

Projet de groupe



Gembloux Agro-Bio Tech
Université de Liège

Etude des possibilités de développer la production de poulets de chair bio grâce à l'utilisation de l'armoïse annuelle

Marta Ferandez Real

Patrik Gauder

Elsa Jorquera Iglesia

Emérence Schillings

Sophie Serderidis

Gilles Stouvenakers

2^{ème} Master en sciences agronomiques



Table des matières

Résumé	5
1 Introduction.....	6
2 La coccidiose	6
2.1 Son importance chez le poulet de chair	6
2.2 Le traitement à l'aide d'armoise	7
3 Le poulet de chair Bio.....	8
4 L'artémisinine	9
4.1 Les composants d' <i>Artemisia annua</i> , substances bioactives et description.....	9
4.2 Le potentiel thérapeutique	9
4.3 L'artémisinine dans la plante	10
5 La production d' <i>Artemisia annua</i> en Belgique	10
5.1 La plante	10
5.2 L'installation de la culture	10
5.2.1 Le semis	10
5.2.2 La préparation du sol.....	11
5.2.3 La plantation	11
5.2.4 La récolte	11
5.2.5 La rotation et les cultures associées	11
5.3 Les maladies	11
5.4 Le rendement en artémisinine influencé par la méthode de production.....	12
5.5 Une alternative.....	12
6 La possibilité économique de la production d' <i>Artemisia annua</i> en Belgique.....	13
6.1 La production de feuilles d'armoise annuelle séchées et broyées (annexe V.1)	13
6.2 La production de poudre d'extrait d'armoise annuelle (annexe V.3).....	14
6.3 Le marché potentiel	15
7 Les matériels et méthodes	16
7.1 Les infrastructures.....	16
7.2 Les animaux.....	16

7.3	La production de la poudre	17
8	Les résultats statistiques.....	18
8.1	Les conditions d'application	18
8.2	L'analyse de la variance	18
9	La discussion des résultats	18
10	La bibliographie	20
10.1	Les articles scientifiques	20
10.2	Les sites internet	22
11	Annexes.....	23
11.1	Annexe I : La coccidiose	23
11.2	Annexe II : Le poulet de chair bio	23
11.3	Annexes III : L'artémisinine	23
11.3.1	Annexe 1 : Le potentiel thérapeutique	23
11.3.2	Annexe 2 : La composition des différents tissus d' <i>Artemisia annua</i>	23
11.3.3	Annexe 3 : L'analyse nutritionnelle des différents tissus d' <i>Artemisia annua</i>	24
11.3.4	Annexe 4 : La composition des substances antinutritionnelles dans les différents tissus d' <i>Artemisia annua</i>	24
11.3.5	Annexe 5 : La composition minérale des différents tissus d' <i>Artemisia annua</i>	24
11.3.6	Annexe 6 : Le profil des acides aminés constitutionnels dans les différents tissus d' <i>Artemisia annua</i>	25
11.3.7	Annexe 7 : La concentration en vitamines A et E dans les différents tissus d' <i>Artemisia annua</i>	25
11.3.8	Annexe 8 : Les structures de l'artémisinine et de ses dérivés semi-synthétiques	26
11.4	Annexe IV : Précisions sur une étude concernant la capacité antifongique de <i>A. annua</i>	26
11.5	Annexe V : Production économique	27
11.5.1	Annexe 1 : Les coûts de production de feuilles sèches broyées d'armoise annuelle	27
11.5.2	Annexe 2 : Les coûts de production, inclus les investissements dans les installations de séchage, de feuilles séchées broyées d'armoise par poulet de chair et pour différents dosages	27
11.5.3	Annexe 3 : Les coûts de production d'extrait de feuilles sèches d'armoise annuelle	28
11.5.4	Annexe 4 : Les coûts de production d'extrait de feuilles sèches d'armoise annuelle par poulet de chair et à différents dosages	28

11.5.5	Annexe 5 : Les conditions dans lesquelles a été effectuée l'analyse	28
11.6	Annexe VI : Le matériel et les méthodes utilisés.....	29
11.6.1	Annexe 1 : La batteuse.....	29
11.6.2	Annexe 2 : Le séchage	29
11.6.3	Annexe 3 : Le broyage	29
11.7	Annexe VII : Les résultats de l'expérimentation	30
11.7.1	Annexe 1 : Le modèle statistique utilisé	30
11.7.2	Annexe 2 : La consommation journalière au cours des semaines par poulet en g	30
11.7.3	Annexe 3 : Indice de consommation (g d'aliment/g de poulet) en fonction de la concentration en armoise	31
11.7.4	Annexe 4 : La consommation journalière (g/j) en fonction de la concentration en armoise	31
11.7.5	Annexe 5 : L'évolution du poids des poulets (g) au cours des semaines.....	32
11.7.6	Annexe 6 : Le gain quotidien moyen (g/j) au cours des semaines.....	32
11.7.7	Annexe 7 : Le gain quotidien moyen (g/j) en fonction de la concentration en armoise..	33
11.7.8	Annexe 8 : L'analyse de la variance pour le GQM.....	33
11.7.9	Annexe 9 : L'analyse de la variance pour l'indice de consommation.....	34
11.7.10	Annexe 10 : L'analyse de la variance pour la quantité d'aliments d'ingérée	35

Résumé

L'*Artemisia annua* L. fait actuellement beaucoup parler d'elle, notamment en raison des vertus de l'artémisinine pour lutter contre la malaria. En effet, cette plante est capable de dynamiser le système immunitaire. En outre, dans la littérature, celle-ci a montré des effets positifs en termes de contrôle de la coccidiose et d'amélioration des performances de croissance chez les poulets de chair.

La coccidiose est une maladie préoccupante au niveau européen chez les poulets de chair. Elle entraîne chaque année d'importantes pertes économiques. Si certains produits chimiques existent pour contrôler cette infection, ils sont toutefois interdits en agriculture biologique. Les aviculteurs bio sont donc toujours à la recherche d'alternatives.

Une étude sur l'utilisation et la production potentielles d'*Artemisia annua* L. en Belgique peut donc s'avérer intéressante.

L'expérience réalisée a pour objectif de mettre en évidence les qualités d'*Artemisia annua* L., produite à Gembloux, dans l'alimentation des poulets de chair bio « Coqs des Prés ». Pour ce faire, trois régimes ont été comparés : aliment traditionnel, aliment traditionnel additionné de 0,5% et 1,5% de feuilles d'*A. annua* L. séchées et broyées. Deux répétitions de chaque régime ont été réalisées à savoir, pour les poulets légers et les lourds. L'expérience s'est déroulée durant trois semaines (novembre 2014). A l'issue de celle-ci, trois paramètres ont été étudiés à savoir, le gain quotidien moyen, l'indice de consommation et la quantité d'aliments ingérée.

L'analyse statistique des résultats n'a pas montré de différences significatives entre les différents régimes. Ceci pourrait être expliqué par l'origine « tout venant » des plantes utilisées ainsi que leur faible et variable concentration en artémisinine. De plus, les poulets étaient sains à l'origine et ont été conduits avec un aliment complet, dans des conditions fermées, où le risque de contaminations parasitaires est faible. L'effet dynamisant du système immunitaire de l'*A. annua* L. n'a pas pu être mis en évidence. Par contre, ce résultat a pu révéler que l'ajout à une concentration de 0.5% ou de 1.5% de cette plante n'a pas eu d'influence négative sur les performances de la volaille (GQM), ni sur son appétence (Indice de consommation et quantité d'aliments ingérée). Pour une prochaine expérimentation, il serait intéressant de tester l'apport d'*A. annua* L. durant la période de déficit immunitaire des poulets pour limiter la diminution des performances.

