

LES ÉMULSIONS D'HUILES ESSENTIELLES POUR LA SANTÉ ANIMALE

La surconsommation d'antibiotiques est à l'origine d'un problème majeur en santé animale : l'antibiorésistance. De nouvelles méthodes préventives se développent pour y palier, comme l'utilisation d'huiles essentielles. Notre projet vise à adapter un prototype, à l'échelle de l'exploitation, produisant des émulsions d'huiles essentielles avec l'eau de boisson des animaux.

La fin des antibiotiques ?

- 50% de la production mondiale d'antibiotique est destinée à la santé animale.
- En France : consommation ≈ 750 T/an

= surconsommation → ANTIBIORESISTANCE

Quelles solutions ?

- Plan Ecoantibio 2017 : réduire la consommation Européenne de 25 %
- Médecine alternative: propriétés thérapeutiques des huiles essentielles.

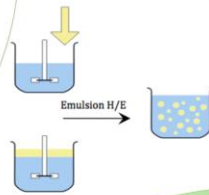
Comment utiliser les huiles essentielles?

Comment faire ingérer les huiles essentielles aux animaux ?



- Inhalation
- Ingestion
- Application cutanée

Les émulsions : mélange homogène de 2 liquides non miscibles.



Comment produire des émulsions en élevage ?

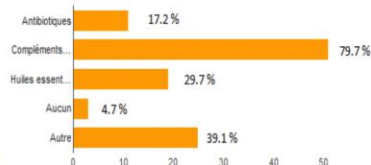
Avantages du dispositif d'émulsification:

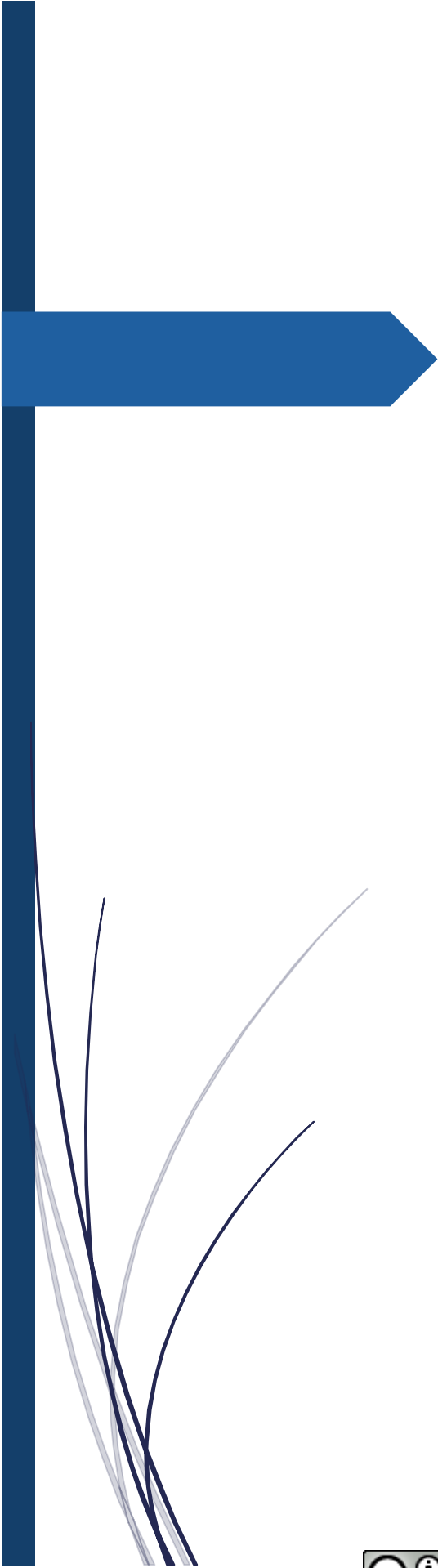
- Emulsions stables et pures
- SANS AJOUT D'ÉMULSIFIANTS
- Se branche sur la conduite d'arrivée d'eau des abreuvoirs
- Apport direct aux animaux : PAS DE PERTE DE TEMPS

→ Les huiles essentielles sont ainsi mieux assimilées par les animaux.

Sondage auprès des agriculteurs sur l'utilisation des huiles essentielles

Parmi ces traitements lesquels utilisez-vous de manière préventive ?





Les émulsions d'huiles essentielles pour la santé animale

Synthèse bibliographique

Année 2015-2016

Tuteur : DESOBRY Stéphane
BELIN Loïc
BRETAGNE Damien
DEGOBERT Solène
ESTEVEZ Adrien
FOUIN Marine
KIEFFER Fanny
LAURENT Nina
LOUBET Ingvild
RENAULD Albane
VOISIN Sandra



Sommaire

Introduction.....	1
I. Vue d'ensemble sur la santé animale.....	2
A. L'utilisation de compléments alimentaires	2
1. L'utilisation de compléments azotés.....	2
2. L'utilisation des vitamines	2
3. L'utilisation d'hormones.....	2
4. L'utilisation des agents antimicrobiens	3
B. Les voies d'administration.....	3
C. Les traitements usuels antibactériens : antibiotiques et problème de l'antibiorésistance	4
1. Généralités	4
2. L'antibiorésistance	4
D. Les alternatives aux antibiotiques.....	5
1. Des règles d'hygiène plus strictes.....	5
2. Une détection et une identification des microorganismes.....	5
3. Utilisation de nouveaux procédés : exemple de l'oxyde de zinc dans l'élevage porcin.....	5
II. Les huiles essentielles : une alternative aux antibiotiques en santé animale.....	7
A. Les huiles essentielles : généralités.....	7
1. Définition	7
2. Propriétés physiques	7
3. Structure chimique	8
B. Méthodes de production et d'extraction	8
C. Les huiles essentielles en santé animale	9
1. Les voies d'administration.....	9
2. Quelle posologie pour quelle pathologie en santé animale.....	10
D. Toxicité des huiles essentielles.....	11
III. Les émulsions, caractéristiques et fabrication	12
A. Emulsions.....	12
1. Définition	12
2. La structure des émulsions et les différents facteurs impliqués dans la stabilité.....	13
3. Les différents types d'émulsion.....	13
4. Problèmes de stabilité des émulsions	13
B. Emulsifiants	16
1. Définition	16
2. Les différents types d'émulsifiants.....	17
C. Procédés d'émulsification	18

1.	Application de contraintes de cisaillement	18
2.	Utilisation du phénomène de cavitation	21
3.	Domaines d'application.....	26
IV.	Coût économique de la santé animale	27
A.	Situation actuelle de l'élevage en France/ Europe.....	27
1.	L'élevage bovin	27
2.	L'élevage ovin	28
3.	L'élevage porcin.....	29
4.	L'élevage avicole.....	30
B.	Situation actuelle aux USA	31
	Conclusion	32
	Références.....	35



Introduction

L'alimentation des animaux d'élevage conditionne leur santé et leur croissance. C'est pourquoi les éleveurs cherchent à ajouter à la nourriture du bétail et de la volaille, les compléments alimentaires nécessaires à leur santé, à leur croissance et à leur bon développement au sein des élevages, de plus en plus intensifs. L'ajout d'éléments à l'alimentation des animaux peut se faire de deux manières : l'ajout à la nourriture solide ou bien l'ajout à l'alimentation liquide, c'est-à-dire à l'eau. Cette deuxième pratique est plus efficace car elle assure l'ingestion à faible concentration et de façon contrôlée du produit administré.

Pour permettre le mélange de ces substances nutritionnelles ou médicales dans l'eau de boisson des animaux des émulsions sont réalisées ; Une émulsion est une dispersion très fine d'un liquide dans un autre non miscible au premier.

Cependant, la majorité des émulsions utilisées ne sont pas stables naturellement et nécessitent donc l'ajout d'émulsifiants sur lesquels nous avons trop peu de connaissances pour estimer leurs effets sur les animaux ainsi que sur l'homme qui consomme viandes, œufs, lait. L'idée serait donc de procurer aux agriculteurs un moyen d'obtenir aisément des émulsions stables ne faisant pas intervenir d'émulsifiants.

Un prototype a été conçu basé sur une technologie innovante utilisant des ultrasons « haute fréquence » générés par une membrane piézoélectrique. Son développement à l'échelle industrielle permettrait d'introduire de nouvelles substances à l'alimentation et constituerait des moyens de traitements alternatifs pour les animaux tels que les huiles essentielles.

Avant de mettre en place ce nouveau procédé, nous avons souhaité approfondir nos connaissances sur les traitements sanitaires usuels appliqués aux animaux d'élevage, l'utilisation des huiles essentielles en santé animale et les différentes méthodes d'émulsification. Nous avons regroupé les informations nécessaires sur les émulsions et leurs applications aux huiles essentielles pour finir par un point économique pour évaluer la viabilité du projet industriel.

I. Vue d'ensemble sur la santé animale

A. L'utilisation de compléments alimentaires

Pour garantir une croissance optimale en élevage, les agriculteurs ont recours à différents compléments alimentaires ayant pour but d'assurer une alimentation et une santé idéale aux animaux. Les compléments alimentaires peuvent également avoir pour but d'améliorer la production, en qualité et/ou en quantité.

1. L'utilisation de compléments azotés

Dans l'élevage, les compléments alimentaires sont indispensables pour compenser les déficits des rations apportées aux animaux et ainsi les maintenir en bonne santé. Les éleveurs ajoutent des compléments riches en énergie, en azote ou en minéraux. **(1)**

Dans le cas des ruminants, deux complémentations sont mises en œuvre. Une complémentation minimale, destinée aux micro-organismes du rumen permettant d'optimiser leur activité cellulolytique. Cela apporte les éléments nécessaires à leur multiplication et à la dégradation des polysides. Ces apports sont essentiellement sous forme d'azote (susceptible de fermenter pour donner l'ammoniac nécessaire à la synthèse microbienne) et de minéraux et vitamines.

L'autre complémentation est destinée à l'animal lui-même et a pour objectif de lui apporter les éléments nutritifs lui permettant de réaliser les performances souhaitées.

2. L'utilisation des vitamines

Les compléments vitaminés sont très utilisés dans l'ensemble des filières de production, à l'exception de la filière de production de veau de boucherie.

Les vitamines, appartenant à différentes familles chimiques, contiennent souvent des oligo-éléments et sont indispensables au bon fonctionnement de l'organisme. Elles agissent à petites doses et catalysent un grand nombre de réactions du métabolisme.

Les vitamines principalement utilisées sont les vitamines A, D et E. La vitamine A intervient dans toutes les fonctions qui mettent en jeu la multiplication et le renouvellement cellulaire. L'impact essentiel de la vitamine D se situe au niveau de la fixation phosphocalcique et prévient donc le rachitisme. La vitamine E présente un rôle d'antioxydant naturel majeur. Elle participe à la protection des épithéliums et au bon fonctionnement musculaire et nerveux. **(2)**

3. L'utilisation d'hormones

Les hormones permettent un développement physique et sexuel plus important, un ajustement du niveau d'activité de certains organes et le maintien de paramètres physiologiques tels que la pression osmotique et la glycémie.

Certaines hormones sont utilisées pour améliorer la rentabilité de la production. En effet, avec l'administration d'hormones, les animaux se développent plus vite pour une même quantité d'aliments ingérés. Les coûts de production sont ainsi réduits tout en améliorant l'efficacité de l'alimentation et la qualité de la viande. **(3)**

Les stimulants administrés aux animaux peuvent être des hormones sexuelles naturelles ou des hormones synthétisées à partir d'hormones naturelles. D'autres substances comme le DES (diéthylstilbestrol) ont pu être utilisées mais sont interdites depuis 1981 dans l'élevage car elles ont été liées à des problèmes de santé chez l'homme. Des exemples d'hormones synthétisées utilisées sont :

- L'acétate de trenbolone (TBA) : stéroïde synthétique doté de propriétés anabolisantes. Le produit commercial est généralement administré aux bovins en association avec l'estradiol-17 β ou le zéranol. La trenbolone a des propriétés semblables à celles de la testostérone. **(3)**

- L'acétate de melengestrol (MGA) : hormone utilisée en élevage dans certains pays non membre de l'Union Européenne, en particulier aux Etats-Unis. Cette utilisation a notamment pour but d'éviter que les génisses d'élevage n'entrent en chaleur. Par ailleurs, la MGA présente également des propriétés anabolisantes. **(3)**

- Les β -agonistes ont également été utilisés dans la production animale, dans le même dessein que celui des hormones. La substance dont on a le plus parlé est le clenbutérol qui a la particularité de promouvoir la croissance du tissu musculaire au détriment de la partie grasseuse. **(3)**

4. L'utilisation des agents antimicrobiens

Des antimicrobiens sont souvent administrés aux animaux pour le traitement d'infections bactériennes (antibiotiques) ou pour le traitement des infections de surfaces (antiseptiques). Les usages sont multiples : intestinal, intra-utérin, systémique, intra-mammaire, agents antiparasitaires. **(4)**

En 2012, la France a vendu 761,5 tonnes d'antimicrobiens destinés à l'élevage. L'Allemagne se trouve en tête du classement avec 1 707,5 tonnes vendues en 2012.

B. Les voies d'administration

Les compléments alimentaires en azote protéique sont fournis par l'alimentation sous forme de tourteaux, de graines de coton, de drêches de brasserie, etc. L'azote minéral est fourni sous forme d'urée généralement combinée à de la mélasse. Les minéraux peuvent aussi être administrés aux animaux dans des pierres à lécher ou dans des bolus placés dans le rumen. L'administration de minéraux dans l'eau de boisson présente néanmoins un risque d'empoisonnement.

Les apports de vitamines en élevage se font par l'alimentation (nourriture et boisson) et la médication. Les vitamines A et D3 sont les principaux apports vitaminiques sous forme de médicament. La vitamine A est généralement administrée sous forme d'esters, soit par voie orale, soit par voie intramusculaire. La vitamine D3 est administrée par voie orale, intramusculaire ou sous-cutané, la vitamine injectée étant 10 fois plus active que celle administrée par voie orale.

Les hormones sont administrées principalement de deux façons. La première étant des implants qui sont généralement glissés sous la peau près de l'oreille et diffusent les hormones dans le système sanguin de l'organisme de manière uniforme. Cinq hormones sont concernées par cette voie : l'estradiol, la progestérone, la testostérone (hormones sexuelles) ainsi que le zéranol et l'acétate de trenbolone (hormones synthétiques). **(3)**

La deuxième méthode consiste à administrer les hormones sous forme d'additif alimentaire comme l'acétate de melengestrol par exemple.

Les antimicrobiens sont administrés de diverses façons. Pour le traitement individuel cela peut se faire par le biais de bolus ou d'injections. Pour le traitement individuel et pour le collectif, les antimicrobiens peuvent être donnés dans des solutions et des poudres orales qui sont souvent administrées via l'eau ou par des pâtes à avaler et des pré-mélanges.

En France, 40% des antimicrobiens utilisés sont administrés aux animaux dans la nourriture sous forme de prémélange, 45% sous forme de solutions orales, 14% par injection et 1% sous forme de préparations intra-mammaires. (4)

C. Les traitements usuels antibactériens : antibiotiques et problème de l'antibiorésistance

1. Généralités

En 1928 Sir Alexander Fleming a découvert par hasard le premier antibiotique : la pénicilline. Elle n'a été utilisée pour des thérapies que treize ans plus tard. Cette découverte constitue une avancée scientifique très importante pour la médecine humaine et vétérinaire. Au cours de son évolution, la société a commencé à utiliser de plus en plus d'antibiotiques. Dans un premier temps, elle a eu recours à la pénicilline puis plus tard, à de nouveaux antibiotiques élaborés par les chercheurs pour lutter contre les infections bactériennes qui menacent la santé humaine et celle des animaux d'élevage.

Les antibiotiques sont des substances qui permettent de lutter contre la prolifération de bactéries - *bactériostatiques* - ou bien de les détruire - *bactéricides*. Ils peuvent être d'origine naturelle, (produits par des champignons, des bactéries ou plus rarement des végétaux), ou bien de synthèse. L'utilisation de ces produits pharmaceutiques dans les élevages peut être préventive. Ainsi, les animaux qui se côtoient sont soignés avant même d'être malade pour éviter toute apparition d'une maladie bactérienne qui empêcherait alors l'éleveur de vendre les produits issus de ses animaux. L'usage peut aussi être métaphylactique : si certains animaux sont touchés par une infection, ceux encore sains sont traités pour éviter la prolifération. Enfin lorsque les animaux sont déjà malades, il y a le traitement curatif qui permet de les soigner. En effet, il faut que la viande, le lait ou les autres produits issus des animaux ne représentent aucun risque pour la consommation humaine. (5)

Cependant, depuis les années soixante, les scientifiques se sont rendu compte que l'utilisation de ces produits pharmaceutiques est devenue trop excessive engendrant des problèmes d'antibiorésistance chez les bactéries.

2. L'antibiorésistance

Les antibiotiques utilisés dans l'élevage ou pour la médecine humaine sont de moins en moins efficaces. Certaines bactéries ont acquis au cours de leur évolution et suite à des mutations génétiques, des allèles qui leur permettent de résister aux antibiotiques. Elles ne sont donc plus éliminées par les traitements aux antibiotiques dans les organismes contaminés.

Les traitements antibiotiques trop courts ne font que sélectionner les souches résistantes qui pourront se développer par la suite. Pour éviter ce phénomène, les traitements antibiotiques doivent être pris sur une durée conséquente et le traitement ne doit pas s'arrêter dès la disparition des symptômes. (6)

Depuis 1998, suite à la conférence de Copenhague, une utilisation raisonnée des antibiotiques est encouragée et deux plans de lutte contre l'antibiorésistance ont été engagés en France. Ainsi, certains produits pharmaceutiques dits critiques, car ils sont les seuls traitements efficaces contre une

maladie particulière, sont maintenant autorisés seulement pour un traitement curatif et non préventif. De plus, dès 1999, un suivi des ventes des produits vétérinaires antibiotiques a été mis en place, notamment en France par l'Agence Nationale du Médicament Vétérinaire, mais également en Europe pour le projet ESVAC (7), auquel la France participe. Depuis le 1er janvier 2015, une loi empêche la vente des antibiotiques avec des réductions/promotions sur leur prix. Cette mesure a été mise en place pour favoriser le développement de nouvelles méthodes de lutte contre les maladies et infections bactériennes.

D. Les alternatives aux antibiotiques

Afin d'éviter les phénomènes d'antibiorésistance et de résistance aux agents antimicrobiens, des solutions alternatives doivent être trouvées.

1. Des règles d'hygiène plus strictes

Afin d'éviter le traitement par antimicrobiens, on peut agir sur la prévention des infections, avant que le microorganisme pathogène ne pénètre dans le corps. Ainsi, des règles d'hygiène plus strictes, une meilleure élimination des déchets ou encore un nettoyage plus efficace des installations peuvent limiter les infections. (6)

2. Une détection et une identification des microorganismes

Les traitements favorisant le plus l'antibiorésistance et la résistance aux agents antimicrobiens sont les traitements généraux s'appliquant à un grand nombre de microorganismes. Afin de les éviter, des capteurs capables de détecter l'infection à un stade précoce et d'identifier le microorganisme responsable sont développés. De cette manière, des antimicrobiens ciblés peuvent être utilisés à la place d'agents à plus large spectre. (6)

3. Utilisation de nouveaux procédés : exemple de l'oxyde de zinc dans l'élevage porcin

Les industries d'élevages se sont penchées sur l'utilisation de l'oxyde de zinc comme alternative à l'utilisation des antibiotiques. Cette méthode a été testée dans un élevage porcin.

Durant le sevrage, les porcelets souffrent fréquemment de troubles digestifs et de retards de croissance dus au changement d'alimentation et au stress lié à leur regroupement en lot d'animaux d'âge similaire (allotement). Ces symptômes sont généralement traités de manière préventive par un traitement antibiotique (colistine) sous forme d'aliments médicamenteux. Or les cas de résistance à la colistine sont de plus en plus nombreux, d'où la nécessité de trouver une autre méthode de soin.

Une alternative à ce traitement est mise en place dans certains pays européens sous forme de pré-mélange médicamenteux contenant de l'oxyde de zinc à hautes concentrations dans l'alimentation des porcelets durant cette période de sevrage. Cette pratique est cependant interdite en France

Afin de déterminer les bénéfices et les risques de cette pratique, les scientifiques de l'ANSES ont notamment étudié les points suivants :

- le sevrage et les maladies digestives pouvant se développer à cette période chez les porcelets
- les effets de l'oxyde de zinc sur ces troubles
- les caractéristiques chimiques de l'oxyde de zinc et les risques qu'il pourrait présenter pour l'homme et pour l'animal
- les modalités d'utilisation d'oxyde de zinc et les risques qu'il pourrait présenter pour l'environnement
- les résistances bactériennes à l'oxyde de zinc.

