jouent un rôle important dans les processus de photosynthèse et de croissance des cyanobactéries. L'influence sur les protéines ou la régulation épigénétique put être facilement contrôlée par la mesure de deux variables, la couleur et la production d'oxygène. Le traitement sonore fut effectué pendant une dizaine de jours. Quotidiennement on administra une fois le matin et une fois le soir les séquences musicales pendant environ une demi-heure.

Tout au long de la durée de l'expérience les solutions furent contrôlées au moyen d'un microscope.

Après une huitaine de jours on remarqua une plus nette coloration bleu-vert de la solution traitée. La différence de couleur entre les deux solutions s'accrut les jours suivants.

Une dizaine de jours après le traitement sonore, la surface du liquide de la cuve traitée était partiellement couverte de petites bulles qui s'enflammaient spontanément au contact d'une tige ardente en fer. Ceci indiquait une solution saturée en oxygène suite à une forte activité de la photosynthèse des algues bleues dans la cuve 'musicale'.

Les chercheurs constatèrent que la production de bulles d'oxygène dans la cuve traitée était environ seize fois plus forte que dans la cuve non traitée. A la fin de l'expérience on constata également que plus de carbone était fixé dans la cuve traitée.

Les résultats de l'expérience étaient très satisfaisants et la technique mérite plus de recherche. Elle permet de nouvelles perspectives dans l'épuration d'air et d'eau polluée. (Ferrandiz, 1995).

7.3 Maturation d'avocats

La conservation de fruits et de légumes constitue un grand obstacle dans l'industrie alimentaire. En ralentissant l'expression génétique de protéines qui accélèrent la maturation, on peut fortement allonger la conservation de produits alimentaires. Les protéines ou enzymes qui induisent la maturation sont par exemple la pectinesterase, la polygalacturonase et l'éthylène synthase. (Sneyaert et al. , 1997).

La technique de musique protéique ou de régulation épigénétique de l'expression de protéines donne la possibilité d'inhiber ou stimuler l'expression de certaines protéines. Dans cette situation, où l'on veut obtenir une plus grande conservation, la synthèse d'une protéine de maturation a été freinée avec des séquences sonores musicales adaptées. Il est également possible de décoder des séquences sonores inhibitrices d'une protéine. Elles sont (pour ainsi dire) une version symétrique en contre phase des séquences sonores

stimulantes. Une expérience fut élaborée avec des avocats pour illustrer ceci. L'expérience dura deux semaines. (Sneyaert et al., 1997).

Deux groupes de trois avocats bien formés furent en même temps mis dans deux valises. Dans une des valises les avocats reçurent des séquences sonores inhibitrices de la polygalacturonase de l'avocat. L'autre groupe d'avocats ne reçut pas de traitement musical et servait de groupe témoin. Les deux valises se trouvèrent dans les mêmes circonstances de température, d'humidité et d'éclairage.

Les résultats furent les suivants : déjà à partir du troisième jour les avocats du groupe témoin commencèrent à mûrir alors que les avocats du groupe traité étaient restés durs et immatures. Les avocats traités commencèrent à mûrir seulement le septième jour alors que les avocats non-traités commençaient déjà à pourrir.

Deux semaines après le début de l'expérience les avocats non-traités étaient pourris. Alors que parmi le groupe traité seulement un avocat était pourri et les autres étaient juste mûrs et prêts à la consommation. (Sneyaert et al., 1997).

Au total le traitement sonore a plus que doublé la conservation des avocats, 12 – 13 jours par rapport aux 5-6 jours après achat dans la chaîne de grand magasin. La différence entre les deux courbes de maturation est d'environ une semaine. (Sneyaert et al., 1997).

8. Effets secondaires néfastes

8.1 Séquences sonores épigénétiques

Interaction sur l'humain

Sternheimer (1992) met les usagers des séquences sonores épigénétiques en garde contre de possibles effets secondaires dangereux ou nocifs pour la santé des personnes qui les interprètent ou les entendent.

Il donne l'exemple d'un des participants à une expérience décrite ci-dessous, qui après avoir trop écouté, une dizaine de fois, le ton du cytochrome C, un pigment de la respiration a failli étouffer. Ceci était probablement une réaction de l'organisme face à une sur-stimulation, causant une sur-stimulation des réactions du cycle respiratoire, provoquant ainsi une plus grande consommation d'oxygène. (Sternheimer, 1999). Cette observation fut aussi mentionnée dans un article du « New Scientist » écrit par Coghlan (1994).

Les mélodies de la protéine de résistance à la sécheresse illustrent bien ceci. La protéine TAS14 montre des grandes similitudes avec divers « heat shock » protéines, avec plusieurs séquences homologues dans son code. Les « heat shock » protéines sont produites par l'homme sous l'influence d'une chaleur persistante. La TAS 14 est également sur l'entièreté de son code anti-homologue, donc contraire, à la protéine ACTH humaine qui gère la déshydratation. Les séquences sonores musicales de la protéine TAS14 peuvent donc, selon la technique de Sternheimer, aussi stimuler d'autres protéines contenant des homologies. Les mélodies de la TAS14 inhiberont ou freineront également les protéines anti-homologues chez l'homme comme l'ACTH.

En freinant la protéine ACTH de l'homme il se déshydratera moins vite et retiendra plus d'eau. Une contre-indication possible pour l'homme des séquences sonores de la TAS 14 existerait en cas d'insuffisance rénale ou de formation d'œdème. (Sternheimer, 1996).

Dégâts aux plantes

Quand la synthèse de protéines est trop stimulée, des effets non désirés peuvent se produire dans la plante. Dans ce cas on pourrait parler d'overdose musicale. Trop de protéines désirées sont produites et le métabolisme de la plante est dérégulé et endommagé. Quelques exemples furent observés lors de plusieurs expériences. (Sternheimer 1999).

Lors de l'expérience en plein air avec des plants de tomate, des phénomènes de nécrose furent observés à un certain moment sur les tomates, sur la partie proche de la tige des plantes traitées. Après avoir arrêté le traitement musical des plantes pendant quelques jours les plantes ne furent pas plus endommagées. Ceci ressemblait donc à une sorte d'overdose musicale. Après la reprise du traitement un phénomène étrange fut observé : la formation d'une série de tomates déformées (tomates doubles). Des déformations furent aussi remarquées chez des radis (Ulmer et al., 1993). Quand on ne l'utilise pas de manière réfléchie, l'arrêt du traitement peut avoir des effets indésirables sur les suites de la croissance et le développement de la plante. (Sternheimer, 1999).

Solutions possibles

Il est conseillé de ne pas s'exposer en tant qu'être humain, aux traitements sonores, basés sur le processus de la régulation épigénétique des protéines par voie de séquences sonores spécifiques. Surtout quand on ressent les sons comme très désagréables, ce qui exprime précisément le fait qu'ils ne sont globalement pas bons pour la santé de la personne concernée. Selon la similarité entre les codes des protéines végétales ciblées et les protéines humaines, le danger d'effets secondaires sera plus ou moins grand.

Une connaissance approfondie de la construction, de la fonction et des homologues possibles des protéines influencées est certainement nécessaire. (Sternheimer, Ferrandiz, 1999).

On étudie actuellement la façon dont on pourrait neutraliser ces séquences sonores décodées sans en perdre l'efficacité.

Il est possible de faire moins de séquences sonores spécifiques. Elles sont alors moins dangereuses mais doivent être administrées pendant un temps plus long pour obtenir un même résultat.

En cas d'overdose musicale chez les plantes, on peut arrêter pendant un temps le traitement ou le diminuer fortement en réduisant l'intensité sonore ou le nombre de traitements. (Sternheimer, 1995).

8.2 Les ultrasons

Risques

Les ultrasons peuvent également être utilisés pour faire éclater des cellules ou tuer des bactéries. Il faut les utiliser avec précaution car l'homme est aussi constitué de cellules et de membranes cellulaires qui peuvent être influencées.

Possibles solutions

Les ultrasons qui occasionnent des malaises doivent être évités. Il faut alors s'en protéger spécialement en s'assurant que seuls les organismes à traiter entrent en contact avec les ultrasons.

8.3 Autres sons

Des dangers à l'utilisation des techniques sonores telles que décrites dans les brevets de Carlson où des fréquences sonores de 4000 à 6000 Hz furent utilisées et chez Hou , de 50 à 3500 Hz ne sont pas décrits. Du moins les risques ne furent pas mentionnés dans les brevets. Il existe clairement des risques de dommage sur l'ouïe avec la technique de Carlson qui utilise des intensités sonores de plus de 115 dB. (Lindeman, 1981).

On conseille de porter une protection auditive lors de l'utilisation de fortes intensités sonores et lors de traitements de longues durées avec des fortes intensités sonores, par exemple lors de l'administration de pulvérisation des feuilles et l'administration de fréquences sonores.

En cas de fréquences sonores basses comme celles entre environ 10 – 500 Hz des résonances de parties anatomiques du corps peuvent apparaître, dépendant de l'intensité et de la durée du traitement. La fréquence de résonance, par exemple des vertèbres dorsales, est d'environ 250 Hz. (Smith, 1988) Une étude de Marie-Louise Aucher intitulée « l'homme sonore » montre que ces fréquences de résonances sont différentes pour chaque vertèbre. (M. L. Aucher, 1977)

De fortes intensités de pratiquement toutes les fréquences sonores et surtout des ultrasons peuvent occasionner des problèmes d'équilibre ; de fortes doses d'ultrasons et également d'autres sons peuvent même provoquer chez l'homme des pertes de connaissance et des envies de vomir.

Ceci fut également constaté chez les personnes qui devaient travailler aux environs immédiats de moteurs à réaction. (Myncke, 1975).

9. Plantes sensibles à certains sons spécifiques.

9.1 La technique avec séquences sonores spécifiques

Sur la base de cette technique, on peut s'attendre à obtenir des résultats avec toutes les plantes, car elles sont toutes composées de protéines qui peuvent être influencées.

Pour pouvoir obtenir des résultats avec une plante il faut néanmoins remplir certaines conditions. Il faut d'abord connaître le code génétique de la protéine qu'on veut influencer. Il faut ensuite que la stimulation ou l'inhibition de la production de cette protéine ait des suites décelables sur le développement ou l'état de la plante. Ceci signifie qu'on doit pouvoir observer des suites phénotypiques dans lesquelles le traitement pourra avoir notamment des conséquences perceptibles à notre échelle sur la plante. Ce sont ces conséquences perceptibles et ciblées à notre échelle qui témoignent de la spécificité du traitement. (Sternheimer, 1992).

La stimulation d'extensine par exemple pourrait avoir pour résultat des plantes plus hautes et plus grandes. La stimulation de la LAT 52 par exemple pourrait donner un plus grand nombre de fleurs par plante. Les possibilités sont donc nombreuses.

Selon qu'on stimule ou inhibe la synthèse des protéines et en fonction du nombre de fois et de la durée du traitement des plantes on peut obtenir une grande variété de résultats.

Certaines protéines de certaines espèces de plantes sont plus intéressantes que d'autres. Ceci est dû à l'une ou l'autre fonction importante et spécialisée de la protéine dans l'organisme, par exemple des substances avec des propriétés médicinales.

Selon que la plante se trouve en situation de stress, l'influence de la stimulation ou de l'inhibition de certaines protéines sera plus prononcée. Ainsi, il est pratiquement inutile de stimuler la protéine de résistance à la sécheresse TAS14 sur des plantes qui ont accès à suffisamment d'eau. (Sternheimer, 1998).

Des expériences furent réalisées avec cette technique sur des plantes de tomates, d'oignons, de poireaux, de carottes, d'haricots à couper, de radis, de betteraves et toutes sortes d'autres plantes.

Les résultats, notamment des récoltes plus élevées, des diminutions de besoin en eau, etc. , furent jugés très positifs par les chercheurs. (Ulmer et al, 1993)

9.2 Son et nutrition foliaire.

Le brevet N°US4680889 mentionne plusieurs sortes de plantes avec lesquelles des expériences furent déjà réalisées qui, selon le brevet, donnèrent des résultats positifs. Ce procédé est approprié pour pratiquement toutes les plantes telles les plantes horticoles et agricoles. De multiples possibilités existent. On peut par exemple stimuler la croissance de plantes de soya, de maïs, de tournesol, de petits pois, de luzerne, de tomates, de poivrons, de concombres, de salades, d'épinards, d'oignons, de poireaux, de carottes, de roses, d'orchidées, de violettes, d'arbres fruitiers, de bananiers, de noyers, toute une variété de plantes de pot, etc. (Carlson, 1989).

La technique de Hou (1995) qui utilise des fréquences sonores basses de 50 à 3500 Hz divise les plantes en différents groupes. A chaque groupe de plantes une fréquence sonore fut associée qui était plus appropriée aux plantes concernées. Pour le maïs, les pommes de terre et les haricots par exemple des fréquences entre 150 et 300 Hz furent préférées, tandis que pour les choux des fréquences entre 300 et 500 Hz furent préférées. Le volume des sons doit être d'au moins 50dB à l'endroit où se trouve la plante, avec une préférence de 70-80 dB. Pratiquement toutes les plantes peuvent être traitées avec cette technique. (Hou, 1995).

9.3 Autres techniques.

Certaines techniques qui utilisent des ultrasons ou d'autres fréquences sonores comme celles utilisées pour réveiller les graines en état de dormance ou pour accélérer la scarification des graines de plantes, pourraient probablement être appliquées avec toutes les plantes. Comme les chercheurs semblent affirmer que ces phénomènes sont dus au fait que les cellules sont devenues perméables suite à l'influence de certains sons, ces techniques ne peuvent pas se restreindre à quelques sortes de plantes.

La technique utilisant des fréquences préférentielles spécifiques des plantes et graines concernées, peut pratiquement être employée avec toutes les plantes. (voir 4.4.) Selon la description du brevet, une croissance et une germination accélérée furent observées chez l'orge, le froment, les tomates, la salade, les betteraves, les carottes, les épinards, les radis, les oignons, le céleri et les avocats. (Charnoe, 1975).

10. Applications pratiques en agriculture et horticulture

10.1 Alternative pour la manipulation génétique et la sélection

La manipulation génétique a pour but de développer de nouveaux organismes avec de nouveaux caractères que l'organisme original ne possédait pas ou pas assez. Pour arriver à cela la manipulation génétique consiste à introduire un gène ou plusieurs gènes étrangers à la cellule végétale codant pour ces caractères visés. Le résultat est un nouvel organisme. Si la technique a réussi alors celui-ci va posséder ces nouveaux caractères pour lesquels ces gènes nouvellement incorporés codent. Cependant le résultat a de grandes chances d'être fortement instable à l'échelle de plusieurs générations de plants.

Un gène est un bout d'ADN qui code pour une protéine ou qui régule la synthèse d'une protéine. Les gènes nouvellement introduits jouent le même rôle. Dans la majorité des cas l'organisme original possède déjà les protéines que l'on souhaite faire synthétiser par les gènes étrangers. Dans ce cas, le but habituel est que ces gènes étrangers stimulent l'organisme afin qu'il produise plus de protéines visées. Par ce biais, on souhaite obtenir des caractères plus forts correspondant à ces protéines.

Si le but est d'augmenter un caractère inhérent à la plante, la stimulation de la synthèse de certaines protéines avec des séquences sonores correspondantes pourrait être une alternative. A l'inverse il est possible d'inhiber la synthèse d'une ou plusieurs protéines s'il s'agit de diminuer un caractère.

La technique découverte par Joël Sternheimer d'influence épigénétique de la synthèse des protéines par résonance d'échelle permet de proposer une alternative dans la majorité des cas où on se rabat sur la manipulation génétique. La technique permet de stimuler ou inhiber certains caractères de la plante pour autant que la plante possède déjà plus ou moins ces caractères en elle. Des caractères étrangers à la plante, donc que la plante ne possède pas du tout, ne peuvent pas être créés ou influencés. Par ailleurs, cette technique est relativement bon marché une fois que l'on connaît les séquences en acides aminés et les fonctions des protéines.