En ce qui concerne la possibilité de mise en culture d'*A. annua* dans nos régions, celle-ci est a priori tout à fait envisageable. En effet, cette plante ne semble pas présenter de bio-agresseurs préoccupants. Toutefois des précautions en termes de rotation ou de cultures associées sont à prendre en considération et ce, à cause des effets allélopathiques que comporte *A. annua* L.

Pour terminer, il faut préciser que selon une étude réalisée au Danemark (Skovmand, 2014) la production et l'utilisation de poudre de feuilles d'*A. annua* L. est économiquement possible et équivalente aux produits conventionnels employés à l'heure actuelle.

1 Introduction

Les maladies bactériennes et parasitaires comme la coccidiose, l'entérite nécrotique et l'histomonose sont à l'origine de pertes de production considérables chez les poulets de chair. En 2011, l'Union européenne (UE) comptabilisait plus de 6 milliards de poulets de chair et les pertes dues à la coccidiose avoisinaient les 285 millions € chaque année au niveau de l'UE ; ceci étant le résultat d'un ratio de conversion alimentaire moins efficace et du coût des traitements prophylactiques.

Actuellement, les traitements les plus fréquemment employés consistent en une utilisation prophylactique de coccidiostatiques, d'histomonostatiques et d'antibiotiques de synthèse placés dans l'alimentation des poulets de chair. Toutefois, l'apparition de résistance et de résidus de produits au niveau des denrées alimentaires poussent l'UE à vouloir les éliminer du marché. En outre, l'agriculture biologique interdit l'emploi de médicaments de synthèse à titre prophylactique. Cependant, à l'heure actuelle, aucune alternative n'existant, l'interdiction a dès lors été reportée.

Pour ces raisons, des recherches sur des méthodes alternatives ont été effectuées et ont mené vers les substances d'origine végétale. L'armoise annuelle (*Artemisia annua* L.) a été proposée pour les vertus antimicrobiennes de ses feuilles. En effet, l'artémisinine, son composé actif, comporte des propriétés anti-protozoaires et est actuellement largement utilisée contre le paludisme. En conséquence, l'utilisation de feuilles d'*Artemisia annua* L. pourrait être une solution à la lutte contre la coccidiose chez les poulets de chair. En outre, les feuilles d'armoise annuelle auraient également des effets positifs sur les performances de croissance des poulets de chair.

Notre projet a donc consisté à étudier les possibilités de développer la production de poulets de chair bio grâce à l'utilisation d'*Artemisia annua* L. Pour ce faire, les objectifs de ce travail étaient de deux types :

- Identifier les contraintes au développement de la culture d'armoise annuelle en Wallonie dans le cadre de la production de compléments alimentaires pour les poulets de chair ;
- Réaliser un essai d'alimentation de poulets de chair en vue de déterminer si un complément d'armoise (à différentes concentrations et dépourvu d'anticoccidien et d'antibiotique) modifie les performances et les ingestions des poulets de chair en comparaison avec celles obtenues avec un aliment complet conventionnel.

2 La coccidiose

2.1 Son importance chez le poulet de chair

La coccidiose fait partie des maladies les plus fréquentes chez les volailles. En agriculture biologique, où la prévention médicale de la coccidiose est interdite, les pertes causées par cette maladie sont encore plus importantes. Le contrôle de la maladie par des méthodes alternatives telles que l'utilisation de l'*Artemisia annua* ou d'extraits de celle-ci devient alors indispensable.

L'agent étiologique de la coccidiose est un protozoaire parasite obligatoire, appartenant au genre *Eimeria*. Les espèces de coccidies varient en fonction des espèces aviaires. Les principales espèces de coccidies du poulet sont : *E. acervulina*, *E. necatrix*, *E. maxima*, *E. brunetti*, *E. tenella*, *E. mitis* et *E.*

praecox. La maladie peut se transmettre par des vecteurs mécaniques ou par des insectes, mais la transmission la plus importante est celle d'individu à individu par les fèces.

En outre, la maladie est plus fréquente chez les poulets de chair que chez les poules pondeuses.

Généralement, l'hôte supporte bien le parasite, mais tout affaiblissement du système immunitaire est favorable à l'expression de la maladie. Les dommages cliniques vont surtout dépendre de la dose infestante et du degré d'immunité de l'animal. En plus des dommages mécaniques au niveau de l'intestin, les symptômes peuvent aller d'une décoloration de la peau à une perte de performance, la diarrhée et la mort.

Les dégâts économiques sont principalement dus aux pertes de performance causées par le risque d'infections secondaires et par l'endommagement des tissus de l'intestin. Ce dernier est responsable d'une diminution de la prise alimentaire et de l'absorption des nutriments. Les signes cliniques ne sont pas très spécifiques et les coinfections sont fréquentes. La meilleure méthode pour diagnostiquer la maladie est de réaliser un grattage de la muqueuse intestinale et d'observer les oocystes au microscope. Le comptage des oocystes dans les fèces permet notamment de suivre l'évolution de la contamination de l'élevage.

2.2 Le traitement à l'aide d'armoise

Le respect des mesures sanitaires dans l'élevage est très important si l'on désire limiter le risque d'infestation. Dans le but de prévenir la maladie, on peut également faire l'usage des anticoccidiens synthétiques en tant qu'additifs dans l'eau d'abreuvement. La vaccination et l'acquisition d'une immunité solide n'est pas une option intéressante en élevage de poulet, du fait de leur durée de vie trop courte. A l'heure actuelle, les principaux traitements possibles lors de l'apparition de la maladie sont les anticoccidiens de synthèse tels que le toltrazuril, le sulfonamide, l'amprolium et le lasalocid, dans l'alimentation ou dans l'eau.

En raison des risques de développement de résistance à ces agents thérapeutiques ainsi que par souci de présence de résidus de médicaments dans les produits alimentaires, l'UE considère leur retrait progressif. Toutefois, n'ayant à l'heure actuelle pas de solutions alternatives valables, la décision de mise en œuvre de l'interdiction a été reportée.

Il est connu depuis longtemps que l'artémisinine, la lactone sesquiterpène bioactif principal d'*A. annua*, présente une grande efficacité contre le plasmodium. D'autres études plus récentes ont montré que l'artémisinine et ses molécules connexes sont également efficaces contre les autres protozoaires parasites, tels que les coccidies. Plusieurs études montrent que la croissance du parasite est inhibée chez les poulets nourris avec des rations à base d'*A. annua*, tout comme avec un traitement anticoccidien commercial. En outre, ce traitement améliore l'immunité cellulaire et humorale et augmente la prise alimentaire, ce qui entraîne un gain de poids et de performance des poulets.

Une étude sur les effets toxico-pathologiques de l'artémisinine sur le poulet a montré que les premiers effets néfastes, tels que la dépression et une faible dégénération de certains organes, apparaissaient seulement à partir d'une dose de 2.5 grammes d'artémisinine pure par kg d'aliment, administrée pendant 40 jours. Il a donc été conclu que l'artémisinine a une bonne marge de sécurité dans la volaille mais, à des doses très élevées, elle peut causer des effets indésirables.

Des différentes études réalisées, on peut déduire que la poudre de feuilles ou d'extraits d'*A. annua* administrés en tant qu'additif dans l'alimentation ou dans l'eau constitue une alternative intéressante pour les anticoccidiens synthétiques. D'autant plus que les coûts liés à son utilisation en tant qu'additif se rapprochent des coûts des traitements conventionnels.

3 Le poulet de chair Bio

L'élevage de poulets Bio garantit non seulement des pratiques d'élevage respectueuses des animaux, mais fournit également une viande de qualité très appréciée par les consommateurs. Il s'agit d'une branche de production en plein essor. Le nombre de poulets de chair bio élevés en Région wallonne s'élevait à 1.462.092 poulets en 2013. La filière poulet de chair a connu une croissance linéaire avec une progression de +5,5% entre 2012 et 2013.