Ils en ont alors conclu que l'oxyde de zinc avait un effet limitant sur les diarrhées modérées du post-sevrage. Il peut être utilisé comme moyen de prévention des affections digestives. En revanche, son efficacité pour prévenir les formes graves de diarrhées ou la maladie de l'œdème n'est pas prouvée. Il n'est pas non plus prouvé que l'oxyde de zinc ait un effet curatif, c'est-à-dire un effet lorsque les troubles digestifs sont installés.

De plus, l'utilisation de l'oxyde de zinc en tant que prémélange médicamenteux implique un risque toxique pour l'environnement lors de l'épandage du lisier des porcelets. Le niveau d'impact dépend des contextes d'utilisation, notamment du type d'élevage et de la teneur en zinc dans l'aliment, tout au long de la période d'élevage.

Des phénomènes de résistance bactérienne au zinc ou de co-sélection de bactéries résistantes avec certains antibiotiques existent mais on ne connaît pas leur évolution lors de l'utilisation de l'oxyde de zinc dans l'élevage porcin.

De nombreuses méthodes alternatives de prévention des troubles intestinaux se développent mais, lorsque les troubles sont installés, il semble que seuls les antibiotiques aient un effet curatif efficace. L'utilisation d'antibiotiques comme la colistine ne peut donc être exclue mais son utilisation doit être prudente et la résistance bactérienne à cet antibiotique doit être surveillée. De même la résistance des bactéries au zinc doit être surveillée. **(8)**

L'émergence d'une souche résistante dans un élevage peut avoir des impacts sur une population de l'autre côté du globe. Il est donc très important de développer de nouvelles techniques alternatives à l'utilisation massive des antibiotiques. Mais ces techniques sont toujours en développement et ne sont pas toujours efficaces. Il est donc intéressant de continuer à chercher d'autres méthodes. Dans ce cadre, nous allons nous intéresser aux bienfaits des huiles essentielles présentes dans les émulsions.

II. Les huiles essentielles : une alternative aux antibiotiques en santé animale

A. Les huiles essentielles : généralités

1. Définition

Les huiles essentielles sont des produits lipophiles, plus ou moins volatils, de composition généralement complexe, préexistants chez les végétaux. Ce sont donc des substances végétales aromatiques qui existent à l'état pur dans les plantes. Elles sont constituées de nombreuses substances chimiques peu solubles dans l'eau. Au niveau de la physiologie de la plante, elles sont présentes dans des organes spécialisés tels que les poils, les poches et les canaux. Ce sont les cellules qui entourent les canaux résinifères qui sécrètent ces huiles essentielles qui sont ensuite stockées dans des vésicules (50 micromètres).

Ces huiles essentielles peuvent être extraites par différents procédés : hydrodistillation, distillation à la vapeur,... Pour des cas particuliers, la pression mécanique peut être employée, ou encore la dissolution dans des huiles neutres. La dissolution dans des gaz super-critiques reste la plus fréquente actuellement. (9)

2. Propriétés physiques

Les huiles essentielles possèdent les propriétés physiques suivantes :

- liquides à température ambiante.
- couleur dominante jaune pâle, parfois verte.
- insolubles dans l'eau, très solubles dans les corps gras de type huiles végétales, graisses animales et partiellement dans les alcools de degré élevé. Afin de pouvoir solubiliser ces huiles essentielles dans de l'eau, une émulsion huile essentielle/eau peut être réalisée.
- plus ou moins volatiles.
- s'oxydent rapidement à la lumière (d'où leur stockage dans des flacons de verre teinté).

Chaque plante produit des huiles essentielles qui, de par leurs structures chimiques différentes possèdent des propriétés diverses. Par exemple, les plantes à phénols (thym, origan, laurier, sarriette) ont un rôle antiseptique et anti-infectieux. Les plantes à thuyone, comme l'absinthe et l'armoise, perturbent le système nerveux des parasites. Certaines plantes, dites modificateuses du terrain comme les orties, stimulent l'immunité. Enfin, des plantes aromatisantes comme la menthe poivrée ou la mélisse sont utilisées pour le goût qu'elles donnent.

D'un point de vue légal, la vente de certaines huiles essentielles est soumise à une restriction. La vente est alors réservée au pharmacien. C'est par exemple le cas de l'absinthe (*Artemisia absinthium* L), de l'armoise commune (*A. vulgaris* L) et de la sauge officinale (*Salvia officinalis* L). (9)

3. Structure chimique

Ce sont des mélanges complexes et variables de constituants appartenant essentiellement à deux grands groupes : le groupe des terpènes (molécules dérivant de cinq unités isoprène assemblées) et le groupe des composés aromatiques (dérivés du phénylpropane).

Les huiles essentielles sont des molécules ayant des poids moléculaires assez faibles généralement compris entre 150 g/mol et 200 g/mol. (9)

B. Méthodes de production et d'extraction

Il existe différentes méthodes pour obtenir des huiles essentielles.

La plus utilisée est l'entraînement par la vapeur ou l'hydrodistillation (Figure 1): ce procédé convient à la majorité des plantes. Cette méthode est très efficace car elle repose sur la particularité des huiles essentielles d'être insolubles dans l'eau mais solubles dans la vapeur. De la vapeur est envoyée sur les plantes, elle se charge ainsi d'huiles essentielles au contact de celles-ci. La vapeur est ensuite envoyée dans un compartiment où elle va être refroidie et ainsi se liquéfier. Le liquide obtenu comporte alors deux phases : l'eau et les huiles essentielles. Il suffit ensuite de récupérer l'huile essentielle par simple décantation. L'inconvénient de cette technique est l'utilisation de températures élevées et l'obtention de composés uniquement volatils. (10)

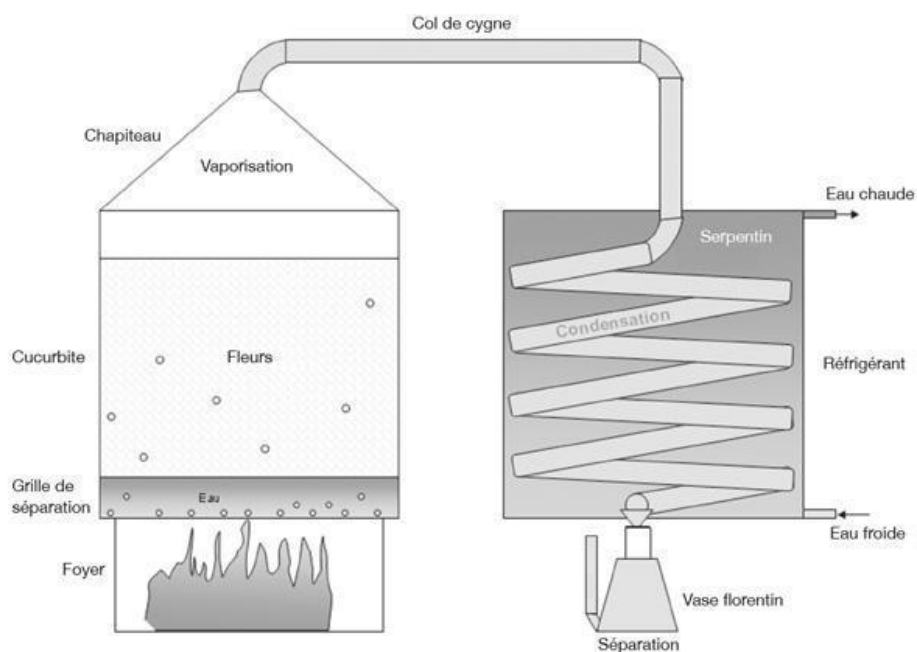


Figure 1 : Schéma d'un alambic au cours d'une distillation par entraînement à la vapeur

La récupération d'huiles essentielles est également possible à l'aide d'appareils appelés extracteurs de Soxhlet. L'extraction est réalisée grâce à des solvants organiques. On obtient ainsi des huiles essentielles avec des solvants volatils type hexanes ou benzènes. Les désavantages de cette technique est la chauffe et l'utilisation de solvants.

Une autre pratique utilisée est l'extraction par pression à froid. Ce procédé offre un rendement plus faible que les deux précédents mais ne nécessite pas de chauffage. Il est cependant peu utilisé car il ne s'applique qu'aux écorces ou aux fruits.

Le système à macération n'est utilisé qu'en cosmétique. Il consiste à mettre en contact les parties nobles des plantes (fleur, pétales,...) avec des huiles "neutres" (type amande douce) pour obtenir ensuite des huiles aromatisées.

La dernière technique est l'extraction au CO₂ super-critique (Figure 2). Du CO₂ est utilisé dans des conditions de pression et de température particulières (ni liquide, ni gazeux) lui conférant un excellent pouvoir d'extraction. C'est cette technique qui donne les huiles essentielles les plus pures car elle est moins dégradante que la vapeur d'eau. Mais c'est encore un dispositif très imposant et très onéreux donc peu répandu. (10)

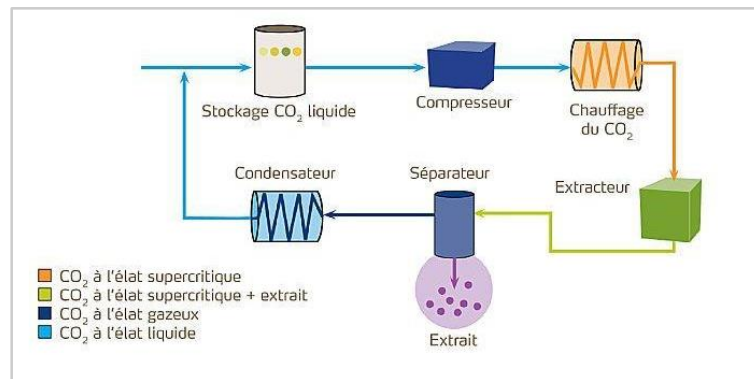


Figure 2 : Schéma de l'extraction des huiles essentielles par CO₂ supercritique

C. Les huiles essentielles en santé animale

1. Les voies d'administration

Les huiles essentielles ont différents modes d'action selon leur mode d'administration :

- **Par inhalation** : Les huiles essentielles agissent au niveau cérébral sur des récepteurs essentiellement olfactifs et également au niveau des poumons des animaux. Cette voie est utilisée lorsque l'effectif d'animaux à traiter est important évitant ainsi leur manipulation individuelle. Elle a l'avantage de permettre l'administration de mélanges aux propriétés variées telles que les huiles essentielles anti-infectieuses, calmantes, antiseptiques ou insectifuges. Mais l'exploitation doit posséder des locaux à ventilation contrôlée ce qui peut représenter un coût.
- **Par ingestion** : Il s'agit du mode d'action le plus efficace après l'injection directe. Cependant le pH très acide au niveau de l'estomac mais aussi des phénomènes d'oxydation entraînent des dégradations ou des modifications d'une grande partie des huiles essentielles. Les pertes lors du passage dans l'estomac sont estimées à 40% de la dose ingérée. Il est donc nécessaire de prendre en compte cette perte métabolique lors du calcul de la dose à administrer.
- **Par voie cutanée** : La peau étant perméable aux huiles essentielles, elles pourront la traverser par simple frottement sans subir de modification lors du transfert cutané. Cependant, à forte concentration, les huiles essentielles peuvent être très corrosives pour la peau. On peut donc les diluer dans des huiles végétales. En revanche, des huiles essentielles très toxiques par voie buccale (comme la sauge officinale) possèdent une toxicité moindre quand elles sont administrées en massage sur la peau.
- **Par voie colrectale** : Cette méthode d'administration entraîne peu de modifications de la structure et donc des propriétés des huiles essentielles. Il est cependant nécessaire, lors du calcul des doses à administrer, que les muqueuses ne soient pas

agressées par les huiles essentielles utilisées (pouvoir corrosif). Cette méthode est bien utilisée dans les élevages de ruminants, elle permet une bonne imprégnation des poumons, dans le cas de pathologies respiratoires

- **Autres voies accessoires** : Les huiles essentielles peuvent également être administrées par voie intramammaire ou par voie intra-utérine. (9)

2. Quelle posologie pour quelle pathologie en santé animale

De manière générale, la biotransformation des huiles essentielles dans l'organisme est assurée par des enzymes de détoxification, principalement les cytochromes à P450. Les métabolites issus de cette biotransformation sont alors éliminés principalement dans les urines.

Pour utiliser des huiles essentielles en santé animale, il ne suffit pas de remplacer une molécule de synthèse par une molécule naturelle. Des tests *in vitro* sur germes isolés permettent de sélectionner les huiles essentielles les plus bactéricides et de déterminer les doses efficaces. Mais souvent, *in vivo*, ces doses se révèlent agressives pour les animaux malades et peuvent aggraver la pathologie à traiter. Elles sont donc en général employées à des doses cent fois plus faibles que celles estimées en laboratoire. A ces doses, les huiles essentielles n'agissent pas directement sur le germe mais stimulent les moyens de défense de l'organisme. Elles peuvent également réguler ou stimuler d'autres mécanismes réactionnels.

Par exemple, lors du traitement des mammites grâce aux huiles essentielles, il a été démontré, sur des essais contrôlés, que différents types de cellules immunitaires intervenaient. Les huiles essentielles, ayant pourtant des propriétés antibactériennes, n'ont ici aucune action directe sur le germe, mais stimulent les défenses immunitaires de l'animal au niveau de la mamelle.

Les huiles essentielles peuvent également être utilisées pour le traitement des strongles gastro-intestinaux chez l'agneau. Après administration d'huile essentielle par voie buccale pendant 2 jours consécutifs, il a été mis en évidence une réduction progressive et tardive de la ponte des parasites. Cette diminution perdure sur plusieurs semaines jusqu'à un arrêt complet et durable, correspondant à un mécanisme immunitaire induit par les huiles essentielles. (9)

Voici ici un bref panorama des différentes huiles essentielles pouvant être utilisées en élevage ainsi que leurs spécificités et zones d'actions (Tableau 1).

Tableau 1 : Exemples de différentes huiles essentielles utilisées en élevage, de leur action et de leur zone d'utilisation (11)

Huile Essentielle	Type d'action	Zone d'action
Manuka (huile essentielle de <i>Leptospermum scoparium</i>)	Anti-inflammatoires	Lait
Eucalytus citronné (huile essentielle d' <i>Eucalyptus citriodora</i>)	Anti-inflammatoires	Mamelle
Litsée (huile essentielle de <i>Litsea citrata</i>)	Anti-inflammatoires	Non Renseigné

Thym vulgaire à thymol (<i>huile essentielle de Thymus vulgaris à thymol</i>)	Anti-infectieuses	Tous types de bactéries
Ravensare écorce (<i>huile essentielle de Ravensara aromatica</i>).	Anti-infectieuses	NR
Litsée citronnée (<i>huile essentielle de Litsea citrata</i>)	Anti-infectieuses	Staphylocoques et streptocoques.
Palmarosa (<i>huile essentielle de Cymbopogon martinii</i>)	Anti-infectieuses	NR
Hélichrise italienne (<i>huile essentielle d'Helichrysum italicum</i>)	Anti-traumatiques	les plaies, saignements et pour réparer les traumatismes.
Tea-Tree (<i>huile essentielle de Melaleuca alternifolia</i>)	Anti-traumatiques	les métrites et les indurations de la mamelle
Basilic tropical (<i>huile essentielle d'Ocimum basilicum var basilicum</i>)	Réchauffantes	les mammites

Les résultats obtenus quant à l'efficacité des huiles essentielles en alimentation animale divergent selon les différentes études. Ceci est dû à la complexité des mélanges d'huiles essentielles employés et au manque de données générées par les différentes études.

A l'heure actuelle, il n'existe pas de méthode générale permettant l'emploi des huiles essentielles en alimentation animale. **(12)**

Il a été montré que les huiles essentielles sont éliminées rapidement et sans bioaccumulation malgré leur affinité pour les tissus lipophiles. **(13)** Cependant, l'Anses a publié une note limitant l'emploi des huiles essentielles en santé animale. L'agence craint une contamination des produits à destination de l'alimentation humaine par ces composés. Les huiles essentielles doivent bénéficier d'une autorisation de mise sur le marché (comprenant une étude toxicologique) en tant que médicament vétérinaire avant de pouvoir être utilisées en santé animale. **(14)**

D. Toxicité des huiles essentielles

Deux paramètres sont mesurés afin de déterminer si la présence d'un produit est nuisible pour l'homme ou pour l'animal :

- Le NOAEL (No Observable Adverse Effect Level) correspondant à la dose maximale administrée à une espèce donnée sans qu'il n'y ait d'effet toxique observé.
- La DJA (Dose Journalière Acceptable) est la dose à ne pas dépasser pour que le consommateur ne court aucun risque en le mangeant.

Bien qu'issues de plantes, les huiles essentielles peuvent présenter une toxicité aiguë, chronique ou même provoquer une intolérance cutanée. Voici quelques exemples :

- toxicité aiguë quel que soit la dose : huile essentielle de *Salvia officinalis*, huile essentielle de *Thuja thuya*.

- toxicité aiguë si recours à des doses élevées : huile essentielle de *Primpinella anisum*.
- toxicité chronique si usage prolongé : huiles essentielles à phénols provoquant un effet hépatotoxique.
- toxicité à usage externe : huile essentielle de dermocaustiques contenant des phénols ; huile essentielle de photosensibilisantes contenant des coumarines ; huile essentielle allergisantes contenant des phénylpropanoïdes, des aldéhydes. (9)

Il est nécessaire de connaître toutes ces restrictions d'usage ainsi que les moyens de les éviter grâce à des voies d'administration différentes, des excipients bien adaptés et des doses fractionnées. Toute personne employant des huiles essentielles doit s'informer de la toxicité du produit en question. (9)

III. Les émulsions, caractéristiques et fabrication

A. Emulsions

1. Définition

Une émulsion est une dispersion très fine d'un liquide dans un autre non miscible au premier (Figure 3). Il existe deux types d'émulsions : eau-dans-huile et huile-dans-eau (Figure 4). Il y a, dans la plupart des cas, un liquide hydrophobe et un liquide hydrophile.

Pour reconnaître un type émulsion, on peut diluer une goutte d'eau ou d'huile dedans ou y ajouter un colorant hydrosoluble. Si la goutte d'eau se "dilue" il s'agit d'une émulsion huile dans eau. En revanche, si elle coule, c'est une émulsion eau dans huile. Inversement pour l'huile. (15)

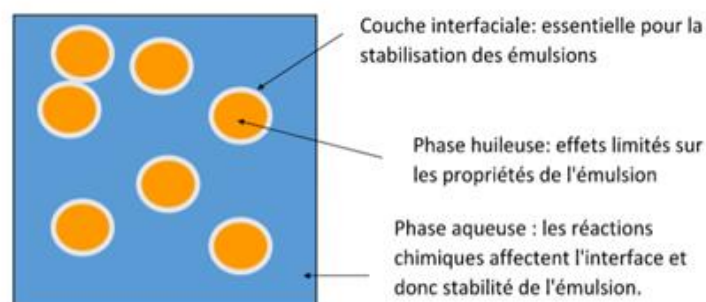


Figure 3 : Structure d'une émulsion (ex : H/E)

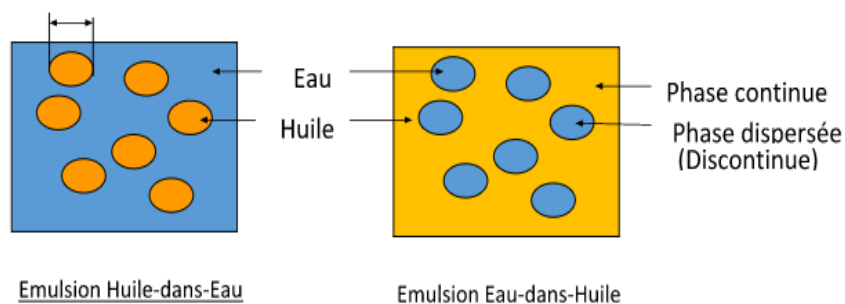


Figure 4 : Schéma des différents types d'émulsions

2. La structure des émulsions et les différents facteurs impliqués dans la stabilité

Le choix de l'émulsifiant est primordial pour la stabilité de l'émulsion et doit être choisi en fonction de l'émulsion souhaitée. Les émulsions peuvent être caractérisées par la fraction de la phase dispersée : si la phase dispersée représente plus de 74% du volume de la solution (taux d'empilement maximum) alors on a une inversion de phase. Il faut aussi prendre en compte la viscosité des deux phases, car plus la viscosité est importante, plus l'émulsion est stable. Un bon témoin de la stabilité de l'émulsion est la taille des gouttelettes : plus l'émulsion est fine, plus elle est stable. Une émulsion très fine apparaît blanche, les indices de réfraction des deux liquides étant différents. Enfin, deux gouttelettes de même charge se repoussent : la charge des gouttelettes intervient donc dans la stabilité des émulsions. **(16)**

3. Les différents types d'émulsion

On obtient différents types d'émulsions selon la taille des gouttelettes. Les émulsions classiques comportent des gouttelettes de 200 à 500 nm de diamètre, les deux phases se séparent rapidement, le système étant dynamiquement instable. Elle est de couleur blanchâtre. Il existe aussi des microémulsions : avec des gouttelettes entre 10 et 200 nm de diamètre, ce sont les émulsions les plus stables mais elles sont difficiles à obtenir. Elles sont transparentes car les gouttelettes étant plus petites que la longueur d'onde de la lumière, elles ne la réfléchissent pas. On peut aussi parler de nanoémulsion mais nous utiliserons ici le terme de microémulsion. **(16)**

4. Problèmes de stabilité des émulsions

a) *Coût en énergie du maintien de la stabilité de l'émulsion*

Il faut un apport d'énergie pour maintenir la couche interfaciale. En effet, les liquides non miscibles ont tendance à diminuer cette zone de contact en diminuant l'aire totale de la couche interfaciale. Cela entraîne un regroupement des gouttelettes et une séparation des deux phases.

$$\Delta E = \gamma \Delta A$$

Avec :

- E l'énergie apportée (J)
- A l'aire interfaciale (m²)
- γ la tension superficielle à la limite de séparation (N/m). **(16)**

Il existe différents modes de rupture d'une émulsion que nous allons détailler.

b) Les différents types de déstabilisation et les solutions pour les éviter

• **Sédimentation et crémage :**

Lorsqu'il y a une différence de densité entre la phase dispersée et la phase continue, on peut avoir des phénomènes de crémage (la phase dispersée, moins dense, se retrouve en haut de la solution) ou de sédimentation (phénomène inverse) (Figure 5).