Les techniques de recherches développées dans le secteur de la manipulation génétique, biochimie et biotechnologie peuvent trouver ici une réelle utilité pour aider à la détermination du code génétique et les codes correspondant des protéines et de leurs fonctions.

Les nouvelles techniques basées sur les découvertes de Sternheimer permettent aussi d'aider à prédire les fonctions des protéines selon des méthodes non invasives en travaillant dans certaines limites naturelles respectant plus l'organisme vivant étudié.

(Le passage ci-dessus a du être supprimé de la thèse telle qu'elle a été soutenue)

10.2 Optimisation de la nutrition foliaire

La technique décrite dans le brevet de Dan Carlson (1989) mentionne une forte amélioration de l'absorption de l'engrais foliaire. Ceci pourrait rendre l'application de nutrition foliaire plus rentable, surtout sur des plantes où la nutrition foliaire est absorbée avec beaucoup de difficultés et donne peu de résultats. De plus une nutrition foliaire efficace diminue le lavage et les pertes éventuelles des engrais pulvérisés. (Carlson, 1989).

Dans des régions où le sol a des caractéristiques telles qu'il est très difficile de faire des apports d'éléments nutritifs via le sol, la nutrition foliaire offre une alternative possible pour apporter aux plantes les éléments nutritifs nécessaires. (Paux, 1989).

Une nutrition foliaire efficace a lieu de préférence le matin avant 10h, car c'est le moment où les stomates sont naturellement le plus ouverts. Une grande partie des nutriments de l'engrais foliaire est absorbée par les stomates.

10.3 Diminution des besoins en eau.

Des expériences précédentes comme celles réalisées dans les serres chaudes et au Sénégal illustrent l'utilité pratique de la technique des séquences sonores épigénétiques stimulantes. Les plants de tomates qui furent traités avec les mélodies stimulantes de la protéine de résistance à la sécheresse correspondante semblaient en moyenne avoir diminué leur besoin en eau au moins de moitié par rapport aux plantes non-traitées.

La plupart des plantes possèdent de telles protéines de tolérance à la sécheresse, qui pourraient être stimulées pour autant que leur code génétique soit connu. Grâce au code génétique d'une protéine il est possible de développer les séquences sonores correspondantes. Les plantes pourraient alors, quand c'est nécessaire, être traitées avec ces séquences sonores, pour qu'elles améliorent leur tolérance à la sécheresse. (Sternheimer, 1995 ; Gueye, 1996).

Carlson (1989) indique que les plantes cultivées avec des fréquences sonores utilisées pour la nutrition foliaire sont aussi plus résistantes à la sécheresse et au gel. Avec les techniques de Carlson, mais également avec d'autres techniques de mêmes caractéristiques, les plantes sont parfois tellement mieux développées qu'il leur faut quand même plus d'eau pour se maintenir et continuer leur développement. Avec sa technique on peut également faire des économies d'eau, en l'appliquant aux endroits où l'on trouve pendant la journée une rosée ou de la brume, souvent le matin ou le soir. Certaines fréquences sonores influenceront les stomates de tel sorte, selon Carlson, que l'humidité qui s'est condensée sur les feuilles sera partiellement absorbée. (Carlson, 1989).

En supposant que les résultats de ces techniques continuent d'être confirmés scientifiquement, elles semblent offrir d'énormes possibilités dans bien des régions où la disponibilité en eaux est réduite.

Ces régions représentent une grande partie de la surface agricole du monde. Surtout dans des régions arides, souvent associé à la pauvreté, ces techniques bon marché et faciles d'utilisation semblent pleines d'espérance.

10.4 Précocité et période de croissance raccourcie

Obolensky (1954) constata que grâce au traitement aux ultrasons on peut pour certaines cultures comme l'orge, stimuler la précocité des graines germantes.

Ceci suggère qu'un traitement aux ultrasons peut s'avérer très utile chez des variétés précoces où le progrès génétique devient difficile. Selon lui on pourrait l'utiliser sur les graines de la plupart des plantes cultivées. La stimulation de la précocité avec cette technique pourrait être très utile pour les plantes cultivées dans les régions où la durée de la saison sans gel constitue un facteur limitant. (Obolensky, 1954).

On constata également que les graines traitées avec leurs fréquences sonores préférentielles germaient plus vite et atteignaient les différentes phases de croissance plus tôt. (Charnoe, 1975).

10.5 Contre les maladies, fléaux et attaques diverses

Toutes les techniques sonores mentionnées qui rendent les plantes plus fortes et plus saines devraient en toute logique pouvoir aider à la prévention contre les maladies et fléaux. Ceci en tenant compte du fait que dans la nature les plantes fortes et saines sont souvent plus résistantes aux attaques.

La technique de séquences sonores épigénétiques offre un nombre infini de possibilités pour combattre maladies et fléaux. Certaines expériences illustrent déjà l'utilité pratique de certaines séquences sonores déjà décodées. L'expérience au Sénégal avec des plantes de tomates par exemple permet de constater que les plantes traitées avec les séquences sonores de la TAS14 en stimulation n'étaient pas attaquées par les insectes prédateurs contrairement au témoins (Gueye et al., 1996).

Les techniques comme celles de Carlson (1989) et celles de Hou (1995) qui utilisent certaines fréquences sonores, offrent aussi des possibilités pour combattre et prévenir les maladies et fléaux.

Selon Carlson, les plantes qu'on laisse pousser en utilisant ces techniques comme décrites dans son brevet pousseraient avec plus de vigueur et seraient plus saines. (Carlson, 1989).

L'invention de Hou qui a obtenu le brevet N° US5731265 avec sa technique, consiste à influencer les plantes avec des fréquences sonores basses, allant de 50 à 3500 Hz. Des plantes qui recevraient pareils traitements à certaines doses, augmenteraient leur résistance aux maladies. (Hou, 1995).

Charnoe (1975) observa que les plantes traitées avec sa technique restaient habituellement préservées de maladies et fléaux. Contre les herbes indésirables on peut utiliser certaines autres fréquences sonores préférentielles qui inhibent la croissance et la germination. (Charnoe, 1975).

Bactéries

Un chercheur japonais, Michio Matsushashi (1998) découvrit comment on pouvait influencer des bactéries avec certaines fréquences sonores. Il suggéra sa technique comme une solution possible pour combattre certaines bactéries résistantes. Il envisagea aussi des possibilités dans le secteur de l'agriculture. (Matsushashi, 1998).

A l'aide de séquences sonores épigénétiques, la synthèse de certaines protéines végétales qui jouent un rôle important chez les plantes dans la protection contre des bactéries pourrait être stimulée. La séquence sonore d'une telle protéine (P23) définie est déjà connue et montre une grande ressemblance avec la mélodie de la protéine thaumatine. (Sternheimer, 1995).

Atteinte virale

Lors d'une expérience on constata qu'un nombre de plantes de tomates étaient attaquées par le virus de la mosaïque du tabac. Comme moyen de lutte on avait administré une version de séquences sonores inhibitrices de deux protéines du virus de la mosaïque du tabac. L'attaque fut rapidement endiguée. (Ulmer et al., 1993).

Un cultivateur hollandais de tomates fut aussi surpris par les bons résultats des séquences sonores inhibitrices de quelques protéines virales du potato-virus. (Sternheimer, 1999).

Un virus consiste dans sa version la plus simple en un morceau de matériel génétique entouré d'un manteau de protéines. Les virus ne deviennent dangereux que quand ils sont absorbés par les cellules végétales et sont reproduits par leur métabolisme protéique. De cette façon les virus parviennent à dérégler les métabolismes vitaux dans les cellules végétales, ce qui peut conduire à la mort ou à un fort affaiblissement de la cellule. Les virus emploient simultanément le métabolisme protéique pour se reproduire.

Quand on connaît le code des protéines virales spécifiques, il est théoriquement possible de freiner la synthèse de protéines virales correspondantes. L'exemple du virus de la mosaïque de la tomate illustre ceci avec succès. (Sternheimer, 1993).

La technique avec les séquences sonores épigénétiques serait alors une des seules à permettre de combattre et endiguer les virus quand les plantes sont déjà attaquées.

10.6 Réduction de l'usage de pesticides

Chacune des applications, comme celles décrites sous les possibilités pour combattre les maladies et les attaques contribuent à diminuer l'usage des pesticides.

La technique de Dan Carlson (1989) qui utilise des fréquences sonores pour stimuler l'absorption par les feuilles de solutions nutritives, est également utilisée avec des pesticides ou d'herbicides. Il faut alors prendre soin d'adapter la dose du produit en fonction de l'amélioration de l'absorption, qui renforce l'effet des herbicides. La concentration d'herbicides peut selon la méthode décrite dans le brevet être réduite de 5 à 7%. Avec cette méthode on pourrait appliquer presque tous les herbicides foliaires. De plus grâce à la meilleure absorption du produit par les feuilles, moins de solution d'herbicide pourrait se perdre par écoulement. (Carlson, 1989).

Le brevet mentionne plusieurs expériences comme par exemple celle de plein champ où on utilise un herbicide foliaire avec comme substance active le diclofop-méthyl contre les herbes indésirables de la famille des *poacea*.

Une dose équivalente à 75% de la dose normale fut administrée. Un champ fut traité en même temps avec cette solution et avec des fréquences sonores. Un champ de contrôle semblable fut traité avec la dose normale conseillée dans les mêmes conditions sans les fréquences sonores. L'effet ralentisseur des deux traitements sur la croissance de l'avoine sauvage fut le même. (Carlson, 1989).

10.7 Des rendements plus élevés

De plus grands rendements seraient rendus aussi possibles grâce aux ultrasons. Ainsi en 1995, on réalisa une étude avec des graines de betteraves sucrières traitées aux ultrasons. Le taux de sucre et les rendements des betteraves sucrières furent augmentés et le nombre de feuilles par betterave sucrière était plus grand. (Veress, 1995)

Dans les expériences où les plants de tomates furent influencés par des séquences sonores spécifiques de certaines protéines cibles, les chercheurs ont obtenu des résultats remarquables : les rendements des plants traités furent beaucoup plus élevés par rapport aux plants du champ témoin (Sternheimer et al., 1995)

Les rendements des cultures cultivées avec la technique qui utilise certaines fréquences sonores audibles conduisent dans la plupart des cas à des augmentations de 5 à 500 % selon la sorte de plante, éventuellement en combinaison avec des techniques de nutrition foliaires (Carlson, 1989). On peut se demander si une augmentation du rendement de 500 % même dans des conditions idéales est vraiment possible.

Le brevet de Carlson décrit une expérience avec des plants de tomates. Les plants furent divisés en deux groupes identiques. Un groupe fut traité avec la technique de nutrition foliaire de Carlson conjointement à l'administration des fréquences sonores choisies. L'autre groupe ne reçut pas de traitement. Les pulvérisations foliaires furent effectuées 41, 51, 65, 81, 97 et 129 jours après la plantation. Les fréquences sonores furent administrées pendant chaque pulvérisation ; le traitement sonore a débuté chaque fois 5 minutes avant le commencement des pulvérisations et continué jusqu'à 5 minutes après la fin du traitement foliaire.

Avant le premier traitement, les plantes de tomates avaient une hauteur moyenne de 25,5 cm et ceci pour les deux groupes. Après 129 jours les plantes de contrôle avaient une hauteur de 127 cm tandis que les plantes traitées atteignaient une hauteur de 450 cm. (Carlson, 1989).

Il faut néanmoins tenir compte qu'il ne s'agit ici pas seulement de l'effet du traitement sonore. Dans la solution nutritive pour les feuilles il y a aussi des hormones de croissance pour plantes qui peuvent avoir aussi beaucoup d'influence sur leur croissance.

La technique de Hou (1995) décrite dans le brevet N°US 5731265 permettrait d'obtenir des résultats visiblement supérieurs auprès d'un grand nombre de cultures agricoles. Le traitement sonore diffère quelque peu, mais ressemble à celui décrit par Carlson, le traitement est aussi combiné avec une nutrition foliaire. Une expérience fut réalisée avec de la salade. Deux groupes furent constitués, un groupe de contrôle sans traitement et un autre groupe qui reçut un traitement tel que décrit dans le brevet de Hou. La période de croissance

de la plantation jusqu'à la récolte dura 54 jours et le traitement fut effectué deux fois par semaine. L'expérience fut réalisée simultanément avec trois variétés de salade. Les résultats mentionnés dans le brevet montraient une augmentation du poids d'au moins 100% pour les trois variétés. Le poids de salade de la variété Salina Iceberg montrait même une augmentation pondérale de 472 % par rapport au groupe témoin. (Tableau 8).

Tableau 8 : Hauteur moyenne et poids de trois variétés de salade dans un groupe traité et non-traité. (Hou, 1995).

Variétés	Groupe traité		Groupe sans traitement		
	Hauteur (cm)	Poids (g)	Hauteur (cm)	Poids (g)	% augmentation
Red loose leaf	27,9	227	17,8	95,3	138,1
Salinas Iceberg	17,7	467,6	15,2	81,7	472,2
Red sails loose leaf	22,9	263,3	17,8	109	141,7

Dans les brevets de Carlson et Hou il est aussi affirmé que les rendements de la plupart des cultures issues de graines de plantes ayant été traitées, devenaient plus élevés. Certaines fréquences sonores préférentielles pour plantes permettaient, selon le brevet de Charnoe (1975), d'augmenter la croissance et la hauteur de la plupart des plantes ou cultures agricoles avec un facteur de 2,4 à 3,1. Ceci était valable lors de périodes de croissance identiques avec les plantes traitées et non-traitées. (Charnoe, 1975).

De plus, chaque génération suivante des plants traités posséderait un potentiel de rendement supérieur. Des expériences viennent illustrer ce constat. Ceci est un phénomène assez étonnant qui est mentionné par les chercheurs Carlson (1989) et Hou (1995). On ne s'explique pas comment ce phénomène s'avère possible. Même si l'on tient compte de toutes les hypothèses expliquées précédemment celles-ci ne permettent pas d'élucider ce phénomène.

10.8 Conservation

La plupart des séquences sonores adaptées permettent d'influencer les enzymes comme la pectinesterase et la polygalacturonase qui rendent les fruits moins fermes, plus mous et plus faibles. En utilisant des séquences sonores inhibitrices correspondantes moins d'enzymes de ce type sont produites et l'on obtient des fruits qui mûrissent moins vite. (Sternheimer, 1992). Cette technique est bénéfique à l'industrie alimentaire en influençant la conservation de fruits et légumes. Carlson mentionne aussi la meilleure conservation de cultures qui furent traitées avec sa technique.

Une expérience fut déjà réalisée sur la maturation d'avocats, où l'on a utilisé des séquences sonores épigénétiques pour augmenter leur conservation, avec des résultats positifs. Cf. plus haut (Sneyaert, 1997).

10.9 Applications dans l'industrie alimentaire

La technique découverte par Joël Sternheimer semble être prometteuse et s'avère très utile pour l'industrie alimentaire. Dans la description de son brevet, sur la méthode utilisant des séquences sonores épigénétiques, quelques applications remarquables sont mentionnées. (Sternheimer, 1992).

Amélioration de la qualité du lait

Il existe des récits qui affirment que la musique de Mozart permettrait d'améliorer la production laitière. Ceci n'est peut-être pas tout à fait faux car Sternheimer a découvert que certaines séquences sonores aptes à stimuler la prolactine bovine étaient au plan musical typiquement « mozartiennes ». Avec les séquences sonores épigénétiques on peut stimuler la production de protéines du lait telle la prolactine, la lactoglobuline et la lactoalbumine. (Sternheimer, 1992).

Selon les découvertes de Sternheimer une vache qui recevrait régulièrement pendant la traite, pendant cinq jours, ces séquences sonores stimulantes de ces protéines, produirait un lait de meilleure qualité. La quantité de lactosérum du lait par rapport à la quantité totale de lait fut diminuée d'un facteur trois, ce qui signifie que le lait était bien plus riche en protéines. Les fromages produits avec ce lait étaient exceptionnels en goût et en qualité. (Sternheimer, 1995).