Cette production de poulets de qualité différenciée, produite à partir de souches à croissance lente ou intermédiaire est présente principalement en Wallonie, et a quintuplé depuis 2000. Elle est destinée à la consommation intérieure et à l'exportation. Environ 10% des consommateurs belges ont acheté de la volaille bio en 2013.

Les conditions à respecter pour une production de poulets de chair Bio sont :

- **Poids et âge de l'abattage** : 2-2,2 kg et 81 jours (70 jours minimum).
- **Alimentation** : Bio, OGM contrôlée, 100% végétale, sans acides aminés de synthèse. 50 % des aliments pour animaux doivent provenir de la ferme ou en coopération avec d'autres agriculteurs biologiques.
- **Bâtiment** : La surface totale de bâtiments agricoles utilisables pour des volailles de chair est limitée à 1 600 m² avec 10 poulets /m². La lumière artificielle est autorisée dans les bâtiments avicoles avec un maximum de 16 h de jour (naturelle et artificielle) soit un minimum de 8 h de repos nocturne en continu sans lumière artificielle.
- **Parcours** : Les animaux doivent avoir accès à un parcours de plein air principalement herbeux (qui peut être partiellement couvert) durant au minimum un tiers de leur vie correspondant à 4m²/poulet.
- **Santé** : La coccidiose se développe lors de mauvaises maîtrises des conditions d'élevage ou de l'alimentation (des carences en protéines pouvant aggraver l'infection). Pour lutter efficacement contre elle, il existe plusieurs moyens : tels que le vaccin Paracox® qui est homologué en aviculture bio, un nettoyage et une désinfection rigoureuse, un vide sanitaire bien respecté (2 mois).

Au sud de la Belgique, une association d'aviculteurs indépendants Bio (CORPOBEL) propose le Coq des Prés, un poulet de chair, campagnard issu du terroir. Ces éleveurs s'engagent à respecter une charte bio et les qualités organoleptiques de leur produit.

Les poulets Coq des Prés ont une période de croissance de 70 jours minimum, ils ont été sélectionnés à partir de souches à croissance lente. Chaque lot ne peut pas dépasser les 4800 poulets. Leur alimentation est végétale (au moins 65% de céréales) et ne doit pas comporter d'OGM, ni d'acides aminés de synthèse.

4 L'artémisinine

4.1 Les composants d'*Artemisia annua*, substances bioactives et description

L'armoise annuelle contient une large gamme de composants bioactifs qui ont pu être mis en évidence dans différentes parties de la plante. Ces composés sont des flavonoïdes, des coumarines, des stéroïdes, des composés phénoliques, des purines, des lipides, des composés aliphatiques, des monoterpénoïdes, des triterpénoïdes et des sesquiterpénoïdes (Bhakuni *et al.*, 2001). Dans ce mélange de composés, même si il est fort probable qu'il y ait un effet cocktail, les molécules les plus importantes, pour leurs actions bénéfiques sur la santé, sont les sesquiterpénoïdes et les flavonoïdes. Les flavonoïdes (action d'antioxydant) pourraient d'ailleurs agir en synergie (meilleures biodisponibilité et activité du phytocomplexe) avec l'artémisinine (Baraldi *et al.*, 2008 ; Ferreira *et al.*, 2010 (b)) qui est le composant majeur des sesquiterpénoïdes. Les autres membres des sesquiterpénoïdes présents dans l'armoise sont notamment l'acide artémisinique, l'acide dihydroartémisinique et l'arteannuine b qui sont les principaux précurseurs de l'artémisinine. L'effet du séchage sur l'artémisinine et ses transformations est détaillé de manière précise dans l'**Annexe VI.2**.

La plante d'armoise, et plus particulièrement les feuilles et les inflorescences sont également une source de nutriments et d'antioxydants non négligeable et cela avec des facteurs antinutritionnels négligeables et une toxicité très faible (Brisibe *et al.*, 2009). Ce qui fait d'*A. annua* un bon fortifiant pour l'homme ou un additif intéressant pour l'alimentation animale. Les **Annexe III.2 à 8** reprennent ces différentes caractéristiques.

Plus précisément, l'artémisinine est une lactone sesquiterpénique portant un groupe peroxyde, qui serait d'ailleurs la clef de son efficacité. Elle possède sept centres d'asymétrie, ce qui rend possible un grand nombre de stéréoisomères. La synthèse artificielle, à faible coût, de l'artémisinine en est donc rendue compliquée. Mais heureusement, l'armoise annuelle ne produit qu'un seul de ces stéréoisomères et que l'on peut extraire. Cependant la biodisponibilité de l'artémisinine est assez faible (51,9 mg/l). Elle est donc généralement transformée en dérivés semi-synthétiques pour l'utilisation en médecine humaine (**Annexe III.8**).

4.2 Le potentiel thérapeutique

Actuellement pour combattre le paludisme simple causé par *Plasmodium falciparum*, l'OMS recommande la thérapie combinée à base d'artémisinine (ACT). Celle-ci associe deux composés actifs pour éviter des problèmes de résistance ; de l'artémisinine semi-synthétique et une molécule synthétique (exemple : sulfadoxine-pyriméthamine (SP), amodiaquine ou méfloquine) ayant pour rôle d'augmenter l'effet de la première molécule.

Le potentiel thérapeutique de l'artémisinine est donc bien présent, mais jusqu'à maintenant on ne connaît pas encore précisément le ou les modes d'action de l'artémisinine. Certaines études associent son action au groupement peroxyde présent sur la lactone sesquiterpénique qui génère des radicaux libres ou des intermédiaires électrophiles très actifs. Par alkylation et oxydation, l'artémisinine a une action sur des protéines et des lipides membranaires. Elle inactiverait également des protéines de canal. Une interruption du potentiel de membrane peut aussi être créée en interagissant avec la chaîne de transport d'électrons dans la membrane mitochondriale, entraînant un dysfonctionnement mitochondrial (Li *et al.*, 2005).

Dans le cas du paludisme, l'hypothèse mise en avant serait le blocage d'une enzyme (PfATP6) essentielle pour pomper le calcium dans la cellule.

D'une manière plus générale, des extraits et des poudres de feuilles d'armoise permettent également d'améliorer l'immunité, les performances et la croissance de poulets (Sani *et al.*, 2012 ; Brisibe *et al.*, 2009).

4.3 L'artémisinine dans la plante

Lors de la croissance végétative, les feuilles, les bourgeons floraux et les fleurs sont les principaux organes qui synthétisent et stockent l'artémisinine. L'artémisinine et ses précurseurs sont en réalité stockés dans les trichomes glandulaires des feuilles et des inflorescences (Ferreira et Janick, 1995). Les jeunes feuilles voient leur nombre de trichomes augmenter avec leur croissance. Lorsque celle-ci s'arrête leur nombre commence à diminuer. Les jeunes feuilles contiennent donc en générale plus d'artémisinine que les vieilles. Les tiges, quant à elles, contiennent en moyenne 10 fois moins d'artémisinine. On pourra également noter que la concentration en artémisinine est en générale considérée comme maximale dans la plante juste avant ou lors de l'anthèse.

En fonction du cultivar, de la conduite agronomique de la culture et de la méthode de séchage on retrouvera des concentrations fort variables en artémisinine allant de 0,01% jusqu'à 2% du poids sec en feuilles.

5 La production d'*Artemisia annua* en Belgique

5.1 La plante

Artemisia annua L. est une plante de la famille des Astéracées originaire de Chine, où elle est appelée *qinghao*. Elle est depuis longtemps connue pour ses bienfaits médicaux.

Elle s'est naturalisée en Belgique et peut donc pousser spontanément. Les plantes à l'état sauvage ont un taux en artémisinine très variable contrairement aux variétés sélectionnées pour la production de médicament anti-malaria (Ferreira *et al.*, 2004).