La vitesse de ce processus est donnée par la loi de Stokes :

$$V = \frac{2gr^2(\rho_1 - \rho_2)}{9\eta}$$

Avec :

- ρ = densité des deux phases 1 et 2
- η = viscosité de la phase continue (s.Pa)
- r = rayon des gouttelettes (m)
- g = accélération de la pesanteur (9,81 m/s²)

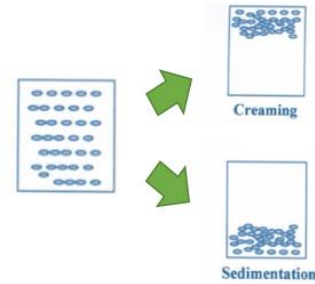


Figure 5 : schématisation des phénomènes de crémage et sédimentation

Pour remédier à ce problème, on peut choisir des densités égales $\rho_1 = \rho_2$ ou augmenter la viscosité η de la phase continue ou encore choisir un rayon initial r faible. (17)

• **Floculation (Figure 6) :**

C'est une agrégation des gouttelettes due aux interactions attractives. L'énergie d'interaction entre gouttelettes dépend des forces de répulsion électrostatique et du potentiel d'attraction de type Van der Waals. La floculation devient irréversible au cours du temps.

Pour éviter la floculation, on peut limiter les phénomènes de crémage et de sédimentation (voir plus haut) et/ou augmenter les répulsions stériques et électrostatiques. (16)

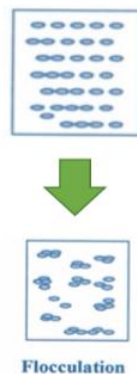


Figure 6 : Schématisation du phénomène de floculation

- **Coalescence (Figure 7) :**

C'est un phénomène irréversible qui résulte de la rupture du film interfacial entre les gouttelettes de la phase dispersée. Elle engendre une réduction de la surface interfaciale donc les forces qui s'exercent sur la gouttelette sont moindres, aboutissant à un état plus stable.



Figure 7 : schématisation du phénomène de coalescence à différentes échelles

Pour éviter la coalescence, on peut prévenir la floculation ou encore renforcer la résistance du film interfacial par un choix approprié du tensioactif. (16)

- **Diffusion moléculaire ou mûrissement d'Ostwald (Figure 8)**

Il existe toujours une solubilité partielle de la phase dispersée dans la phase continue. Les plus petites gouttes, moins stables, ont tendance à fusionner avec les plus grosses afin de diminuer la pression capillaire donnée par la loi de Laplace :

$$P = 2\gamma/r$$

Avec :

- P = pression (Pa)
- r = rayon (m)
- γ = la tension superficielle à la limite de séparation (N/m)

C'est un phénomène irréversible qui entraîne une séparation des phases. Pour éviter ce phénomène, on peut homogénéiser le plus possible la taille des gouttelettes. On peut également augmenter la répulsion électrostatique et stérique ou encore faire un choix judicieux du tensioactif. (16)



Figure 8 : schématisation du mûrissement d'Ostwald

B. Emulsifiants

1. Définition

Les émulsifiants sont des molécules qui interviennent dans les mécanismes de stabilisation des émulsions. Ils se trouvent à l'interface entre les phases hydrosoluble et hydrophobe des gouttelettes colloïdales grâce aux deux parties qui les composent et qui n'ont pas les mêmes propriétés d'hydro-solubilité (*Figure 9*). Leur partie hydrophobe se lie, grâce à des liaisons faibles, à la phase liposoluble. De même, leur partie hydrophile se lie à la phase hydrosoluble.

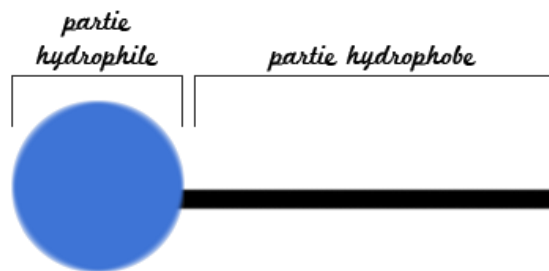


Figure 9 : schéma d'un surfactant

Les émulsifiants sont généralement des tensioactifs ou agent surfactant : ils permettent de diminuer la tension appliquer sur une surface et ainsi empêchent les gouttelettes présentes dans l'émulsion de se rejoindre et de fusionner.

Cependant, tous les émulsifiants ne sont pas des surfactants, il existe également des particules solides qui ont ce rôle, ainsi que des chaînes polymériques.

Les émulsions ne sont pas souvent naturelles et les producteurs, notamment en industrie alimentaire et en cosmétique, doivent ajouter des émulsifiants afin de stabiliser les gouttelettes d'eau ou d'huile présentes dans les liquides. La concentration en émulsifiants ajoutés peut faire varier la stabilité de l'émulsion : celle-ci peut être stable avec une faible concentration en surfactant si la tension interfaciale des gouttelettes est faible, et au contraire, il faudra ajouter beaucoup de surfactant si la tension interfaciale est extrêmement élevée entre les deux phases d'une émulsion. Plus les gouttelettes sont de petites tailles, plus l'action des émulsifiants devra être importante afin de stabiliser l'émulsion. (16)

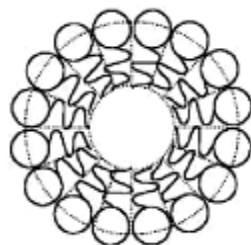


Figure 10 : Micelle directe, huile dans eau (18)

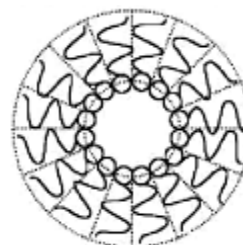


Figure 11 : Micelle indirecte, eau dans huile (18)

Dans un mélange huile dans eau, les émulsifiants forment autour des gouttelettes d'huile des micelles directes (*Figure 10*), tandis que dans un mélange eau dans huile, ils forment des micelles

inverses car les têtes hydrophiles sont tournées vers l'intérieur (*Figure 11*). Il arrive parfois que les émulsifiants ne s'organisent pas en micelle mais en couche. Ces couches séparent les deux liquides insolubles en compartiments similaires afin de minimiser les interactions entre les deux. Il se forme alors des liposomes qui sont des sphères non pleines. **(18)**

Les émulsifiants se positionnent au niveau de la couche interfaciale et sont essentiels à la stabilisation des émulsions, car ils réduisent les interactions attractives entre les gouttelettes. Ils permettent de diminuer l'énergie nécessaire pour réaliser l'émulsion et encouragent donc l'émulsification avant de stabiliser le produit final en minimisant les risques de coalescence.

Dans l'industrie alimentaire et la cosmétique, les surfactants sont marqués sous le nom E XXX dans la composition des produits et appartiennent au groupe des additifs. Certains sont interdits par la loi, tandis que d'autres ne sont pas encore autorisés faute d'études sur leurs effets indésirables.

Dans le cas des émulsions spontanées, les émulsifiants sont déjà présents dans l'une des deux phases et permettent de diminuer suffisamment l'énergie nécessaire à une émulsion pour que celle-ci se fasse directement dès que les deux phases se mélangent. Les plus connus sont la caséine du lait, la lécithine de soja ou bien le jaune d'œuf dans les sauces. **(17)**

2. Les différents types d'émulsifiants

Dans un premier temps, on peut différencier les émulsifiants selon leur nature :

- Les surfactants : ce sont les plus courants des émulsifiants car ce sont ceux qui permettent de diminuer la tension interfaciale des gouttelettes colloïdales.
- Les chaînes de polymères : elles s'enroulent autour des gouttes car elles sont constituées de parties hydrophobes et hydrophiles qui leur permettent d'être à l'interface. Les gouttelettes sont de plus grandes tailles, toutefois l'émulsion est souvent plus stable.
- Les particules : ce sont des molécules solides qui empêchent le rapprochement physique des gouttelettes et donc leur fusion. **(16)**

Les différents types d'émulsifiants affectent les émulsions et leur stabilité : tous ne fonctionnent pas pour toutes les émulsions.

Il faut bien choisir son émulsifiant. Pour cela, on peut utiliser la balance hydrophile-lipophile (HLB) qui se base sur la mesure de la proportion relative en composé hydrophile et lipophile des émulsifiants. Dans le cas d'un mélange H/E, les surfactants doivent avoir une HLB élevée (entre 8 et 18), tandis que pour un mélange E/H, elle doit être plus faible (entre 3 et 6). **(17)**

Il existe également différents types de surfactants, ou tensioactifs, qui forment des groupes selon les propriétés de la partie hydrophile (*Figure 12*) :

1. **Les tensioactifs anioniques** : la partie hydrophile des émulsifiants est chargée négativement. Les gouttelettes se repoussent donc grâce à leurs charges négatives et sont attirés par la solution aqueuse.
2. **Les tensioactifs cationiques** : la partie hydrophile est chargée positivement. De même que pour les anioniques, ces émulsifiants se repoussent grâce à leurs charges positives cette fois-ci. Ce type de surfactant est incompatible avec les tensioactifs anioniques car les gouttelettes seraient attirées les unes vers les autres ce qui encourage la coalescence alors qu'on veut l'empêcher.

3. **Les tensioactifs zwitterioniques ou amphotères** : la partie hydrophile comporte une charge positive et une charge négative, la charge globale est donc neutre.
4. **Les tensioactifs non ioniques** : la partie hydrophile ne comporte aucune charge.

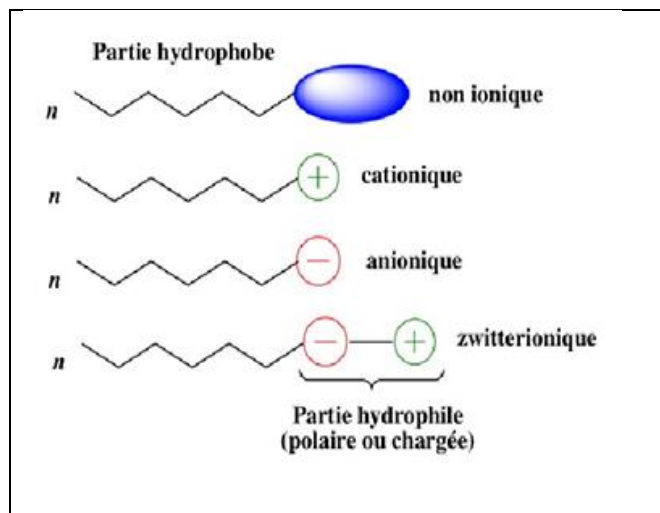


Figure 12 : Les différents types de tensioactifs (19)

C. Procédés d'émulsification

L'opération d'émulsification nécessite un apport d'énergie au système qui peut être fait selon différentes façons et donc débouchant à la mise en place de différents procédés. Ils font appel à diverses branches de la physique : mécanique mais aussi acoustique, électricité,...

On peut distinguer deux types de procédés selon le mécanisme physique qui est mis en jeu. D'une part, il existe les systèmes dont l'émulsion provient de l'application de contraintes de cisaillement. On utilisera alors dans ce cas des turbines, hélices, dispositifs à rotor-stator et broyeurs colloïdaux. D'autre part, il existe aussi des procédés se basant sur le phénomène de cavitation avec la mise au point de techniques utilisant les ondes ultrasonores ou ultrason ou encore l'utilisation d'homogénéisateurs haute pression.

Souvent, on distingue deux étapes dans l'émulsification. Tout d'abord, il y a une étape de pré-émulsification (dispersion-mélange) pendant laquelle on met en suspension les gouttelettes de la phase dispersée dans la phase continue. Les gouttelettes sont alors de l'ordre de 100 μm . Par la suite vient une étape d'homogénéisation qui permet de réduire la taille des gouttes ce qui contribue à augmenter sa stabilité. On procède à ces deux opérations dans des cuves agitées ou bien dans des conduites munies d'outils appelés respectivement disperseurs et homogénéisateurs. (20)

1. Application de contraintes de cisaillement

- **Les disperseurs**

Les disperseurs ont pour but de favoriser la rupture des gouttes par cisaillement mais également d'assurer une bonne recirculation. En effet, lorsque les gouttes s'éloignent de la zone de cisaillement, elles ont tendance à coalescer. La recirculation permet donc une distribution des tailles

des gouttes assez étroite. Plus la dispersion est difficile à effectuer, plus le cisaillement doit être intense.

Des mobiles comme la turbine de type Rushton (*Figure 14*) ou la turbine à pales inclinées (*Figure 13*) sont les plus utilisés. Ceux-ci génèrent un fort cisaillement et s'accompagnent d'un bon débit de pompage et suffisent lorsque la dispersion est facile à mettre en œuvre. Dans les cas difficiles, des outils très cisailants comme les dilacérateurs sont nécessaires, en les associant à des mobiles créant une circulation comme des hélices, des ancrés...

Les émulsions produites avec des disperseurs présentent des tailles de gouttes de l'ordre de 10 à 100 μm , ce qui est relativement élevé. Ainsi, une homogénéisation est souvent nécessaire pour obtenir une granulométrie suffisamment fine. (21)

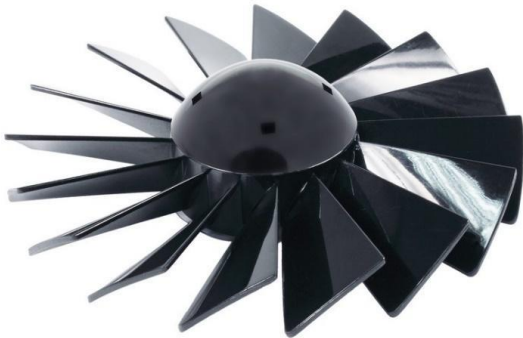


Figure 13 : Turbine à pales inclinées

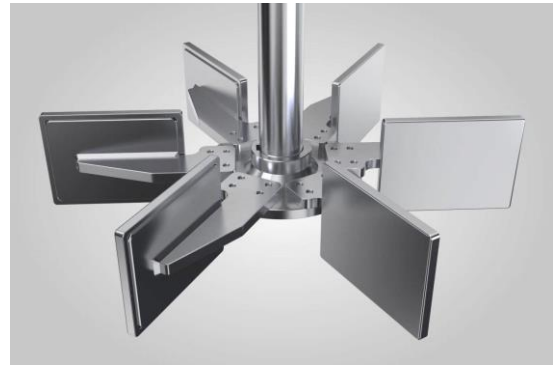
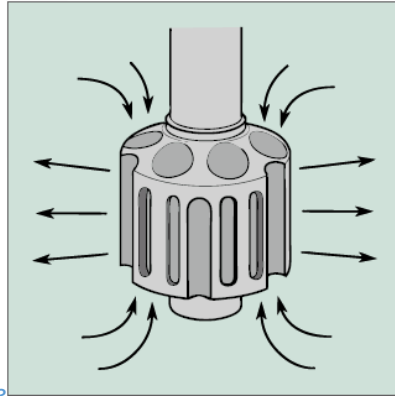


Figure 14 : Turbine de Rushton

- **Les homogénéisateurs à haute vitesse**

Le but de l'homogénéisation à haute vitesse est de rendre l'émulsion la plus fine et la plus stable possible. Cette étape est souvent précédée d'une étape de dispersion. Les gouttes obtenues doivent atteindre une taille inférieure au micromètre, grâce à des outils à très fort taux de cisaillement. Les appareils utilisés présentent comme caractéristique commune une géométrie complexe permettant de forcer le liquide à passer dans une zone confinée où il subit de très forts gradients de vitesse. On peut distinguer deux sortes de dispositifs.

Dispositif rotor-stator (Figure 15) : ce dispositif est le plus utilisé. Il est composé d'un stator percé d'orifices ou de fentes plus ou moins fines et d'un rotor tournant à grande vitesse. Cette rotation entraîne une dépression grâce à laquelle le milieu est aspiré dans le système. Il est ensuite expulsé par les fentes du stator à une vitesse très élevée ce qui contribue à son cisaillement. Le faible espacement entre le rotor et le stator, ainsi que faible diamètre des orifices du stator font également subir de forts cisaillements au milieu.



Moulin colloïdal (Figure 16) : Ce système se compose également d'un stator et d'un rotor tournant à grande vitesse. Le fluide pénètre par la partie supérieure. Il subit un premier cisaillement dû à l'étranglement de l'entrée, puis circule dans l'espace entre le rotor et le stator où il est à nouveau soumis à de fortes contraintes de cisaillement induites par la rotation du rotor et le faible espace dans lequel circule celui-ci. Les surfaces internes de l'entrefer peuvent être lisses ou rugueuses. Le fluide est finalement éjecté par la partie inférieure du système. Cet appareil doit être alimenté par un pré-mélange (émulsion grossière) plutôt que par deux phases séparées car il est beaucoup plus efficace pour réduire la taille des gouttelettes que pour homogénéiser deux phases. (22)

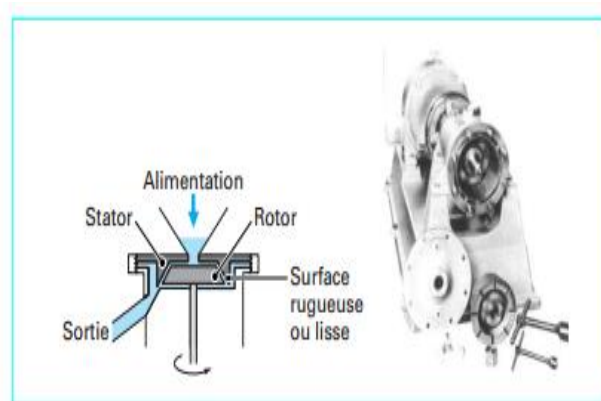


Figure 16 : Fonctionnement d'un moulin colloïdal

- **Les nano-membranes**

Dans ce système (Figure 17), on utilise une faible pression pour forcer une phase dispersée à entrer dans une phase continue par l'utilisation d'une membrane ayant des pores uniformes. Il faut tout de même utiliser des tensioactifs pour maintenir la stabilité du système. Il existe plusieurs procédés. Celui à courants croisés (le plus courant), consiste à forcer la phase dispersée à passer dans la phase continue, qui contient les tensioactifs, à travers une membrane de microfiltration ou d'ultrafiltration. Les gouttes ainsi formées se détachent de la surface de la membrane par l'écoulement de la phase continue. Un autre procédé appelé « dead-end », consiste à faire passer à travers la membrane une émulsion grossière, de façon à réduire la taille des gouttes.

L'avantage majeur de cette technique est que la taille des gouttelettes de la phase dispersée peut être contrôlée et choisie via le choix des pores de la membrane. Plus les pores sont petits, plus l'émulsion est fine. La taille des gouttes produites peut varier de 0,3 à 10 micromètres, selon les conditions opératoires et la vitesse d'adsorption du tensioactif aux interfaces. (23) De plus, elle

demande peu d'énergie car le cisaillement apporté est relativement faible ce qui en fait un procédé adapté aux produits sensibles au cisaillement. Enfin elle ne nécessite pas la fabrication d'une pré-émulsion en amont.