Influencer le goût

Le goût des fruits et légumes peut aussi être amélioré avec des séquences sonores épigénétiques. Quand les sons stimulants de thaumatococcus, une protéine édulcorante, furent administrés à des plants de tomates on obtint une production de fruits plus sucrés et plus savoureux. (Sternheimer, 1992)

Amélioration de la fermentation

Les découvertes de Sternheimer permettent également d'influencer les processus de fermentation en stimulant ou freinant la production de certaines enzymes telle l'alcool déshydrogénase dans la pâte à pain. L'alcool déshydrogénase joue un rôle important dans la transformation de l'acétaldehyde issue de la décomposition de sucres en éthanol. Les fermentations de boissons alcoolisées entre autres appartiennent aux applications possibles. Certaines expériences ont démontré que le goût du pain peut être influencé avec cette technique en stimulant ou inhibant certaines enzymes lors de la fermentation. (Ferrandiz, 1993)

Comme la fermentation va de pair avec des processus métaboliques intenses où beaucoup d'enzymes et de protéines jouent un rôle important, cette technique avec des séquences sonores décodées des protéines offre peut-être beaucoup plus de possibilités.

10.10 Autres applications possibles

Dans le brevet sur les séquences sonores épigénétiques Sternheimer (1992) mentionne aussi les possibilités de stimuler les protéines comme la fibroïne dans les fibres de soie, produites par le ver à soie. Un exemple semblable est donné par la stimulation de la protéine kératine qu'on trouve entre autres dans la laine du mouton. On pourrait également stimuler certaines protéines importantes de plantes médicinales pour obtenir des concentrations plus fortes de substances actives voulues.

Il ne voit pas seulement des applications dans l'agriculture mais aussi dans la technologie environnementale où on pourrait stimuler la croissance de micro-organismes.

Cet exemple fut déjà illustré par l'expérience avec les algues bleues où les algues traitées produisirent plus d'oxygène et fixèrent plus de dioxyde de carbone. (Ferrandiz, 1993).

10.11 Difficultés et coûts lors de l'utilisation de ces techniques

La plupart des chercheurs concernés par le sujet sont persuadés que la majorité des applications des techniques citées précédemment, sont relativement bon marché et facilement réalisables.

Selon Halstead (1969) la simplicité du traitement aux Ultrasons et la relative courte durée d'exposition nécessaire, permet d'utiliser cette méthode à grande échelle. Rappel :

Halstead expérimente des ultrasons pour interrompre la dormance des grains de riz sauvage.

Burnstedt (1992) étudia comment, grâce aux ultrasons, on pouvait facilement introduire des molécules, gènes et/ou plasmides dans les cellules végétales. Ses conclusions étaient aussi prometteuses. Selon lui la technique aux ultrasons est unique en comparaison avec d'autres techniques. De par sa diversité cette technique permet de transformer des protoplastes, des cellules végétales en suspension et même des tissus végétaux entiers. Cette qualité, combinée au fait que l'équipement nécessaire au traitement sonore est simple, bon marché et multiple, offre d'immenses possibilités pour de futures applications (Brunstedt, 1992).

Il est très important, surtout avec la technique de séquences sonores épigénétiques, de bien connaître le métabolisme, les interactions possibles et les fonctions des protéines impliquées pour obtenir de bons résultats. Il faut aussi connaître les codes des acides aminés des protéines qu'on veut influencer. Une personne qui contrôle la technique peut alors décoder la protéine en des séquences sonores épigénétiques spécifiques.

L'appareillage nécessaire pour décoder et transformer les codes d'acides aminés en séquences sonores correspondantes est simple et bon marché. Il faut néanmoins avoir les connaissances nécessaires pour l'appliquer (Sternheimer, 1999).

L'utilisation des découvertes brevetées à des fins mercantiles, nécessite naturellement la permission de l'inventeur lui-même et le respect des lois en vigueur.

11. Description générale des expériences exécutées

11.1 Objectif

L'objectif de cette expérience est de contrôler si certains sons peuvent influencer la croissance des plantes. Les sons peuvent influencer la croissance des plantes de nombreuses manières différentes.

En tenant compte de ces faits, on a choisi d'expérimenter la technique sur la stimulation de la synthèse des protéines par des séquences sonores épigénétique. Après avoir trouvé un lieu, on a étudié quelle expérience il était possible de faire sous les conditions locales.

Les plantes testées ont été soumises au même traitement sonore dans la serre tropicale et dans la serre froide. Le même traitement sonore signifie aussi que les mêmes protéines y sont influencées. Pour des raisons pratiques le traitement sonore est le même dans la serre froide et la serre tropicale. On attend quand même des résultats différents dans les deux cas vus que l'influence des séquences sonores sur les protéines est aussi dépendante de la température, de l'humidité ou autres facteurs de stress comme la sécheresse. Il y a aussi apparition d'autres synthèses de différentes protéines actives selon ces mêmes facteurs. Ces expériences sont principalement dirigées pour observer l'influence des séquences sonores épigénétiques de l'extensine et TAS14.

Le traitement consiste à utiliser des séquences sonores très spécifiques qui sont porteuses d'une information épigénétique précise basée sur la technique « méthode de régulation épigénétique de la biosynthèse des protéines par résonance d'échelle ». Ces séquences sonores permettraient d'influencer la synthèse des protéines correspondantes. Dans ces expérimentations on a utilisé les séquences sonores en stimulation des protéines extensine, Tas14 et thaumatococine. Selon la technique les séquences sonores choisies devraient stimuler la synthèse des protéines correspondantes. Le but est d'observer des changements phénotypiques à l'échelle macroscopique, des séquences sonores épigénétiques en stimulation sur les plantes et d'en étudier la spécificité, due à l'influence qu'a une stimulation de la synthèse des protéines ciblées. Le but est également d'observer dans quelle mesure la stimulation sonore a une influence dans les conditions données.

11.2 Matériel et méthode

Une expérience a été menée dans une serre froide et une autre expérience dans deux serres tropicales de l'Université de Gand (RUG). La première serre est appelée froide car elle ne dispose pas de climatisation. Les expérimentations ont été conduites sur des plants de tomates. Les séquences sonores ont été mises au point par l'inventeur de cette technique.

Les expérimentations ont commencé en hiver le 25/01/'99 et se sont terminées au début de l'été le 26/06/'99. Les conditions de croissance des plants de tomates étaient alors encore loin d'être idéales en raison des journées courtes et des températures basses de l'hiver. Durant la période hivernale il manque de lumière naturelle et de température suffisamment élevée pour permettre une croissance optimale des plants de tomates.

Pour ces raisons on a décidé de stimuler surtout les protéines cytochrome et extensine afin de stimuler la croissance et la photosynthèse des cellules de la plante. Cytochrome a été

choisie vu son rôle important dans les processus de photosynthèse et dans les processus participant à l'assimilation de CO₂. L'objectif, par la stimulation de cytochrome, est aussi de stimuler les autres systèmes dans lesquels cette protéine participe. Thaumatine et Tas14 ont aussi été stimulées.

11.2.1 Les plants de tomates

Les plants de tomates utilisés dans cette expérience sont de la variété Durinta, livrés par la firme, Beekenkamp, productrice de ces plants. Les plants de tomates font partie du groupe des tomates à grappe. Toutes les plantes ont été livrées le 12/01/'99 dans des pots mesurant 10x10x6,5cm sur substrat de laine de pierre 'Basalan'. Toutes les plantes ont été livrées le même jour et étaient du même âge. Au moment de la livraison elles se trouvaient dans une serre froide avec une température moyenne de 15°C.

Le jour même de leur livraison, les plants ont été repiqués dans des pots en plastique. Les pots ont un diamètre et une hauteur de 20cm. Durant le repiquage on a gardé le substrat de laine de pierre car les plants y étaient enracinés. Les plants étaient alors repiqués dans des plus grands pots qu'on remplissait avec du terreau. Les plants sont restés dans les mêmes pots durant toute la période de l'expérimentation. Le terreau était un terreau universel. Le terreau possédait déjà une petite quantité d'engrais de base pour subvenir aux besoins des plants. L'engrais de base était le même pour toutes les plantes. Le terreau appelé 'terreau structural' a une teneur de matière sèche de 30%, matière organique ; 20%, zone de pH (eau) ; 5-6,5, conductivité électrique (EC) ; 400microsiemens/cm et avait une teneur en engrais de 1,25kg/m³ composé d'engrais NPK 14-16-18.

Durant la période de l'expérimentation du 12/01/'99 au 21/01/'99, on n'a ajouté aucun engrais. Le 13/01/'99 on a placé des tuteurs à côté des plants. Le 19/01/'99 les plants les plus faibles ont été mis de côté et les autres plants ont reçu leur place définitive dans les serres d'expérimentations.

Dans les deux serres tropicales 2 x 20 plantes ont été placées, dans la serre froide ont été placés un groupe de 16 et un autre de 30 plants (voir figure 15).

Les plants ont vécu dans les mêmes conditions depuis leur livraison le 19/01/'99 jusqu'à ce qu'ils aient reçu leur place définitive. Ils paraissaient tous aussi grands et en bonne santé. La longueur des plants a été mesurée au début de l'expérimentation le 25/01/'99 (voir tableau 11). L'expérimentation et les observations ont été clôturées le 26/06/'99.

11.2.2 Le traitement sonore

Le traitement sonore est composé des séquences sonores ou séquences 'musicales' des protéines extensine, thaumatine, cytochrome et Tas14. La bande sonore complète contenant toutes les séquences dure 6min, dont 3min40s pour les seules extensines, objet principal de l'expérience. Elle a été réalisée par Joël Sternheimer. L'intensité sonore est restée la même durant toute la période d'expérimentation et était environ égale à l'intensité d'une discussion normale, donc environ 55 décibels.

Les séquences musicales sont jouées selon des temps réguliers et préprogrammés via un lecteur de cassette d'une installation stéréo. Une fonction 'timer' mettait chaque jour le lecteur en marche à 12h10min jusque 12h22min.

Il y a deux raisons pour lesquelles le midi a été choisi pour traiter les plantes. D'une part parce que durant la période de midi les membres du personnel ne sont pas présents dans les serres. Cela prévenait des risques d'effets nocifs des séquences sonores sur la santé du personnel qui l'entendrait régulièrement.

D'autre part à midi les processus métaboliques des plantes sont en pleine activité.

La durée totale de la bande sonore étant de 6 minutes, elle correspondait à un coté de la cassette, pour cette raison elle était jouée pendant 12 minutes « autoreverse » pour permettre une remise en position de départ. L'installation fut contrôlée régulièrement. Les plantes étaient traitées musicalement chaque jour une fois durant toute la période d'expérimentation, depuis leur placement jusqu'à ce que toutes les tomates soient récoltées. Les plants de la serre froide et des serres tropicales recevaient le même traitement sonore au même moment. L'installation stéréo était du type Philips minichaîne et pourvue d'un lecteur de cassette autoreverse et deux haut-parleurs de chacun 40 Watt. Dans chaque serre un haut-parleur était disposé juste devant les plants à traiter. (Voir figure 15) Le haut-parleur était disposé à 40 cm de hauteur avec la source sonore dans la direction des rangées des plants.

11.2.3 Matériel et méthode ; la serre froide

Température dans la serre froide.

L'évolution de la température et de l'humidité relative a été mesurée sur un thermographe. Du 22/01/'99 jusqu'au 25/03/'99, la température dans la serre froide restait toujours au dessus de zéro, généralement environ 15°C, avec des températures de jour et de nuit fluctuantes. Durant des journées ensoleillées la température pouvait atteindre 20°C et exceptionnellement vers l'été même 30°C. La température durant la journée était généralement d'environ 14 à 20°C pendant les mois de février et de mars. Durant des journées ensoleillées du printemps la température atteignait parfois 25°C. Les températures de nuit étaient généralement d'environ 10°C pendant toute la durée de l'expérience.

Dans la serre il n'y avait pas de système de climatisation qui permettait de réguler la température. Pour cette raison on aéra et rafraîchissait l'air de la serre en ouvrant la porte de sortie. Durant des périodes ensoleillées et à partir de la fin du printemps on laissait la porte de sortie souvent ouverte pour que la température ne puisse pas trop augmenter.

L'aération par la porte de sortie a été faite pour la première fois durant les jours ensoleillés du mois de mars et avril, ensuite, durant les mois de mai et de juin la porte est restée ouverte continuellement. Il n'y avait pas ou presque pas de courant d'air à remarquer. On ne pouvait aérer que par cette porte, celle-ci se trouvant au coté nord de la serre. La serre froide était orientée nord-sud et le coté sud était contre une autre serre tropicale, plus grande.

Cela avait comme conséquence que le côté sud de la serre froide recevait un peu moins de rayons directs du soleil au début du printemps le matin et le soir. La raison est que la hauteur du soleil au dessus de l'horizon est différente selon le jour et le moment de l'année, le plus haut en été et le plus bas en hiver. On doit aussi tenir compte que la lumière du soleil est plus intense le midi, c'est à ce moment aussi que la hauteur de soleil permet de rayonner sur toute la serre. L'orientation de la porte de sortie et de la serre froide par rapport à la serre tropicale est mieux expliquée par la figure 14.

La disposition des plants dans la serre froide.

Les plantes ont été divisées en deux groupes. Un premier groupe comptait 16 plantes disposées au côté nord de la serre. Il n'était pas possible de disposer un plus grand nombre de plantes dans le premier groupe à cause d'un manque de place. Le deuxième groupe comptait 30 plantes disposées au côté sud de la serre.

Tous les plants étaient installés au moins à 50 cm des parois de la serre. Le premier groupe de plants était au moins éloigné de 2 mètres de la porte de sortie.

Les deux groupes étaient éloignés d'environ 5m, des tables étaient disposées entre les deux groupes. L'ensemble des tables et la distance qui séparait les deux groupes faisait en sorte que l'autre groupe était exposé à une intensité sonore fortement diminuée. Le dessous des tables était encombré, ce qui aidait à diminuer la propagation du son vers l'autre groupe.

Les tables sont dans ce cas partiellement utilisées comme barrière sonore. Chaque groupe de plants était disposé selon des rangs parallèles orientés est-ouest dans la serre (Voir figure 15). Le premier groupe était divisé en deux rangées parallèles de 8 plantes. Tout les plants étaient à des distances identiques éloignés l'un l'autre de 45 cm. Les deux rangées avaient donc une longueur de 3m15cm.

Le deuxième groupe de 30 plants était divisé en trois rangées parallèles de chacune 10 plants. La distance entre chaque plante était également 45cm. Les trois rangées avaient donc une longueur de 4m5cm. Les plants de tomates ont été numérotés pour faciliter la mesure et l'observation de chaque plante séparément

Disposition du traitement sonore

Le haut-parleur était placé à environ 50cm de la rangée du milieu du groupe des 30 plantes. Le groupe des 30 plantes était alors considéré comme les plantes traitées et le premier groupe de 16 plants comme le groupe témoin. Ce dernier, par sa disposition dans la serre, était aussi soumis aux séquences sonores mais avec une intensité très fortement diminuée.