C'est une plante de floraison à jour court, ce qui entraîne une floraison précoce qui nuit à sa production dans les pays tropicaux (Blanc *et al.*, 2008).

5.2 L'installation de la culture

Différentes études concernent l'utilisation d'*Artemisia annua* L. dans la production de poulets de chair et la gestion de leur culture se fait généralement de la manière détaillée ci-dessus (Drăgan *et al.*, 2014).

5.2.1 Le semis

La première étape consiste à mettre les graines à germer sous serre dès la mi-mars. Le travail du pépiniériste est obligatoire en raison de la taille des graines : 10 000 à 20 000 graines au gramme (Blanc *et al.*, 2008). Des températures allant de 16 à 18°C la nuit et de 23 à 25°C le jour permettent une croissance optimale des jeunes plantules. Cette méthode bien que couteuse permet aussi de contrôler la flore adventice (fiche technique de culture, 2000).

5.2.2 La préparation du sol

La préparation du sol peut se faire par un labour, suivi d'un hersage. Un faux semis suivi d'un nouvel hersage pourra se révéler intéressant pour le contrôle des adventices (fiche technique de culture, 2000). Le pH du sol optimal pour cette plante tourne entre 4.5 et 8.5 (Blanc *et al*, 2008). L'armoise annuelle affectionne particulièrement les terres riches en substances nutritives, donc un engrais N, P, K sera le bienvenu en proportion 60/60/50 ou en ajoutant 70 à 80 kg d'azote par hectare (Blanc *et al*, 2008).

5.2.3 La plantation

Ensuite les plantules sont transplantées sur champs début juin. Au Cameroun, la densité préconisée est de 60cm x 60 cm. Soit environ 30 000 plantes par hectare (fiche technique de culture, 2000). Il n'est pas optimal de planter au-delà de 3 plantes/m² en raison de la quantité d'artémisinine par hectare qui atteint un plateau à partir de ce nombre (Blanc *et al*, 2008).

5.2.4 La récolte

La récolte se fait début octobre, lorsque les plantes sont dans leur dernière phase végétative. A ce moment, juste avant la floraison, l'artémisinine se concentre à 89% dans les feuilles (Blanc *et al*, 2008).

À noter qu'une étude réalisée au Nigéria retarde un peu le moment de la première récolte, mais précise qu'elle doit être effectuée avant la floraison (Andi Brisibe *et al*, 2009), une autre, réalisée au Maryland, au contraire, la raccourcit mais toujours avec la même exigence concernant la floraison (C. Allen *et al*, 1997).

5.2.5 La rotation et les cultures associées

L'armoise annuelle peut être mise en rotation avec des légumes et des cultures de céréales (Kumar *et al*, 2003).

Toutefois, l'armoise annuelle possède un effet allélopathique sur certaines plantes dont le soja. L'artémisinine produite par l'armoise agit directement sur le soja ou indirectement sur son endosymbionte fixateur d'azote : *Bradyrhizobium japonicum* (Morvillo *et al*, 2011). Les pertes en soja peuvent alors s'étendre jusque 33% lorsque l'armoise est présente avec une densité de 8 plantes/m² et sans contrôle par des herbicides. L'*A. annua* a des effets allélopathiques sur monocotylédones et dicotylédones dus à l'artémisinine et à l'un de ses composés secondaires « artéether ». L'artéether a plus de toxicité sur les monocotylédones et l'artémisinine sur les dicotylédones (Bagchi *et al*, 1997).

De plus, on peut retrouver l'artémisinine dans les 10 premiers cm du sol dans des concentrations variant de la limite de détection (10.6 µg/kg de sol) à 440 µg/kg de sol, la quantité la plus élevée durant le stade de floraison. L'artémisinine se diffuse dans le sol durant la saison de culture et on peut la retrouver jusque 15m au-delà de la plante. Le vent serait un atout majeur dans sa distribution horizontale. En culture *in vitro*, l'artémisinine a un impact négatif sur la croissance des bactéries du sol n'ayant jamais été en présence d'*A. annua* tandis que celles qui l'avaient été auparavant n'ont pas subi de dommages lors du pic de concentration (Herrmann *et al.*, 2013).

En outre, une étude concernant la capacité de l'armoise annuelle à produire des repousses dans les champs et leur contrôle par voie mécanique ou chimique pourrait se révéler intéressante.

5.3 Les maladies

Aucune maladie spécifique à l'armoise annuelle n'a été mise en évidence.

Ceci peut s'expliquer par une certaine capacité antifongique de l'*A. annua*. Une étude (Chang Hong Liu *et al.*, 2001) a mis en évidence l'effet antifongique d'endophytes présents dans la plante. Une autre étude (Ni *et al.*, 2012) a montré que l'artémisinine avait aussi un effet anti-algue. Cela a été démontré sur l'algue *Microcystis aeruginosa*.

Cette capacité à se prémunir des maladies fongiques pourrait permettre la production d'*A. annua* sans avoir recours aux pesticides chimiques et donc assurer une production bio. Or cela représente un atout majeur pour l'utilisation d'armoise annuelle dans la production de poulets de chair bio puisque l'alimentation des poulets doit venir d'un mode de production bio.

Néanmoins, il a été observé en Tasmanie, la présence de *Sclerotinia* sur le tiers inférieur des plantes et sur moins de 1% des plantes. La possibilité d'infection par *Sclerotinia* devra être envisagée dans le cas de culture à haute densité.

En Arabie Saoudite, *Orobanche cernua* a été identifiée comme parasite des racines et a provoqué des pertes de rendement (Ferreira *et al.*, 2004). On peut trouver *Orobanche cernua* dans le sud de la France, mais elle n'est visiblement pas présente dans le nord, ce qui pourrait préserver la production d'armoise en Belgique (<http://www.tela-botanica.org/bdtx-nn-75272-repartition>, consulté le 30/11/14)

5.4 Le rendement en artémisinine influencé par la méthode de production

Selon les méthodes de production de l'armoise, le taux d'artémisinine obtenu sera différent. Le taux d'artémisinine dépend bien sûr aussi du génotype de la plante. Certaines variétés ont été sélectionnées dans le cadre médical afin d'obtenir un rendement en artémisinine le plus élevé possible (Blanc *et al.*, 2008). Puisque c'est l'artémisinine qui est à l'origine de l'accroissement de l'immunité, il est plus intéressant de choisir une méthode et la variété permettant d'optimiser son rendement.

D'après une étude (Kumar *et al.*, 2003), le rendement en artémisinine est positivement corrélé avec le rendement en feuilles et le nombre de récoltes de l'armoise sur une saison. On peut compter sur un rendement variant de 44 à 72 kg/ha pour une croissance de 30 semaines avec trois à quatre récoltes. Ce résultat est supérieur à celui observé dans d'autres études plus anciennes : 25 kg/ha. Pour que l'artémisinine soit disponible dans des rendements élevés, il faut donc plusieurs récoltes. Le nombre jugé optimal de récoltes est de 4 (80 kg/ha d'artémisinine), ce qui permet d'obtenir une teneur en artémisinine 1.94 fois plus grande que le rendement obtenu avec 3 récoltes (42 kg/ha d'artémisinine) contre les 22 kg/ha d'artémisinine avec une seule récolte. A noter que la variété utilisée (Jeevanraksha) pour cette étude répondait très favorablement à plusieurs récoltes.

5.5 Une alternative

Au cas où les poulets trouveraient les feuilles d'*Artemisia annua* L. appétantes, il pourrait être envisagé de les intégrer dans le parcours extérieur auquel ont accès les poulets bio. La plante se régénérant spontanément chaque année, le seul coût à envisager serait celui de l'installation première. Néanmoins, le principe d'automédication n'a pas encore été démontré chez le poulet.