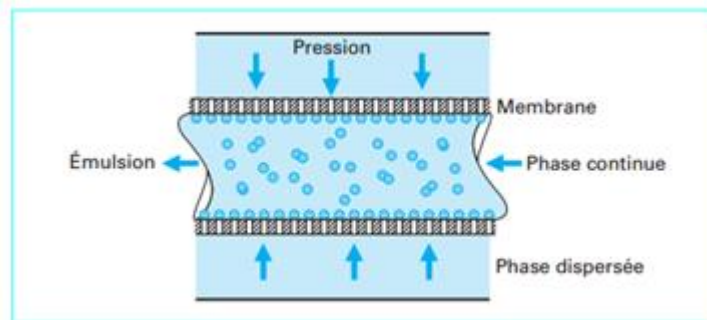


Figure 17 : Emulsification par membranes

2. Utilisation du phénomène de cavitation

a) Le phénomène de cavitation

La cavitation est la formation de cavités remplies de gaz au sein d'un liquide. Ce phénomène a lieu lorsque la pression en un point du liquide devient inférieure à la tension de vapeur de celui-ci (Figure 18).

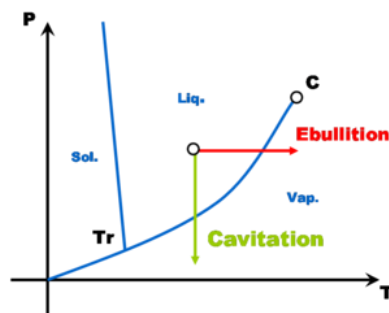


Figure 18 : Diagramme pression température

b) Homogénéisateurs haute pression

Il s'agit ici d'utiliser le principe de la pompe à piston. Celle-ci permet de forcer la pré-émulsion à passer par un orifice de très petite dimension (valve) elle y est alors très comprimée. Puis, à la sortie de l'orifice a lieu une détente du fluide provoquant un phénomène de cavitation et donc l'éclatement des gouttes en microbulles de gaz. Ces appareils sont d'autant plus efficaces qu'ils sont alimentés par un pré-mélange (émulsion grossière). Les pressions peuvent atteindre quelques centaines jusqu'à quelques milliers de bars pour des débits allant d'une centaine à plusieurs dizaines de milliers de litres par heure. (23)

On peut néanmoins distinguer les systèmes « moyenne pression » utilisant des pressions de 5 à 80 MPa. La pré-émulsion est envoyée par un piston dans des parties de diamètre inférieur à 10 μm ce qui va augmenter la pression dans le mélange. La géométrie de l'homogénéisateur est telle que le fluide va subir de fortes dépressions et de fortes pressions. Le phénomène de cavitation peut donc avoir lieu, aboutissant à la pulvérisation de gouttelettes.

Il existe aussi des systèmes « forte pression » (Figure 20) dans lesquels la pré-émulsion est introduite dans une chambre de turbulence par un orifice de très petit diamètre (0,2 mm) et est soustrée par un diamètre légèrement plus grand décalé par rapport à l'entrée (Figure 19).

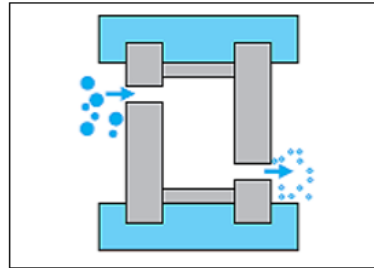


Figure 19 : Principe d'émulsification sous haute pression : technologie "chambre de turbulence"

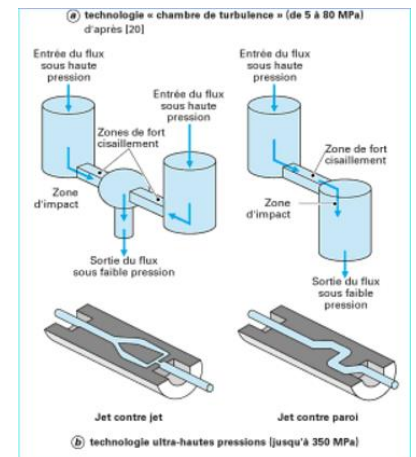


Figure 20 : Emulsification sous haute pression (d'après Kolb et Coll)

Enfin, il existe aussi des systèmes à très haute pression (jusqu'à 350 MPa), ce qui permet de créer des taux de cisaillement beaucoup plus importants. La pré-émulsion est amenée dans une chambre d'interaction munie de canaux de très faible diamètre (100 μm) où les cisaillements sont très intenses (vitesses d'écoulement élevées d'environ 1000m/s) puis elle arrive dans une zone d'impact. Celle-ci peut avoir une géométrie variable : les jets sont soit projetés l'un contre l'autre, soit contre une paroi.

c) Procédés acoustiques

L'émulsification acoustique est une technique basée sur l'application d'ultrasons et de vibrations. Les ondes sonores sont des ondes mécaniques qui nécessitent un matériel élastique et déformable pour se propager. Le passage d'une onde ultra sonore dans un milieu induit ainsi des zones de détente et de compression.

Les ultrasons sont des ondes sonores dont la fréquence est supérieure à 20 kHz (Figure 21). Ils sont émis par un phénomène de vibration autour d'une position d'équilibre et sont caractérisés par leur fréquence et leur amplitude. Dans un milieu solide, ils peuvent produire un échauffement, une vibration. Dans un milieu fluide, le phénomène prépondérant est la cavitation. (24) Les ultrasons ont plusieurs applications selon leur fréquence et leur longueur d'onde (Figure 22).

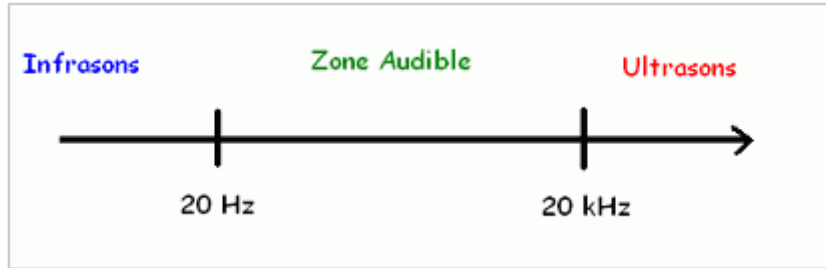
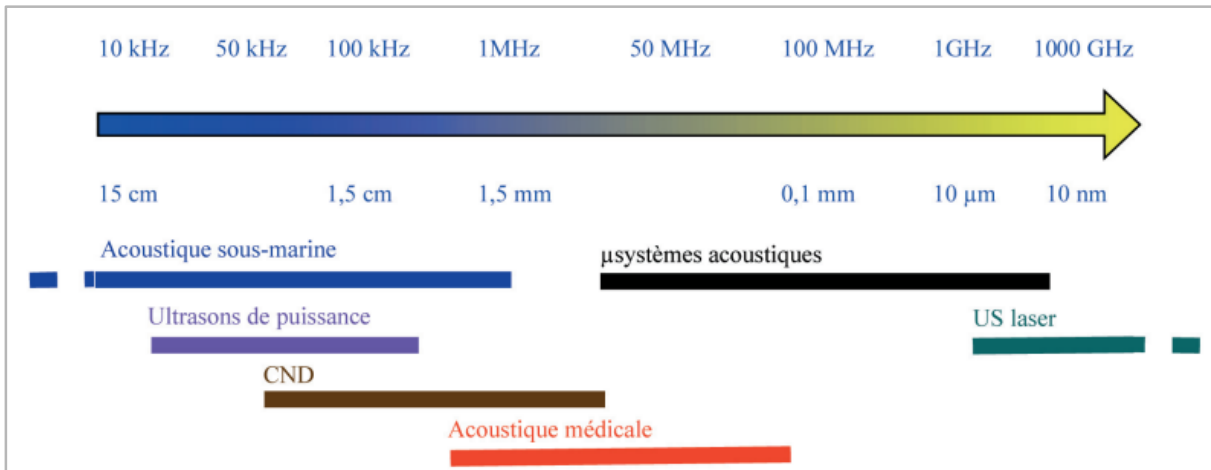


Figure 21 : Spectre des ondes sonores



Pour générer les ultrasons, on peut alors utiliser des céramiques piézoélectriques : transducteurs électromécaniques, elles sont capables de convertir une tension électrique en mouvement mécanique, ou inversement. (Les céramiques sont excitées à leur fréquence de résonance en épaisseur, ce qui, de par leur forme, produit une onde acoustique focalisée, à la fréquence d'excitation.)

Différentes gammes de fréquences d'ultrasons peuvent être utilisées pour travailler. La plus utilisée est celle des ultrasons de basse fréquence entre 20 kHz et 900 kHz. **(16)** Quand on applique des ultrasons compris dans ces fréquences à deux phases en vue de la fabrication d'une émulsion, deux phénomènes vont intervenir (*Figure 23*) :

- Tout d'abord, l'onde va déstabiliser l'interface huile/eau et conduire à la formation progressive de gouttelettes d'huile de l'ordre de 70 μm .

Figure 22 : Principales applications des ultrasons en fonction des fréquences et de leurs longueurs d'onde

- De plus, à ces fréquences, l'eau présente dans le système va subir des séries de compressions/dilatations amenant à la formation de bulles de vapeur d'eau (cavitation) qui elles-mêmes vont subir des compressions/dilatations. Progressivement, la taille des gouttes de vapeur d'eau va augmenter jusqu'à atteindre un certain seuil au-delà duquel ces bulles vont imploser. Cette implosion des bulles de cavitation va alors provoquer le fractionnement des gouttelettes d'huile situées à proximité et donc permettre de réduire progressivement le diamètre moyen de l'émulsion. **(16)**

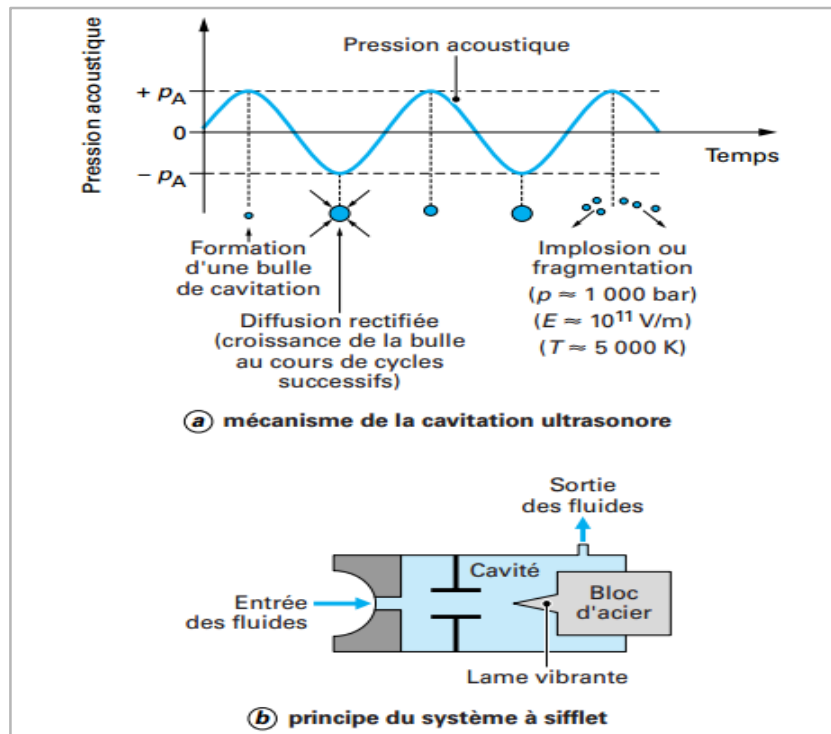


Figure 23 : Emulsification par procédé ultrasonore

Cependant, ces zones d'implosion vont être le lieu d'une augmentation importante de température et de pression qui peut atteindre respectivement 5000 K et 1000 bar. Ce phénomène peut alors être un inconvénient majeur car il est susceptible de dégrader les molécules actives que l'on souhaite incorporer dans l'émulsion.

En bref, l'utilisation des ondes ultra-sonores à basses fréquences permet une implosion violente et une émulsification rapide. On obtient ainsi des nano-émulsions rapidement. En revanche, l'émulsion créée n'est pas stable dans le temps, il faut donc apporter un émulsifiant lors de la fabrication.

Cependant, des études récentes ont démontré que lorsqu'on augmente la fréquence des ultrasons, les phases de dépression sont plus courtes. Ainsi le temps de formation de bulles par cavitation est largement diminué. Les bulles de cavitation sont alors quasi inexistantes ou bien de tailles très petites. Leur diamètre tend même vers zéro pour des fréquences de l'ordre du MHz (Figure 24).

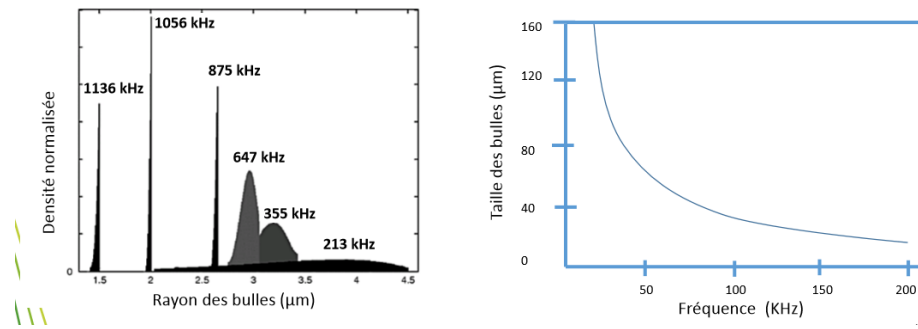


Figure 24 : Relation entre la fréquence de cavitation et la taille des bulles

3. Domaines d'application

a) Applications pharmaceutiques des émulsions

En pharmaceutique, les émulsions sont utilisées pour diluer des actifs puissants, pour faciliter l'absorption des médicaments ou pour ralentir la libération. Les émulsions de type H/E sont favorables à une augmentation de l'absorption tandis que celles de type E/H permettent une diminution de la vitesse de libération des molécules. Les émulsions de type H/E/H et E/H/E sont celles utilisées pour protéger un principe actif labile d'une dégradation. Ainsi, les émulsions permettent de réguler la biodisponibilité des médicaments. **(20)**

Les émulsions peuvent être administrées par injection. Dans ce cas, les gouttelettes ne doivent pas dépasser 500 nm pour pouvoir circuler dans les capillaires (5 µm). Le type d'émulsion utilisée est choisi en fonction du rôle que celle-ci va jouer dans la voie d'administration.

Lors de la formulation de ces émulsions, il faut prendre en compte certains paramètres, le principe majeur étant d'augmenter la biodisponibilité du principe actif à administrer. Il faut donc utiliser des émulsifiants non toxiques pour les tissus (généralement des tensioactifs non anioniques) et la phase huileuse doit permettre une bonne solubilisation de la molécule d'intérêt.

Exemple d'application : microémulsion d'un immunosuppresseur lipophile qui a révolutionné le domaine des greffes d'organes, la cyclosporine A. En effet, ce composé est peu soluble dans le milieu gastro-intestinal et son absorption dépend de la présence de sels biliaires (*Figure 25*). Cela a donc poussé les scientifiques à mettre au point de nouvelles formulations permettant d'augmenter la biodisponibilité de ce principe actif. **(25)**

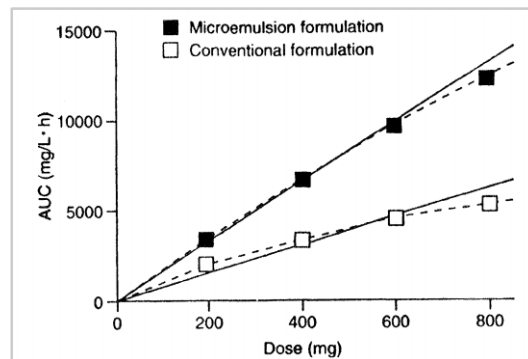


Figure 25 : Comparaison de l'efficacité de deux types d'administration de la cyclosporine A

b) Applications dans le domaine de l'alimentation

La plupart des aliments naturels ou traités par des procédés industriels se présentent sous forme d'émulsion, comme le lait, la crème, les jus de fruit, les potages, les pâtes pour gâteau, les sauces, la mayonnaise, les crèmes liquides, le beurre et la margarine.

La science d'émulsion a évolué dans l'industrie alimentaire. Les chercheurs essayent de corréler les qualités organoleptiques des émulsions alimentaires (telles que le goût, l'odeur, l'effet dans la bouche et l'aspect) avec leur composition et leurs propriétés physico-chimiques. **(26)**

IV. Coût économique de la santé animale

A. Situation actuelle de l'élevage en France/ Europe

La France comptabilise 51500 exploitations agricoles de types élevage laitier, polyculture et polyélevage, dont 490 000 se situent en métropole. (27)

En 2010, on dénombre 12 millions d'exploitations dans l'Union Européenne (UE).

Dans ce qui suit, on s'intéresse aux différents types d'élevages.

La mécanisation du travail en agriculture a permis, entre 1988 et 2010 de réduire le nombre de moyennes et grandes exploitations, et d'augmenter le revenu de celles-ci (Figure 26).

Effectif d'exploitations	Orientation technico-économique des exploitations				Production brute standard		
	Ensemble des exploitations			Moyennes et grandes exploitations	Moyennes et grandes exploitations		
	1988	2000	2010		1988	2000	2010
	<i>millier d'exploitations</i>				<i>moyenne par exploitation, en millier d'euros</i>		
Grandes cultures	175	126	119	71	89	118	130
Viticulture	132	98	70	47	129	167	195
Polyculture, polyélevage	199	100	61	39	83	127	157
Bovins viande	99	80	60	33	52	63	71
Ovins, autres herbivores	93	82	56	20	56	74	86
Bovins lait	175	76	50	48	73	101	135
Porcins, volailles	54	40	30	25	202	287	354
Fruits	33	24	19	8	119	156	162
Horticulture, maraîchage	34	19	15	11	154	245	284
Bovins mixtes	25	18	11	9	69	107	152
France métropolitaine	1 017	664	490	312	95	134	160

Figure 26 : Orientation technico-économique des exploitations en France (27)

D'après la Figure 26, on constate une forte diminution du nombre d'exploitations dans le secteur de l'élevage de 1988 à 2010. De plus, d'après les chiffres de 2010, les moyennes et grandes exploitations représentent environ 65% des exploitations dans le secteur de l'élevage. L'importance de ces types d'exploitations traduit une forte production. En effet, on peut voir que depuis 1988, la production brute (en millier d'euros) est en augmentation. Ces chiffres montrent que l'élevage en France est un secteur important de l'agriculture.

1. L'élevage bovin

En 2013, le cheptel bovin est le plus important de l'UE. 19,1 millions de têtes (+0,4% / 2012), chiffre qui tend à se stabiliser depuis 2010 sont dénombrées (Figure 28). L'effectif de vaches laitières est en hausse de 54 000 têtes alors que celui de vaches allaitantes est en repli de 7 000 têtes.

Un élevage bovin comptait 38 animaux en moyenne en 1983 contre 98 en 2010 (Figure 27).

	1983(1)	2000	2010	2012	2013
Cheptel	<i>millier de têtes</i>				
Bovins	23 518	20 259	19 506	19 052	19 129
dont vaches laitières	7 195	4 193	3 720	3 644	3 697
vaches nourrices	2 901	4 314	4 136	4 114	4 106

(1) Année précédant l'instauration des quotas laitiers.
Sources : Agreste - Recensements agricoles, BDNI.

Figure 27 : Evolution du cheptel bovin en France métropolitaine (27)

Aujourd'hui, les exploitations de plus de 40 vaches représentent près de 50 % des exploitations bovines et regroupent pratiquement 80 % des vaches. Suite à l'instauration des quotas laitiers en 1983, on constate une baisse des effectifs de vaches laitières atteignant les 50% en 2013. En revanche, le cheptel de vaches nourrices a vu son nombre de têtes augmenter de 40%. La mise en place des quotas laitiers a orienté certains éleveurs vers la production de viande.

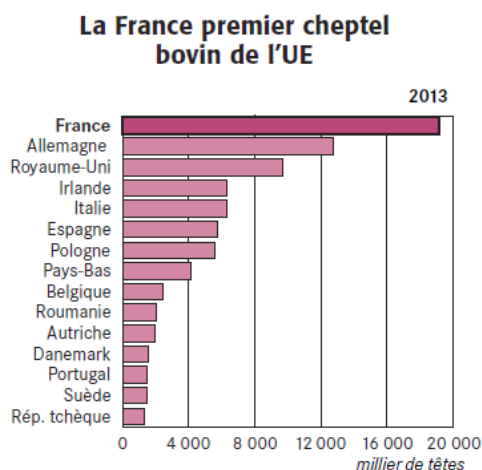


Figure 28 : Nombre de bovins par pays de l'UE (27)

2. L'élevage ovin

En 2013, le cheptel ovin français s'établit à 7,2 millions de têtes (Figure 30). Il se place au cinquième rang au niveau européen, loin derrière le Royaume-Uni, 1er cheptel européen d'ovins.