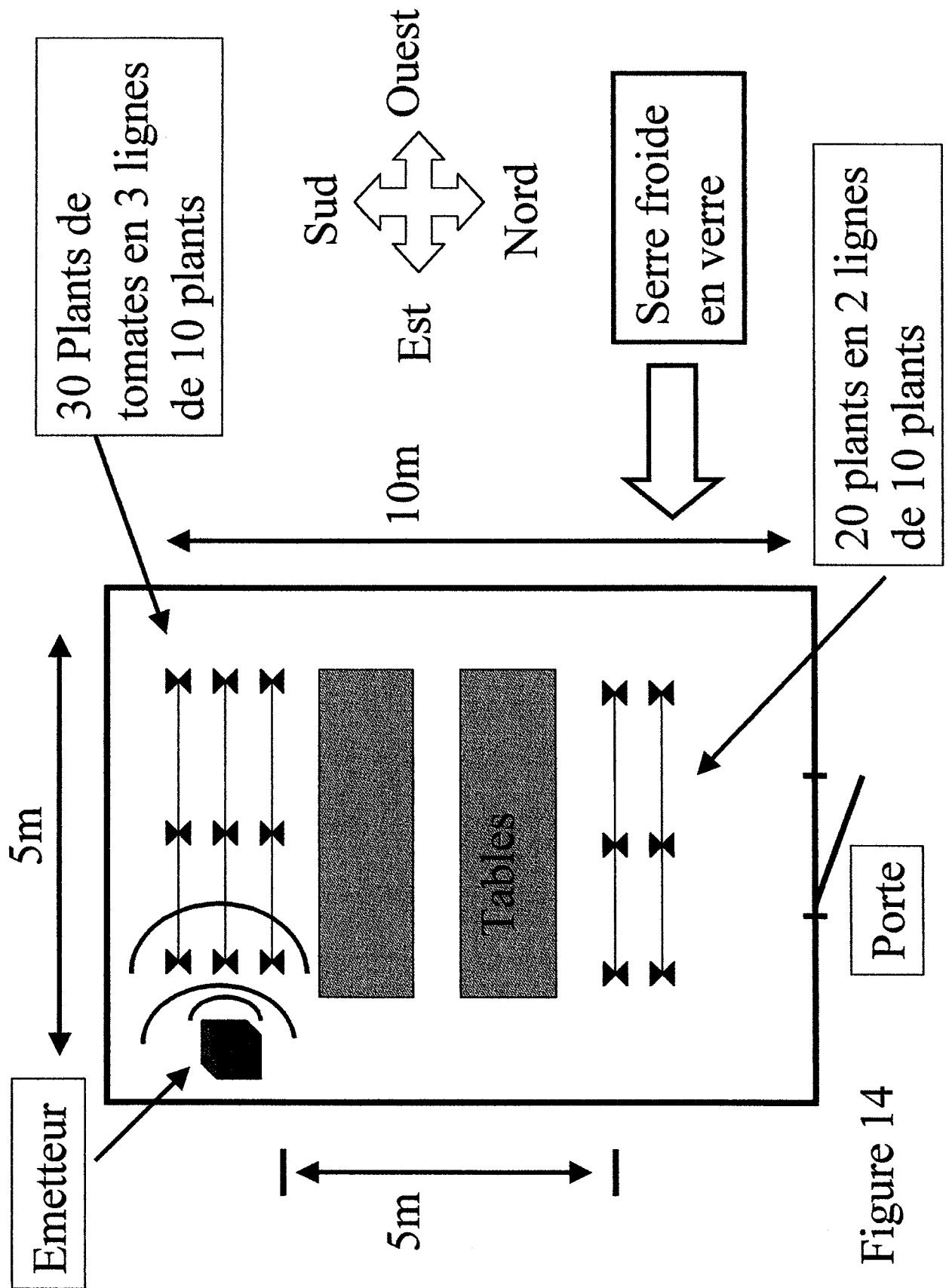


Figure 14

Les rations d'eau.

Le besoin d'eau des plantes était contrôlé tous les deux à trois jours. Si nécessaire, les plantes recevaient toujours la même ration d'eau chacune. Généralement l'eau était administrée après que l'on ait effectué les mesures et les observations. Chaque ration d'eau était mesurée et notée pour chaque plante. Les rations d'eau durant la période ou la longueur de plantes étaient mesurées sont notées sur le tableau, donc du 27/01/'99 jusqu'au 30/03/'99.

Table 9 : Les rations d'eau du 27/01 au 30/03/'99 des plants de tomates de la serre froide.

Date	Ration d'eau par plant (litre)	Date	Ration d'eau par plant (litre)
27/01	0.15	03/03	1
30/01	0.5	08/03	1
05/02	0.5	12/03	1
10/02	0.5	15/03	1
14/02	0.5	24/03	1
20/02	1	30/03	1
27/02	0.5	Total	9.65 litre

Ajouts d'engrais.

Le 21/04/'99 et le 12/06/'99 on a donné un apport d'engrais parce que cela paraissait nécessaire vu que les plantes montraient des symptômes de déficience comme le jaunissement des feuilles. L'apport en engrais était le même pour chaque plante. L'engrais fut ajouté aux rations d'eau sous la forme de granulés solubles dans l'eau (100g de granules NPK 14-16-18 pour 10 litres d'eau). Chaque plante recevait un litre de cette solution comme apport d'engrais. L'ajout d'engrais s'est passé le 21 avril après la période où on mesurait la longueur et le nombre d'internoeuds (le 30/03/'99).

La récolte.

Le 21/04/'99 on a étêté les plantes de tomates pour arrêter leur croissance en longueur et permettre aux tomates de continuer à se développer. Les tomates étaient régulièrement récoltées au fur et à mesure de leur mûrissement. Pour chaque plante, les tomates étaient pesées et leur grandeur mesurée. Lors de chaque récolte de tomates, le poids total de la production de toutes les plantes a été noté. La récolte fut terminée définitivement le 29/06/'99.

La luminosité.

L'intensité lumineuse n'était pas la même dans toute la serre. La différence était surtout remarquée quand il y avait des rayons de soleil direct, depuis le début de l'hiver jusqu'au début du printemps tôt le matin et à la tombée de la nuit. La cause était qu'à ces moments la hauteur et la position du soleil au dessus de l'horizon dans le ciel était insuffisant pour permettre au rayonnement direct d'atteindre les plantes du côté sud de la serre. Durant la journée toute la serre était illuminée d'autant de lumière. Dans la serre il y avait aussi quelques lampes de lumière artificielle qui rajoutaient de la lumière durant les mois d'hiver pendant une petite période le matin et le soir. La lumière artificielle était réglée de sorte qu'elle influence le moins possible les plants de tomates. Une grande partie de l'installation de lumière artificielle a été mise hors service et la partie restante a été réglée de sorte que les plantes reçoivent la même quantité de lumière artificielle. Les lampes qui ne pouvaient pas être mises hors service étaient situées au long des côtés ouest et est de la serre. Vu la position de ces lampes, leur influence sur les plantes doit être très minime. Les plantes sur le coté de la serre étaient à au moins deux mètres en dessous de ces lampes.

Le soutien.

Les plantes devenant plus grandes, il était nécessaire de les soutenir par de plus grands tuteurs. Ensuite ils furent remplacés par des ficelles qui étaient fixées au cadre du plafond de la serre. Les plants de tomates étaient mêlés entre les ficelles qui les soutenaient de cette manière. Vu ce système de soutien et l'infrastructure de la serre il était presque impossible de déplacer les plantes.

Le déroulement de l'expérience.

Depuis le début jusqu'à la fin de l'expérience, des observations ont été faites au moins tous les trois jours sur le caractère extérieur des plantes. Chaque semaine à partir de fin janvier jusque fin mars on a mesuré la longueur et le nombre d'internoeuds de chaque plant de tomate. Les mesures ont été prises aux dates suivantes ; le 25/01/99, 01/02, 08/02, 15/02, 22/02, 08/03, 15/03 et le 30/03.

Sur chaque plante on a aussi compté le nombre de fleurs par bouquet et le nombre de bouquets. Après que toutes les mesures de longueur et de nombre d'internoeuds aient été effectuées, donc après le 30/03, on a continué à observer les plantes jusqu'à la fin de la récolte de toutes les tomates. La longueur fut mesurée avec un ruban métrique pour permettre de mesurer les tiges courbes avec une plus grande précision. Les mesures furent chaque fois prises à partir de la base de la plante jusqu'au sommet où se trouvait le bout méristématique.

Les internoeuds mesurés étaient des feuilles déjà grandes ou considérées comme telles.. Les internoeuds à moins d'un centimètre du bout étaient encore tellement petits et jeunes qu'ils n'étaient pas pris en compte dans les mesures.

A des périodes régulières des photos ont été prises pour permettre d'observer et de vérifier par la suite la croissance et le développement des plantes. Durant les observations

on a aussi fait attention à la couleur et la grandeur des feuilles et observé s'il n'y avait pas de maladies. L'aspect général des feuilles et de toute la plante fut jugé visuellement.

11.2.4 Matériel et méthode ; Serre tropicale

La disposition des plants dans les serres tropicales.

Cette expérience utilise deux serres tropicales de l'université. On les appelle les serres tropicales parce que leur température ambiante et l'humidité relative y sont assez élevées. Dans chaque serre étaient disposés un groupe de vingt plants de tomates. Chaque groupe de plants était disposé en deux rangées parallèles orientées est-ouest dans la serre, dans la largeur de la serre. Chaque groupe était divisé en deux rangées parallèles de dix plants. Tous les plants étaient numérotés individuellement et étaient disposés à 45 cm de distance l'un de l'autre. Les rangées avaient donc une longueur de 4,5 mètres. La source sonore fut placée à 50 cm à l'extrême est du milieu des deux rangées de plants. Le groupe où le haut-parleur fut placé est le groupe traité avec les séquences sonores, l'autre groupe est le témoin.

La luminosité.

Il n'y avait pas d'ajout de lumière artificielle au dessus des plants de tomates dans les deux serres tropicales. La serre témoin ou étaient disposés les plants non-traités donnait l'impression qu'il y avait une plus grande luminosité naturelle. La serre traitée donnait l'impression d'être pourvue de moins de lumière à cause de son orientation par rapport à une plus haute serre tropicale du côté sud. La différence de luminosité ne fut pas mesurée ou quantifiée. Dans les deux serres les plants de tomates pouvaient recevoir les rayons du soleil direct. L'impression qu'il n'y avait pas une luminosité égale dans les deux serres était une simple observation visuelle.

Température et humidité relative.

La température et l'humidité relative furent mesurées à l'aide d'un thermographe durant la période d'expérimentation. Il n'y avait presque pas de variation de température durant la journée parce qu'il y avait un système de climatisation qui maintenait la température constante. Les mesures montrent que pendant toute la durée de l'expérience la température était quatre à cinq degrés plus haute dans la serre témoin que dans la serre avec les plants traités. La température était environ de 20°C dans la serre traitée et 25°C dans la serre témoin. L'humidité relative était à peu près égale dans les deux serres tropicales et montrait une grande variation de nuit et jour.

Les rations d'eau.

Les plantes étaient régulièrement contrôlées pour leurs besoins d'eau. Depuis le début de l'expérience, on soumettait les plants régulièrement à des périodes de sécheresse, ce qui provoquait un stress pour les plants. Les périodes de sécheresse furent créées en retardant

l'arrosage de quelques jours. Toutes les rations d'eau furent mesurées et notées pour chaque plante (voir tableau 10). Les plants traités et les plants témoins ne recevaient pas la même ration d'eau. Les plants de tomates du groupe traité recevaient en général beaucoup moins d'eau que les plants témoins. Il en a été décidé ainsi car il était connu par d'anciennes expériences que les plantes traitées avec les séquences sonores de TAS14 avaient besoin de beaucoup moins d'eau pour un même développement. L'apport d'une plus grande ration d'eau aux plants témoins fut donc un choix délibéré. On craignait en effet, que les plantes témoins subissant les périodes de sécheresse souffrent trop et soient trop altérées dans leur croissance et leur développement et qu'elles succombent peut-être à la sécheresse. C'est pourquoi les plants témoins recevaient habituellement une double ration d'eau par rapport aux plants traités. Donc après chaque période de stress de sécheresse on donnait une plus petite ration d'eau aux plants traités. Avant chaque arrosage on a évalué le degré de flétrissement des feuilles et de la plante grâce à l'observation de la position des feuilles. Les observations de la position des feuilles furent notées et peuvent être utilisées pour évaluer le degré de flétrissement dû au stress de sécheresse. Toutes les plantes d'un même groupe recevaient à chaque arrosage la même ration d'eau.

Les plants traités recevaient durant la période du 27/01/'99 jusqu'au 27/02 toujours une demi ration d'eau par rapport aux plantes témoins. Pendant la période restante d'expérimentation du 27/02 au 15/03 les deux groupes recevaient la même ration d'eau à chaque arrosage.

Le déroulement de l'expérience.

Les plantes de tomates étaient soutenues au début par des tuteurs, ensuite on a utilisé des cordes attachées au cadre du plafond. Les plantes étaient alors mêlées aux cordes pour les soutenir. Le traitement sonore était le même que celui utilisé dans la serre froide.

Tous les deux à trois jours, les plantes furent contrôlées sur leurs besoins d'eau et les observations des plantes furent notées. Régulièrement des photos furent prises. Le degré de flétrissement fut observé en mesurant la position des feuilles.

La longueur et le nombre d'internoeuds furent mesurés presque chaque semaine. Les mesures furent prises aux mêmes dates que celles de la serre froide, le 25/01/'99, 01/02, 08/02, 15/02, 22/02, 08/03 et le 15/03. On n'a observé que le début de la floraison. Les fleurs furent enlevées pour prévenir la formation de tomates, ainsi la plante n'investirait pas d'énergie dans la formation de fleurs et de tomates. L'expérience étant prévue sur deux mois il n'y aurait pas eu assez de temps pour observer la floraison et la formation de tomates.

Date	Rations d'eau des plants de tomates traités. (litre)	Rations d'eau des plants témoins. (litre)
23/01	0.15	0.15
27/01	0.15	0.15
28/01	/	0.15
30/01	0.5	1
05/02	0.5	1
10/02	0.5	1
14/02	0.5	1
20/02	1	2
27/02	0.5	0.5
03/03	1	1
08/03	1	1
12/03	1	1
15/03	1	1
Total	7.8 litre	10.95 litre

Tableau 10 : Rations d'eau durant la période d'expérimentation sur les plants de tomates dans les serres tropicales.

11.3 Résultats et discussion : La serre froide

D'après les observations visuelles, les feuilles des plantes traitées donnaient l'impression d'être plus grandes et plus développée que celle des témoins. La couleur des plants traités semblait plus vert foncé que ceux des plants témoins. La structure et l'aspect général des plantes traitées furent après deux mois beaucoup plus vigoureux et forts que celui des plants non-traités. Les tiges et tous les plants traités semblaient beaucoup plus solides et plus fortement développés (voir photos 17 et 18). Malheureusement, les diamètres des tiges ne furent pas mesurés pour confirmer ces observations visuelles.

Différences de longueur.

La différence de longueur entre les deux groupes était remarquable. La différence fut déjà remarquée visuellement dès les premières semaines et l'analyse statistique des données le confirme. Les plantes du groupe traité avec les séquences sonores étaient devenues

beaucoup plus grandes que les plantes témoins. Déjà dès la troisième semaine il y avait une différence de longueur statistiquement significative entre les groupes des plants traités et les témoins. La moyenne du nombre d'internoeuds des plants des deux groupes était identique. Donc après deux mois de traitement sonore le nombre d'internoeuds était le même dans les deux groupes mais il y avait une différence de longueur significative. La différence de longueur fut donc causée par une élongation des segments de tiges entre les internoeuds. Comme il y avait un même nombre d'internoeuds, les plants des deux groupes se trouvaient au même stade de développement.

La position du groupe des plants traités n'était pas idéale au côté sud dans la serre. De ce côté de la serre il y avait parfois une luminosité inférieure au restant de la serre, surtout contre la paroi sud de la serre quand il y avait des rayons de soleil direct.

D'anciennes expériences où on étudiait la distance de plantation idéale des plants de tomates concluaient qu'une luminosité réduite n'avait presque pas d'influence sur la croissance en longueur des plantes. Les plantes de tomates plantées plus près l'une de l'autre et qui recevaient de ce fait le moins de lumière ne devenaient pas plus grandes ou plus petites que les plantes plantées à des distances différentes.

Dans cette expérience, les plantes recevant moins de lumière devenaient bien plus faibles et avaient une structure plus fine, elles avaient l'air plus effilées, mais ne l'étaient pas en réalité car leur longueur était presque inchangée par rapport aux autres plantes recevant une luminosité suffisante par de plus grandes distances de plantation (Veenman, 1978).

Dans cette expérience les plantes traitées avec les séquences sonores épigénétiques furent déjà après deux mois 20% plus grandes que les plantes témoins! (Voir tableau 11) La structure des plantes traitées paraissait aussi visuellement beaucoup plus forte et vigoureuse. Les feuilles qui ont poussé durant la période de l'expérience paraissaient visuellement aussi plus vertes et plus grandes que celles des plantes témoins.

