



# TPE :

## Peut-on traiter la mérule physiquement et non chimiquement ?



Et pourquoi pas les  
micro-ondes ...



2012-  
2013



INSTITUT TECHNOLOGIQUE



S.V.T-  
Chimie-  
Physique

## Introduction

La m\u00e9rulle est un champignon ravageur qui se d\u00e9veloppe dans les maisons humides en s'attaquant au bois. Elle pose de r\u00e9els probl\u00e8mes \u00e9conomiques dans la mesure o\u00f9 la remise en \u00e9tat de la maison peut d\u00e9passer le co\u00fbt de la maison elle-m\u00eame mais \u00e9galement des probl\u00e8mes \u00e9cologiques et sanitaires. En effet, les produits chimiques utilis\u00e9s actuellement pour la d\u00e9truire sont toxiques pour l'homme et pour l'environnement. De plus, ils n\u00e9cessitent la fermeture de la maison pendant plusieurs mois. Or \u00e0 73\u00b0C la m\u00e9rulle serait d\u00e9truite ! Chauffer les parties en bois en surface est ais\u00e9 cependant cela devient beaucoup plus d\u00e9licat en profondeur ! Nous sommes donc arriv\u00e9s \u00e0 la probl\u00e9matique suivante : **les micro-ondes ne pourraient elles pas \u00eatre utilis\u00e9es comme m\u00e9thode alternative pour \u00e9liminer la m\u00e9rulle ?**

Pour r\u00e9pondre \u00e0 cette probl\u00e9matique, il va nous falloir dans un premier temps mettre en \u00e9vidence les conditions favorables au d\u00e9veloppement de ce champignon pour concevoir une strat\u00e9gie pour l'\u00e9liminer. Dans un second temps, nous allons devoir tester si l'utilisation des micro-ondes est une solution viable pour le traitement du bois contre la m\u00e9rulle. Si c'est le cas les micro-ondes doivent pouvoir d\u00e9truire la m\u00e9rulle mais sans alt\u00e9rer les propri\u00e9t\u00e9s du bois de la maison. Pour terminer nous nous pencherons sur la faisabilit\u00e9 et les limites de notre traitement par les micro-ondes en proposant des conditions de mise en \u00e9uvre sans risque pour les mat\u00e9riaux et les personnes.

## Sommaire

<b>Introduction / Sommaire / Remerciements</b>	<b>2</b>
<b>A- Comment \u00e9radiquer la m\u00e9rulle ?</b>	<b>3</b>
1) Quelles sont les conditions de d\u00e9veloppement de la m\u00e9rulle ?	3
a) Qu'est ce qu'une m\u00e9rulle ?	3
b) Mise en \u00e9vidence des conditions favorables \u00e0 son d\u00e9veloppement	3
2) Utiliser un produit chimique ?	4
3) Une temp\u00e9rature \u00e9lev\u00e9e permet-elle de tuer la m\u00e9rulle ?	5
<b>B- Peut on utiliser les micro-ondes pour traiter le bois contre la m\u00e9rulle ?</b>	<b>5</b>
1) Pourquoi utiliser les micro-ondes pour r\u00e9chauffer le bois en profondeur ?	5
2) Les micro-ondes ont-elles un effet sur la m\u00e9rulle ?	6
a) Les micro-ondes peuvent elle tuer la m\u00e9rulle ?	6
b) Les micro-ondes ont elle un effet sur les spores de m\u00e9rulle ?	9
3) Les micro-ondes ont-elles des effets sur le bois ?	10
a) Y a-t-il une perte de masse ?	10
b) Y a-t-il d\u00e9naturation du bois ?	11
<b>C- Comment mettre en \u00e9uvre sans risques pour les mat\u00e9riaux et les personnes ?</b>	<b>12</b>
1) Comment irradier les parties en bois d'une maison ?	12
2) Comment se prot\u00e9ger des micro-ondes ?	13
3) Comment lutter contre l'effet de pointe ?	15
<b>Conclusion</b>	<b>15</b>

## Remerciements

Tout d'abord, nous voudrions remercier nos deux professeurs, Mme Guillotin et M. Thibault, responsables du cours de TPE, ainsi que les pr\u00e9parateurs des laboratoires de chimie, de physique et de S.V.T. qui nous ont \u00e9t\u00e9 d'une aide pr\u00e9cieuse durant la r\u00e9alisation de ce TPE. Ils ont su nous guider et nous conseiller.

Ensuite, nous remercions M. Simon, expert de la m\u00e9rulle de l'entreprise SADED, qui nous accord\u00e9 de son temps pour r\u00e9pondre \u00e0 nos questions. Ces explications ont \u00e9t\u00e9 d\u00e9terminantes pour la compr\u00e9hension et r\u00e9daction de notre TPE. De plus, il a eu l'amabilit\u00e9 de nous envoyer des \u00e9chantillons de m\u00e9rulle nous permettant ensuite de tester nos hypoth\u00e8ses gr\u00e2ce \u00e0 des exp\u00e9riences ce qui entra\u00eenera sans doute la validation de celle-ci. Nous tenons \u00e9galement \u00e0 remercier M. Marc Jequel de l'institut technologique FCBA (For\u00eat Cellulose Bois-Construction Ameublement) pour les r\u00e9ponses \u00e0 nos questions, et son probable accueil dans son laboratoire d\u00e9but juillet, ainsi que M. Eric de La Roch\u00e8re, de l'association Arbocentre pour les informations qu'il nous a fournies sur les effets d'un traitement thermique sur le bois.

Enfin nous remercions M. Pierre Encrenaz, membre de l'acad\u00e9mie des Sciences, qui nous a parl\u00e9 de ses propres m\u00e9saventures avec la m\u00e9rulle avant de contribuer \u00e0 la r\u00e9alisation de notre projet en nous fournissant notre premier \u00e9chantillon de bois infest\u00e9. Consciemment ou inconsciemment, il nous aura permis de travailler sur un projet hors du commun, et nous lui en sommes reconnaissants

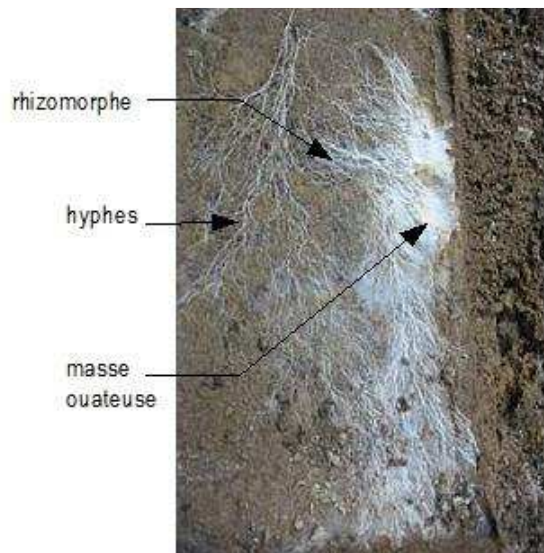
## A- Comment éradiquer la mэрule ?

### 1) Quelles sont les conditions de développement de la mэрule ?

#### a) Qu'est ce qu'une mэрule ?

La mэрule est un champignon lignivore c'est-à-dire qui se nourrit en dégradant le bois. Elle possède des enzymes, les cellulases, qui lui permettent d'hydrolyser la cellulose, un polymère de glucose présent dans le bois. Il existe plusieurs espèces de mэрule, néanmoins nous nous intéresserons uniquement à l'espèce *Serpula lacrymans*, la seule présente en Europe.