La figure 29 montre que le nombre d'ovins en France diminue légèrement depuis 2010. Il est passé de 8 millions de têtes à un peu plus de 7 millions en 2013.

L'élevage ovin enregistre une perte de 260 000 têtes par rapport à 2012.

Effectifs des ovins

	<i>millier de têtes</i>			
Total ovins	9 416	7 955	7 453	7 193
dont brebis	6 580	5 305	4 983	4 828
nourrices	5 200	3 976	3 700	3 540
laitières	1 380	1 329	1 282	1 288

Figure 29 : Effectifs des ovins en France (1988, 2010, 2012 et 2013) (27)

La filière viande ovine a vu son effectif diminuer depuis 1988 passant de 5200 à 3540 en 2013 tandis que la filière lait voit ses effectifs d'ovins stagner autour de 1300 en moyenne. On peut conclure que l'élevage ovin se maintient en France, mais il est difficile pour la filière viande de faire concurrence à l'élevage ovin anglo-saxon voire pire, l'élevage néo-zélandais, ce qui peut expliquer cette diminution d'effectifs entre 1988 et 2010.

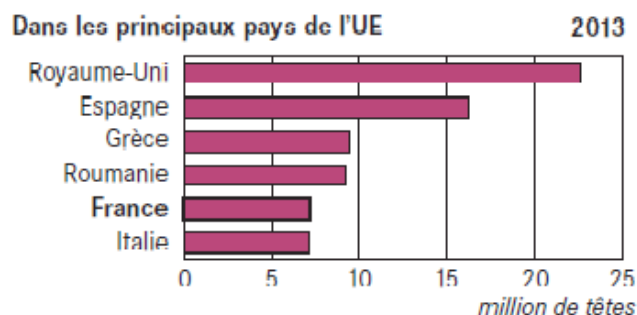


Figure 30 : Effectifs des ovins dans les principaux pays de l'UE (27)

3. L'élevage porcin

En 2013, le cheptel porcin français compte plus de 13,4 millions de têtes, dont 1 million de truies. C'est le troisième troupeau de l'UE derrière l'Allemagne et l'Espagne, et devant le Danemark et les Pays-Bas. Depuis l'an 2000, le cheptel porcin français est en diminution de 120 000 têtes / an en moyenne, soit environ 0,8 % / an. Ce repli a atteint 2,5 % en 2013 par rapport à 2012 (-3,1 % pour le troupeau de truies).

Un constat important est que les élevages porcins français sont en fort agrandissement depuis l'an 2000 : 640 animaux en moyenne en 2013 contre 220 en 2000. En effet, en 2013, les élevages de plus de 2 000 porcs représentaient près de 20 % des exploitations porcines (contre 2,3 % en 2000).

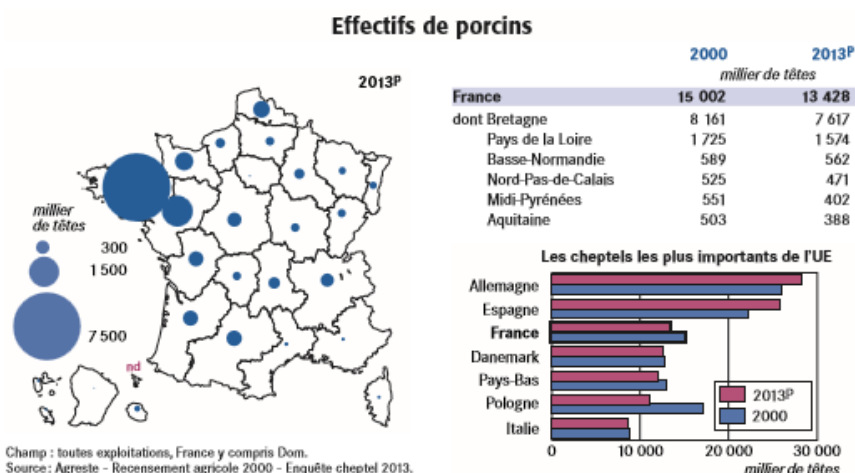


Figure 31 : Répartition des porcs en France et dans l'UE (27)

La répartition des têtes au niveau national, elle est essentiellement concentrée dans les régions de la Bretagne et des Pays de la Loire.

Figure 31

4. L'élevage avicole

En 2010, la France totalise environ 142 millions de poulets, soit un cheptel moyen d'environ 16 000 animaux par exploitation. Les élevages sont relativement concentrés car les deux tiers des effectifs sont regroupés dans le quart des exploitations. Cela représente plus de 20 000 têtes pour ces exploitations. En 2010, l'effectif des poules pondeuses s'élève à plus de 45 millions, soit un cheptel moyen d'environ 23 000 poules par élevage. Les élevages de poules pondeuses sont très intensifs.

En 2013, les effectifs de poulets augmentent de 1,4 % par rapport à 2012. Les effectifs de poules pondeuses enregistrent une progression de 13 % (Figure 32).

Les spécialisations régionales se confirment dans le pays. En 2013, la Bretagne se place au premier rang concernant l'élevage de poulets (près d'un tiers), de poules pondeuses d'œufs de consommation (41 %) et de dindes (43 %). Les Pays de la Loire sont en tête pour le canard à rôti (près des deux tiers du total) et la pintade (plus de 40 % du total). Quant à la région Aquitaine, elle regroupe 46 % des effectifs de canard à gaver.

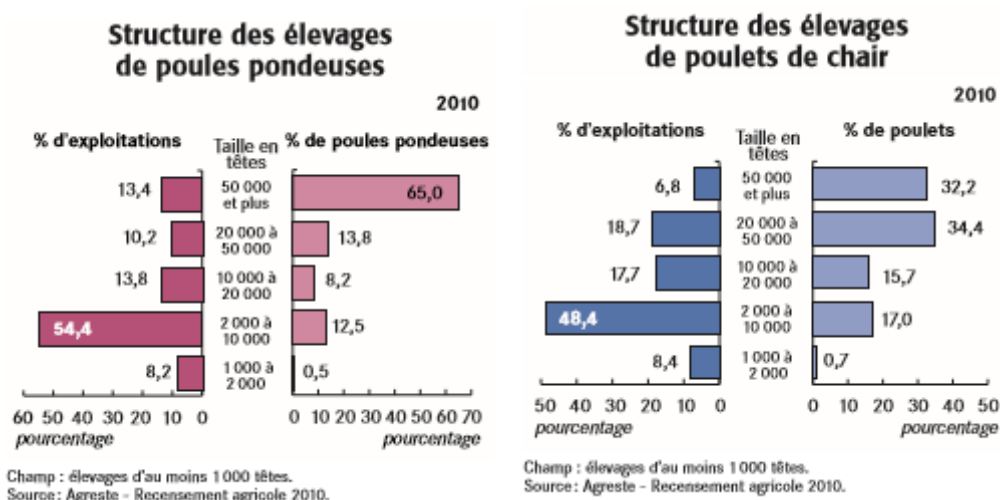


Figure 32 : Structures des élevages de poules pondeuses et des poulets de chair (27)

Comme le montre la Figure 33, l'élevage de poulets de chair en France a évolué de façon flagrante depuis 1979. En effet, en presque 35 ans, on peut constater que les effectifs ont doublé. Cette évolution traduit l'importance de l'élevage avicole en France. On est face à des systèmes d'élevage en batterie (système intensif). La production de viande de volailles semble être devenue un marché important.



Figure 33 : Evolution de l'élevage de poulets de chair en France (28)

Au vu de l'importance des élevages agricoles en France et de la position du pays parmi les leaders de l'élevage en Europe, les soins curatifs sont capitaux pour maintenir les élevages en bonne santé. Les éleveurs s'appuient donc majoritairement sur les antibiotiques pour soigner les animaux, aussi bien en soins préventifs qu'en soins curatifs. Notons aussi que depuis 2006, il est interdit par un

règlement européen d'utiliser des additifs antibiotiques, à effet facteur de croissance, dans les aliments pour animaux. Cette mesure n'est pas valable aux États-Unis comme nous allons le voir.

B. Situation actuelle aux USA

Dans le monde, 50% des antibiotiques sont destinés aux animaux. Ce chiffre s'élève à 80% aux États-Unis, ce qui correspond à environ 13 000 tonnes par an (28). Déjà en 1950, les États-Unis avaient une grande consommation d'antibiotiques. Ce chiffre a été multiplié par 40 en presque 30 ans (29). Il existe deux grands types d'utilisation des antibiotiques dans l'élevage. Il peut être fait à des fins thérapeutiques ou bien dans la production animale pour augmenter la vitesse de croissance. Cet usage à des fins non thérapeutiques pose de nombreux problèmes dont celui de la résistance aux antibiotiques et la possible action que cela aurait sur l'homme, (comme cela a été évoqué dans la partie I-C-2°). En effet, l'ingestion de bactéries résistantes via l'alimentation peut entraîner une colonisation par celles-ci du tube digestif et ainsi engendrer une transmission de cette résistance aux bactéries humaines. (28) De nombreux cas ont d'ailleurs été recensés aux États-Unis et ce phénomène provoque 190 000 décès par an. Cette résistance a un coût qui s'élève entre 21 et 34 millions de dollars par an au système de santé américain, en hospitalisation de personnes souffrant de résistance aux antibiotiques (30).

Pour lutter contre cette utilisation abusive des antibiotiques, les États-Unis tentent de mettre en place des mesures, comme par exemple, la prescription de ces médicaments seulement sur ordonnance vétérinaire (31). De plus la Maison Blanche a lancé le plan antibiotique 2020 cherchant à limiter l'utilisation des antibiotiques et à réduire leur utilisation jusqu'à 50 %, de même pour la consommation des aliments médicamenteux (32). De grandes mesures vont être mise en place :

- Une prescription de ces médicaments seulement sur ordonnance vétérinaire.
- Une prévention de l'utilisation des antibiotiques par le biais de vaccins.
- Amélioration de la coopération entre pays afin de détecter les bactéries résistantes et de mettre en commun les avancées techniques.
- Une surveillance des bactéries résistantes, ainsi que de nouvelles recherches pour lutter contre la propagation de ce phénomène.

Conclusion

Comme dit précédemment, en santé animale, il existe deux types de traitements. Les traitements préventifs qui vont concerner tous les animaux de l'exploitation et les traitements curatifs, si jamais l'animal est atteint par une maladie. De plus, selon le type d'animaux et les différentes formes d'élevages, tous les animaux ne sont pas exposés de manière équivalente aux antibiotiques. Cette exposition aux différentes familles d'antibiotiques s'apprécie grâce à l'ALEA (Animal Level of Exposure to Antimicrobials) qui est calculé en divisant le poids vif traité d'une espèce par la masse de sa population potentiellement consommatrice d'antibiotiques (33). Par exemple, si une espèce a un ALEA de 1, alors la totalité de la masse de l'espèce en élevage a été traitée par des médicaments. Pour un ALEA inférieur à 1, l'espèce a été traitée de manière moins intense.

Tableau 2 : ALEA 2011-2012 par espèce animale (5)

Espèce	Bovin	Cheval	Poisson	Lapin	Ovin et caprin	Porc	Volaille	Autre	Total
ALEA 2011	0,32	0,60	0,43	3,76	0,69	1,05	1,27	0,03	0,62
ALEA 2012	0,326	0,391	0,217	2,887	0,691	0,991	1,177	0,508	0,592

On constate qu'en France, les lapins, les porcs et les volailles sont les espèces les plus touchées par des traitements antibiotiques (Tableau 2). Cela est en lien avec le mode d'élevage, ce sont souvent des animaux élevés de manière intensive ou en tout cas dans des conditions où les populations d'animaux sont concentrées, donc les éleveurs ont énormément recours à des traitements préventifs pour anticiper la propagation de maladies qui peut engendrer d'importants surcoûts.

Dans la filière bovin laitier, on estime que le coût moyen des soins « classiques » à apporter à une vache dans une exploitation laitière est de 80€ par an (34). Cette somme est principalement due au développement des mammites. En revanche, elle peut être divisée par deux si, au lieu d'utiliser des antibiotiques, l'éleveur utilise des traitements alternatifs comme des huiles essentielles ou l'homéopathie. Le fait est que, pour l'instant, environ 70% des éleveurs utilisent toujours des traitements classiques alors que seulement 30% se tournent vers des traitements alternatifs. Ces chiffres s'expliquent par le manque de formation des éleveurs à l'utilisation de ces nouveaux médicaments et aussi par la méconnaissance des vétérinaires de ces modes de traitement (35).

En 2012, la quantité de médicaments vendus pour l'élevage (782 tonnes) était la plus basse depuis plus de dix ans (Figure 34) (5).

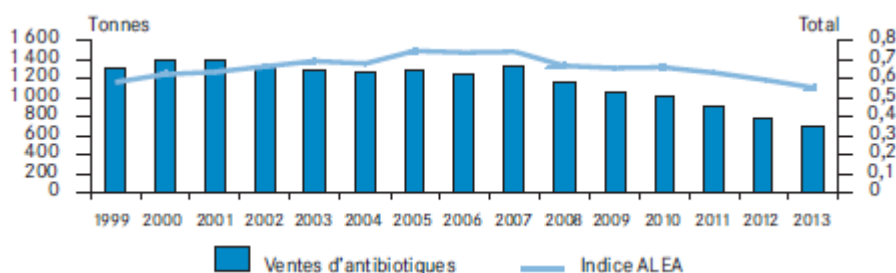


Figure 34 : Evolution des ventes et de l'exposition aux antibiotiques en France en élevage (36)

La baisse de la vente de médicaments observée depuis plusieurs années peut être expliquée par la conjugaison de deux phénomènes. Le premier étant l'efficacité des campagnes des gouvernements qui visent à diminuer la consommation de médicaments dans l'élevage pour essayer de limiter le développement de la résistance aux antibiotiques de nombreuses bactéries. Le deuxième facteur provient du fait que les médicaments sont de plus en plus efficaces donc la quantité à administrer aux animaux est plus faible ce qui explique une baisse du nombre des ventes.

En revanche, le marché mondial des médicaments se porte bien et rapporte environ 40 milliards de dollars par an. On estime que 15 à 20% des médicaments achetés dans le monde sont des médicaments dits vétérinaires, à destination des animaux d'élevages.

C'est un marché qui a une grande importance en France, puisqu'il représente environ 800 millions d'euros (34). De plus, la France est un acteur important du marché mondial des médicaments car elle est au premier rang pour leur fabrication et à la neuvième place européenne pour la vente de médicaments destinée aux animaux d'élevage.

Pour ce qui est des huiles essentielles, il y a peu de données chiffrées disponibles. Mais tous les auteurs se mettent d'accord pour dire que cette méthode de traitement est moins coûteuse que l'utilisation de médicaments classiques. Avec la création du plan national : EcoAntibio (37) qui vise à réduire de 25% la consommation d'antibiotiques dans les élevages et la lutte de plus en plus présente contre l'antibiorésistance des bactéries, les huiles essentielles semblent être une bonne alternative aux médicaments. Le marché du médicament étant un marché très riche, il y a en plus, une somme d'argent potentiellement récupérable conséquente.

Les émulsions, de par leurs caractéristiques physico-chimiques représentent une alternative prometteuse au traitement des animaux par injection et ajout à la nourriture solide. Mais en plus d'être une alternative, les émulsions permettent la mise en place de traitements innovants. Dans le cadre de notre projet, l'innovation est donc d'administrer par voie orale des huiles essentielles aux animaux comme voie de traitement préventif.

En effet, nous allons, dans le cadre de ce projet nous intéresser au procédé de fabrication d'émulsions grâce aux ultrasons qui a été breveté en 2013. Cette technique utilise des fréquences d'ultrasons plus élevées que celles utilisées habituellement pour la fabrication d'émulsion (de 20 à 200 kHz) comprises entre 900 kHz et 3 MHz. Lors du processus, il suffit de mettre les deux phases en contact avec une membrane piézoélectrique, il n'y a pas besoin de passer nécessairement par une étape de pré-mélange. A ces longueurs d'ondes, l'interface huile/eau est déstabilisée et des gouttelettes de l'ordre du micromètre vont progressivement se former. Puis l'onde déstabilise ces gouttelettes qui vont se fractionner pour en former des plus petites et ainsi de suite. Ainsi, plus le temps d'émulsification est long, plus la taille des gouttelettes est petite et donc plus l'émulsion est stable. A titre d'exemple, pour une émulsion avec une fraction d'huile de 5%, il faudra deux heures pour que les gouttes soient de l'ordre de 100 μm mais dix heures pour qu'elles soient de 2 μm .

Cette technologie innovante possède plusieurs avantages qui sont intéressants dans le cadre de ce projet d'alimentation animale par utilisation d'huiles essentielles. Grâce aux ultrasons hautes fréquences, l'utilisation d'émulsifiant pour stabiliser l'émulsion n'est plus nécessaire ce qui représente une économie considérable. La granulométrie peut être aisément contrôlée grâce au temps d'émulsification choisi et la stabilité de l'émulsion est grande car l'émulsion est très fine. De plus, le pré-mélange est une étape facultative qui permet là encore de réduire les coûts de production. Enfin même si le procédé est plus long que les procédés "classiques", cette méthode présente l'intérêt majeur de ne pas entraîner de phénomène de cavitation ce qui préserve l'intégrité des composés de l'émulsion.

D'un point de vue économique les émulsions devraient être moins coûteuses comparées aux traitements actuels. En effet bien que l'achat du dispositif représente un coup, celui-ci permettra aux agriculteurs de gagner du temps, puisque grâce au système de circulation, tous les animaux recevront en quantité égale la substance ajoutée à l'eau. De plus, cette technique entre dans un cadre de respect du bien-être animal (limitation des injections) et du consommateur (limiter des additifs dans l'alimentation des animaux pour limiter ceux qui se retrouveront dans l'assiette du consommateur). Enfin cette méthode favorise une intervention préventive à une curative impactant ainsi les coûts vétérinaires. En effet un traitement préventif permet de limiter le déclenchement de maladie et donc d'épidémie dans le cadre d'un élevage intensif. Prévenir plutôt que soigner représente alors une économie non négligeable pour les agriculteurs.

Références

- (1) <http://www.fao.org> ; Consulté en novembre 2015
- (2) <http://www.pleinchamp.com> ; Consulté en novembre 2015
- (3) <http://www.agrireseau.qc.ca/bovinsboucherie/documents/TM2003charriere.pdf> ; Consulté en décembre 2015
- (4) Sales of veterinary antimicrobial agents in 26 EU/EEA countries in 2012, Fourth ESVAC report, European medicines agency
- (5) Usage des antibiotiques en élevage et filières viandes, H. CHARDON et H. BRUGER (12/11/2015)
- (6) <http://theconversation.com/we-need-more-than-just-new-antibiotics-to-fight-superbugs-44054> ; Consulté en novembre 2015
- (7) European Surveillance of Veterinary Antimicrobial Consumption) par l'EMA (Agence Européenne du Médicament
- (8) <https://www.anses.fr/fr/content/loxyde-de-zinc-une-alternative-possible-aux-antibiotiques> ; Consulté en décembre 2015
- (9) Santé animale et solutions alternatives, Gilles Gromond, Editions France agricole
- (10) L'Ylang-ylang : une plante à huile essentielle méconnue dans une filière en danger, C. Benini, JP. Danflous, JP Wathélet, P. Du Jardin, ML. Fauconnier, Biotechnologies agronomist social environment, 2010
- (11) <http://www.web-agri.fr/conduite-elevage/sante-animale/article/les-quelques-huiles-essentielles-aux-eleveurs-1184-101414.html> ; Consulté en décembre 2015
- (12) Utilisation des huiles essentielles en alimentation des volailles, Alleman et al., 2013
- (13) Thèse Véronique Courderc, toxicité des huiles essentielles, Université de Toulouse
- (14) Note sur le statut juridique du médicament vétérinaire au regard des produits à base de plantes - Anses - 25 septembre 2013.
- (15) Food Emulsions, Fourth Edition, S. Friberg, K. Larsson, J. Sjöblom, 2004
- (16) Cours Mlle Kaci, Laboratoire Libiot Université de Lorraine
- (17) Emulsifiers, Clyde E. Stauffer, Eagan Press handbook series, 1-89112-702-0 ; Consulté en novembre 2015
- (18) *Emulsion Science : Basic Principle*, Springer, 2007, ISBN 0-3873-9682-9 ; Consulté en novembre 2015
- (19) Encyclopedic Dictionary of Polymers (2007), Springer, 978-0-387-30160-0
- (20) Thèse Nadine Pierat, Préparation d'émulsions par inversion de phase induite par agitation, Université Poincaré Nancy, 2010
- (21) Procédés d'émulsification - Techniques et appareillage - Classification des procédés, Martine POUX, Jean-Paul CANSELIER, 10 juin 2004 (dispenseurs et homogénéisateurs)
- (22) Food emulsions : principles practice and techniques, David Julian McClements, CRS press, 1999
- (23) Mise en œuvre des matières agroalimentaires 1, Paul Colonna et Guy Della Valle, Edition Lavoisier, 2006
- (24) <https://www.sfa.asso.fr/fr/documentation/livre-blanc-/page76.pdf> ; Consulté en novembre 2015
- (25) Thèse : SYSTEMES DE DELIVRANCE DES MEDICAMENTS PEU SOLUBLES DANS L'EAU PAR VOIE ORALE (2002) par Hicham SAFINE
- (26) <http://fr.scribd.com/doc/48585551/cours-emulsion-alimentaire#scribd> ; Consulté en octobre 2015
- (27) recensement Agreste 2013
- (28) <http://www.bastamag.net/Overdose-d-antibiotiques-dans-l-nb4> ; Consulté en novembre 2015
- (29) *Le triomphe des bactéries ; La fin des antibiotiques ?* ; Antoine ANDREMONT et Michel TIBON-CORNILLOT ; 2006

- (30) Antibiotics Overuse in Animal Agriculture: A Call to Action for Health Care Providers [American Journal of Public Health] Newman, Thomas B
- (31) http://www.allodocteurs.fr/actualite-sante-viande-vers-une-restriction-des-antibiotiques-dans-l-elevage-aux-etats-unis_12059.html ; Consulté en novembre 2015
- (32) https://www.whitehouse.gov/sites/default/files/docs/national_action_plan_for_combating_antibiotic-resistant_bacteria.pdf ; Consulté en décembre 2015
- (33) *Encadrement des pratiques commerciales pouvant influencer la prescription des antibiotiques vétérinaire*; Dr Muriel DAHAN, Pierre HANOTAUX Dr François DURAND et Dr Françoise LIEBERT; mai 2013; Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt Rapport n°13014
- (34) *Les Dépenses de santé dans les élevages bovins lait de Poitou-Charentes*; Philippe ROUSSEL, Philippe DUBOI et Xavier POUQUET; octobre 2011
- (35) *Phytothérapie et aromathérapie en élevage biologique bovin : enquête auprès de 271 éleveurs de France*; Thèse de Bénédicte HIVIN; novembre 2008
- (36) *Les antibiorésistances en élevage : vers des solutions intégrées*; Bruno HERAULT; Les publications du service de la statistique et de la prospective-Centre d'étude de la prospective, Rapport n°82; septembre 2015
- (37) <http://www.inra.fr/Grand-public/Sante-des-animaux/Tous-les-dossiers/Reduire-les-antibiotiques-en-elevage>; Consulté en octobre 2015.