C'est auprès des plantes situées le plus près de la source sonore que les sons auront eu probablement le plus d'effets. Des différences de longueur furent observées. Les plantes traitées étaient significativement plus grandes et elles avaient un même nombre d'internoeuds que les plants témoins. Il est très difficile de trouver des explications à ces observations seulement sur la base des différences de luminosité ou autres paramètres environnementaux. Les observations sont encore plus impressionnantes vu qu'une luminosité réduite aurait dû avoir un effet contraire à ceux observés.

Les observations nous aiguillent dans la même direction explicative des influences et conséquences prédites sur les plants par les séquences épigénétiques sonores. La conséquence attendue par la stimulation sonore de la synthèse des extensines était justement une différence de croissance en longueur des plantes. Les mêmes observations furent déjà constatées durant des expériences antérieures sur la stimulation épigénétique des extensines (Ulmer, 1993 ; Sternheimer, 1995). Il n'est pas très clair si les différences de longueur qui furent observées dans cette expérience étaient exclusivement la conséquence du traitement par les séquences épigénétiques sonores.

Tableau 11 : La longueur moyenne et le nombre moyen d'internoeuds des plants de tomates durant l'expérience dans la serre froide. (LB : lower bound ou limite inférieure ; UB : upper bound ou limite supérieure)

Date	Plants témoins			Plants traités		
	Longueur (cm)	95% confidence interval. (cm)	Nombre internoeuds.	longueur (cm)	95% confidence interval. (cm)	Nombre internoeuds.
25/01	46.7	LB 45.3 UB 48.1	8.4	46.7	LB 45.7 UB 47.7	8.6
01/02	49.3	LB 47.6 UB 51.0	9.4	51.4	LB 50.2 UB 52.7	9.6
08/02	57.4	LB 55.5 UB 59.2	11.4	61.7	LB 60.2 UB 63.2	11.5
15/02	63.8	LB 61.7 UB 65.8	12.8	71.6	LB 69.8 UB 73.4	12.9
22/02	75.6	LB 73.5 UB 77.7	14.2	87.0	LB 85.2 UB 88.9	14.7
08/03	98.3	LB 95.9 UB 100.8	16.9	117.9	LB 115.4 UB 120.3	17.6
15/03	111.8	LB 108.9 UB 114.7	18.6	134.5	LB 131.5 UB 137.5	19.2
30/03	134.5	LB 130.6 UB 138.4	21.3	164.4	LB 160.5 UB 168.3	21.9

Figure 15 : La longueur moyenne exprimée en $\log(\text{length})$ des plants de tomates durant l'expérience.

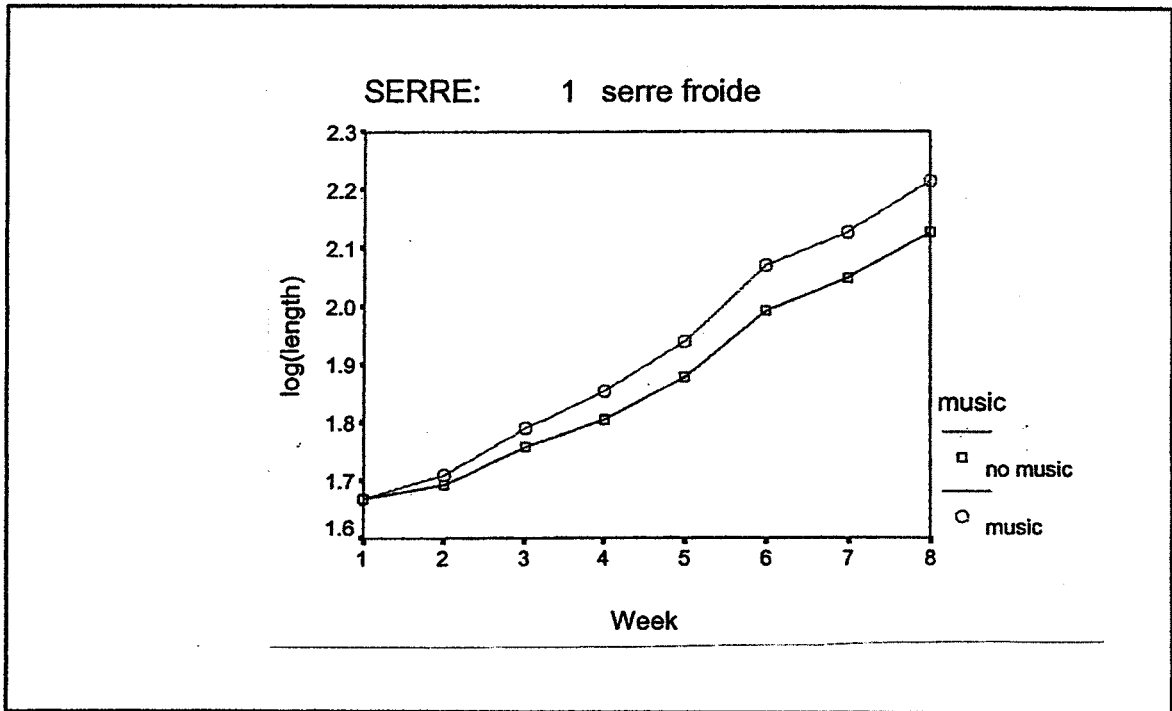
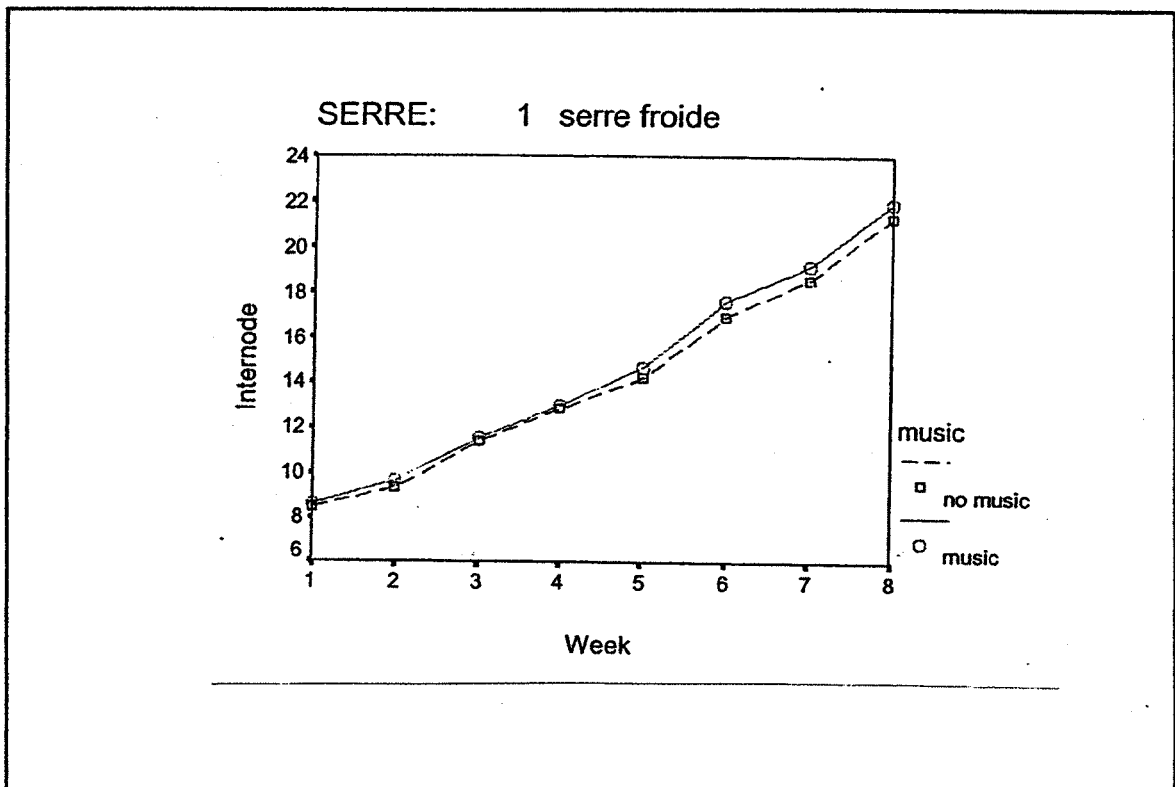


Figure 16 : Le nombre d'internoeuds des plants dans la serre froide.



Maladies et fléaux

Aucune plante de tomate qui se trouvait dans la serre froide ne fut atteinte de maladie. On a observé une attaque de mouches blanches après environ trois mois, donc fin avril. La mouche blanche ne fut pas traitée par un quelconque produit. A cause des mouches blanches il y avait beaucoup de tomates récoltées qui collaient un petit peu. Ce n'est qu'à la fin du mois de mai que la mouche blanche s'était développée en un vrai fléau. La mouche blanche fut observée pour la première fois sur les plantes situées le plus près de la source sonore dans le coin sud-est de la serre. Cet endroit là était aussi l'endroit situé le plus loin de la porte de sortie par laquelle la serre fut aérée. Ce ne fut qu'à la fin du mois de mai que toutes les autres plantes furent aussi atteintes par la mouche blanche.

La couleur des feuilles

Selon les observations visuelles on a constaté une différence de couleur du feuillage entre le groupe traité et le groupe témoin. Le groupe situé près de la source sonore donnait l'impression générale d'être plus vert, surtout vers la fin de la période d'expérimentation. La différence de couleur était très marquée sur les feuilles du bas des plantes. Les feuilles du bas sur les plantes sont aussi les premières et les plus âgées de la plante. Les feuilles les plus âgées du groupe témoin montraient plus rapidement des signes de dégénérescence et de jaunissement. Ces symptômes de dégénérescence furent déjà observés depuis avril, environ deux mois après le début de l'expérience. Pendant ce temps les feuilles les plus âgées des plantes traitées restaient vertes jusqu'à presque fin juin.

Les raisons de cette différence de couleur de feuillage ne sont pas très claires. On a déjà mentionné le fait que le groupe des plantes traitées était situé à un endroit de la serre où il y avait un peu moins de rayons de soleil direct, car l'intensité lumineuse y était un peu moins dense pendant une certaine période de la journée au début de l'année. Tenant compte de ce fait il n'est pas logique que seules ces plantes, à cet endroit là, paraissent plus vertes et vigoureuses. Peut-être que les signes de dégénérescence et de différence de couleur était causés par les effets d'une plus grande luminosité sur les plantes témoins. Cela peut difficilement expliquer la dégénérescence plus rapide des feuilles du bas des plantes témoins. Car ces feuilles du bas sont pour une grande partie partiellement protégées des rayons du soleil direct par les couches de feuilles situées au-dessus d'elles. Cette différence de luminosité peut peut-être jouer un rôle dans la plus rapide dégénérescence des plantes entières du groupe témoin.

Une explication pour les différences de couleur des feuilles entre les deux groupes pourrait être trouvée dans les séquences sonores épigénétiques. Les séquences sonores qui devraient stimuler le cytochrome C, stimuleraient en même temps tout l'appareil de photosynthèse selon la technique de Joël Sternheimer. Peut-être que cela est la cause principale des feuilles plus vertes des plantes situées dans le groupe traité avec les séquences sonores. En raison de la possibilité de confusion avec les légères différences de luminosité et peut-être même encore d'autres paramètres, les facteurs qui ont causés les différences de couleurs et de

dégénérescence des feuilles restent peu clairs. Le rôle précis des séquences sonores reste vague.

La floraison

On a remarqué que la floraison des plantes traitées paraissait commencer à chaque fois un peu plus tôt qu'auprès des plantes témoins. La maturation des grappes de fleurs des plantes traitées était toujours deux à trois jours en avance sur les fleurs des témoins. Cela fut observé visuellement et noté.

On n'a pas constaté de différences dans le nombre de fleurs entre les deux groupes. Un phénomène bizarre fut observé sur la différence du nombre de fleurs sur la quatrième grappe. La moyenne de nombre de fleurs par grappe était environ 6 à 8. Sur la quatrième grappe la moyenne était de 11 et cela pour toutes les plantes situées dans la serre froide. Certaines grappes comptaient parfois même plus de 15 fleurs.

Il n'y avait pas de différence de nombre de fleurs entre les deux groupes, juste que les fleurs des plantes traitées s'ouvraient deux à trois jours avant celles des plantes témoins. La raison pourrait être une croissance plus rapide des plantes traitées. Ce phénomène est difficile à expliquer.

La récolte

La récolte s'est passée les dernières semaines du mois de juin. La moyenne du poids total des tomates récoltées était de 1191g par plante pour le groupe traité et 1117g pour le groupe témoin. C'est une différence d'environ 6,5%. On peut difficilement en tirer des conclusions vu que toutes les fleurs sur les grappes ne furent pas fécondées et vu les déficiences nutritionnelles de toutes les plantes.

Les tomates récoltées furent distribuées à des collègues, étudiants, etc. (connus et inconnus). On a fait un test primitif de goût. Les personnes pouvaient goûter des tomates sans savoir lesquelles étaient traitées et lesquelles étaient témoins. Quand on demandait aux personnes de quelle caisse les tomates étaient meilleures en goût, la majorité faisait référence à la caisse des tomates musicales. Tous les témoignages des personnes qui les ont goûtées étaient positifs. Ils étaient impressionnés du goût, de la saveur et de la fermeté des tomates. L'odeur de tomate était remarquée et le goût sucré aussi. Cela peut aussi être la conséquence de la méthode de production. Des tomates qui sont cueillies à maturité ont un goût plus prononcé et plus d'odeur que celles cueillies avant qu'elles ne soient mûres. Ces témoignages très subjectifs méritent quand même d'être mentionnés vu que les qualités décrites pourraient justement être causées par les séquences sonores épigénétiques. Ces propriétés pourraient être partiellement la conséquence du traitement sonore stimulant la thaumatine, protéine qui donne un goût très sucré. L'expérience ne peut pas démontrer si c'est le traitement sonore qui en est la cause réelle. Selon les fonctions des protéines stimulées, on constate que plus d'extensines pourraient contribuer à l'obtention de tomates plus fermes et plus de thaumatines pourraient donner un goût plus sucré. Les séquences sonores en stimulation de ces protéines étaient diffusées chaque jour aux plantes de tomates dans la serre froide.

Stress de sécheresse

Les plantes recevaient toujours assez d'eau durant presque toute la période de l'expérience. Dans la période autour du 10/05/'99 les plantes ont été intentionnellement soumises à un stress de sécheresse. Toutes les plantes dans la serre froide recevaient toujours les mêmes rations d'eau qui étaient mesurées par pot. La période de sécheresse fut créée en retardant de quelques jours l'arrosage. Bien que les plantes traitées étaient plus développées et plus grandes, c'est chez elles qu'on a observé le moins de signes de sécheresse comme des feuilles fanées par exemple. Des plantes plus grandes et plus développées auraient dû transpirer et perdre plus d'eau dans des circonstances normales de par leur plus grande surface de feuillage et donc de surface d'évaporation. Les plants du groupe traité étaient plus grandes mais avec le même nombre de feuilles car ils avaient le même nombre d'internoeuds.

Le groupe des plants traités se trouvait du côté sud, peut-être que de possibles différences dans la luminosité ont joué un rôle. Dans la période pendant laquelle le stress de sécheresse fut provoqué vers mi-mai, les différences de luminosité étaient très minimes vu que le soleil est plus haut au dessus de l'horizon à ce moment de l'année. Des petites différences de luminosité peuvent quand même avoir une influence sur la régulation des stomates. Le groupe témoin pourrait avoir eu plus de transpiration et être plus sensible à la sécheresse.

Une autre raison pour laquelle on observait plus de symptômes de sécheresse chez le groupe témoin est peut-être la proximité de la porte d'aération, qui se trouvait à deux mètres des plantes (voir figure 15). C'est par cette porte qu'on aéra la serre durant cette période. Les mouvements d'air à proximité de la porte contribuent à plus de transpiration des plantes de tomates et de cette façon à une plus grande consommation d'eau.