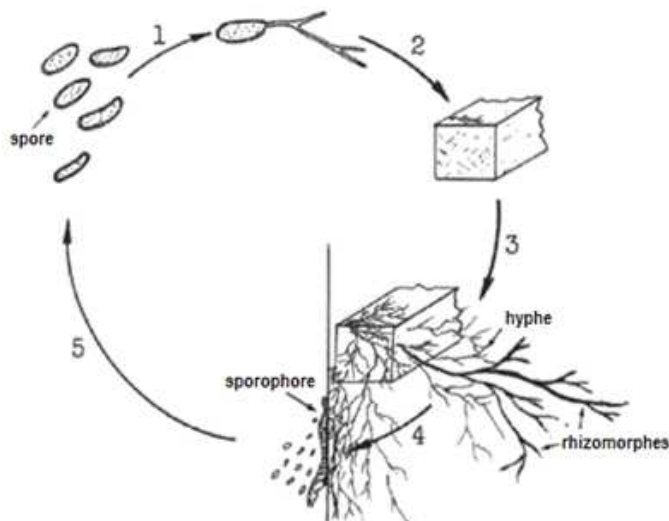
La Mэрule est un champignon basidiomycète de la famille des serpulacées. Elle présente un cycle de développement assez classique. A partir de la germination de spores se développe un mycélium dit primaire qui peut envahir le substrat ici le bois. La fusion de deux filaments mycéliens pourra donner un mycélium secondaire à l'origine des sporophores produisant les spores de mэрule.



Le mycélium primaire



La forme « fructifiée » de la mэрule



Le cycle de développement de la mэрule

1. Germination des spores.
2. Installation du champignon sur le substrat.
3. Invasion du substrat (hyphes, rhizomorphes) et extensions.
4. Création d'un sporophore (fruit) sporulation du champignon.
5. Dissémination des spores (vent, hommes, oiseaux, petits rongeurs, insectes...)

#### b) Mise en évidence des conditions favorables au développement de la mэрule

Nous avons cherché à mettre en évidence les conditions favorables au développement de la mэрule. Cette dernière a besoin d'un substrat dans notre cas le bois et en France la mэрule est bien connue pour les dégats qu'elle cause dans les résidences secondaires en Bretagne humides et mal ventilées...Nous avons donc formulé l'hypothèse que **la mэрule a besoin d'une certaine humidité et d'une température plutôt tempérée.**

#### Protocole expérimental :

Pour tester notre hypothèse, nous avons percé des morceaux de pin de dimensions (25cmx17cmx49cm) puis nous avons prélevé des filaments mycéliens de mэрule. Nous avons en quelque sorte introduit ces filaments dans les morceaux de bois et nous avons déposé l'ensemble dans des erlenmeyers sur du coton (2g) plus ou moins imbibé d'eau. Les erlenmeyers ont été fermés à l'aide d'un bouchon de coton et le taux d'humidité est suivi à l'aide d'un humidimètre.

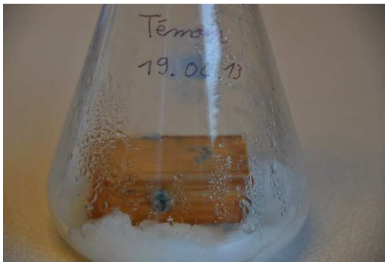


Tableau 1 : les différentes conditions testées

Numéro de l'échantillon	Humidité du bois	Quantité d'eau humidifiant le coton	Lieu de culture	Obscurité
1	25%	40mL	Etuve à 25°C	oui
2	25%	20mL	Etuve à 25°C	oui
3	9%	0	Etuve à 25°C	oui
4	25%	40mL	Réfrigérateur 5°C	oui
5	25%	40mL	Derrière une fenêtre	non

### Résultats obtenus :

Nous avons remarqué alors au bout de quelques jours que la mэрule s'est développée uniquement dans les conditions de l'expérience 1. Nous en avons déduit que la mэрule a besoin d'une certaine humidité et d'une température relativement élevée, ici 25°C pour se développer du moins pour que l'on puisse observer à l'œil nu une croissance des filaments. D'autre part la croissance du mycélium semble être plus importante à l'obscurité qu'à la lumière.



Expérience 1



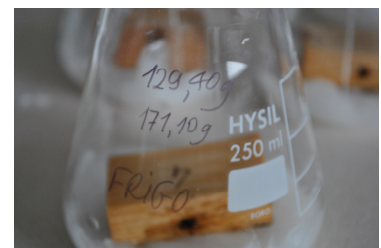
Expérience 2



Expérience 3



Expérience 4



Expérience 5

### Conclusion :

Ces résultats valident notre hypothèse et ont été confirmés par nos recherches sur les conditions optimales de développement de la mэрule. Ces dernières peuvent être classées en 3 catégories :

- L'humidité du bois : la mэрule se développe dans une humidité comprise entre 22 et 35%. A 35% son développement est des plus rapides et au-delà de 40%, elle cesse son développement. Normalement un bois contient entre 6 et 12-13% (maximum 20%).
- La température : le développement a lieu entre 2 et 20°C, il est optimal entre 20 et 26°C, surtout en atmosphère confinée et impossible au-delà.
- La lumière : la phase végétative du développement de la mэрule nécessite une grande obscurité alors que la fructification demande un minimum de lumière.

Néanmoins, nous pouvons formuler plusieurs critiques concernant notre protocole expérimental. La première est que nous aurions pu tester davantage de conditions de température et d'humidité. De plus, nous avons voulu tester l'influence de la lumière mais comme l'erenmeyer n'était pas à l'étuve à 25°C, on peut penser que le développement de la mэрule n'a pas été observé car la température de la pièce était plus faible (17°C). L'autre critique majeure de notre protocole est que nous avons juste observé à l'œil nu le développement des filaments mycéliens. Il aurait été intéressant de pouvoir quantifier cette croissance.

## 2) Utiliser un produit chimique ?

Aujourd'hui la seule possibilité pour détruire la mэрule est d'utiliser des produits chimiques. Le produit le plus répandu est l'ADBA Chloride. Afin de tuer la mэрule, ce produit doit être injecté à l'intérieur du bois. Son principe est de casser les interactions entre les lipides présent dans la membrane plasmique de la mэрule et les bases aqueuses à l'intérieur et l'extérieur de la cellule. La membrane plasmique de la mэрule étant altérée le champignon meurt.

Le produit est aussi très polluant pour l'environnement : il est hautement toxique pour les poissons et invertébrés aquatiques, modérément pour les oiseaux et légèrement toxique pour les mammifères. D'un point de vue pratique, l'utilisation de ce produit est gênante puisqu'elle nécessite de quitter son habitat pendant plusieurs semaines voir quelques mois en fonction de la quantité de structures contaminées.

C'est ce constat qui nous avait conduit à formuler notre problématique initiale c'est-à-dire : peut on éliminer la mэрule « physiquement et non chimiquement » ?

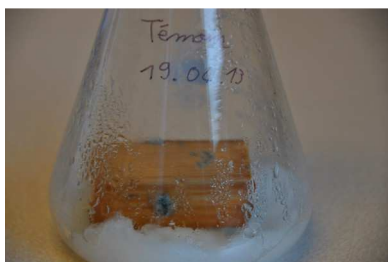
### 3) Une température élevée permet elle de tuer la mэрule ?