Les émulsions d'huiles essentielles pour la santé animale

Rapport

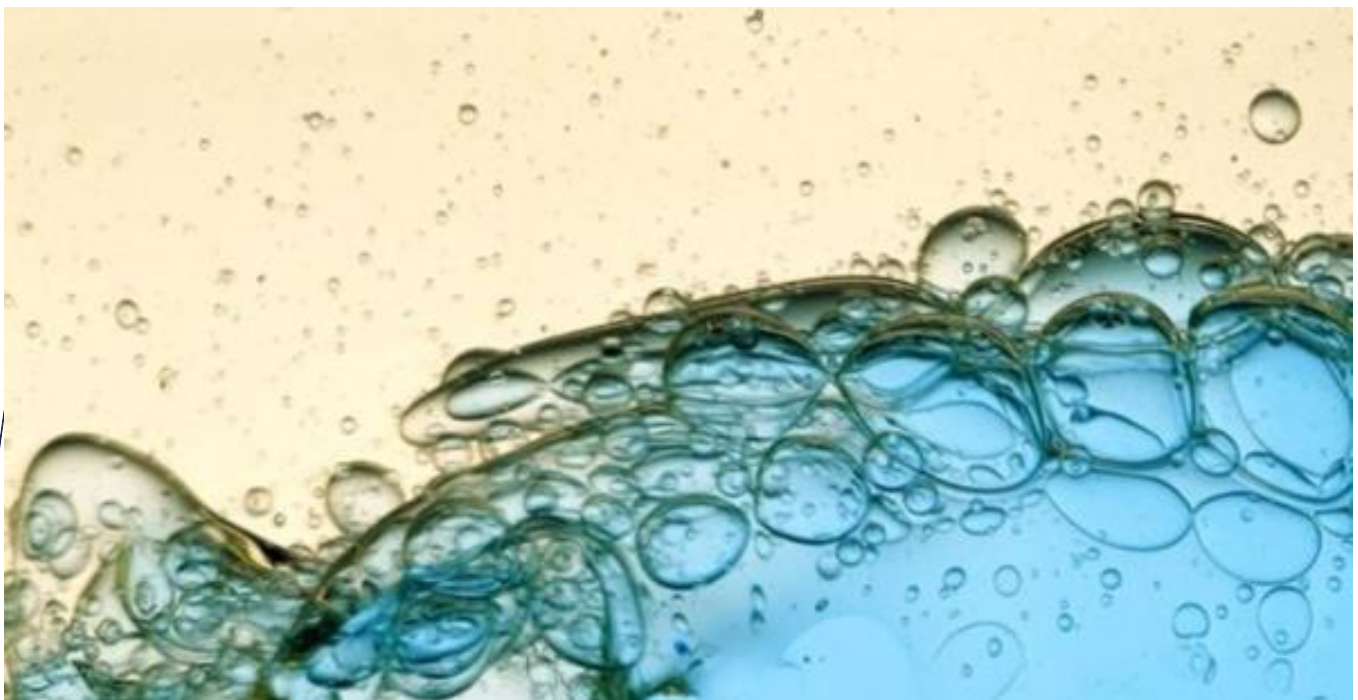


Table des matières

Introduction.....	39
<i>Tableau 1 : Planning de notre projet</i>	40
I. Démarche générale du projet	41
A. Objectifs et déroulement de notre projet.....	41
B. Le fonctionnement du dispositif	42
II. Première approche : proposer des émulsions d’huiles essentielles dans l’eau de boisson en élevage	44
A. Mise en place d’un questionnaire adressé aux éleveurs	44
B. Visite à la Bouzule et prise en compte des difficultés pratiques.....	49
III. Seconde approche et émergence de nouvelles perspectives	50
A. Rencontre de nos commanditaires à Bourges	50
B. Seconde prise de contact avec les agriculteurs.....	52
C. Continuité du projet	55
Conclusion générale	57
BIBLIOGRAPHIE.....	59
ANNEXES.....	60

Introduction

Le marché de l'industrie alimentaire est demandeur de procédés industriels permettant de réaliser des émulsions stables. En réponse à cette demande, l'entreprise Génialis, commanditaire de ce projet professionnel, a mis au point un nouveau procédé permettant de réaliser des émulsions. Ces émulsions peuvent néanmoins être utilisées dans d'autres domaines, comme par exemple celui des cosmétiques, ou bien de l'agriculture. Le but de ce projet est de trouver une application à ce procédé en agriculture, et plus particulièrement, en santé animale.

En effet, la santé animale est primordiale pour les éleveurs. L'utilisation d'antibiotiques en vue de soigner les animaux est très répandue en élevage intensif. Les conséquences environnementales et sanitaires d'une utilisation non raisonnée des antibiotiques sont aujourd'hui connues et des méthodes de soin alternatives sont donc en train de se développer. Par exemple, les éleveurs conventionnés en agriculture biologique utilisent des huiles essentielles à des fins préventives ou curatives. Ce projet professionnel vise à utiliser la technologie développée par Génialis, afin de créer des émulsions d'huiles essentielles dans l'eau et ainsi, de les administrer aux animaux d'élevage (bovins, ovins, caprins, porcins, équins, volailles) en tant que traitement préventif et curatif.

Nous avons tout d'abord réalisé une synthèse bibliographique sur le sujet afin d'avoir une vue d'ensemble sur le domaine de la santé animale en élevage avec notamment l'utilisation d'antibiotiques et les problèmes qui en résultent (antibiorésistance). Cependant, des alternatives existent, telle que l'utilisation des huiles essentielles. Nous avons fait des recherches sur les propriétés des huiles essentielles, leurs procédés d'extraction ainsi que sur leur utilisation en élevage et les problèmes de toxicité qu'elles peuvent causer. En parallèle, des cours sur les émulsions nous ont été proposés par une doctorante travaillant sur les émulsions au laboratoire Libio à l'ENSAIA (Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires) afin de comprendre plus en détails leurs caractéristiques et le procédé d'émulsion d'huiles essentielles. Pour terminer, nous nous sommes intéressés au marché de la santé des animaux d'élevage pour voir s'il peut être intéressant, d'un point de vue économique, de proposer des produits vétérinaires à base d'huiles essentielles en substitution des antibiotiques. Suite à la réalisation de cette synthèse, nous avons entrepris la seconde phase du projet. Nous expliquerons dans les grandes lignes la démarche générale du projet puis nous traiterons des deux phases du projet.

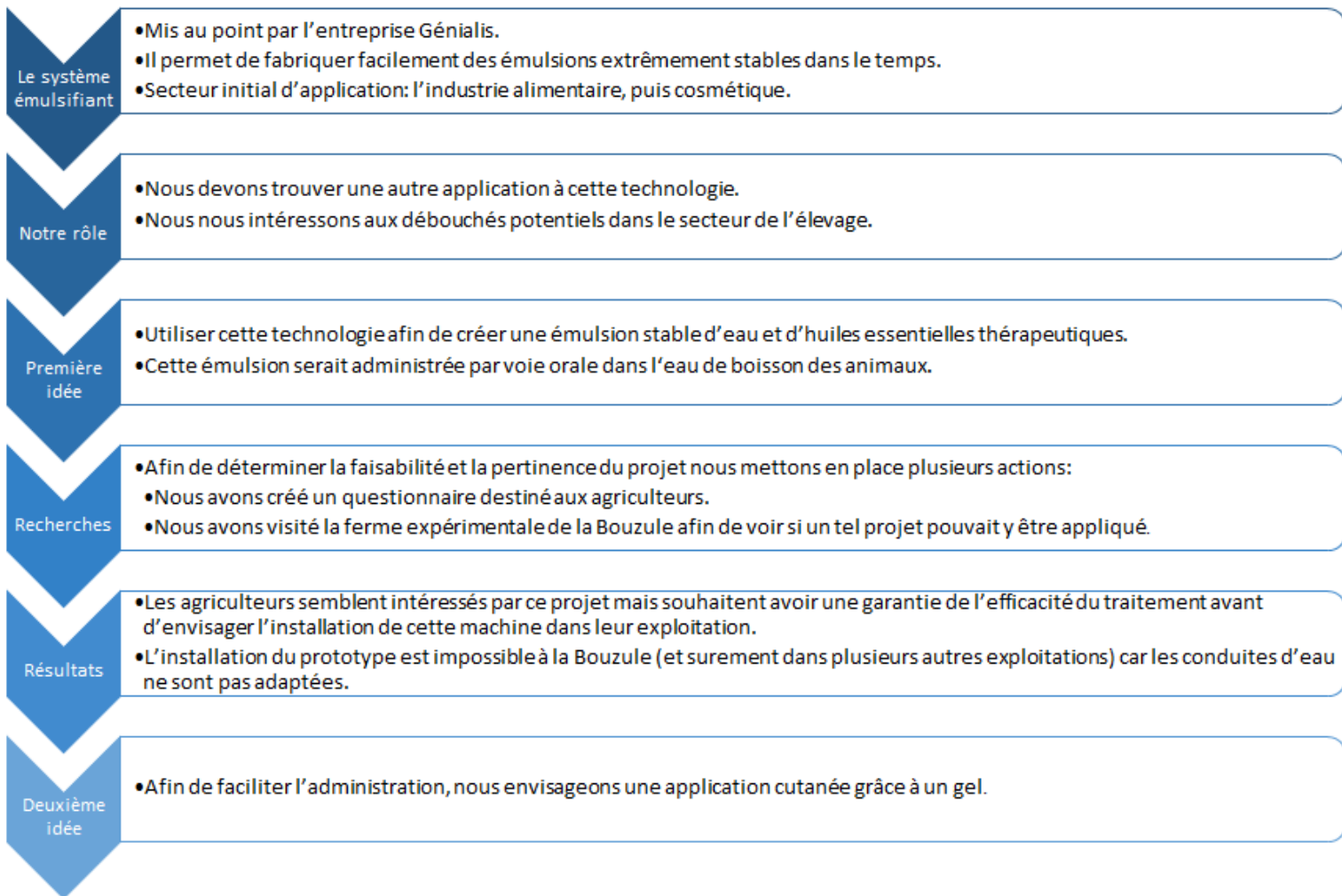


Tableau 1 : Planning de notre projet

I. Démarche générale du projet

A. Objectifs et déroulement de notre projet

Après discussions avec notre tuteur, nous avons pensé à administrer les huiles essentielles par l'eau de boisson dans les élevages. Afin de déterminer si cette voie d'administration est applicable, susceptible de plaire, et surtout être utile aux agriculteurs, nous avons décidé de mettre en place un questionnaire d'enquête. Dans ce dernier, nous avons posé plusieurs questions pour en savoir davantage sur les besoins des éleveurs. Nous avons donc envoyé plusieurs mails à divers types d'élevage ainsi qu'à plusieurs chambres d'agriculture. La majeure partie d'entre eux nous ayant répondu, nous avons ensuite pu prendre en compte les réponses reçues et les avons analysées au travers de graphiques statistiques.

Début mars, nous avons fait un déplacement à Bourges organisé par notre tuteur. Ce voyage a eu pour but de nous faire rencontrer l'équipe de Génialis (pour laquelle nous montons ce projet) ainsi que l'entreprise Baron, l'équipementier qui fournit le dispositif. Cela nous a permis de faire le point avec la directrice du projet mais aussi de voir l'avancement des travaux expérimentaux réalisés par Ghazi Ben Messaoud, doctorant qui travaille sur la stabilisation des huiles essentielles grâce à cette technologie. Nous avons ainsi appris que la technologie mise en place pouvait permettre d'émulsionner de l'huile et de l'eau pour faire un produit qui peut se présenter sous différentes formes galéniques.

Dans cette seconde partie du projet, de nouvelles idées ont pu être trouvées en ce qui concerne les voies d'administration. Par la suite, nous avons essayé de déterminer les pathologies les plus problématiques pour chaque type d'élevage ainsi que les traitements administrés. Nous avons ainsi recontacté des éleveurs ayant répondu à notre questionnaire afin de leur proposer différentes voies d'administration en fonction des pathologies les plus fréquentes et les plus handicapantes. Parallèlement, nous avons pris contact avec les différentes chambres d'agriculture intéressées par le projet permettant une pérennisation de ce dernier.

Il est donc important de connaître le fonctionnement du dispositif d'émulsification afin de connaître les atouts du système et de chercher ses meilleures utilisations possibles

B. Le fonctionnement du dispositif

Le dispositif inventé et breveté par l'entreprise Génialis repose sur l'utilisation de la technologie des ondes ultrasonores à haute fréquence, c'est-à-dire, entre 900 kHz et 3000 kHz. La machine pour émulsionner est constituée de membranes piézoélectriques, qui suite à un courant alternatif, vont se déformer. En présence du mélange eau/huile (non pré mélangé), les vibrations des membranes provoquent la formation d'ondes, permettant ainsi une agitation qui déstabilise les interfaces et donc diminue la taille des gouttes. On retrouve le même principe pour les émulsions à basses fréquences, mais avec quelques différences notables. En effet, les basses fréquences provoquent la formation de bulles de cavitation (*figure 2*) lors de la phase de dépression. Une fois en phase de surpression, elles implosent. Cette implosion permet de fragmenter les gouttes, mais provoque aussi la libération d'une très grande quantité de chaleur, qui pourrait détruire ou endommager des biomolécules sensibles à de trop fortes températures. Cela pourrait poser problème, notamment si ce sont des agents actifs comme des antibiotiques, qui se dégradent à la chaleur. [1]

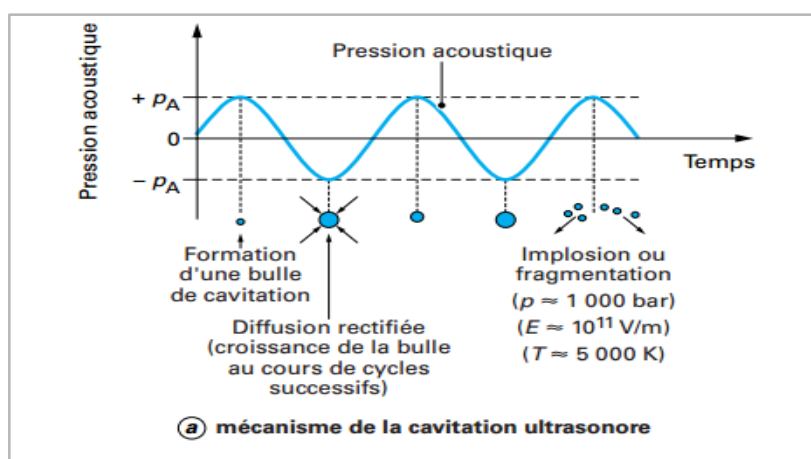


Figure 2 : Mécanisme de cavitation

Le dispositif à hautes fréquences permet d'éviter la formation de ces bulles de cavitation, tout en évitant l'utilisation de tensioactifs pour stabiliser l'émulsion. En effet, les gouttelettes sont de l'ordre de $100\ \mu\text{m}$ après 2h de traitement, et de $2\ \mu\text{m}$ après 10h. Cette petite taille permet d'éviter la coalescence des gouttelettes, et peut ainsi stabiliser les émulsions pendant plusieurs années. De plus, le phénomène d'ionisation à hautes fréquences permet de stabiliser cette émulsion. En effet, le passage des ultrasons provoque une ionisation de l'eau ($\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{HO}^-$). Ce sont ces HO^- qui vont se positionner préférentiellement au niveau des interfaces car ces molécules sont moins hydrophobes. Ce phénomène chimique à la surface des gouttelettes est une ionisation, qui permet une répulsion électrostatique entre celles-ci et évite leur coalescence. Ceci s'accompagne d'une diminution du pH au cours du temps. [1]



Figure 3 : Photo de la machine à émulsion créée par Génialis (prise lors de la visite de Génialis à Bourges)

La machine à émulsion sur cette photo (*figure 3*) a été dimensionnée par l'entreprise Génialis, et comprend 32 membranes piézoélectriques. Ceci permet d'augmenter le volume traité par rapport aux versions précédentes (de laboratoire), qui possédaient moins de membranes, et de diminuer la durée de fabrication des émulsions. Le prototype visible sur cette photo a été réalisé dans un premier temps pour une application dans le domaine des industries alimentaires.

Dans ce secteur, il existe de nombreuses émulsions. Pour les stabiliser les industriels ont recours à des émulsifiants. La technologie proposée par Génialis répondait donc à un réel besoin : faire des émulsions stables sans ajout d'autres molécules. Cet émulsificateur à haute fréquence a déjà été utilisé pour créer des vinaigrettes ou sauces alimentaires très stables, qui n'ont pas besoin d'être mélangées avant chaque utilisation, mais aussi en pharmacutique, pour des vaccins ou des solutions antibactériennes.

Cependant l'entreprise s'est heurtée à des problèmes de capacité de production par rapport au marché visé. Elle a donc remis ce projet à plus tard et s'est tournée vers une autre niche possible, celle du cosmétique. Génialis s'est associée au groupe LVMH et plus particulièrement à Dior. Le projet Essenz'o a donc été créé avec pour objectif de mettre au point des parfums stables (qui sont des émulsions) sans ajout d'alcool ni d'agents émulsifiants ce qui est une réelle force de vente. Ce marché étant plus petit, Génialis est apte à répondre à la demande.

En résumé, grâce à l'émulsification haute fréquence, il est possible de développer de nouveaux produits sans ajout d'agents émulsifiant pour les rendre stables ce qui est un réel atout économique. Cela représente aussi un autre intérêt, notamment lorsque les molécules ajoutées altèrent le goût du produit ou ont un effet non désiré sur le consommateur. Suite à son partenariat avec l'ENSAIA, Génialis a pensé à appliquer sa technologie dans un tout autre domaine : l'élevage. Elle a donc fait appel à notre école pour monter cette collaboration.

II. Première approche : proposer des émulsions d'huiles essentielles dans l'eau de boisson en élevage

A. Mise en place d'un questionnaire adressé aux éleveurs

Objectifs du questionnaire :

- Présentation de notre projet aux éleveurs
- Recueillir des informations sur les moyens de traitement de leurs animaux

Afin de déterminer si l'utilisation des huiles essentielles, à visée thérapeutique, administrée dans l'eau de boisson des animaux, est possible au sein d'un élevage, nous nous sommes renseignés auprès des éleveurs. Pour cela, nous avons mis en place un questionnaire nous permettant de recueillir des informations générales sur leur exploitation, afin d'avoir une idée globale du contexte, et sur les différents moyens de traitement des animaux utilisés par les éleveurs, tout en leur présentant notre projet.