La présence de moins de symptômes de dessèchement sur les plantes du groupe situé devant le haut-parleur pourrait être aussi partiellement due à l'influence des séquences sonores épigénétiques de la protéine Tas14. Cette protéine est en corrélation étroite avec des qualités de résistance à la sécheresse auprès des plantes.



Figure 17 : Les plants de tomates du groupe traité. (Début mai 1999)

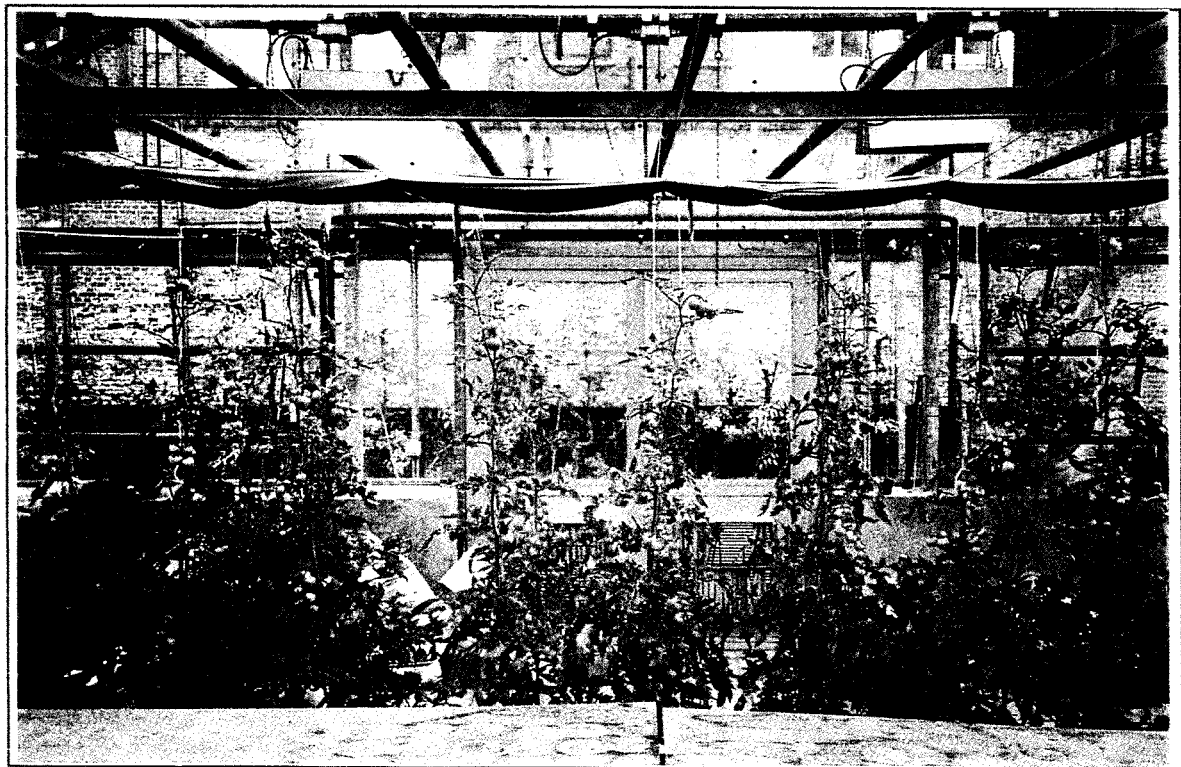


Figure 18 : Les plants de tomates du groupe témoin. (Début mai 1999)

11.4 Résultats et discussion : Serre tropicale.

Durant la période du 25/01 au 22/02 il n'y eut pas de différence de longueur significative observée entre les groupes de plantes traitées et témoins. Il n'y a pas eu non plus de différence significative dans le nombre d'internoeuds entre les deux groupes. Durant cette même période du 25/01 au 27/02 les plantes témoins recevaient une double ration d'eau par rapport à celle des plantes traitées.

On a pu observer que durant cette période les plantes traitées se développaient aussi vite que les plantes témoins et ceci avec seulement 50% de la ration d'eau que les plantes témoins.

Les conditions d'environnement n'étaient pas identiques dans les deux serres. Il y avait une différence de température significative, la serre avec les plantes traitées était environ 4 à 5 °C plus froide que l'autre serre tropicale avec les plantes témoins. La luminosité n'était non plus pas identique, il semblait y avoir plus de luminosité dans la serre tropicale avec les plants témoins. Ces deux facteurs, la luminosité et la température, auront certainement aussi fortement influencé les plants. Il en résulte des différences de croissance et de consommation d'eau des plantes entre la serre témoin et celle traitée. Une plus grande intensité lumineuse dans la serre témoin aura probablement causé une plus grande transpiration des plantes. Une température plus élevée dans la même serre aura également causé une plus grande transpiration des plantes témoins et donc une plus grande consommation d'eau des plants témoins.

Cela reste peu clair si ces deux facteurs peuvent à eux seuls expliquer une différence de consommation d'eau de 40%.

Après chaque période de stress de sécheresse, des observations furent faites sur l'état de flétrissement. Les plants témoins semblaient souffrir beaucoup plus de la sécheresse que les plantes traitées. On a pu clairement observer la différence de tolérance des plants à la sécheresse car les feuilles des plants témoins flétrissaient plus vite et plus fort durant les périodes de sécheresse. Les plants témoins réagissaient assez vite avec le flétrissement de leur feuilles en même temps que la terre dans les pots se desséchait au toucher. Auprès des plantes traitées cette réaction de flétrissement s'observait toujours moins rapidement et plus tard. Au début d'une période de sécheresse, en même temps que la terre dans les pots de plants traités était très sèche on n'observait pas encore de flétrissement des feuilles. C'est un phénomène étrange d'observer des plants pas du tout flétris dans des pots avec une terre tout à fait sèche. Ce phénomène ne fut jamais constaté auprès des plantes témoins, chez celles-ci, les feuilles flétrissaient presque aussi vite que leur sol se desséchait. Ces phénomènes furent observés visuellement. L'inclinaison des feuilles fut observée et notée et pourrait être utilisée comme indication de l'état du degré de dessèchement des plantes. C'était une impression visuelle générale que les plantes traitées étaient plus résistantes à la sécheresse.

Les deux groupes de plantes ont reçu des rations d'eau identiques à partir du 27/02 jusqu'à la fin de la période d'expérimentation. une différence de longueur significative fut observée entre les deux groupes à partir 08/03 et ceci pendant que le nombre d'internoeuds chez les deux groupes restait égal (voir tableau 12). Le 15/03 la longueur moyenne des plants traités était déjà 1m96 et celle des plants témoins 1m74. Le travail statistique nous indique une différence de longueur significative de 18 cm soit 13%. Avant le 08/03 il n'y avait pas encore de différence de longueur significative à constater.

La différence de longueur est causée par des plus grand segments de tiges entre les feuilles successives car le nombre d'internoeuds et donc de feuilles était égal pour les plants traités et les témoins.

On observait plus vite des signes de dégénérescence et de dessèchement auprès des feuilles les plus âgées du bas des plants non-traités qu'auprès des plants traités. Durant toute la période d'expérimentation les plant témoins ont reçu 40% plus d'eau que les plants traités avec les séquences sonores épigénétiques (voir tableau 10).

Aucun des plants dans les serres tropicales n'a été atteint de maladies.

Tableau 12 : Longueur moyenne et nombre moyen d'internoeuds des plants de tomates durant l'expérimentation dans les serres tropicales. (LB : lower bound ou limite inférieure, UB : upper bound ou limite supérieure).

Date	Plantes témoins			Plantes traitées		
	Longueur (cm)	95% confidence intervalle (cm)	Nombre internoeuds	Longueur (cm)	95% confidence intervalle (cm)	Nombre internoeuds
25/01	55.4	LB 53.8 UB 56.9	9.8	57.6	LB 55.5 UB 59.7	9.6
01/02	72.7	LB 70.6 UB 74.9	12.3	76.2	LB 73.1 UB 79.3	11.8
08/02	101.7	LB 98.9 UB 104.5	15.5	103.1	LB 99.5 UB 106.8	14.6
15/02	121.9	LB 118.6 UB 125.2	18.5	125.0	LB 121.7 UB 128.2	17.1
22/02	136.6	LB 132.2 UB 141.0	20.25	140.6	LB 138.1 UB 143.0	19.1
Dès 27/02/'99 rations d'eau égale.						
08/03	161.5	LB 155.5 UB 167.6	23.9	180.0	LB 177.0 UB 183.1	23.5
15/03	174.0	LB 167.8 UB 180.1	25.6	196.6	LB 192.7 UB 200.5	25.4
30/03	Fin de l'expérience					

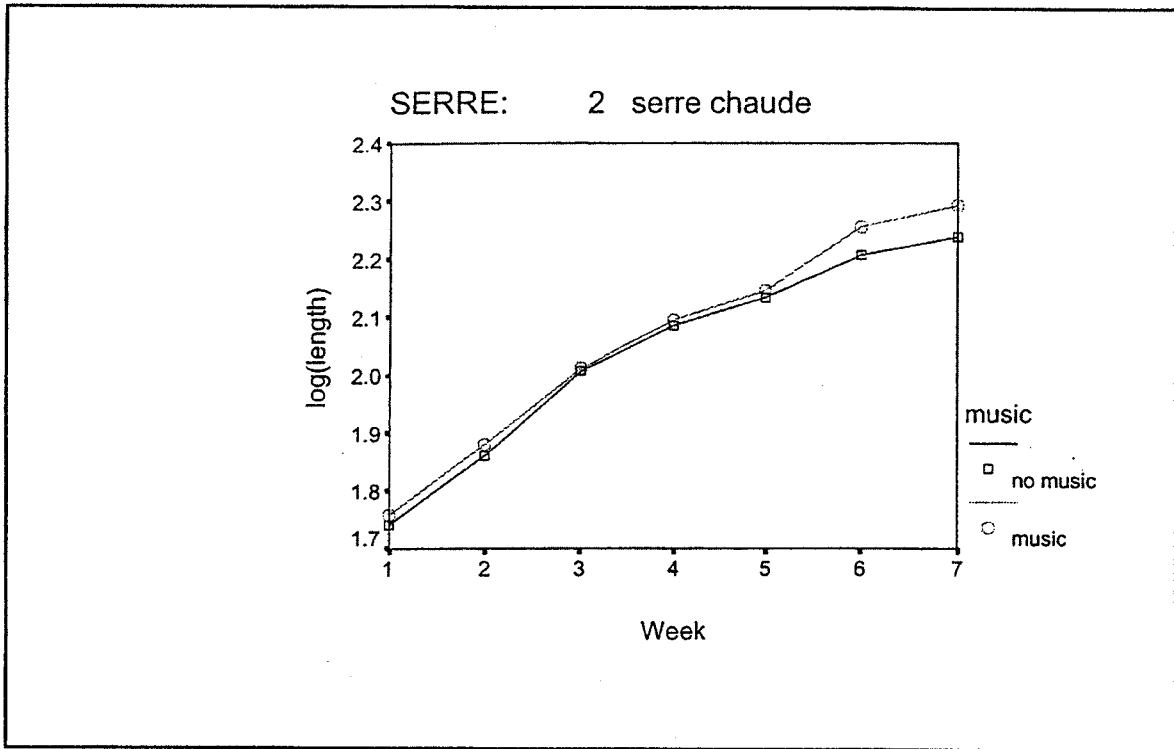


Figure 19 : Les longueurs moyennes des plants de tomates dans les serres tropicales.

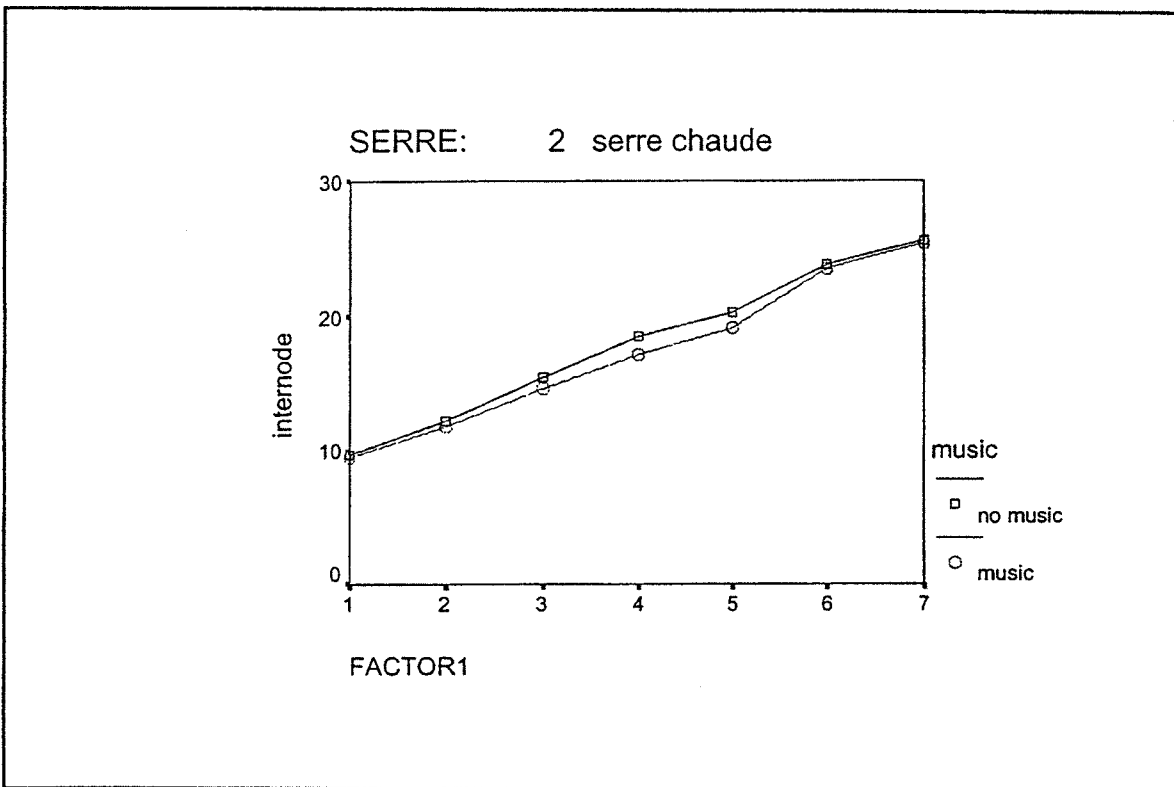


Figure 20 : Les moyennes du nombre d'internoeuds des plants de tomates dans les serres tropicales.