Nous avons vu que la mэрule se développe bien dans du bois humide et pour une température entre 20 et 26°C. La première solution à envisager pour traiter une maison infestée est donc déjà de supprimer la source d'humidité ! Ensuite on pourrait penser qu'en soumettant la mэрule à des températures très éloignées de ses températures optimales de développement cela pourrait régler le problème. Or on ne veut pas seulement arrêter son développement, on veut la tuer ! Ce qui n'est pas chose aisée... En effet, lorsque les conditions ne sont pas favorables, la mэрule peut survivre à l'état de latence notamment sous forme de spores pendant plusieurs années et reprendre son développement lorsque les conditions seront à nouveau favorables. Il faut donc trouver un traitement qui détruise de façon irréversible les filaments mycéliens et les spores de mэрule. Nous avons donc formulé l'hypothèse que **des températures élevées pourraient tuer la mэрule**.

#### Protocole expérimental :

Afin de tester cette hypothèse, nous avons renouvelé le protocole précédent en plaçant un morceau de pin contenant des filaments de mэрule à l'étuve à 100°C pendant presque 1h. Puis nous avons replacé l'erlenmeyer, dans des conditions favorables de développement (humidité à 25% et à l'étuve à 25°C) de la mэрule.

#### Résultats obtenus :



Expérience témoin



Résultat de l'expérience au bout de 2j



Résultat de l'expérience au bout de 3 semaines

#### Conclusion :

Nous avons constaté alors que la mэрule ne se développait pas même au bout d'une semaine alors que celle-ci avait été placée dans des conditions favorables. Cela nous a laissé donc à penser qu'elle a été tuée par la chaleur. Cette observation nous est confirmée par les informations fournies par le laboratoire FCBA de Bordeaux qui est formel : les filaments et les spores de mэрules sont détruits à partir de 73°C.

Nous avons donc montré dans cette partie que la mэрule peut être détruite en la soumettant à des températures élevées. Il nous a donc fallu pour éliminer ce champignon trouver un moyen de porter le bois des maisons à une température supérieure à 73°C en profondeur car le champignon s'insinue au sein du bois et cela évidemment sans altérer ou fragiliser la maison ! Nous nous sommes donc demandé dans un second temps **en quoi un traitement du bois à l'aide de micro-ondes pourrait être un bon moyen d'arriver à nos fins**.

### B- Peut on utiliser les micro-ondes pour traiter le bois contre la mэрule ?

Détruire la mэрule en surface par chauffage à plus de 73°C n'est pas un problème et peut être bref mais s'attaquer à ce champignon en profondeur semblait plus délicat et consommateur en temps. Il nous a donc fallu réfléchir à un procédé rapide mais aussi sans conséquence sur les propriétés mécaniques du matériau. Le bois colonisé par la mэрule étant humide, nous avons pensé à l'utilisation des micro-ondes. En effet, lors d'une première expérience qui a consisté à introduire un morceau de bois au four micro-ondes pendant seulement 10 s, nous avons été stupéfaits de constater que la température intérieure avoisinait 100°C à sa sortie. Comment est-ce possible ?

#### 1) Quel est l'effet des micro-ondes sur l'eau ?

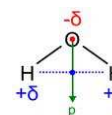
Compte tenu de sa géométrie coudée, la molécule d'eau est une molécule polaire. En effet, la répartition de ses charges positives et négatives, est dissymétrique et conduit à un pôle positif et un négatif qui ne sont pas confondus. Ainsi soumise à un champ électrique  $\vec{E}$ , son moment dipolaire  $\vec{p}$  va s'orienter dans le sens de ce dernier.

Si ce champ électrique est alternatif, la molécule s'oriente alternativement dans un sens puis dans l'autre. Il se trouve que pour des fréquences correspondant aux micro-ondes, soient comprises entre 300 GHz et 1 GHz, la molécule entre en résonance : Elle absorbe fortement les ondes électromagnétiques correspondant et oscille parfaitement en suivant l'orientation du champ électrique

Dans les fours à micro-ondes, la fréquence utilisée est de 2,450 GHz, ce qui correspond à une longueur d'onde dans le vide  $\lambda_0 = 12,24$  cm .

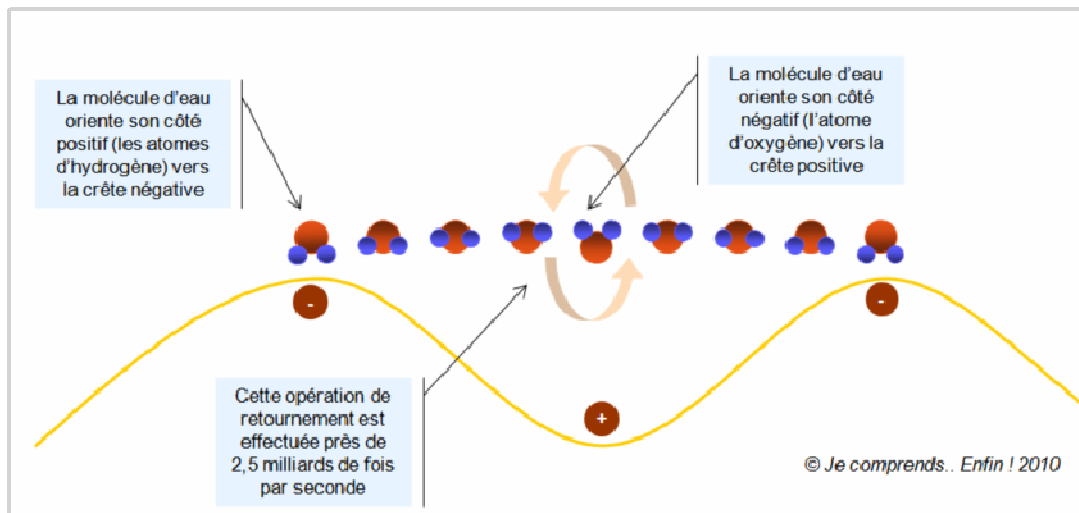


**Modèle moléculaire de l'eau**



**Polarité de la molécule d'eau**  
• Barycentre -  
• Barycentre +

La molécule effectue ainsi environ 2,5 milliards de fois par seconde ce changement d'orientation alternatif. Les oscillations effectuées par la molécule d'eau créent un échauffement dû aux frottements contre les atomes ou molécules avec lesquels elle est en contact. C'est ce dégagement de chaleur qui va faire monter la température du bois.



**Effets des micro-ondes sur la molécule d'eau**

Nous avons voulu savoir si la volume du morceau de bois avait une importance sur son réchauffement. Nous avons donc formulé l'hypothèse que **la température atteinte au cœur d'un morceau de bois varie en fonction de son volume pour un même temps d'irradiation.**

**Protocole expérimental :** nous avons découpé deux pavés dans du bois de pin car c'est à ce bois que s'attaque le plus souvent la mэрule. L'un 8 fois plus volumineux que l'autre : Nous les avons irradié séparément pendant 20 s puis relevé la température à l'aide d'un thermomètre à sonde dans un trou préalablement foré.