6 La possibilité économique de la production d'*Artemisia annua* en Belgique

Une étude danoise menée en 2013 et portant sur la production et l'utilisation d'*Artemisia annua* L. en vue de lutter contre les parasites et les maladies bactériennes chez les poulets de chair a calculé le potentiel économique de la production d'*Artemisia annua* L. (Skovmand, A., 2014).

Pour l'évaluation des coûts, il a été supposé que la culture d'*Artemisia annua* L. avait été réalisée dans une ferme danoise de taille moyenne dont les méthodes de production existantes étaient compatibles pour la culture d'*Artemisia annua* L.

Deux types de production ont été considérés dans cette étude à savoir, la production de feuilles sèches broyées et la production de poudre d'extrait d'armoise annuelle. Les coûts de chaque étape de fabrication ont été analysés.

6.1 La production de feuilles d'armoise annuelle séchées et broyées (annexe V.1)

La production de plantules nécessite l'intervention d'un pépiniériste compte tenu de la taille très réduite des graines. Au Danemark, ce coût a été évalué à 3360 €/ha (1 DKK équivaut à 0,13 €). En Belgique, la pépinière de Koster, contactée par nos soins, estime que les graines d'*Artemisia annua* L. ne nécessitent pas d'enrobage, leur taille étant semblable à celle de la roquette.

La plantation nécessite un sol préalablement travaillé et correctement préparé (labour, hersage, engrais). La mise en place de la culture est mécanisée et les plantules sont plantées à l'aide d'une machine vers fin mai, début juin. La plantation requiert environ 37h/homme par ha et est assumée par quatre hommes capables de planter 5400 plants/h en incluant le temps de chargement. En outre, les conditions météorologiques au moment de l'implantation peuvent entraîner un besoin d'irrigation durant 10 jours au cours des 3 premières semaines (10 mm par jour). A l'exception des coûts du matériel de plantation, l'étude danoise a obtenu les coûts du matériel et du travail à l'aide d'une base de données.

En outre, les coûts de la récolte et du séchage étaient de l'ordre de 457,02 à 1.478,59 €/ha ; la méthode de séchage en grange étant l'option la plus économique.

Puisque les concentrations les plus fortes en artémisinine se retrouvent au niveau de feuilles, les plantes séchées exigent d'être battues et tamisées en vue de séparer ces feuilles du reste de la plante. Les coûts de battage, tamisage et broyage ont été basés sur l'utilisation d'une batteuse à grains. Il a été supposé que les tiges pouvaient être quant à elles vendues et utilisées en tant que biocarburant au prix du marché de la paille employée dans les chaudières, celui-ci était de 0,07 €/kg. A l'issue du broyage, les feuilles ont été conditionnées dans des sacs de 115 kg. Les coûts relatifs au battage, tamisage, broyage et emballage peuvent être réduits en fonction du degré d'automatisation ; l'investissement nécessaire n'a cependant pas été évalué au cours de cette étude.

L'**annexe V.1** présente l'ensemble des coûts estimés pour la production de feuilles sèches d'armoise annuelle. La production de plantules représente le coût le plus important, 60 % des coûts totaux. Au Danemark, un prix unitaire de 0,07 €/plantule a été estimé.

Toutefois, les entreprises ne sont pas encore familiarisées avec la culture d'*Artemisia annua* L. Avec l'expérience, une amélioration de la gestion et de la mise en œuvre de la production peut induire une réduction du prix unitaire et donc du coût total. L'étude danoise a suggéré qu'un coût unitaire passant de 0,07 € à 0,05 €/plantule réduirait les coûts de l'ensemble de la production de 12%.

L'ensemble de ces coûts a ensuite été répercuté par poulet de chair. L'**annexe V.2** présente les montants relatifs à l'emploi de feuilles sèches broyées pour différents dosages. Ces données sont basées sur une consommation de 3,2 kg d'aliment par poulet de chair durant 31 jours et sur une distribution continue tout au long de cette période. Ainsi, pour des doses variant de 5 à 40 g/kg d'aliment, le coût estimé varie de 0,02 à 0,18 € par poulet de chair.

6.2 La production de poudre d'extrait d'armoise annuelle (annexe V.3)

Le séchage de l'extrait d'armoise annuelle a été réalisé par atomisation. Celui-ci a ensuite été micro-encapsulé. La poudre peut ensuite être incorporée à l'alimentation des poulets de chair. Le procédé d'extraction produit une substance riche en composés actifs ; ces derniers étant ensuite rendus accessibles sous forme de poudre à incorporer à l'alimentation.

Les coûts des différentes étapes de fabrication de la poudre sont décrits dans l'**annexe V.3** (données résultant du traitement d'une tonne de feuilles sèches).

La production de feuilles sèches est réalisée comme décrit précédemment, à l'exception qu'à l'issue de la séparation des feuilles, celles-ci ne sont pas broyées. Ensuite l'extraction et la micro-encapsulation sont réalisées lors d'un seul processus continu en usine.

Quant à l'extraction des composés et la micro-encapsulation, plusieurs techniques existent actuellement. L'étude danoise a utilisé la technique d'extraction par solvant. Durant la journée, l'usine est gérée par deux opérateurs et un technicien de laboratoire. A l'issue de l'extraction, une part des feuilles sèches finissent en tant que résidus. Ceux-ci peuvent ensuite être employés comme engrais ou comme source d'énergie. Toutefois, les produits utilisés pour l'extraction sont nocifs pour l'environnement et doivent être préalablement détruits. Les coûts associés à cette procédure ont été considérés comme équivalents à la moitié de la valeur de la matière lorsque celle-ci est employée comme source d'énergie.

L'investissement au niveau de l'usine de traitement représente une part importante des coûts. D'après les estimations d'une entreprise danoise, l'investissement nécessaire en vue d'acquérir et d'installer les équipements d'extraction, de séchage par atomisation et d'emballage reviendrait à environ 14.248.270 €, exclusion faite des bâtiments. Le coût annuel moyen de l'investissement a quant à lui été estimé à 602,73 €/tonne de feuilles traitées et ce, pour une valeur de rebut de 30%, un taux d'intérêt de 3% et un amortissement linéaire sur une période de 10 ans (en ayant considéré une utilisation à pleine capacité, 7000 heures par an).

En vue de réduire les coûts liés à l'investissement et à l'embauche de personnel qualifié, une alternative consisterait à externaliser tout ou en partie les processus de traitement dans une autre entreprise plus spécialisée. Cette dernière achèterait les feuilles sèches et réaliserait l'extraction et la micro-encapsulation. L'avantage de ceci serait un coût de fonctionnement plus efficace grâce à l'expérience de l'entreprise dans ce domaine.

L'**annexe V.3** présente l'ensemble des coûts générés par la production de poudre d'extrait d'armoise annuelle, y compris les coûts relatifs à la production de feuilles sèches. Ces montants sont basés sur le traitement d'une tonne de feuilles sèches.

L'**annexe V.4** présente les coûts de production d'extrait d'armoise annuelle par poulet de chair et ce, pour différents dosages. Ces données sont basées sur une consommation de 3,2 kg d'aliments par poulet de chair durant 31 jours et une distribution continue de cette poudre tout au long de cette période. Ainsi, lorsque les investissements pour le traitement sont réalisés par l'entreprise et pour des dosages variant de 1,1 à 4,9 g/kg d'aliments, les coûts estimés varient de 0,01 à 0,06 € par poulet de chair. Pour les mêmes dosages, les coûts sont réduits lorsque les processus d'extraction et de micro-encapsulation sont réalisés par une entreprise spécialisée et varient dès lors de 0,01 à 0,05 € par poulet de chair.