Présentation du questionnaire : (disponible en annexe)

Voici quelques questions que nous leur avons posé :

- Quel est votre type d'accès à l'eau ?
- Préférez-vous traiter vos animaux de manière préventive ou curative ?
- Parmi ces traitements lesquels utilisez-vous de manière curative ?
→ Réponses possibles : Antibiotiques, compléments alimentaires (vitamines, minéraux, ...), huiles essentielles, aucun, autres.
- Pour chacun des traitements sélectionnés, quel est le mode d'administration ?
- Parmi ces traitements lesquels utilisez-vous de manière préventive ?
→ Réponses possibles : Antibiotiques, compléments alimentaires (vitamines, minéraux, ...), huiles essentielles, aucun, autres.
- Pour chacun des traitements sélectionnés, quelle est la fréquence d'administration ?
- Pouvez-vous nous donner une estimation du coût des traitements par an ?
- Avez-vous des connaissances sur l'utilisation des huiles essentielles en santé animale ?

Nos résultats sur les éleveurs interrogés :

- 74% des éleveurs utilisent les antibiotiques en traitement curatif contre 20% en préventif. Les 6% restant n'utilisent pas d'antibiotiques.
- Plus de la moitié des antibiotiques utilisés sont administrés par injection.

- Moins de la moitié des éleveurs interrogés ont des connaissances sur les huiles essentielles en tant que traitement (*figure 4*).
- Parmi les 70 éleveurs que nous avons interrogés, 28% utilisent les huiles essentielles de manière curative contre 30% de manière préventive. Au total, 40 % des éleveurs interrogés utilisent des huiles essentielles (certains les utilisent de manière préventive et curative).
- Seulement 4 des éleveurs interrogés utilisent les huiles essentielles comme traitement par voie orale
- Ce graphique nous permet d'apprécier la connaissance qu'on les éleveurs sur les huiles essentielles.

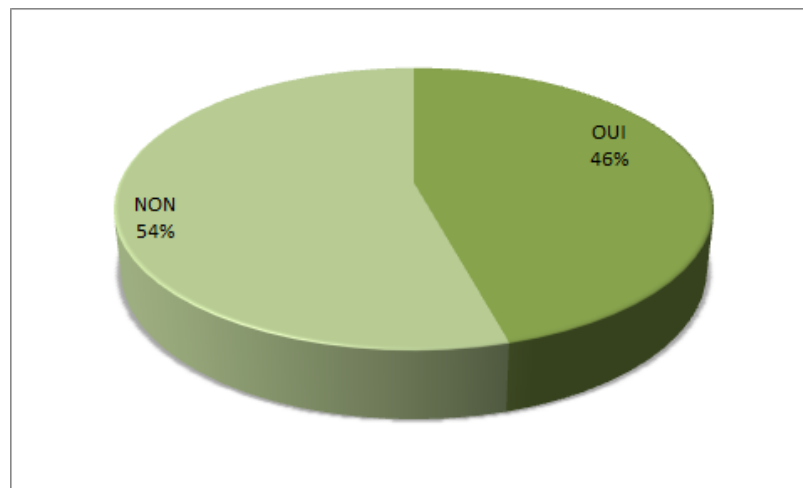
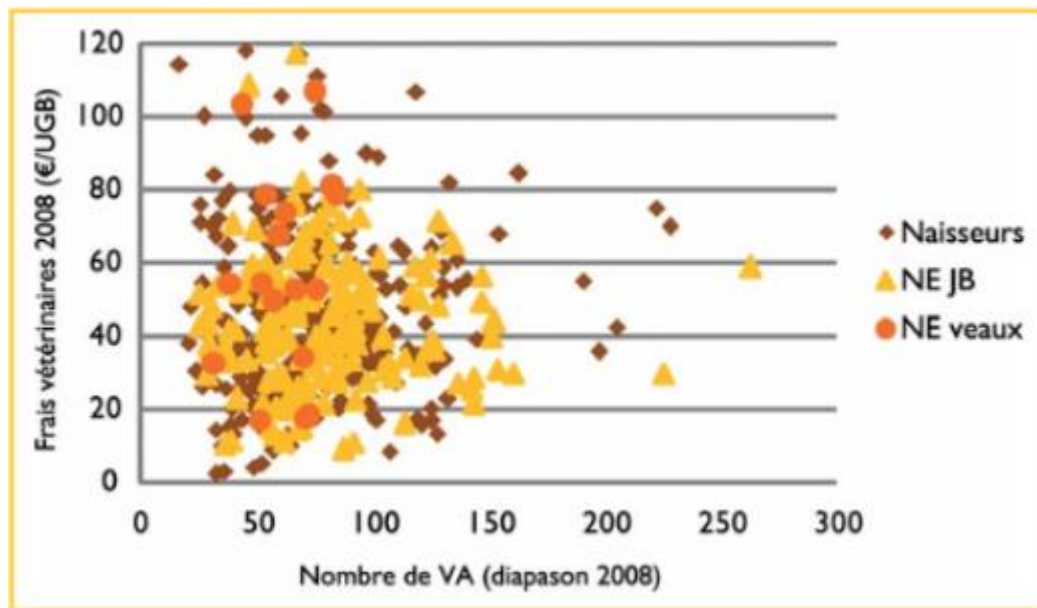


Figure 4 : Répartition de la connaissance des agriculteurs sur les huiles essentielles

En ce qui concerne les coûts vétérinaires, les données de notre sondage ne nous permettent pas d'avoir des résultats significatifs (nous ne savons pas si les valeurs données sont les coûts par tête ou pour toute l'exploitation, et il existe une très grande variabilité des données collectées selon les exploitations).

Nous avons donc fait des recherches complémentaires pour avoir une idée plus précise des frais vétérinaires moyens dépensés par les éleveurs selon les espèces, par an en France. Les résultats sont les suivants :

Pour les élevages bovins allaitants (figure 5) :



Ne = naisseur-engraisseur

JB = Jeune bovin

VA = Vache Allaitante

Figure 5 : Répartition des frais vétérinaires en fonction du nombre de vaches allaitantes [2]

La moyenne des frais vétérinaires des éleveurs s'élève à près de 48 €/UGB/an (Unité Gros Bétail) et on note une dispersion importante : dans les systèmes naisseurs et naisseurs-engraisseurs, la médiane des coûts vétérinaires est identique et se situe autour de 45 €/UGB. La moitié des éleveurs ont des frais compris entre 32 et 60 €/UGB. [2]

En ce qui concerne l'élevage ovin, les éleveurs dépensent en moyenne 4 euros par tête par an. [3] Quant à l'élevage avicole, 10 centimes par tête et par an sont dépensés.

Bilan des résultats : Globalement, les éleveurs n'ont pas une grande connaissance des huiles essentielles. Cependant, une majorité semble intéressée par le projet que nous leur avons présenté. Comme l'illustre la figure 6.

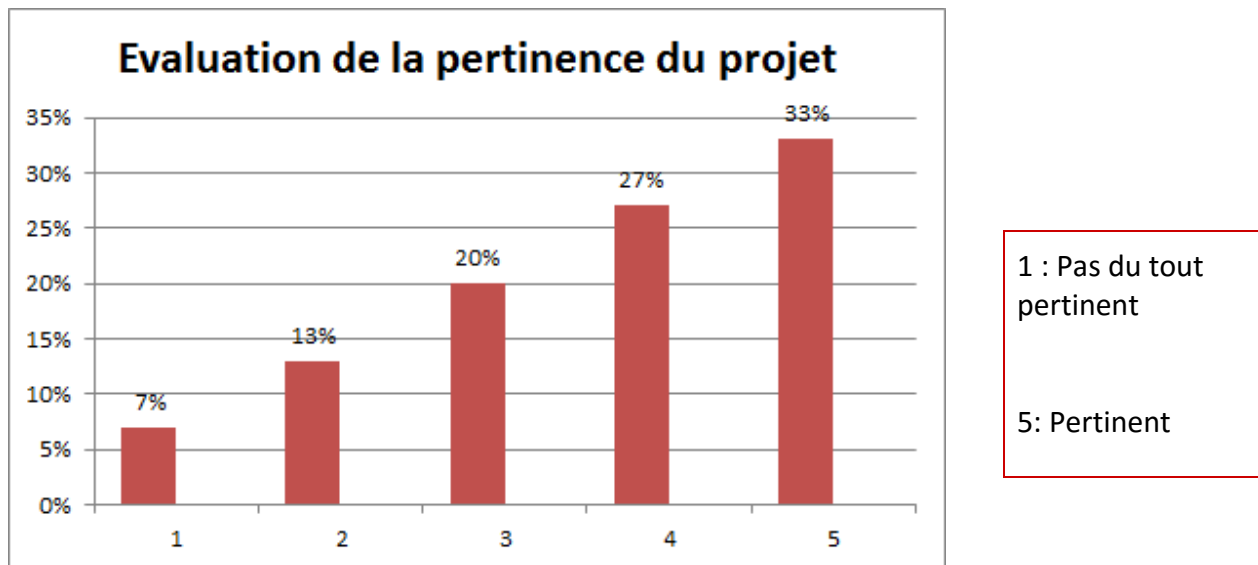


Figure 6 : Evaluation de la pertinence de notre projet par les éleveurs questionnés

La plupart des éleveurs souhaiteraient une garantie de l'efficacité du traitement avant de mettre en place ce système dans leur exploitation. Bien qu'ils soient intéressés par notre projet, ils restent pour l'instant sceptiques. En effet, comme nous le verrons ultérieurement, l'administration des huiles essentielles dans l'eau de boisson est compliquée à mettre en place. C'est pourquoi nous avons réfléchi à d'autres moyens d'utiliser les huiles essentielles sous forme d'émulsion, qui seraient plus faciles d'utilisation.

Conclusion :

- Peu de connaissances sur les huiles essentielles
- Éleveurs qui restent sceptiques sur ce projet
- Trouver d'autres utilisations d'huiles essentielles qui leur conviendraient mieux

Nous avons également cherché à contacter des spécialistes, notamment des vétérinaires sensibles à l'utilisation des huiles essentielles, ainsi que des aromathérapeutes dans le but d'avoir des informations complémentaires sur les huiles essentielles : quelles sont les huiles essentielles les plus utilisées pour chaque espèce, ce qu'elles permettent de soigner et dans quelles quantités les utiliser.

Malheureusement, peu de spécialistes nous ont répondu. Nous avons eu une réponse du comité des vétérinaires pour les méthodes alternatives d'élevage. En effet, Françoise Heitz (vétérinaire et auteur du livre *Santé Naturelle de votre Animal*) nous a informé qu'une vingtaine d'huiles essentielles sont couramment utilisées en élevage chez les ruminants, mais sans nous préciser lesquelles. De plus, lorsqu'elles sont utilisées par voie orale, les huiles essentielles sont généralement diluées dans de l'huile végétale pour faciliter l'administration.

Au niveau des proportions à administrer, une règle de 3 est utilisée pour préparer des flacons pour quelques jours. Nous avons aussi été informés que les huiles essentielles mélangées à des excipients perdent leur valeur thérapeutique au bout d'un mois de mélange. De plus, de nombreuses sources s'accordent pour dire que les huiles essentielles sont plus efficaces lorsqu'elles sont utilisées seules. La solution idéale selon Mme Heitz est donc d'utiliser une huile essentielle à la fois, administrée à un instant t à l'animal.

Nous avons souhaité déterminer quelles sont les huiles essentielles les plus utilisées et pour quels usages elles s'appliquent. Pour les bovins, nous avons trouvé les informations ci-après [4] :

<u>Les huiles anti-inflammatoires</u>	<u>Les huiles anti-infectieuses</u>	<u>Les huiles anti-traumatiques</u>	<u>Les huiles pour le foie et la toxémie</u>
<p>Manuka (<i>HE Leptospermum scoparium</i>) pour les caillies dans le lait. Pouvoir mucolytique et drainant.</p> <p>Eucalyptus citronné (<i>HE Eucalyptus citriodora</i>), en cas d'inflammation de la mamelle (induration, durillon) ou métrite.</p> <p>Litsée (<i>Litsea citrata</i>) à diluer dans un excipient (gel neutre ou huile de macadamia).</p>	<p>Thym vulgaire à thymol (<i>HE Thymus vulgaris à thymol</i>) contre tous types de bactéries.</p> <p>Ravensare écorce (<i>HE Ravensara aromatica</i>).</p> <p>Litsée citronnée (<i>HE Litsea citrata</i>) contre les staphylocoques et streptocoques.</p> <p>Palmarosa (<i>HE Cymbopogon martinii</i>), anti-infectieux, tonifiant et modulant immunitaire.</p>	<p>Hélichrise italienne (<i>HE Helichrysum italicum</i>) pour les plaies, saignements et pour réparer les traumatismes.</p> <p>Tea-Tree (<i>HE Melaleuca alternifolia</i>) pour les métrites et les indurations de la mamelle.</p>	<p>Romarin à verbénone (<i>HE Rosmarinus officinalis à verbénone</i>) pour nettoyer le foie qui peut engendrer des troubles au niveau des articulations, des sabots, des yeux et de l'acidité dans l'organisme.</p>

Tableau 2 : Les huiles essentielles les plus utilisées et leur usage

Les huiles essentielles pourraient être utilisées dans des élevages intensifs, tels que les volailles, où les coûts vétérinaires ne sont pas forcément élevés, mais où le taux de mortalité est important. Dans ce cas, le traitement par huile essentielle pourrait être avantageux en traitement préventif.

B. Visite à la Bouzule et prise en compte des difficultés pratiques

But de la visite :

- Présentation de notre projet et du système émulsifiant à un agriculteur
- Recherche au sein de l'exploitation d'un endroit où installer la machine
- Discussion avec un agriculteur de l'utilisation d'huiles essentielles en élevage

Dans le cadre de notre projet nous avons voulu rencontrer des agriculteurs à qui nous pourrions expliquer et présenter notre projet qui consiste à implanter dans leurs fermes un système émulsifiant à brancher directement sur les conduites d'eau. A la base, le système d'émulsification devait être relié aux abreuvoirs des animaux permettant ainsi un acheminement rapide et facile.

Pour parler de ce projet nous nous sommes donc rendus dans la ferme expérimentale de l'ENSAIA, à la Bouzule. Cette ferme regroupe 270 bovins et des chèvres repartis dans différents bâtiments.

Dans un premier temps, nous avons interrogé le directeur de la Bouzule sur les différents traitements donnés aux animaux. Ils n'utilisent que des antibiotiques en préventif ou curatif et aucune huile essentielle. Nous avons donc discuté avec notre interlocuteur afin de réfléchir à une manière d'intégrer les huiles essentielles au traitement des animaux.

Cependant nous nous sommes rapidement rendu compte sur place de l'existence de certaines difficultés empêchant la bonne mise en place de notre projet.

- L'utilisation des huiles essentielles en tant que traitement curatif demande un traitement individuel et adapté à la pathologie des animaux malades. L'alimentation en huile essentielle de tous les abreuvoirs ne permet pas de répondre à ce besoin individuel.
- Les coûts annuels des soins vétérinaires à la Bouzule s'élèvent à 23000 euros par an dont 2000 euros pour les chèvres.
- Les agriculteurs en agriculture conventionnelle ne sont pas convaincus par l'efficacité des huiles essentielles en tant que traitement.
- Sur la ferme de la Bouzule, chaque bâtiment est relié à une conduite d'eau différente. Il est donc impossible de brancher un seul système émulsifiant pour toute la ferme, mais plutôt un pour chaque bâtiment ce qui augmente nettement le coût d'achat et de mise en place de l'installation.
- Plus particulièrement, dans le bâtiment des vaches laitières, la conduite alimentant les différents abreuvoirs (partagés à niveau constant) alimente aussi la salle de traite et donc les différentes eaux de lavage de celle-ci. Cette eau, mélangée aux huiles essentielles, serait alors retrouvée dans le lait et dans les fromages, le rendant invendable auprès du consommateur. Ceci oblige donc la création d'un système pouvant être coupé de manière manuelle pour stopper l'arrivée des huiles essentielles, évitant ainsi le gaspillage.
- Certaines parcelles de la ferme sont irriguées : l'eau destinée à cette irrigation pourrait être contaminée par des huiles essentielles.

Néanmoins, M. Laflotte a suggéré que le dispositif pourrait être utilisé pour le bâtiment des veaux. En effet, les veaux portent un collier qui leur permet d'avoir des rations de lait personnalisées. Il est donc envisageable de profiter de ce dispositif et d'y associer notre appareil, ainsi les veaux pourraient

activer, via leur collier, la machine et recevoir une dose d'huile essentielle personnalisée, adaptée à une éventuelle pathologie. Nous pourrions donc envisager de brancher notre système émulsifiant directement à la machine qui distribue le lait, permettant ainsi d'avoir des rations d'huiles essentielles spécifiques à chaque animal selon l'éventuelle pathologie.

Conclusion :

- Un agriculteur mal renseigné, et non intéressé par les traitements à base d'huiles essentielles
- Rencontre de certaines difficultés pour pouvoir brancher le système émulsifiant
- Traitement par les huiles essentielles pas forcément adapté à tous les types d'élevages/ de fermes

III. Seconde approche et émergence de nouvelles perspectives

A. Rencontre de nos commanditaires à Bourges

But de la sortie :

- Présentation de notre recherche bibliographique et de l'avancée de notre projet à l'entreprise Génialis.
- Discussion d'autres possibilités dans la distribution des huiles essentielles.
- Visualisation du dispositif d'émulsification au sein de l'entreprise

Avec l'aide de notre tuteur, nous avons organisé un voyage à Bourges le 10 et 11 mars 2016. Nous avons rencontré les différents acteurs en lien avec notre projet.

Soirée Créateurs d'avenir du Cher :

Nous avons assisté à une soirée où plusieurs prix ont été décernés. L'entreprise Génialis, avec laquelle nous travaillons, a été nommée dans la catégorie "Innovation" (avec deux autres projets) pour la mise au point d'un nouveau procédé de fabrication de meringues. L'innovation consiste à utiliser des sirops (MONIN car en collaboration avec Génialis) à la place du sucre afin d'alléger le taux de sucre. L'entreprise a remporté le prix. Nous avons ensuite fait connaissance avec Isabelle Desjardins, la directrice générale de Génialis.



Présentation de Génialis :

Génialis est une entreprise spécialisée dans l'ingénierie d'innovation dans l'agroalimentaire. Elle développe de nouvelles technologies afin de pouvoir créer de nouveaux produits. En effet, certains produits innovants requièrent des technologies qui n'existent pas forcément. L'entreprise Baron, qui fabrique du matériel sur demande des industriels, aide Génialis pour la réalisation d'installations industrielles. Génialis est labellisée Cosmetic Valley et a déjà déposé 4 brevets qui ont été acceptés dont 3 par la PCT (Traité de Coopération des Brevets).

Discussion autour du projet :

Nous avons assisté, au sein des locaux de Génialis, à une réunion avec les différentes parties prenantes du projet : l'équipe Génialis, le groupe de projet pro, ainsi que le doctorant (Ghazi Ben Messaoud) qui travaille sur le projet FUI (application du procédé d'émulsification en parfumerie). Après une brève présentation de Génialis suivie de l'avancée des recherches du doctorant, nous avons échangé sur l'avancée de nos recherches ainsi que sur le poster que nous avons réalisé. Après discussion autour des réponses de notre questionnaire, nous avons relevé que les mammites sont le problème majeur en santé bovine. Or, avant cette réunion, nous pensions que le projet consistait à administrer des huiles essentielles dans l'eau de boisson des animaux uniquement. En effet, nous ne pensions pas que le système d'émulsification pouvait servir, par la suite, à créer des produits de différentes galéniques. Cette découverte a donc ouvert d'autres perspectives. Des idées ont ainsi émergés pour répondre aux demandes des éleveurs. Il serait intéressant de développer une crème à base d'huiles essentielles, sans émulsifiants, pour soigner les mammites ou un spray antiparasitaire. L'idée est donc de contacter les éleveurs et d'essayer de dresser un bilan pour déterminer quelles sont les maladies les plus fréquentes pour chaque type d'animal ainsi que les coûts de traitement de ces maladies. Il faudrait aussi les questionner sur les inconvénients de l'utilisation des soins actuels afin de pouvoir améliorer les choses grâce à nos produits.

Conclusion :

- Perspective de la mise en place de nouveaux produits avec différentes galéniques pour administrer l'émulsion
- Nécessité de recontacter les agriculteurs pour obtenir de nouvelles informations, pour améliorer les soins actuels apportés aux animaux notamment sur le problème des mammites.