Tableau n°2 : Mesure de la température atteinte au cœur des deux morceaux de bois

20s au MO	Fat 7x7x6	Slim 3,5x3,5x3
Masse	148,33	17,17
T°	63,8	93,1

**Résultats obtenus :** on voit tout d'abord que le petit échantillon a atteint une température au cœur du bois bien supérieure au deuxième pavé (x1,6). Lors de la prise de température du petit échantillon la mesure au cœur est

restée stable puis décroissante. Alors que pour le pavé le plus volumineux, on a observé une augmentation de la température sur environ 30 secondes puis décroissance pour revenir à température ambiante

**Conclusion :** Lors du chauffage du bois dans un four micro-ondes, la répartition des ondes n'est pas uniforme d'où le plateau tournant.

Tout en pénétrant dans le bois le rayonnement micro-onde est de moins en moins intense car absorbé par sa surface. Ce qui va aider la chaleur à se répandre au cœur du bois est le phénomène de conduction qui est plus efficace en présence d'humidité car la conductivité thermique de l'eau est 2 à 3 fois supérieure à celle du bois. Les micro-ondes sont capables de chauffer en profondeurs aidées du phénomène de conduction (propagation de la chaleur de proche en proche).

**Remarque :** Lorsque nous avons découvert que la seule source de réchauffement n'était pas le phénomène de rayonnement, mais également de conduction, nous avons souhaité conforter cette hypothèse en utilisant de la pâte à modeler à laquelle nous avons ajouté du glucose et de la liqueur de Fehling. Après passage 30 s au micro-onde à une puissance de 750 W, nous avons pu constater que la liqueur de Fehling avait bien pris une couleur rouge brique en surface alors que le centre de la pâte à modeler n'avait pas encore eu le temps de chauffer suffisamment et entraîner la transformation du réactif de Fehling. .

C'est donc en se basant sur ce principe que nous souhaitons détruire la mэрule. Nous avons donc voulu savoir si en effet les micro-ondes pourraient éradiquer la mэрule et ses spores au sein d'un morceau de bois.

## 2) Les microondes ont-elles un effet sur la mэрule ?

### a) Les micro-ondes peuvent-elles tuer la mэрule ?

Pour répondre à cette question nous avons voulu nous procurer un échantillon de mэрule contenant des spores ainsi que des filaments mycéliens. Depuis nous avons pris contact avec un expert de la mэрule, monsieur Simon qui travaille dans une entreprise qui fait des expertises et traite la mэрule dans les habitations. Nous avons fait une réunion téléphonique ensemble pendant laquelle il nous a beaucoup éclairé sur la ténacité des champignons



lignivores qui se propagent rapidement. Mais il nous a avant tout parlé du milieu de culture optimal de la mэрule qu'il cōtoie quotidiennement. Par la suite il nous a envoyэ une fructification (photo ci-contre) trouvée sur l'un de ces chantiers (donc gorgée de spores et de filaments frais, trèс dangereux) pour que l'on puisse tenter des expériences de mise en culture.

On formule l'hypothèse suivante : **Un irradiation aux micro-ondes permettant de dépasser une température de 73°C conduit à la mort de la mэрule.**

#### **✚ Expérience A : mise en culture de mэрule dans une cave**

##### **Protocole expérimental :**

- Nous avons pris trois morceaux de fructification : l'échantillon 1 sert de témoin et les échantillons 2 et 3 que l'on passe au four à micro-ondes (750 W) plus ou moins longtemps.
- Nous les avons mis en culture dans des conditions de développement les plus optimales possibles mais dans des lieux différents pour qu'il n'y ait pas de transfert de spores.
- Nous avons observé le développement de chaque échantillon. Si les échantillons irradiés ne se développent pas alors que le témoin parvient à se développer alors notre traitement par les micro-ondes fonctionne.

##### **Réalisation :**

- *Passage des échantillons aux radiations :*

- 1 : témoin (non irradié) ; ;
- 2 : 15 secondes au four à micro-ondes, la température atteinte par l'échantillon est de 88°C ;
- 3 : 30 secondes au four à micro-ondes, la température atteinte par l'échantillon est de 74°C.

- *Mise en culture :*

La mise en culture s'est faite dans une cave sombre à environ 11°C sur de buchettes de pin maritime à environ 30% d'humidité. Nous avons contrôlé l'humidité du bois à l'aide d'un humidimètre (voir ci-contre). Les échantillons de mэрule ont été humidifiés régulièrement à l'aide d'un vaporisateur d'eau.

##### **Résultats obtenus au bout de 2 semaines :**

Comme le montre ses photographies, on observe un voile blanc à la surface de l'échantillon témoin qui commence à s'étendre au bois qui lui a servi de substrat. Celui-ci correspond à des filaments mycéliens. La mэрule s'est donc développée. Néanmoins, ce développement semble relativement lent ce qui peut s'expliquer par la température peu élevée de la cave (11°C). Pour les échantillons de mэрule 2 et 3 qui ont été exposés aux micro-ondes et ayant atteint une température supérieure à 73°C, on observe aucun développement de filaments mycéliens ni sur l'échantillon ni sur le bois. Nous avons remarqué également que ce champignon était de plus en plus sombre et sec malgré l'humidification régulière. On en a déduit que la mэрule ne se développe plus et pouvait être morte.



Fructification envoyée par M. Simon (Société SADED)



**Humidimètre :** ici mesure d'un bois trempé dans l'eau pendant 2 jours. (38%) (38%)



**Mэрule témoin 1**



**Mэрule irradiée 2 :**  
15s aux microondes (88°C)



**Mэрule irradiée 3 :**  
30s aux microondes (74°C)

**Conclusion :** les échantillons irradiés ne se sont pas développés contrairement à l'échantillon témoin ce qui nous a permis de valider notre hypothèse.

### ✚ Expérience B : mise en culture de mэрule sur milieu gélosé

Les résultats de l'expérience précédente étant concluants, nous avons cherché à vérifier s'ils étaient reproductibles. Par ailleurs, malgré notre enthousiasme nous nous sommes interrogés tout de même sur la nature des filaments mycéliens observés : est ce bien de la mэрule ? ou un autre champignon présent dans la cave ? Une moisissure qui se serait développée à la surface de notre échantillon de mэрule. Nous avons envisagé donc de faire une mise en culture en laboratoire ce qui devait nous permettre de ne mettre en culture que de la mэрule et de mieux contrôler les conditions du milieu. Nous avons pu ainsi placer de la mэрule à sa température optimale de développement et aussi arrêter de prendre de risque pour la maison qui a été le lieu de nos expérimentations !

#### **Protocole expérimental :**

- Nous avons découpé des échantillons d'environ 1cm<sup>3</sup> de fructification de mэрule donc contenant des spores ;
- Nous avons gardé 3 échantillons témoins et les autres sont passés au four microonde en faisant varier le temps d'irradiation (15s, 30s, 45s, 1m et 1m15) ;
- Puis dans des conditions stériles, nous avons déposé des spores dans des boîtes de pétri en frottant délicatement nos échantillons sur de la gélose PDA (Potato Dextrose Agar), un milieu de culture propice au développement des champignons ;
- Nous avons placé ensuite les cultures dans une étuve à 25°C ;
- Nous avons observé la différence de développement entre cultures témoins et cultures irradiées.

#### **Résultats obtenus :**



**Boîte témoin**

Après 4 jours dans l'étuve à 25°C, toutes les cultures irradiées de 15s à 1min15s n'ont présenté aucune évolution. Comme on peut le voir sur ces photos, il est encore possible de voir sur la gélose des fragments de fructification déposés initialement. A l'inverse, les 3 boîtes témoins sont quasiment identiques. On observe à l'œil nu le développement de filaments mycéliens.