6.3 Le marché potentiel

En faisant l'hypothèse d'une absence de concurrence avec les anticoccidiens conventionnels, pour traiter l'ensemble des poulets de chair du Danemark, il faudrait environ 1.013 tonnes de poudre d'extrait d'armoise annuelle ou 6.790 tonnes de feuilles séchées et broyées (20 g/kg d'aliments) et ce, pour des valeurs de production respectivement d'environ 3.037.840 € et 9.409.240 €. La superficie agricole nécessaire serait respectivement de 362 ha et 1.687 ha. En étendant la production à l'ensemble de l'UE, la Norvège et la Suisse incluses, les quantités nécessaires passeraient à 64.545 tonnes de poudre d'extrait ou 432.702 tonnes de feuilles sèches. La superficie utile augmenterait quant à elle à 4.700 ha pour l'extrait et 21.800 ha pour les feuilles sèches.

Cependant, l'hypothèse d'absence de concurrence n'est pas du tout réaliste. En effet, une large gamme d'anticoccidiens existe sur le marché comme la salinomycine et la narasin combinée avec la nicarbazine. L'étude danoise a recueilli ses informations auprès de producteurs d'aliments danois et ce, en vue d'établir une comparaison des coûts entre l'armoise annuelle et les anticoccidiens classiques. Ceux-ci sont introduits dans les aliments de 1 à 5 jours avant l'abattage des poulets. Les prix de revient fournis par les fabricants d'aliments danois étaient de 0,04 €/g pour la salinomycine et de 0,09 €/g pour la combinaison de narasin et nicarbazine (prix d'octobre 2013) ; ces produits étant mélangés à l'aliment de base à raison de 70 mg/kg d'aliment et de 50 mg/kg d'aliment respectivement.

Le **tableau 1**, ci-dessous confronte les coûts de chaque additif alimentaire par poulet de chair. Afin de faciliter la comparaison, ces coûts sont basés sur l'hypothèse de 3,2 kg d'aliment fournis jusqu'à 31 jours.

Tableau 1: Coût des différents additifs alimentaires. Source : Skovmand, A. (2014)

	Salinomycine	Narasin/Nicarbazine	Poudre d'A. <i>annua</i>	Feuilles d'A. <i>annua</i>	Artémisinine pure
Coût/Poulet (€)	0,07	0,208	0,213	0,661	0,437

L'emploi de salinomycine comporte le coût le plus faible tandis que les feuilles séchées d'*Artemisia annua* L. sont les plus coûteuses, presque 10 fois supérieures au coût de la salinomycine. Par contre, la poudre d'extrait d'armoise annuelle a un prix similaire à la combinaison narasin/nicarbazine. Il peut dès lors y avoir une concurrence nette entre ces deux composants. Toutefois, il est nécessaire de vérifier

l'efficacité anticoccidienne et les effets bénéfiques sur les performances de croissance. Quant à l'artémisinine pure, celle-ci ne semble pas être un anticoccidien économiquement intéressant.

Cependant, la comparaison de ces coûts est à prendre avec précaution. En effet, les montants des deux anticoccidiens conventionnels sont basés sur les prix de revient des fabricants d'aliments, et non sur les coûts réels réalisés par les producteurs de ces produits, qui sont inférieurs. De plus, l'estimation du coût d'*Artemisia annua* L. est biaisé car, par exemple, les coûts élevés relatifs à la production de plantules peuvent être réduits par le temps et l'expérience. Les chaînes de production peuvent également s'avérer plus efficaces.

7 Les matériels et méthodes

7.1 Les infrastructures

L'essai s'est déroulé à l'animalerie de la faculté de Gembloux Agro-Bio Tech (CEPA) du 10/11/2014 au 1/12/2014.

Les températures minimales et maximales du local ayant accueilli les animaux ont été relevées chaque jour et tournaient autour de 18.4°C et 22.1°C pour les températures minimale et maximale. En outre, l'humidité relative de la pièce avoisinait les 60 et 80%. La durée de l'éclairage était quant à lui fixé à 17 heures par jour (de 7 heures à minuit).

Les animaux ont été placés dans 6 cages de 3 m². Chacune comportait un abreuvoir alimenté en eau à volonté et une mangeoire à remplir au fur et à mesure de manière à ce que celle-ci ne soit jamais vide.

7.2 Les animaux

Pour ce projet, 60 poulets de chair bio ont été utilisés. Ces deniers étaient issus de la filière « Coqs des prés » et étaient dès lors caractérisés par une croissance lente à savoir un cycle de production de 70 jours. Ces animaux ont été sélectionnés par SASSO et n'ont pas été sexés au préalable. En outre, il est nécessaire de signaler que, malgré le fait que ces poulets soient issus de l'agriculture biologique, aucune sortie à l'extérieur n'a été effectuée durant toute la période de l'essai.

Les poulets sont arrivés le 3/11/2014 à l'âge de 6 semaines pour un poids initial d'environ 1 kg. Les animaux ont subi une période d'acclimatation à leur nouvel environnement durant une semaine. Au cours de cette période, tous les poulets ont été alimentés à l'aide d'un aliment traditionnel destiné à la production biologique et aucune mesure n'a été effectuée.

Le 10/11/2014, 6 lots de poulets ont été réalisés suivant leur poids. Ainsi, les animaux ont été pesés individuellement et répartis dans des paniers par classes de poids homogènes et différant chacun de 500 g. Ensuite, les lots ont été réalisés aléatoirement et de manière à obtenir 3 groupes de 10 poulets légers et 3 groupes de 10 poulets plus lourds. Les groupes ont été formés de manière à ce que les poids soient les plus homogènes possibles.

Une fois les animaux répartis en lots de 10, des mesures d'ingestion et de croissance ont été effectuées durant toute la période d'essai. Chaque lundi (17/11, 24/11 et 1/12, pesées finales), les prises de ces

mesures ont été réalisées par groupe de 10 poulets et non de manière individuelle. De même, les bacs d'aliment ont été pesés de manière à comptabiliser les quantités distribuées.

Chaque lot a reçu un aliment bio complet du commerce (fourni par l'éleveur) additionné ou non d'*Artemisia annua* L. La répartition des régimes s'est effectuée comme suit :

- 2 lots témoins de 10 poulets : aliment du commerce distribué ad libitum ;
- 2 lots de 10 poulets : aliment du commerce additionné de 0,5% de feuilles d'*Artemisia annua* L. séchées et broyées à 3-4 mm et distribué ad libitum ;
- 2 lots 10 poulets : aliment du commerce additionné de 1,5% de feuilles d'*Artemisia annua* L. séchées et broyées à 3-4 mm et distribué ad libitum.

L'eau a également été distribuée ad libitum à l'aide d'un abreuvoir alimenté en permanence.

7.3 La production de la poudre

La poudre d'armoise utilisée pour l'alimentation des poulets a été produite grâce à la récolte des plantes cultivées dans les champs du département de Phytotechnie tropicale et d'horticulture de Gembloux Agro Bio-Tech. Le semis en pépinière a été réalisé durant la première semaine du mois de mars 2014. Les plantes ont ensuite été récoltées le 17 septembre 2014, juste avant le stade de floraison.

Après la récolte, les plantes ont été disposées dans une serre ombragée et ventilée, de façon à qu'elles puissent sécher. La température dans la serre avoisinait les 22°C. La première séparation des feuilles et des tiges a été réalisée le 8 octobre 2014, à la main (2h pour 3 bottes) et à l'aide d'une batteuse Saatmeister Kurt Pelz (Bad Godesberg, Germany) du département de Production animale, la séparation a été plus efficace et rapide (1h pour 5 bottes). Une deuxième séparation a eu lieu le 24 novembre 2014, afin de ne pas être à cours de poudre pour la suite de l'expérimentation.

Les feuilles ont été récupérées pour réaliser le broyage grâce au broyeur à marteaux (Pulvérisette 14 de Fritsch) et un tamis à maille circulaire d'un diamètre de 1 mm de l'unité de zootechnie. Ensuite, la poudre a été mise à l'étuve pour un nouveau séchage, à une température de 55°C pendant 48h.