B. Seconde prise de contact avec les agriculteurs

But de la prise de contact :

- Déterminer les maladies les plus fréquentes selon les élevages
- Estimer le coût de traitement de ces maladies
- Déterminer, avec les éleveurs la galénique de l'émulsion adaptée à leur besoin

Suite à notre visite à Bourges, nos commanditaires de Génialis nous ont demandé d'essayer de déterminer les maladies les plus fréquemment rencontrées en élevage, le type de traitement pour ces maladies le plus couramment utilisé, et les coûts associés. Nous nous sommes également interrogé sur la galénique du produit que les agriculteurs préféreraient utiliser pour un traitement utilisant des émulsions d'huiles essentielles. Nous avons donc recontacté les éleveurs qui montraient un intérêt particulier pour le projet (grâce aux réponses du questionnaire), afin de pouvoir approfondir avec eux ces points. Nous leur avons proposé plusieurs galéniques et ils nous ont aussi apporté des suggestions.

Afin de simplifier cet échange, nous les avons contactés par téléphone et par mail. Notre liste de contacts d'éleveurs ayant répondu au questionnaire n'étant pas toujours suffisante (nous n'avions que trois contacts pour des éleveurs de porcs par exemple), nous avons décidé d'appeler d'autres élevages.

Lors de nos échanges, la plupart des éleveurs semblaient intéressés par l'utilisation des huiles essentielles. Cependant, comme seulement très peu de personnes les utilisaient déjà, ils n'avaient pas vraiment d'idées sur la forme sous laquelle l'émulsion d'huiles essentielles serait la plus adaptée pour leur usage. De plus, notamment pour les éleveurs de volailles, nous nous sommes rendu compte, à l'aide du questionnaire, et les discussions par téléphone l'ont confirmé, qu'ils n'utilisaient quasiment pas de médicaments, ou des médicaments qui ne peuvent pas être substitués par les huiles essentielles, comme par exemple les vaccins. Le coût par tête des soins est donc peu élevé. Unaniment les éleveurs souhaitent que le traitement par les huiles essentielles soit à un coût équivalent voire inférieur à celui qu'ils ont actuellement.

Tout d'abord et de manière générale, les éleveurs avicoles contactés seraient intéressés par des solutions que l'on pourrait pulvériser sur les animaux ou directement dans les bâtiments, ce qui permet de soigner et de traiter la maladie sans avoir à manipuler tous les individus un par un. Il serait intéressant de développer ce type de produit pour lutter contre les parasites qui leurs posent souvent problème. Les antiparasitaires avec pulvérisation existent déjà mais ceux présents sur le marché contiennent des émulsifiants et des pesticides. Une formule à base d'huiles essentielles émulsionnées sans émulsifiants serait donc un moyen de réduire les additifs dans les formules. En plus du bien-être animal, un tel produit sur le marché pourrait constituer un atout marketing.

Le problème des sprays est la perte par évaporation de molécule active : les huiles essentielles sont des composés très volatils. Une autre alternative à la pulvérisation serait, sur le long terme, l'utilisation sous forme de pommades, mais seulement lorsque les animaux sont de taille moyenne ou petite et que leur nombre est réduit. Dans le cas d'un troupeau ou d'un animal de la taille d'un cheval, cette solution est difficilement envisageable. Les vaporisateurs restent donc à favoriser pour les grands animaux et les pommades pourraient être applicables sur les animaux de compagnie ou pour des applications localisées (voir III C). Mais rien ne semble encore avoir été fait là-dessus aujourd'hui.

Pour les éleveurs porcins, la solution la plus adaptée serait de mélanger les huiles essentielles directement à l'eau de boisson des animaux, surtout pour ce qui est des maladies traitées de manière récurrente (la diarrhée des porcelets par exemple).

Les éleveurs bovins laitiers, quant à eux, sont le plus souvent confrontés à la mammite. Pour eux, appliquer lors de la traite un gel ou une crème directement sur les pies de la vache permet de traiter les animaux malades individuellement, sans prendre trop de temps.

Nous nous sommes alors intéressés au traitement des mammites par les huiles essentielles, et si elles peuvent totalement remplacer les antibiotiques à grande échelle.

Nos recherches nous ont montré que les huiles essentielles peuvent remplacer les antibiotiques. En effet, les huiles essentielles ayant des propriétés anti-infectieuses (*Litsea citrata*, *Cymbopogon martinii*...) et antibactériennes, elles permettent de faire diminuer le taux de cellules en dessous de 200 000 cellules/mL chez 60% des vaches ayant pour la première fois une mammite. Ainsi, le taux de cellules dans le lait est conforme aux réglementations qui stipulent une baisse du prix du lait si celui-ci est supérieur à 400 000 cellules/mL. [5]

Cependant, le traitement est nettement moins efficace pour les animaux ayant déjà eu un cas de mammites comme le montre les graphes suivants (figure n°7) :

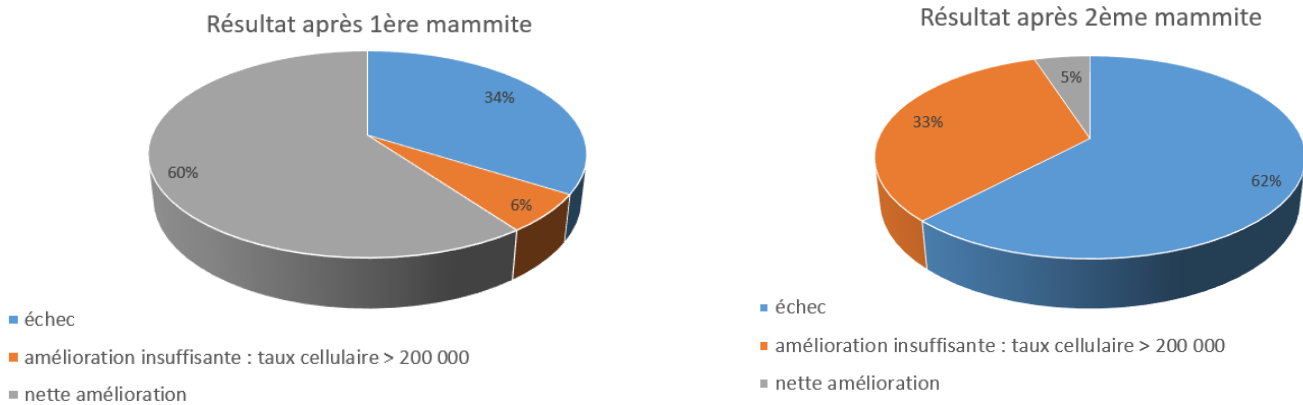


Figure 7 : Résultat après l'utilisation d'un traitement aux huiles essentielles sur des mammites chez la vache

Ces applications d'huiles essentielles ne peuvent se faire en mélange car celui-ci diminue l'efficacité du traitement. C'est pourquoi, il est préférable de les appliquer unitairement, et ce à différents endroits, ou avec un certain intervalle de temps.

Afin d'obtenir une efficacité optimale, il est donc préférable d'utiliser une seule huile essentielle à la fois, et ce pendant plusieurs jours, sur des vaches ayant une mammite pour la première fois. Cela nous conforte dans l'idée qu'une application en gel serait adaptée pour l'éleveur du fait de sa facilité d'application. [5]

Les élevages ovins font face à un problème similaire que celui rencontré par les élevages avicoles : les parasites. La galénique cependant devrait être sous deux formes selon que le parasite soit externe (poux, puces, etc.), là un spray est plus adapté ou interne, là une dilution dans l'eau de boisson serait la forme la plus simple d'utilisation.

Conclusion : Ces résultats sont récapitulés dans le tableau suivant (tableau n°3) :

Animal	Volaille	Bovin	Porc	Ovin
Principale "maladie"	Coccidiose, parasites	Mammite	Diarrhée juvénile	Parasites
Forme de traitement	Spray sur l'animal ou dans les locaux	Gel ou crème à appliquer sur les mamelles	Dilution dans l'eau de boisson	Spray ou dilution dans l'eau de boisson

Tableau 3 : Type de maladie et mode de traitement par animal

C. Continuité du projet

Pour améliorer le produit et qu'il soit le plus adapté aux besoins des éleveurs, il faudrait continuer à enquêter auprès d'eux pour avoir des réponses plus variées, mais aussi cibler le type d'élevage souhaité pour avoir un panel de réponses plus fiables. Cependant, au vu des retours que nous avons actuellement, le mode de traitement le plus adapté dépend surtout du type d'animal traité.

Pour finaliser notre projet nous pensions dans un premier temps trouver un ou plusieurs éleveurs avec qui nous pourrions élaborer une première émulsion qui serait la plus adéquate en fonction des besoins de l'éleveur. Cette collaboration nous permettrait de tester notre produit dans des conditions réelles d'utilisation et de voir s'il répond vraiment aux besoins et aux contraintes du terrain.

Nous souhaitons aussi établir un contact avec la chambre d'agriculture de Lorraine dans le but de leur présenter notre projet et de trouver, chez eux, un soutien local et un lien plus direct avec les éleveurs.

D'autre part nous avons réfléchi à des applications d'huiles essentielles aux animaux mais également aux plantes. Pour cela nous avons cherché, à partir des connaissances que nous avons déjà, des traitements susceptibles d'être remplacés par des émulsions d'huiles essentielles. Nous avons ainsi détaillé l'application des huiles essentielles dans certains domaines qui nous semblent pertinents.

a) Utilisation antiparasitaire plus large

Nous avons déjà pensé utiliser les huiles essentielles comme moyen de lutte contre les parasites pour les élevages avicoles et les élevages ovins. Nous pouvons envisager d'étendre cette utilisation des huiles essentielles à d'autres animaux, que ce soit dans l'élevage, mais aussi pour les animaux domestiques.

Il faut cependant faire attention, les animaux ne sont pas égaux face aux huiles essentielles. Par exemple, les porcs sont fréquemment sujets à des problèmes pulmonaires, l'idée d'utiliser un spray contre les parasites externes n'est donc pas adaptée, une crème ou un gel serait plus approprié. Pour les animaux domestiques, comme les chats, qui sont très sensibles aux odeurs et ne possèdent pas d'enzymes pour la digestion des huiles essentielles, des traitements avec des huiles semblent totalement inadaptés.

En revanche, d'autres animaux comme les vaches ou les chiens, sont beaucoup plus conciliants quant à l'usage des huiles essentielles. Il serait donc possible de développer des émulsions antiparasitaires pour ces animaux.

Les émulsions sans émulsifiant semblent donc largement applicable dans le domaine de la santé animale aussi bien en élevage que pour les animaux de compagnie. De telles émulsions représentent un atout marketing dans une ère où le bien-être animal et le respect de l'environnement sont au centre des préoccupations. En ce qui concerne l'utilisation d'huiles essentielles dans ces émulsions, il reste cependant nécessaire de prendre du recul. Tous les animaux n'ont pas la même

sensibilité vis-à-vis de celles-ci, il faut donc prendre d'importantes précautions quant aux concentrations utilisées.

Après avoir étudié le domaine animal nous nous sommes penchés sur les cultures végétales. En effet le domaine de l'agriculture est vaste et ne se réduit pas à l'élevage animal.

b) Applications végétales

En pleine période de débats autour de l'utilisation d'herbicides puissants tels que le "Round Up", de pesticides et avec le lancement du plan Ecophyto 2018, de nombreuses méthodes de luttés contre les adventices et les ravageurs voient progressivement le jour. L'utilisation des huiles essentielles en protection des cultures fait partie des pistes étudiées depuis les années 2010.

Différentes huiles essentielles ont été testées pour faire face aux différentes menaces des cultures [6] : insectes, microorganismes, adventices, ... Bien qu'il ne s'agisse encore que de projets expérimentaux et qu'il faudra encore quelques années avant d'avoir des résultats certains et précis sur l'efficacité et les conséquences des huiles essentielles sur les cultures, cette application des huiles essentielles n'est pas à négliger. Le marché des protections des cultures fait actuellement face à de nombreux changements avec l'interdiction d'un nombre croissant d'herbicides et de fongicides par exemple.

Cependant les contraintes législatives qui s'appliquent aux traitements des cultures restent strictes et ne facilite pas le développement de méthodes alternatives telles que l'utilisation des huiles essentielles. Bien que pour le moment il n'y ait encore beaucoup de résultats et que ce soit une méthode coûteuse du fait du prix des huiles essentielles, dans le futur l'utilisation des huiles essentielles pour lutter contre certains ravageurs sensibles aux odeurs ou incapables de digérer les huiles essentielles pourrait représenter un réel progrès.

En conclusion, les champs d'applications des huiles essentielles dans le domaine de l'agriculture sont vastes et constituent de véritables niches de recherches pour l'avenir.

Associées à des émulsions sans émulsifiants, ces applications semblent posséder suffisamment d'atouts pour être développées. Néanmoins il ne faut pas négliger que la production en quantités suffisamment importantes d'huiles essentielles reste le principal facteur limitant quant à la diversification de leur utilisation en agriculture. De même au-delà de la recherche, pour une réelle mise en place, il faudrait pouvoir émulsionner de grandes quantités.

De plus, de nombreuses contraintes législatives existent et nécessiteraient d'être étudiées de plus près avant de développer plus largement le procédé en agriculture.

c) Contraintes législatives

Pour réaliser ce test, nous avons pris contact avec la DRAAF (Directions de Régionales de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt) et la DGAL (Direction Générale de l'Alimentation), car nous souhaiterions obtenir un soutien financier et faire progresser le projet en lançant des expériences pilotes chez certains éleveurs.

Cependant, suite à ces rencontres avec les différents acteurs du monde agricole, notamment M. Bernard GANNE de la DRAFF, nous avons pris conscience d'un problème auquel nous n'avions pas pensé. Initialement, nous nous étions concentrés uniquement sur la faisabilité technique du projet, car c'était là la partie principale. Nous ne nous sommes pas préoccupés du cadre législatif, d'autant plus que les éleveurs semblaient utiliser les huiles essentielles sans beaucoup de contraintes vétérinaires. Cependant, suite à des recherches et à l'entretien avec M. Bernard GANNE, nous avons découvert que l'administration de substances à un animal, dans le cadre de thérapies alternatives, nécessite le recours soit à des médicaments vétérinaires disposant d'une autorisation administrative délivrée par l'ANMV (*Agence Nationale du Médicament Vétérinaire*), soit à des préparations magistrales sur prescription vétérinaire. Elles ne peuvent en aucun cas être utilisées directement par les détenteurs d'animaux dans le cadre d'automédication. Cette pratique est pourtant, pour l'instant, tolérée pour les huiles essentielles. En effet, si ces produits revendiquent des effets thérapeutiques, cela les fait entrer d'emblée dans la catégorie des médicaments, ce qui implique de satisfaire au critère d'efficacité et l'obtention d'une AMM (Autorisation de Mise sur le Marché) préalablement à leur utilisation.

Nous faisons donc face au problème suivant : nous souhaitons délivrer un produit (gel, crème, émulsion liquide) aux éleveurs, or ce produit ayant pour but de soigner les animaux, il est considéré comme un médicament. Il faut donc d'abord obtenir une AMM pour pouvoir continuer notre projet comme nous le souhaitons et espérer pouvoir faire des tests grandeur nature. Une AMM est délivrée pour un ou plusieurs usages précis, une dose d'emploi déterminée et d'éventuelles prescriptions particulières d'emploi.

Face à ce problème de taille, nous allons donc commencer des démarches administratives pour que le produit fini, l'émulsion d'huiles essentielles, soit reconnu par les organismes vétérinaires et que nous puissions continuer le projet.

Mais quelle que soit l'utilisation des huiles essentielles, il reste le problème majeur de leur production en grande quantité.

Conclusion générale

Avant même de rentrer dans la phase de projet, nous nous sommes tout d'abord documenté sur les émulsions. La réalisation de notre synthèse bibliographique nous a permis d'entamer notre projet dans de bonnes conditions. Notre premier objectif était de proposer aux éleveurs une machine réalisant des émulsions d'huiles essentielles et les distribuant dans l'eau de boisson des animaux. Pour commencer, nous avons tout d'abord réalisé un questionnaire destiné aux éleveurs pour recueillir des informations sur les moyens de traitements de leurs animaux et voir si notre projet les intéressait. Suite à leurs réponses, nous avons constaté que les huiles essentielles sont peu utilisées par les éleveurs. De plus, ces derniers ont peu de connaissances sur le sujet et restent plutôt sceptiques sur la viabilité du projet. La visite à la ferme expérimentale de la Bouzule nous a confronté à un autre problème majeur, commun à la majorité des exploitations : la difficulté de mettre en place un tel dispositif au sein des exploitations. Face à ces constats, nous avons dû trouver de nouvelles perspectives. La rencontre avec nos commanditaires à Bourges nous a aidé dans ce sens car plusieurs idées d'utilisation des huiles essentielles sous forme d'émulsions ont été proposées. Nous avons entrepris de recontacter les éleveurs pour avoir des précisions sur les types de maladies les plus fréquentes dans leurs élevages. Ces informations nous ont permis d'avoir une idée plus précise quant aux types d'applications des émulsions que nous souhaitons proposer. Cependant, après s'être renseigné sur la commercialisation d'un produit vétérinaire, nous nous sommes rendu compte qu'il est nécessaire de détenir une Autorisation de Mise sur le Marché (AMM). Afin de poursuivre ce projet, il serait intéressant d'établir des démarches administratives auprès d'organismes qualifiés pour espérer poursuivre ce projet.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Cours Mlle Kaci, Laboratoire Libio Université de Lorraine

[2] Les pratiques sanitaires dans les élevages bovins allaitant, enquête annuelle 2010 des réseaux d'élevage, réseaux d'élevage pour le conseil et la prospective, collection Théma

[3] Création d'un atelier ovin, une réelle opportunité offerte aux exploitations, réseau d'élevage pour le conseil et la prospective, collection Théma

[4] Web-agri.fr: Article : Aromathérapie: Les quelques huiles essentielles aux éleveurs, par Robin Vergonjeanne, le 21/07/2014

[5] Actes du colloque, 24 mars 2014, par Agrocampus Ouest – Rennes

[6] Les huiles essentielles dans la protection des cultures, iteipmai

ANNEXES

Santé animale : pratiques au quotidien dans votre exploitation

Étudiants en 1ère année à l'ENSAIA (école d'ingénieurs en agronomie et industrie alimentaire à Nancy), nous nous permettons de solliciter votre aide dans le cadre d'un projet professionnel de notre cursus. Nous souhaitons mettre au point une technologie permettant la distribution d'huiles essentielles thérapeutiques émulsionnées dans l'eau de boisson des animaux. Ce projet, à terme, a pour but de permettre la diminution des quantités d'antibiotiques utilisées dans les élevages et donc de faire face aux problèmes d'antibiorésistance. Nous souhaitons donc récolter quelques informations grâce aux réponses de ce questionnaire qui ne vous prendra pas plus de 5 minutes à remplir. Merci d'avance.

Vos Coordonnées*

Veillez renseigner NOM, prénom, tél et mail

Quelle est la surface de votre exploitation (en ha) ?*

Type d'élevage et nombre de tête par espèce :*

Quel est le débit de votre canalisation reliée à l'abreuvoir ?

Pas de réponse s'il n'y a pas d'alimentation en continu (bassine).

Quel est le débit de votre canalisation reliée à l'abreuvoir ?

Pas de réponse s'il n'y a pas d'alimentation en continu (bassine).

Préférez-vous traiter vos animaux de manière préventive ou curative ?

- Préventif
- Curatif
- Indifférent

Autre :

Parmi ces traitements lesquels utilisez-vous de manière préventive ?*

- Antibiotiques
- Compléments alimentaires (vitamines, minéraux,...)
- Huiles essentielles
- Aucun

Autre :

Type d'accès à l'eau*

- Abreuvoir automatique individuel
- Abreuvoir automatique partagé
- Bassine commune

Autre :

Pour chacun des traitements sélectionnés, quel est le mode d'administration ?*

Par injection, par voie orale (dans la nourriture, dans la boisson ou autres), par voie colorectale...

Annexe 1 : Exemple du questionnaire envoyé par mail aux éleveurs

	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai
<i>Recherche bibliographique</i>								
<i>Mise au point du poster</i>								
<i>Visite à la bouzule</i>								
<i>Questionnaire aux agriculteurs</i>								
<i>Visite aux industriels</i>								
<i>Rédaction du rapport final</i>								

Annexe 2 : Démarche de notre projet

REMERCIEMENTS

Nous souhaitons remercier toutes les personnes qui ont pris part à notre projet et nous ont permis de le réaliser. Plus particulièrement à l'entreprise Génialis et le groupe Baron sans qui ce projet n'existerait pas et qui nous ont gentiment accueilli dans leurs locaux. Nous remercions aussi tous les agriculteurs qui ont répondu à notre questionnaire et à nos appels. Enfin, nous ne pouvons pas oublier M. Desobry, qui nous a aidé et guidé tout au long de l'année.