**Conclusion :** La mise en culture de fragments de fructifications contenant des spores a abouti au développement de filaments mycéliens alors que lorsque ces derniers ont été irradiés à l'aide de micro-ondes, nous n'avons observé aucun développement. Ces résultats confortent donc notre hypothèse. Les micro-ondes semblent bien avoir tué la mэрule.

Des filaments mycéliens peuvent provenir de la croissance de filaments déjà existants ou de la germination de spores. D'après nos résultats, nous pouvons donc penser que notre traitement aux micro-ondes détruit les filaments mycéliens mais également qu'il a empêché les spores de germer. C'est ce que nous avons tenté de montrer dans l'expérience suivante.



## b) Les micro-ondes ont-elles un effet sur les spores de la mэрule ?

Un traitement du bois efficace contre la mэрule doit permettre de tuer le champignon au sein du bois mais doit aussi détruire les spores. Or les spores, par définition, possèdent des propriétés de résistance remarquables. Les spores de mэрule peuvent survivre au sein du bois pendant plusieurs années même dans des conditions défavorables. De plus, distinguer une spore « vivante » d'une spore « morte » n'est pas si évident que ça ! Une spore morte est une spore qui n'est plus capable de germer pour redonner un filament mycélien. D'après nos résultats précédents, les cultures contenant des spores de mэрule n'avaient pas développé de filaments mycéliens ce qui nous a conduit à formuler l'hypothèse suivante : **le traitement par les micro-ondes permet de tuer les spores de mэрule empêchant ainsi leur germination.**

### Protocole expérimental :

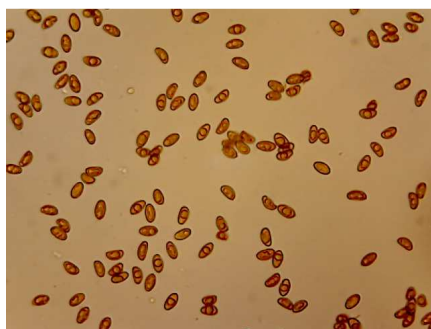
Afin de tester notre hypothèse, nous envisageons plusieurs observations microscopiques :

- Tout d'abord, nous avons observé les spores de la mэрule qui a servi à nos mises en culture (témoin) ;
- Nous avons ensuite réalisé des prélèvements dans nos boites de Pétri de l'expérience précédente au sein de boites non irradiées et au sein de boites irradiées aux micro-ondes.

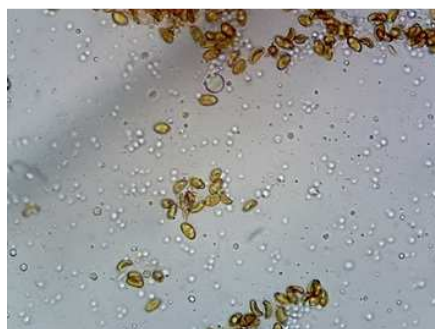
Si notre hypothèse est vraie alors, nous espérons pouvoir observer des spores en train de germer au sein des boites non irradiées et une absence de germination des spores au sein des boites irradiées. De plus, nous espérons aussi observer une différence d'aspect des spores après leur traitement aux micro-ondes.

### Résultats obtenus :

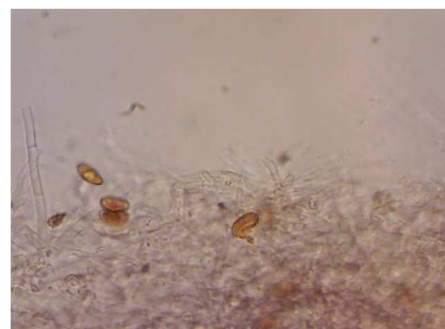
Spores de mэрule observées au microscope optique (grossissement x600)



Spores de mэрule (témoin)



Spores issues d'une boite irradiée aux micro-ondes



Spores issues d'une boite non irradiée aux micro-ondes

- On constate que les spores de mэрule ont une forme caractéristique. Nos observations correspondent aux images de spores de mэрule que nous avons trouvé lors de nos recherches. Elles ont une forme « ovale » et paraissent « pleines ».
- Les spores provenant de boites irradiées (ici après un passage d'1 minute au four à micro-ondes) présentent une forme légèrement différente. Elles sont incurvées et présentent une sorte de concavité, un peu comme si elles avaient perdu leur contenu.
- Les spores provenant de boites non irradiées ont conservé leur forme caractéristique. En réalisant de très nombreuses préparations microscopiques, nous avons pu observer parfois des spores qui semblaient en train de germer.

### Conclusion :

Ces observations sont en accord avec notre hypothèse. Les spores qui n'ont pas subi de traitement aux micro-ondes sont « vivantes ». Elles sont capables lorsqu'elles sont placées dans des conditions favorables de germer générant ainsi un mycélium primaire. A l'inverse, les spores ayant été soumises à des températures élevées grâce à l'utilisation des micro-ondes semblent mortes. Elles auraient perdu leur capacité à germer.

Néanmoins, notre expérience reste critiquable. Nous n'avons observé aucune spore en train de germer dans nos boites de Pétri irradiées mais est ce vraiment la preuve qu'elles sont détruites de façon irréversible ? De plus, nous aurions aimé pouvoir observer les spores de mэрule à un grossissement plus élevé ou à l'aide d'un microscope électronique de façon à mieux comprendre l'effet des micro-ondes sur la structure des spores, peut-être que cela sera possible après nos épreuves du baccalauréat à la faculté de Tours. .

### 3) Les micro-ondes ont-elles des effets sur le bois ?

Maintenant que nous avons pu mettre en évidence l'efficacité des micro-ondes sur l'éradication de la mэрule au sein d'un bois, il nous semble important de vérifier que ce traitement est sans conséquence sur le bois.

#### a) Y a-t-il une perte de masse ?

Lors de l'élévation de la température du bois, il est logique qu'il y ait perte de masse suite à l'évaporation de l'eau qu'il contient ou même sa vaporisation puisque la température atteinte peut dépasser 100°C. Ainsi nous avons voulu le vérifier.

#### Protocole expérimental :

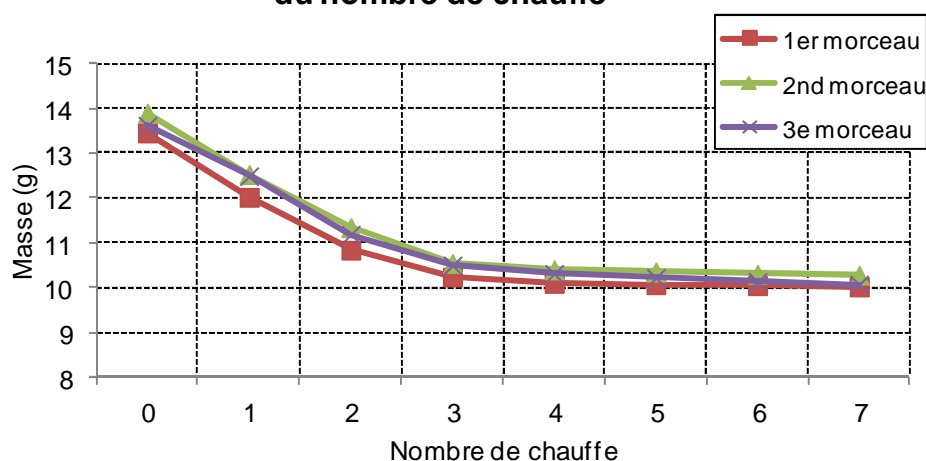
Afin de tester notre hypothèse, nous avons pris trois morceaux de bois identiques, de même variété, de volume voisin, avec un trou au centre pour pouvoir mesurer la température atteinte après plusieurs irradiations successives de 15 s.