Ensuite le mélange de la poudre avec l'alimentation des poulets s'est effectué selon les quantités désirées avec une composition de 0,5% ou 1,5% en poudre grâce à la mélangeuse à axe horizontale (volume 100L) du CEPA.

La concentration en artémisinine de la population parentale des plants avoisinait les 0.1%.

8 Les résultats statistiques

8.1 Les conditions d'application

Pour réaliser l'analyse statistique, nous avons considéré que nos populations sont normales même si l'échantillon est trop petit pour le tester via Minitab 17.

Le test d'égalité des variances permet de continuer l'analyse, puisque l'hypothèse nulle d'égalité des variances est acceptée.

8.2 L'analyse de la variance

Deux facteurs jouent sur notre jeu de données (**Voir Annexe VII**). Il faut donc tester s'il y a une interaction entre eux, pour cela nous faisons une ANOVA 2 à l'aide du logiciel statistique Minitab 17.

Nous nous retrouvons face à un degré de liberté invalide pour réaliser une ANOVA 2 normale, car notre $n = 1$ (**Figure 1**).

Témoins	0.5%	1.5%	0.5%	1.5%	Témoins
1	2	3	4	5	6

Figure 1: Schéma de notre plan d'expérimentation. En couleur les poulets légers, en blanc les poulets lourds.

Nous sommes obligés de ne pas écrire l'interaction dans Minitab 17 et de négliger le facteur aléatoire (groupe). Dans le tableau de l'analyse de la variance, la dernière ligne « erreur » devient celle équivalente à l'interaction et nous n'avons plus les résidus.

L'analyse de la variance nous apprend qu'il n'y a pas de différence significative pour le gain quotidien moyen ($P = 0.990$), l'indice de consommation ($P = 0.307$) et la quantité d'aliments consommés ($P = 0.961$) entre nos différentes concentrations d'armoise.

9 La discussion des résultats

L'incorporation d'*Artemisia annua* L. dans les rations n'a pas montré de différence significative entre les différents régimes ; ceci tant au niveau de l'évolution des poids au cours des semaines (**annexes VII. 5 et VII. 8**) que pour l'indice de consommation et la quantité d'aliments ingérée par les animaux (**annexes VII. 3, VII. 4, VII. 5, VII. 9 et VII.10**). Comme mentionné précédemment, l'ajout d'*Artemisia annua* L. lors d'expérience avec inoculation de coccidies, engendre un accroissement de poids pour un indice de consommation réduit, ce qui n'est pas le cas ici.

Tout d'abord, il faut préciser que la concentration en artémisinine des plantes est relativement faible. En effet, la teneur en artémisinine mesurée sur les plantes parents n'était que de 0,1%. Une concentration supérieure aurait peut-être permis d'obtenir des effets notables.

Ensuite, les plantes utilisées étant issues de graines ayant des origines très diverses, les concentrations peuvent donc s'avérer très variables. Cet argument ne se justifie pas entièrement dans notre situation, car le nombre de plantes utilisées était très faible ; cela ne devrait guère avoir d'impact sur la variabilité.

De plus, l'approche par la sélection pourrait permettre d'obtenir des plantes à haute teneur en artémisinine. Cette solution procurerait une adaptation de celle-ci à notre climat, ainsi qu'à des récoltes régulières. En effet, comme mentionné précédemment dans ce travail, il a été montré que des récoltes fréquentes permettent d'accroître la concentration en artémisinine.

De surcroît, le peu d'effet des différentes concentrations en armoise sur la croissance peut également s'expliquer par l'âge des poulets à leur arrivée. En effet, débiter un essai à 4 semaines engendre une période d'expérimentation relativement courte. En outre, tout changement d'alimentation induit des perturbations chez les animaux. Ainsi, un début d'expérience plus précoce, et permettant d'inclure la période de trou immunitaire, ainsi qu'une période d'adaptation à l'armoise annuelle aurait peut-être permis d'obtenir des différences significatives.

Pour terminer, les répercussions anticoccidiennes d'*Artemisia annua* L. n'ont pas pu être analysées dans notre essai. En effet, par manque de moyens techniques, nous n'avons pas pu mettre en évidence la présence du parasite, même si l'absence de symptôme critique (sang dans les déjections) nous laisse penser qu'a priori il serait absent. Ainsi, l'effet non significatif de la prise de poids peut dès lors résulter de l'absence de challenge (ou stress biotique) chez les animaux. De plus, ceux-ci ont été nourris avec un aliment complet leur procurant tous les nutriments nécessaires. Ce qui signifie qu'*Artemisia annua* L. n'a pas apporté de plus-value en termes de besoins essentiels sans pour autant avoir un effet néfaste. Dans l'étude de Dragan (2014), une différence de GQM très faible a été observée entre les poulets sains alimentés sans *Artemisia annua* L. et les animaux inoculés et nourris avec 1,5% d'*Artemisia annua* L. (69 contre 68,2 g/j). Par contre, les poulets ayant été inoculés et non alimentés à l'aide d'armoise annuelle présentaient un GQM nettement plus faible (61 g/j).

En conclusion, d'une part, au vu de l'absence de résultat significatif dans notre essai, on peut supposer que l'ajout d'*Artemisia annua* L. à une ration complète d'aliments a un effet neutre sur les performances et l'appétence des poulets lorsque ceux-ci sont élevés dans des conditions favorables. D'autre part, comme démontré, il est possible de pratiquer la culture d'*Artemisia annua* L. au Danemark. On peut donc supposer qu'elle est tout aussi possible en Belgique, sous réserve d'expérimenter son incorporation dans les rotations et son effet allélopathique sur les grandes cultures. De plus, sa production ainsi que sa transformation sous forme de poudre comme alternative aux anticoccidiens classiques se sont révélées satisfaisantes sur le plan économique.

10 La bibliographie

10.1 Les articles scientifiques

Allen PC, Lydon J, Danforth HD. Effects of components of *Artemisia annua* on coccidia infections in chickens. *Poultry Sci.* 1997, 76: 1156-1163.

Allen PC, Fetterer RH. Recent advances in biology and immunobiology of *Eimeria* species and in diagnosis and control of infection with these coccidian parasites of poultry. *Clin. Microbiol. Rev.* 2002, 15: 58-65

Bagchi, G.D. et al, 1997. Arteether: A potent plant growth inhibitor from *Artemisia annua*. *Phytochemistry*, 45(6), pp.1131-1133.

Baraldi, R.; Isacchi, B.; Predieri, S.; Marconi, G.; Vincieri, F.F.; Bilia, A., 2008. Distribution of artemisinin and bioactive flavonoids from *Artemisia annua* L. during plant growth. *Biochem. Syst. Ecol.*, 36, pp.340–348.

Blanc, B., Weniger, B. & Nicolas, J., 2008. Réflexions autour de la culture d' *Artemisia annua* et de la production d'artémisinine. *Ethnopharmacologia*, 41, pp.82–87.

Bosselmann, A. S., & Gylling, M. (2013). Economic potential of a Danish production of *Artemisia annua* based feed additives for broilers. Frederiksberg: Department of Food and Resource Economics, University of Copenhagen. (IFRO Report; No. 224).

Brisibe, E.A. et al., 2009. Nutritional characterisation and antioxidant capacity of different tissues of *Artemisia annua* L. *Food Chemistry*, 115(4), pp.1240–1246. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814609000776> [Accessed November 25, 2014].

Drăgan & al., Effects of *Artemisia annua* and *Foeniculum vulgare* on chickens highly infected with *Eimeria tenella* (Phylum Apicomplexa). *Acta Veterinaria Scandinavica* 2014, 56:22

Ebiamadon Andi Brisibe & al., Dietary inclusion of dried *Artemisia annua* leaves for management of coccidiosis and growth enhancement in chickens. *African Journal of Biotechnology* 2008, Vol. 7, 22:4083-4092.