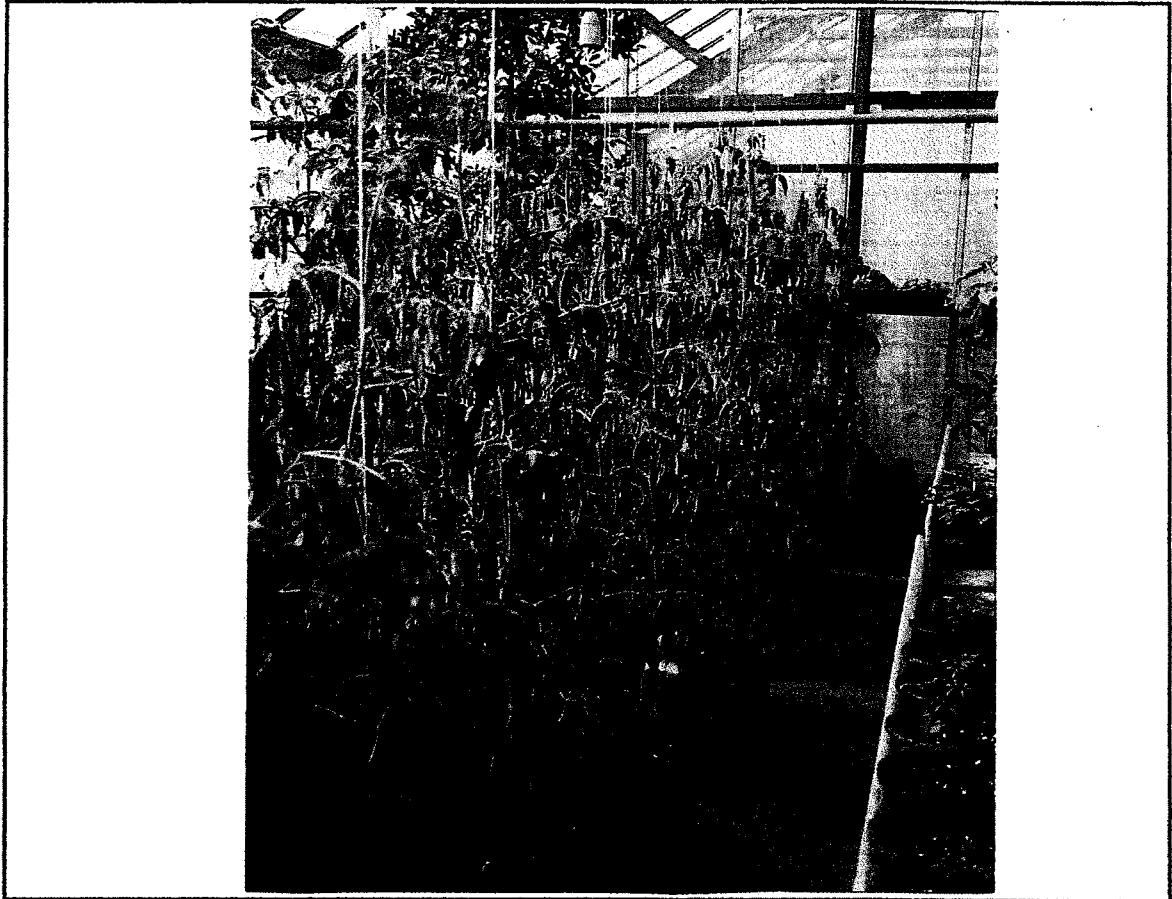


Figure 21 : Les plants témoins dans la serre tropicale en stress de sécheresse.

11.5 Conclusions.

11.5.1 Conclusion : serre froide

On a observé des effets pour deux des séquences sonores, ce qui suggère qu'il y a eu une influence. Les protéines correspondant à ces séquences sonores sont les extensines et le cytochromeC.

La majeure partie des différences de croissance, de dégénérescence, de couleur de feuillage et de récolte sont probablement causées par une meilleure capacité d'assimilation et de photosynthèse des plants traités. On suppose que les plantes du groupe témoin et celles traitées se développèrent à la même vitesse parce que leur nombre d'internoeuds restait égal, par contre les plants traités devenaient plus grands. Un développement plus rapide aurait comme conséquence d'augmenter le nombre d'internoeuds, ce qui n'était pas le cas. Ce qui veut dire que la différence de longueur est due au fait que les segments de tiges entre les internoeuds était plus grands. La différence de croissance en longueur était probablement causée par une différence d'élongation de la tige. Cela pourrait être causé probablement par un développement des cellules plus grandes que la normale. Les plants entiers du groupe traité paraissaient de structure plus grande et plus robuste.

Des expériences antérieures sur la fonction des extensines nous informent de leur rôle important dans l'élongation des cellules et de leur influence sur la grandeur des cellules.

Nos observations confirment que les séquences sonores des extensines auraient joué un rôle important pour causer ces effets car des expériences antérieures avec ces séquences sonores ont démontré la même tendance sur la croissance des plants de tomates.

D'autres facteurs comme les différences de luminosité et d'aération auront certainement aussi eu leur influence sur la croissance des plants. Il est cependant improbable que ces facteurs auxiliaires ou une concordance d'autres facteurs de la disposition des plants aient pu causer de tels grandes différences de croissance.

L'expérience ne démontre pas avec une certitude absolue l'influence des séquences sonores mais les effets observés suggèrent fortement que les séquences sonores ont eu une influence. On pourrait se demander, en supposant que les séquences sonores sont effectives, comment il est possible de promouvoir un phénomène aussi complexe que la croissance d'une tige *uniquement* par la stimulation sonore de la synthèse d'une ou plusieurs protéines. La croissance d'une tige est quand même un phénomène complexe ou d'autres facteurs comme des hormones de croissance, la production de cellulose, pectines et hemicelluloses jouent aussi un rôle important.

11.5.2 Conclusion : serre tropicale

Dans l'expérience exécutée on a observé des phénomènes qui sont difficiles à expliquer sous les conditions expérimentales données et environnementales. On a clairement constaté des différences de conditions de croissance entre les deux serres tropicales. Il est difficile de savoir si elles permettent d'expliquer à elles seules les différences en consommation d'eau, de croissance et de résistance à la sécheresse entre les plants témoins et les plants traités. On a cependant remarqué qu'il était bien possible que des plants de tomates recevant moins d'eau et de lumière ont quand même pu se développer mieux sous l'influence d'autres facteurs. Par « autres facteurs » on pense aux séquences sonores épigénétiques utilisées lors de cette expérience afin d'augmenter sensiblement la résistance à la sécheresse des plants de tomates. Des expériences antérieures avec les mêmes séquences sonores selon la technique décrite dans le brevet de Sternheimer démontrent aussi la réalité de telles influences spécifiques.

12. Conclusion générale.

Ce travail a permis de donner un aperçu général des données existantes sur l'influence de « fréquences sonores variables » sur la croissance et le développement des plantes. Se fondant sur tous les articles et rapports étudiés dans le cadre de cette thèse on peut clairement affirmer qu'il y a bel et bien une influence de certaines fréquences et séquences sonores spécifiques sur la croissance et le développement des plantes.

D'innombrables expériences antérieures nous démontrent la stimulation et même parfois l'inhibition de certains processus dans la plante.

Les expériences suggèrent et démontrent que certaines séquences et fréquences sonores peuvent influencer les plantes de différentes manières. Dans certains cas les bruits utilisés sonnent assez musicalement, on pourrait parfois même parler de « l'influence de la musique sur la croissance des plantes ». Tout les bruits ne sont pas aussi utiles ou efficaces mais seulement certains sons spécifiques avec leur fonctions et activités correspondantes. Les expériences font apparaître également que ce sont seulement certaines séquences très spécifiques qui ont une influence sur la croissance et le développement des plantes.

Les expériences exécutées dans le cadre de ce mémoire paraissent aussi confirmer les expériences antérieures. Même si ces expériences ne se sont pas passées dans des conditions idéales, il paraît difficile d'expliquer autrement les résultats obtenus que par des effets auxiliaires réels.

Les possibilités de recherches et de développement concernant ces techniques abordées semblent infinies. Les applications déjà existantes nous montrent beaucoup de nouvelles possibilités dans l'agriculture et l'horticulture.

Les entreprises existantes qui ont introduit certaines de ces techniques dans leur mode de production ou qui sont déjà complètement actives dans ce secteur nous démontrent la faisabilité économique. La faisabilité économique ne prouve pas nécessairement la vérité scientifique de ces techniques.

De nombreuses recherches seront encore bienvenues pour comprendre tous les aspects de la manière dont les sons influencent les plantes. Durant la recherche d'informations sur ce sujet, on a constaté que des découvertes surprenantes et pionnières ont été faites ces dernières années. Cela ouvre des perspectives de développement très prometteur pour l'avenir....

13. Références.

- Aucher Marie-Louise. (1983). L'homme sonore. Epi SA Editeurs 1977. 76 bis rue des Saints-Pères 75007 Paris.
- Avila V. L. (1995). *Biology: Investigating Life on Earth*. Boston. Jones and Barlett Publishers. 979p.
- Boyd, A. (1990). Plant switches on genes in response to touch. *New Scientist*. Vol 1927: 40.
- Braam, J. and Davis, R. (1990). Rain-, wind-, and touch-induced expression of Calmodulin and Calmodulin related genes in *Arabidopsis*. *Cell*. Vol60: 357.
- Brownleader, M. D., Byron, O., Rowe, A.. (1996). Investigations into the molecular size and shape of tomato extensin. *Biochem. J.* 320: 577-583.
- Carlson D. R. Dan Carlson scientific Enterprises, Inc. Blaine. Patent N° US5043009. Process for treating plants. 26/05/1989.
- Carlson D. R. Dan Carlson scientific Enterprises, Inc. Blaine. Patent N° US4834789. Process for treating plants. 21/06/1989.
- Carlson D. R. Dan Carlson scientific Enterprises, Inc. Blaine. Patent N° US4680889. Process for treating plants. 27/11/1985.
- Charnoe Z. P. Alvah. Patent N° US4055915. Method of apparatus for treating plant organisms. 29/09/1975.
- Close, T. J. (1996). Dehydrins: Emergence of a biochemical role of a family of plant dehydration proteins. *Physiol. Plant.* 97: 795-803.
- Cumps, J. (1999). Lettres et communication oral.
- Curtis, S. (1999). A little plant music. *New Scientist*. 11/12/1999. N°2216. p54-55.
- Daemer D., Alexander S. (1999). The Infrared Frequencies of DNA Bases: Science and Art, Connecting with Our Bodies through "molecular Music". IEEE
- Dan Carlson Scientific Enterprises, Inc, W 7964-810th Avenue, River Falls, Wi 54022, (1999), Letters, videos, oral communication.
- Dineen, J. A spoonfull of Music. Source: Music. edited by Kathy Evans. Mc Graw-Hill Reyerson, 1993. *New Scientist*. A little plant music. 11 Dec 1999. N°2216: 54-55.

Engineering in Medicine and Biology Magazine. Number 2. March/April 1999. Volume 18: 74-80.

Ferrandiz, P., (1998-1999). communication oral.

Ferrandiz, P. (1997). De la Musique et des Plantes. La Garance Voyageuse: revue du monde végétal. N°37. p25-28.

Ferrandiz, P. (1995). Regulation Epigénétique de la Biosynthèse des Protéines sur Culture d'Algues Bleues Cyanophycées; source: <http://members.aol.com/JMSternhei> .

Ferrandiz, P. (1993). Procédé de régulation épigénétique de la synthèse protéique: essais en panification. Industries des Céréales. N°85. p40. novembre-décembre 1993.

Goossens, A. (1979). Fysiologische ziekten bij tomaten. 31.; source: eindwerk: kwaliteitsverbetering bij tomaten. p39. Jos Van Den Dries. 1979-1980. CTL (Hogeschool Gent).

Gueye, M., Gueye, O., Diagne, F., Houzil, J., Ferrandiz, P., Sternheimer, J. (1996). Stimulation Epigénétique de la Résistance à la Sécheresse pour des Cultures de Tomates: une Experience en plein Air au Sénégal.; source: <http://members.aol.com/JMSternhei>.

Guillet, S., Guillet, D. (1997). Terre de Semences 1997: Pour la Protection de la Biodiversité. p128.

Haesaert, G. (1998). Genetica (cours). Gent. Hogeschool Gent. 151p

Halstead, E. H., Vicario, B. I. (1969). Effects of ultrasonics on the germination of wild rice (*Zizania aquatica*). Canadian Journal of Botany. Vol 47: 1638-1640.

Hassall, J. R. and Zavari, K. (1979). Acoustic Noise Measurements. Brüel & Kjaer. Naerum Denmark.

Hageseth, G. T. and Joyner, R. D. (1975). Kinetics and Thermodynamics of Isothermal Seed Germination. J. Theor. Biol. 53: 51-65.

Hou T. Z. Walla Walla. Patent N° US5731265. Plant treatment process. 23/02/1995.

Hou, T. Z., Luan, J. Y., Wang, J. Y., Li, M. D. (1994). Experimental evidence of a plant meridian system: III. The sound characteristics of phyllodendron (*Alocasia*) and effects of acupuncture on those properties. American Journal of Chinese Medicine. 22(3-4): 205-214.

<Http://192.100.189.39/Research/ABC/WSdroughtDehydrin.htm> (1999)

[Http://www-server.bcc.ac.uk/biology/teaching/b231.htm](http://www-server.bcc.ac.uk/biology/teaching/b231.htm) ; titre: Mechanisms by which pathogens attack plants. (1999).

[Http://www.talin.co.uk/main.html](http://www.talin.co.uk/main.html) (1999).

[Http://www.biology.ualberta.ca/courses.hp/Bot250/cellwall.html](http://www.biology.ualberta.ca/courses.hp/Bot250/cellwall.html) (1999).

[Http://members.aol.com/JMSternhei](http://members.aol.com/JMSternhei) (1997).

[Http://plantbio.berkeley.edu/Faculty/faculty_members/McCormick.html](http://plantbio.berkeley.edu/Faculty/faculty_members/McCormick.html) (1998)

[Http://www.irbm.it/irbm-course95/tardata/t0194.doc.html](http://www.irbm.it/irbm-course95/tardata/t0194.doc.html) (1995)

Huber, J.M., Treyvaud, J.F., Dubouloz, B., Egloff, C., Egloff, R., Lappert, A., Sternheimer J. (1994). Régulation Epigénétique de la Biosynthèse des Protéines Appliquée à la culture de Tomates: Compte-rendu d'Expériences en serre.; source: <http://members.aol.com/JMSternhei>.

Joersbo, M. and Brunstedt, J. (1992). Sonication: A new method for gene transfer to plants. *Physiologia Plantarum*. **85**: 230-234.

Kiekens, L. (1998). *Biologie: Inleiding tot de Plantenfysiologie (cours)*. Gent. Hogeschool Gent. 105p.

Koot, H. (1979). Factoren die de kwaliteit van tomaten beïnvloeden. *Groenten en Fruit* **34**, 27: 35-37.; source: eindwerk: kwaliteitsverbetering bij tomaten. p39. Jos Van Den Dries. (1979-1980). CTL(Hogeschool Gent).

Lemke Brothers Agrotech Farms, Inc. 6833 128th Avenue Wausau, Wi 54401-8806 (1999). (<http://www.lemke.qpg.com>). Lettres et communication oral.

Lindeman, H. E. Stekelenburg M. (1981). *Lawaai*. Brussel. Stafleu's wetenschappelijke uitgeversmaatschappij. 211p.

Malinowsky, (1930); source: Weinberger, P. and Graefe, U. (1973). The effect of variable-frequency sounds on plant growth. *Canadian Journal of Botany*. **51**: 1851-1856.

Matsushashi Michio et al. (1998). Production of sound waves by bacterial cells and the response of bacterial cells to sound. *Journal Gen. Appl. Microbiol.*, **44**, 49-55.

Measures, M. and Weinberger, P. (1970). The effect of four audible sound frequencies on the growth of Marquis spring wheat. *Can. J. Bot.* **48**: 659-662.

Measures, M. and Weinberger, P. (1973). Effects of an audible sound frequency on total amino acids and major free alcohol-soluble amino acids of Rideau wheat grains. *Can. J. Plant Sci.* **53**: 737-742.

Mirtskhulava, M. B. (1991). The primary mechanism of the biological action of weak magnetic fields of sound frequency. *Soobshcheniya Akademi Nauk Gruzii*. **144**(2-3): 313-315.

Moinet, M. L. (1999). Les "cinq sens" des plantes. *Science & Vie*. N°980. p82.

Muschietti, J., Direks, L., Vancaneyt, G. and Mc Cormick, S., (1994). Lat52 protein is essential for tomato pollen development. Pollen expressing antisense Lat52-RNA hydrates and germinates abnormally and cannot achieve fertilization. *Plant J*. **6**: 321-338.

Myncke, H., Vandenberghe, H. (1975). *Geluid en geluidshinder*. Brussel. Stichting Leefmilieu v.z.w. 193p.

Newcomer, E. H. and Wallace, R. H., (1949). Chromosomal and Nuclear Aberrations Induced by Ultrasonic Vibrations. *American Journal of Botany*. Vol. **36**: 230-236.

Obolensky, G., Johnson, L. P. V. (1954). Note on the effect of ultrasonic vibration on development of Barley. *Canadian Journal of Agricultural Science*. Vol **34**: 651.