#### Résultats obtenus :

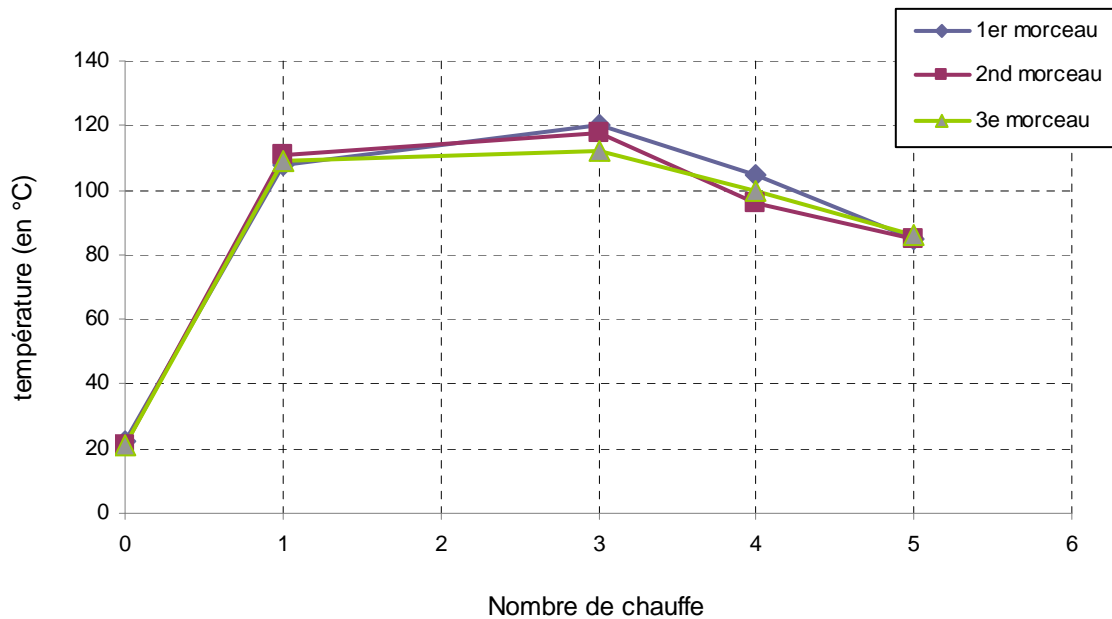
Tableau 3 : estimation de la perte de masse pour différents morceaux de bois après chauffage

		1 <sup>er</sup> morceau	2 <sup>nd</sup> morceau	3 <sup>e</sup> morceau
Conditions initiales	Taille ( l x h x L )	2,5 x 1,7 x 4,9	2,5 x 1,7 x 4,9	2,5 x 1,7 x 4,9
	Masse initiale (en g)	13,46	13,9	13,62
	Humidité initiale	27%	26%	26%
	T° initiale (°C)	22	21	21
Après premier chauffage	Température (en °C)	108	111	109
	Masse (en g)	12,02	12,53	12,49
	Humidité	21%	24%	23%
	Perte de masse (%)	10,7	9,9	8,3
Après second chauffage	Masse (en g)	10,84	11,34	11,19
	Perte de masse	11,12	11,62	11,59
Après troisième chauffage	Masse (en g)	10,24	10,54	10,5
	Température (en °C)	120	118	112
	Perte de masse (%)	5,54	7,05	6,17
Après quatrième chauffage	Masse (en g)	10,10	10,40	10,31
	Température (en °C)	105	96	100
	Perte de masse (%)	1,37	1,33	1,81
Après cinquième chauffage	Masse (en g)	10,07	10,35	10,22
	Température (en °C)	85	85	86
	Perte de masse (%)	0,30	0,48	0,87
sixième	Masse (en g)	10,05	10,3	10,13
septième	Masse (en g)	10,02	10,28	10,07
	Humidité (%)	7,7	8,0	8,8
Perte de masse totale (%)		25,6	26,0	26,1

Evolution de la masse en fonction du nombre de chauffe



### Evolution de la température en fonction du nombre de chauffe



On observe dans un premier temps, une perte de masse évidente entre la masse initiale et la masse après le septième passage. Elle se chiffre respectivement à 25,6%; 26,0% ; 26,1% pour les morceaux 1, 2 et 3. Cette perte de masse est due à l'évaporation de l'eau contenue dans le bois. On peut le confirmer en regardant l'humidité de l'échantillon qui diminue après chaque chauffage. Mais à partir de la quatrième irradiation, la masse n'évolue que très peu car le bois est presque sec donc il n'y a plus d'évaporation, et les températures atteintes sont de moins en moins importantes pour un même temps d'irradiation. A la fin de nos expériences les morceaux de bois étaient à 7-9% d'humidité.

On remarque aussi que pour un même temps d'irradiation les morceaux de bois atteignent des températures de moins en moins importantes au fur et à mesure des passages dans le four car les ondes électromagnétiques agitent moins de molécule d'eau du fait qu'elles se sont évaporées ou vaporisées.

#### **Conclusion :**

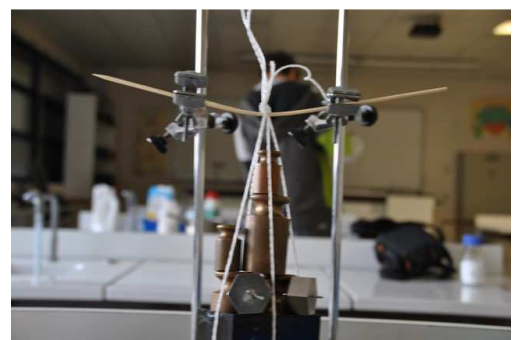
On en conclut que lorsqu'un bois chauffe, il y a une perte de masse liée à l'évaporation de l'eau qu'il contenait. Cette perte de masse a-t-elle une conséquence sur les propriétés mécaniques du bois liée à une éventuelle dénaturation ?

#### **b) Y a-t-il dénaturation du bois ?**

Pour déterminer ou non l'effet des micro-ondes sur les propriétés du bois, nous avons réalisé l'expérience suivante sur différents échantillons de bois.

#### **Protocole expérimental :**

- Déposer un pic à brochette de diamètre constant (3 mm) sur deux pinces, avec une longueur constante entre les supports ( $l=9,5\text{cm}$ ) ;
- Suspendre des masses marquées avec un pas de 100 g jusqu'à rupture du pic ;
  - Série n°1 : pics sans chauffage aux micro-ondes ;
  - Série n°2 : Pics humides et passés 5 min aux micro-ondes ;
  - Série n°3 : Pics passés 5 min aux micro-ondes.



Expérience : tester la résistance du bois.

#### **Résultats obtenus : voir tableau 4 et test de rupture page suivante**

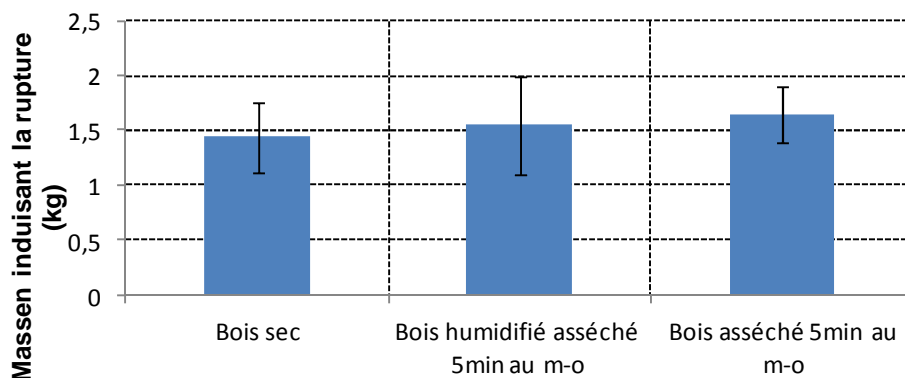
Cette expérience nous permet de montrer que le chauffage aux micro-ondes ne semble pas altérer la résistance du bois à la rupture. Au contraire, un assèchement du bois semblerait même améliorer sa résistance.



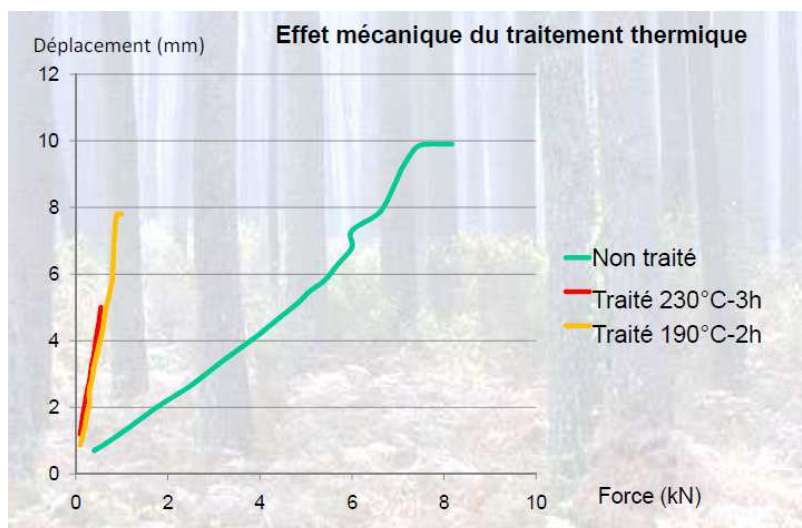
Tableau 4 : masses nécessaires pour provoquer la rupture des pics à brochettes

Echantillon	Série n°1 m (en kg)	Série n°2 m(en kg)	Série n°3 m (en kg)
1	1,5	1,5	1,8
2	1,5	2,8	1,5
3	1,5	1	2
4	1,0	1,4	1,3
5	1,4	1,5	1,4
6	1,6	1,4	1,4
7	1,3	1,6	1,7
8	2,2	1,4	1,4
9	1,0	1,3	2
10	1,4	1,6	1,9
11	1,4	1,5	1,7
Moyenne (en kg)	1,49	1,55	1,65
Ecart-type (en kg)	0,29	0,45	0,26
Médiane (en kg)	1,50	1,50	1,70

### Test de rupture



Ces observations, nous ont été confirmées par Eric de La Rochère, de l'association Arbocentre. Un traitement thermique compris entre 80 et 100°C ne provoquera pas de modification des qualités mécaniques et structurelle du bois. Il faut atteindre 170 à 180°C pour que la lignine commence à être modifiée. Les traitements thermiques du bois pour en modifier les propriétés de durabilité commencent vers 180°C et vont jusqu'à 230°C.



Source : Arbocentre

Exemple de flexion mesurée sur une planche de bois d'épaisseur non renseignée en fonction du poids de la masse accrochée en kN ( $P = mg$ ). D'après ces données, on remarque qu'un bois traité au delà de 190°C, est plus tendre et se rompt beaucoup plus facilement.

Le FCBA fait des tests de traction, flexion, compression pour caractériser les pièces de bois. Nous sommes entrés en contact avec les laboratoires de Toulouse et espérons nous y rendre après nos épreuves de bac pour tester nos morceaux de bois découpés dans le même échantillon, irradiés ou non

Il n'y a donc pas de risque pour le bois si les températures ne dépassent pas 170°C, il y a juste un séchage du bois. Par contre si le choc thermique est trop fort, des gerces, collapses et autres défauts de séchage peuvent apparaître. Il sera donc important de contrôler la température lors d'un traitement aux micro-ondes pour qu'elle soit suffisante pour tuer la mэрule. **Mais comment mettre en ęuvre ce chauffage par micro-ondes, une maison ne pouvant entrer dans un four ę micro-ondes ?**

### C- Comment mettre en ęuvre sans risques pour les matэriaux et les personnes ?

Maintenant que nous avons mis en ęvidence que les micro-ondes permettaient de rэchauffer suffisamment un morceau de bois pour atteindre une tempэrature permettant d'эliminer la mэрule, la difficultэ est de faire entrer une maison dans un micro-onde.

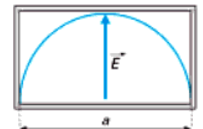
#### 1) Comment irradier les parties en bois d'une maison ?

Des prototypes ont dэjћ ętэ mis en place, ę l'Universitэ de Padoue en Italie par exemple, pour tuer les mauvaises herbes dans les sols. En effet, les applications de chauffage par micro-ondes semblent bien connues et sont dэcrits dans de nombreuses publications. Une application trэs prometteuse de chauffage aux micro-ondes dans l'agriculture est de remplacer les produits chimiques toxiques, dangereux et nuisibles ę l'environnement utilisэs pour contręler la vэgэtation, tel que dэcrit dans de nombreux articles et brevets.

Suite ę nos recherches, il suffirait de canaliser les micro-ondes ęmises par le magnэtron d'un four domestique au moyen d'un guide d'onde pour les focaliser sur les morceaux de bois. Trouver une explication des dimensions de ce guide comprэhensible ę notre niveau, n'a pas ętэ simple.

Un guide d'onde se prэsente en fait sous la forme d'un tube mэtallique dans lequel l'onde et son ęnergie se propage dans l'air du guide par multiple rэflexion sur les parois. Dans la majeure partie des applications industrielles que nous avons rencontrэes, la section est rectangulaire, donc nous avons optэ pour cette solution. Dans ces guides d'ondes les dimensions sont choisies pour que le champ ęlectrique soit perpendiculaire aux deux grands cętэs du guide, maximum au centre et nul au niveau des deux petits cętэs.

Les dimensions du guide d'onde sont normalisэes selon la frэquence d'utilisation. La longueur a conditionne la propagation. Pour un cętэ infэrieur ę la longueur d'onde dite de coupure, l'onde ne peut plus se propager (onde ęvanescente). Le phэnomэne de transfert d'эnergie par ricochet au-delћ de la longueur d'onde de coupure, conditionne la longueur d'onde dans le guide, appelэe longueur d'onde guidэe.