Obolensky, G. (1957). Activation des processus fonctionnels (métaboliques et enzymatiques) de l'orge par ultra-sons. *Materiae Vegetabiles*. **2**: 298-335.; source: Weinberger, P. and Measures, M. (1968). The effect of two audible sound frequencies on the germination and growth of spring and winter wheat. *Canadian Journal of Botany*. **46**: 1151-1161.

Ohara, K. (1993). *Mei kyokuwa mei I*. édit; Y. Masuda. Tokyo. p119.

Pelah, D., Wang, W., Altman, A., Shoseyov, O. and Bartels, D. (1996). Differential accumulation of water stress-related proteins, sucrose synthase and soluble sugars in *Populus* species that differ in their water stress response. *Physiologia Plantarum*. nr1. **99**: 153-159.

Pelt, J. M. (1996). *Les langages secrets de la nature*. Paris. Librairie Arthème Fayard. 217p.

PIIE of Dienst voor de Industriële Eigendom, Ministerie van economische zaken, bestuur handelsbeleid, 2000, textes (wet op de uitvindingsoctrooien) et communication oral. (Ministère des affaires économiques, Service de la propriété industrielle)

Pressey, R., (1997). Two isoforms of NP24: a thaumatin-like protein in tomato fruit. *Phytochemistry*. nr 7. Vol **44**: 1241-1245.

Raven, H. P., Evert, R. F., Eichhorn S. E. (1999). *Biology of Plants*. New York. W. H. Freeman and Company Worth Publishers. 116-269. 944p

Repp Bruno H. (1990). Patterns of expressive timing in performances of a Beethoven minuet by nineteen famous pianists. *J. Acoust. Soc. Am.* **88** (2), August 1990.

Retallack D. (1973). uitg. De vorss en coll. Santa Monica. Cal.; source: Pelt, J. M. (1996). *Les langages secrets de la nature*. Paris. Librairie Arthème Fayard. 217p.

Schneck, D. J., Berger, S. D., (1999). The Role of Music in Physiologic Accomodation, Its Ability to Elicit Reflexive, Adaptive and Inscriptive Responses. *IEEE Engeneering in Medecine and Biology Magazine.*, Number 2, March/April 1999, Vol. **18**: 44-53.

Singh, T.C.N. Bihar Ag. College Mag. (1963). 13, 1.; source: Pelt, J. M. (1996). *Les langages secrets de la nature*. Paris. Librairie Arthème Fayard. 217p.

Smith, P. (1988). *Ons Oor en het Geluid om ons heen*. Leeuwarden. Friese Pers Boekerij bv. 175p.

Sneyaert, F., Ferrandiz, P., Renoma, M. et Sternheimer, J. (1997). Conservation de Fruits et de Légumes par Régulation Epigenetique: Inhibition de l'Expression de la Polygalactunerase d'Avocat.; source: <http://members.aol.com/JMSternhei> .

Sternheimer, J. (1998-2000). lettres(emails) et communication oral.

Sternheimer, J. (1999). How ethical principles can aid research. *Nature*. 9 December 1999. Vol 402. N°6762: p576.

Sternheimer, J. (1997). Interactions Non-locales dans l'Expression des Gènes; source: <http://members.aol.com>, <http://www.ecopra.org/stern.html>

Sternheimer, J. (1993). Epigenetic Regulation of Proteïn Biosynthesis by Scale Resonance. Conférence à Kanagawa Science Academy and Teikyo Hospital (Tokyo). 20/05/1993.

Sternheimer, J. (1994-1995). Ondes d'échelle. Séminaire donné à l' Université Européenne de la Recherche. Paris.

Sternheimer, J. (1992). Titre d'invention: Procédé de régulation épigénétique de la biosynthèse des protéines par résonance d'échelle. Brevet n° FR 92-06765. INPI: Institut National de la propriété Industrielle.

Sternheimer, J. (1994). Good Vibrations give Plants excitations. *New Scientist*. 28 May 1994. p10.

Sternheimer, J. (1994). Quantum vibrations. *New Scientist*. 6 August 1994. p50.

Takada, S. (1992). Production of brewed food sending music with various wavelength. Brevet N° JP 3-224462.

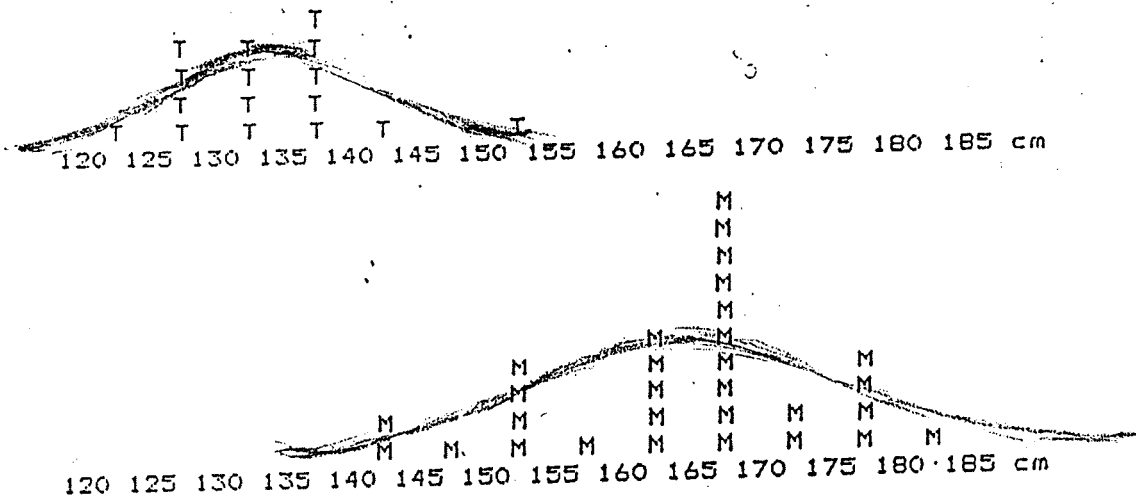
- Timonin, M. I. (1966). Effect of ultrasound on the germination of white spruce and jack pine seeds. *Canadian Journal of Botany*. Volume 44: 113.
- Tompkins, P., Bird, C. (1992). *Secrets of the Soil*. Harper & Row Publishers. New York. 444p.
- Tompkins, P., Bird, C. (1973) *The Secret life of plants*. Harper & Row Publishers. New York.
- Tuinderij Leidraad. (1979-1980). Teelt van vroege stooktomaten.; source: eindwerk: kwaliteitsverbetering bij tomaten. p41. Jos Van Den Dries. 1979-1980. CTL(Hogeschool Gent).
- Ulmer, M., Gil, B., Ferrandiz, P., Sternheimer, J. (1993). Régulation Epigénétique de la Biosynthèse des protéines Appliquée à la Culture de Fruits et Légumes: Compte-rendu d'Expérience en Jardin Potager.; source: <http://members.aol.com/JMSternhei>.
- Veenman, A.F. (1978). Ruimtebenutting bij de teelt van vroege stooktomaten. *Groenten en Fruit*. N° 34, 20 : 33-35 ; source: thèse: kwaliteitsverbetering bij tomaten. p53. Jos Van Den Dries. 1979-1980. CTL(Hogeschool Gent).
- Veress E., Sebok M.P., Suci T. (1995). Feb. The effect of the Ultrasound action on the Physiological parameters of Sugar Beet and its Productivity. *Novenytermeles*. 44(1):55-61.
- Weinberger, P. and Graefe, U. (1973). The effect of variable-frequency sounds on plant growth. *Canadian Journal of Botany*. 51: 1851-1856.
- Weinberger, P. and Measures, M. (1968). The effect of two audible sound frequencies on the germination and growth of spring and winter wheat. *Canadian Journal of Botany*. 46: 1151-1161.
- Weinberger, P. and Das, G. (1972). The effect of an audible and low ultrasound frequency on the growth of synchronized cultures of *Scenedesmus obtusiusculus*. *Can. J. Bot.* 50: 361-365.
- Weinberger, P. and Measures, M. (1979). Effects of the intensity of an audible sound on the growth and development of Rideau winter wheat. *Can. J. Bot.* 57: 1036-1039.
- Weinberger P. Ottawa. Patent N° US3703051. Methods for improving the growth characteristics of plant material such as seeds and growing plants. 29/07/1971.
- Whealy, K. (1986). *Seed Savers Exchange: The First ten years.*; source: Guillet S., Guillet D. (1997). *Terre de Semences 1997: Pour la Protection de la Biodiversité*. p128.

Une technique est en fin de compte avantageuse aussi longtemps qu'elle ne nous aliène pas de la nature, sinon on ne fait que détruire technologiquement nos fondements par inconscience.

Yannick Van Doorne

Résultats de Yannick van Doorne
30 mars 1999

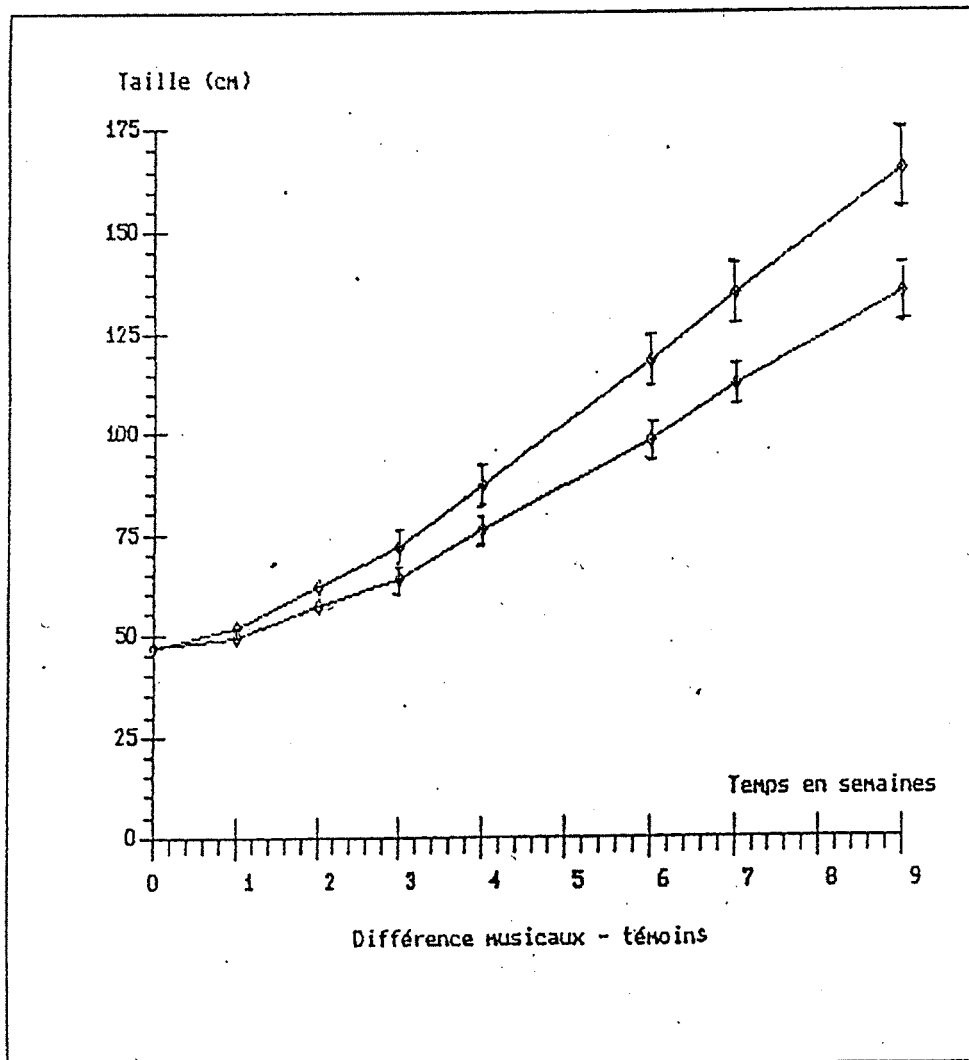
Répartition des plants témoins (T) et musicaux (M) par taille



T = 134,47 +/- 7,35 cm

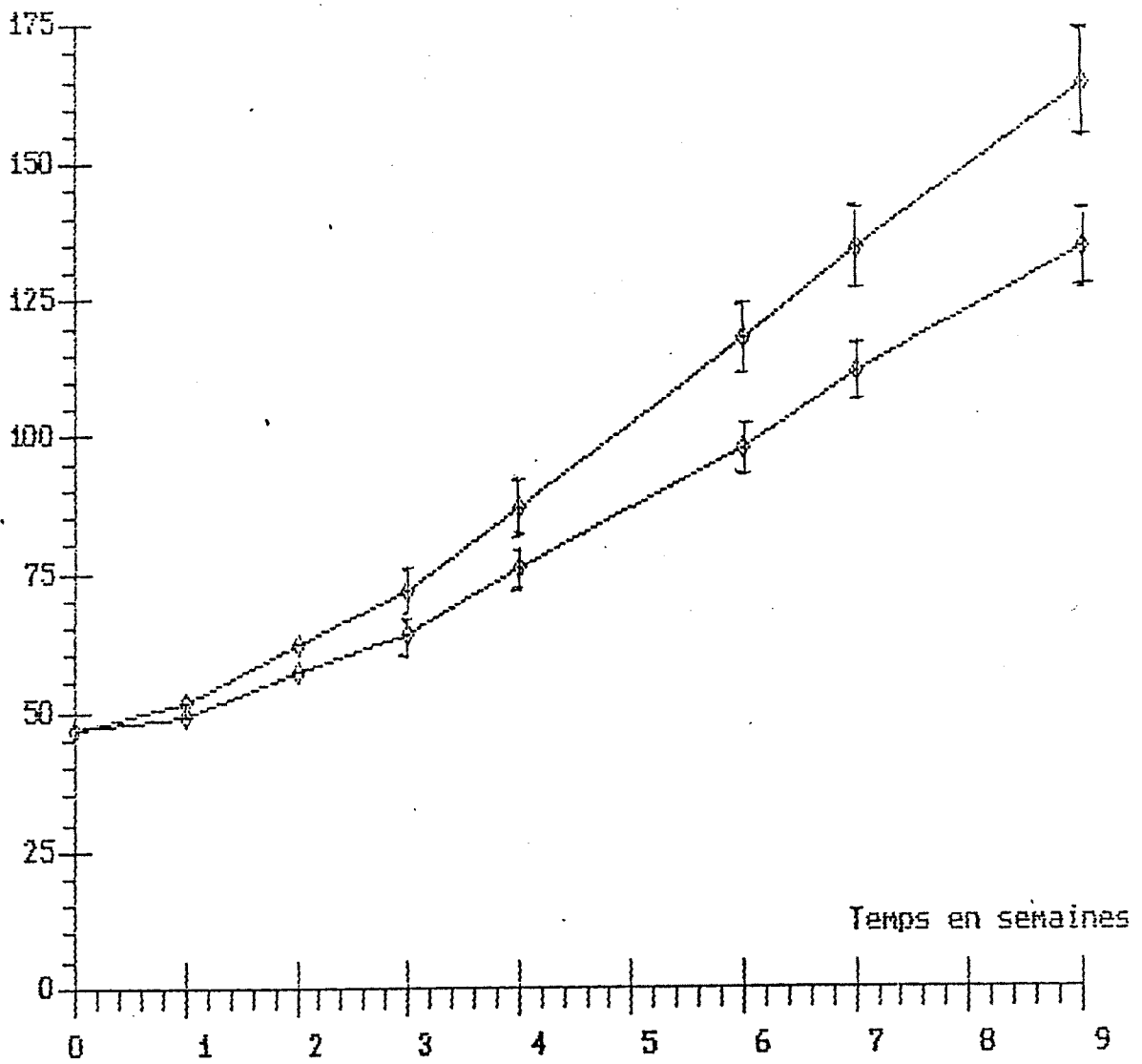
M = 164,40 +/- 10,36 cm

M-T = 29,93 +/- 2,64 cm (> 9 écarts-types). ($\pm 3,06$ avec $S = 1,16$
sur 10 écarts-types)



STERNHEIMER J.

Taille (cm)



Différence musicaux - témoins

JOEL STERNHEIMER