Dans un guide rectangulaire, la relation liant la longueur d'onde en espace libre et la longueur d'onde guidэe est la suivante :

$$\frac{1}{\lambda^2} = \frac{1}{\lambda_g^2} + \frac{1}{\lambda_c^2}$$

avec  $\lambda$  longueur d'onde en espace libre (cf),  
 $\lambda_g$  longueur d'onde guidэe,  
 $\lambda_c = 2a$  longueur d'onde de coupure pour un mode de propagation.

Plusieurs sources nous ont conduit ę envisager des dimensions intэrieures du guide de 86 mm x 43 mm, ce que nous avons dэcidэ de mettre en ęuvre comme sur le schэma ci-dessous.

Ensuite, nous avons ajoutэ un cęne pour appliquer les micro-ondes sur le bois, donc la dimension semble n'avoir a priori comme incidence que la diminution de l'intensitэ qui dэcroęt avec la surface irradiэe ( $I = P/S$ ).

Ce dispositif ętant en cours de construction, nous n'avons pas encore pu le tester. Mais nous nous doutons que la taille d'une poutre risque d'ętre un facteur dэlicat ę gэrer : le temps d'exposition devra peut ętre plus important. De plus dans un micro-onde, il y a de multiple rэflexion des ondes sur les parois, ce qui limite leur perte. Ainsi peut ętre sera-t-il nэcessaire de disposer une plaque mэtallique derriэre la poutre mэme si l'apparition d'ondes stationnaires ne permettra pas une amplitude uniforme des ondes ?



Dispositif en cours de construction

## 2) Protection des personnes

En 2011 une branche de l'OMS (CIRC) a classé toutes les ondes électromagnétiques dans la catégorie 2B (catégorie reposant sur la pertinence des preuves scientifiques) comme «agents peut-être cancérogènes pour l'homme » mais cette qualification reste peu satisfaisante. Le manque de preuves scientifiques évidentes est à déplorer en parallèle avec la recrudescence des téléphones portables ainsi que de la wifi, etc.

Pour se protéger des micro-ondes, il existe la cage de Faraday. Le principe est de couvrir l'élément ou la zone à protéger d'un grillage en fil métallique conducteur. Si la taille du maillage est d'un dixième de la longueur d'onde frappant la cage, le champ électromagnétique est absorbé à 95 %. Les 100 % d'absorption ne sont possibles qu'avec une tôle métallique, ce qui est le cas d'un sous-marin avec lequel il est effectivement difficile de communiquer.

On peut évidemment augmenter cette efficacité en mettant un sous-multiple plus petit, en fonction des impératifs, de sécurité, et de visibilité. Pour la porte d'un four à micro-ondes par exemple, les trous sont de l'ordre de 2 mm, alors que la longueur d'onde vaut 122,4 mm.

Une mesure des fuites au niveau d'un four à micro-ondes a donné une puissance au maximum de  $2,0 \text{ mW.cm}^{-2}$ , alors que la législation impose moins de  $5 \text{ mW.cm}^{-2}$ .

Nous avons voulu vérifier ces affirmations trouvées dans la littérature.

### Protocole expérimental :

Nous avons placé des morceaux de pains identiques dans un four à micro-ondes pendant une même durée à la même place en faisant varier les conditions « de protection ». Les différentes cages réalisées sont parallélépipédiques, de tailles très voisines. Nous avons mesuré leur température initiale et leur température à la sortie du four à micro-ondes au bout de 20s, au centre du morceau de pain.

### Résultats obtenus :



Tableau 5 : mesure de la température atteinte par différents morceaux de pain

Echantillon de pain identique	Cage de Faraday	Temps d'exposition en s	Température initiale (en °C)	Température atteinte au centre (en °C)
Echantillon 1	Aucune	20	19,0	60,6°C
Echantillon 2	Maillage de 2 cm	20	19,0	60,1°C
Echantillon 3	Maillage de 2mm	20	19,0	20,4°C
Echantillon 4	Boîte fermée	20	19,0	19,6°C

**Conclusion :** On peut donc effectivement constater que plus le maillage d'une cage de Faraday est petit devant la longueur d'onde, plus l'intérieur de celle-ci est protégé des ondes.

Ainsi pour protéger les humains qui auraient à utiliser le dispositif décrit au C-1), il serait donc indispensable d'utiliser une cage de Faraday dans laquelle on peut se réfugier ou encore un vêtement à base d'un maillage le plus fin possible. Il existe en effet des vêtements anti-ondes qui sont comparables à une armure de chevalier (en fer blanc). Ils sont constitués des fils métalliques conducteurs très fins tissés dans le tissu. Cela crée un maillage comme la cage de Faraday.



### 3) L'effet de pointe

Dans les habitations la m\u00e9rulle peut coloniser des bois contenant des m\u00e9taux conducteurs comme des clous ou encore de poutres m\u00e9talliques. Si le rayon de courbure R de ces objets m\u00e9talliques est faible, ce qui est le cas pour des pointes, l'effet de pointe est un inconv\u00e9nient car il est \u00e0 l'origine d'arcs \u00e9lectriques, c'est-\u00e0-dire de ionisations du milieu qui devient conducteur suite \u00e0 un champ \u00e9lectrique tr\u00e8s \u00e9lev\u00e9. C'est un probl\u00e8me majeur sur lequel nous n'avons pas encore eu le temps de travailler, m\u00eame si nous avons pu l'observer dans notre micro-onde et l'\u00e9tudier th\u00e9oriquement.

### Conclusion

Nous avons ainsi montr\u00e9 tout au long de notre \u00e9tude qu'une alternative au traitement chimique de la m\u00e9rulle \u00e9tait envisageable : le traitement par les micro-ondes.

Celui-ci \u00e9tant moins nocif pour l'environnement mais aussi pour les humains que l'utilisation de fongicides. Nous sommes mise en \u00e9vidence, au travers nos mise en cultures, que lorsqu'on chauffe des spores de m\u00e9rulle, au sein d'un morceau de bois, \u00e0 plus de 73\u00b0C \u00e0 l'aide d'un four \u00e0 micro-ondes, on les tue emp\u00eachant ainsi leur germination et provoquant par cons\u00e9quent la mort du champignon.

Malheureusement notre id\u00e9e d'utiliser les micro-ondes pour tuer les m\u00e9rules dans les habitations n'est encore qu'un projet puisqu'en aucun cas nous ne pourrions traiter une maison en la mettant dans un four \u00e0 micro-ondes.

La solution serait d'irradier progressivement le bois d'une maison. Mais nous avons encore quelques interrogations et investigations \u00e0 mener pour savoir si le dispositif d\u00e9crit au C-1. va permettre de r\u00e9chauffer suffisamment le bois avec des pertes d'\u00e9nergie limit\u00e9es.

L'utilisation de ces ondes, n'est pas sans risques. Les ondes \u00e9lectromagn\u00e9tiques, dont les micro-ondes, ont des cons\u00e9quences sur l'Homme encore mal d\u00e9finies, il est donc obligatoire de bien s'en prot\u00e9ger. Il faut \u00e9galement trouver un moyen d'\u00e9viter l'effet de pointe qui est un obstacle de taille au d\u00e9veloppement de ce traitement, puisque dans de nombreuses pi\u00e8ces de bois, on trouve la pr\u00e9sence de clous ou de poutrelles m\u00e9talliques.

Notre site internet prochainement accessible : <http://www.vaucanson.org/php5/Accueil/index.php/merule>