Efferth, T. et al., 2008. The antiviral activities of artemisinin and artesunate. *Clinical infectious diseases : an official publication of the Infectious Diseases Society of America*, 47(6), pp.804–11. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18699744> [Accessed November 15, 2014].

Efferth T. William Schwabe, 2007. Aoward 2006: antiplasmodial and antitumor activity of artemisinin—from bench to bedside. *Planta Med*, 73, pp.299–309.

Ferreira, J.F.S. et al., 2010. Flavonoids from *Artemisia annua* L. as antioxidants and their potential synergism with artemisinin against malaria and cancer. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 15(5), pp.3135–70. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20657468> [Accessed November 25, 2014].

Ferreira, J.F.S. & Luthria, D.L., 2010. Drying affects artemisinin, dihydroartemisinic acid, artemisinic acid, and the antioxidant capacity of *Artemisia annua* L. leaves. *Journal of agricultural and food*

chemistry, 58(3), pp.1691–8. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20050663> [Accessed November 30, 2014].

Ferreira, J. F. S., & Janick, J., 1995. Production and detection of artemisinin from *Artemisia annua*. *Acta Horticulturae*, 390, pp.41–49.

Gholamrezaie Sani, L. & al., Extract and leaf powder effect of *Artemisia annua* on performance, cellular and humoral immunity in broilers. *Iranian Journal of Veterinary Research*, Shiraz University, 2013, Vol. 14, 1:15-20.

Gustavo F. de Almeida & al., Use of *Artemisia annua* as a natural coccidiostat in free-range broilers and its effects on infection dynamics and performance. *Veterinary Parasitology*, 2012, 186:178–187

H.A. Arab & al., Toxicopathologic Effects of Artemisinin in Broiler Chickens Following a Single Oral Dose: An LD Study. *International Journal of Poultry Science*, 2009, 8: 808-812.

Herrmann, S. et al., 2013. Distribution and ecological impact of artemisinin derived from *Artemisia annua* L. in an agricultural ecosystem. *Soil Biology and Biochemistry*, 57, pp. 164-172.

Jenkins M. & al., Comparison of *Eimeria* species distribution and salinomycin resistance in commercial broiler operations utilizing different coccidiosis control strategies. *Avian Dis* 2010, 54:1002–1006.

Kumar, S. et al., 2004. High yields of artemisinin by multi-harvest of *Artemisia annua* crops. *Industrial Crops and Products*, 19(1), pp.77–90. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926669003000839> [Accessed November 30, 2014].

Liviu Drăgan & al., Effects of *Artemisia annua* and *Pimpinella anisum* on *Eimeria tenella* (Phylum Apicomplexa) low infection in chickens. *Sci Parasitol*, 2010, 11:77-82.

Li, W. et al., 2005. Yeast model uncovers dual roles of mitochondria in action of artemisinin. *PLoS genetics*, 1(3), p.e36. Available at: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1201371&tool=pmcentrez&rendertype=abstract> [Accessed November 30, 2014].

Liu, C.H. et al., 2001. Antifungal activity of *Artemisia annua* endophyte cultures against phytopathogenic fungi. *Journal of Biotechnology*, 88(3), pp.277–282. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168165601002851>.

Madagascar-Cameroun, Fiche Technique De Culture., 2000. *Artemisia annua*. , pp.3–5.

Mishina Y, Krishna S, Haynes RK, M.J., 2007. Artemisinins inhibit *Trypanosoma cruzi* and *Trypanosoma cruzi* rhodesiense in vitro growth. *Antimicrob Agents Chemother*, 51, pp.1852–1854.

Morvillo, C.M. et al., 2011. Competitive and allelopathic interference between soybean crop and annual wormwood (*Artemisia annua* L.) under field conditions. *European Journal of Agronomy*, 34(4), pp. 211-221.

Ni, L. et al., 2012. Isolation and identification of an anti-algal compound from *Artemisia annua* and mechanisms of inhibitory effect on algae. *Chemosphere*, 88(9), pp. 1051-1057.

Patricia C. Allen & al., Effects of Components of *Artemisia annua* on Coccidia Infections in Chickens. *Poultry Science*, 1997, 76:1156–1163.

Sani, G., Sendi, J. & Mehr, R.A., 2013. Extract and leaf powder effect of *Artemisia annua* on performance, cellular and humoral immunity in boilers. *Iranian journal of Veterinary Research*, 14(1), pp.15–20.

Sen R, Bandyopadhyay S, Dutta A, Mandal G, Ganguly S, Saha P, C.M., 2007. Artemisinin triggers induction of cell-cycle arrest and apoptosis in *Leishmania donovani* promastigotes. *J Med Microbiol*, 56, pp.1213–1218.

Skovmand, A., 2014., *Additives for broilers Economic potential of a Danish production of Artemisia annua based feed additives for broilers Aske Skovmand Bosselmann Morten Gylling*,

Utzing J, Xiao S, Keiser J, Chen M, Zheng J, T.M., 2001. Current progress in the development and use of artemether for chemoprophylaxis of major human schistosome parasites. *Curr Medecin Chem*, 8, pp.1841–1860.

10.2 Les sites internet

<http://www.facw.be/accueil/index.html>, consulté le 29/11/14.

<http://www.facw.be/activitesservices/poulet-de-chair-v2013.pdf>, consulté le 29/11/14.

http://www.devab.org/moodle/pluginfile.php/1355/mod_resource/content/1/Production_Fiche7_poulet_s%20chair_MD.pdf, consulté le 29/11/14.

http://www.ca83.fr/fileadmin/documents_ca83/Espace_agriculteurs/3_Optimiser_mes_productions/4Elevage/VolailleBio.pdf, consulté le 29/11/14.

<https://www.fibl.org/fileadmin/documents/shop/1289-poulets-bio.pdf>, consulté le 29/11/14

http://en.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/French_TechDocs/POULET-DE-CHAIR-Manuel-de-Gestion.pdf, consulté le 29/11/14.

http://www.forfarmershendrix.be/fr/nos_secteurs/volaille_de_chair/volaille_de_chair/aliments/concept_poulet_de_chair_bio_coq_des_pres.aspx, consulté le 29/11/14.

<http://www.coqdespres.be/>, consulté le 29/11/14.

<http://www.tela-botanica.org/bdtfx-nn-75272-repartition>, consulté le 30/11/14

http://www.bioforumvlaanderen.be/sites/default/files/37-Le_Bio_en_chiffres_2012.pdf, consulté le 11/12/14.

<http://groupettoy.com/toy/fr/liste?rub2=41>, consulté le 13/12/14.

<http://www.wintersteiger.com/fr/Seedmech/Produits/Programme-de-produits/Equipement-de-recherche/55-LD-350>, consulté le 14/12/14.

11 Annexes

11.1 Annexe I : La coccidiose

En Afrique, après la maladie de Newcastle et la salmonellose, la coccidiose est, avec 10%, la troisième cause de mortalité des poulets de chair. En 2004, selon une étude de la RNOEA, 29.4% des maladies signalées sur le poulet en France avaient pour cause la coccidiose.

Concernant les techniques de traitement alternatif, nous pouvons observer l'utilisation de molécules d'origine biologique, d'huiles essentielles ou de plantes entières telles que l'origan, le fenouil, l'anis, les tanins, ...

11.2 Annexe II : Le poulet de chair bio

Le label de l'"agriculture biologique" est protégé légalement depuis 1991 via le règlement européen 2092/91. En 1994, la Belgique a créé son propre règlement national.

La production biologique belge a connu une croissance importante à la fin des années 90 jusqu'en 2001. Après 5 ans de stabilisation, la production augmente à nouveau doucement depuis 2006. En 2011, La surface agricole bio totale en Belgique est de 54 688 ha et représente 4.1% de la superficie agricole.

11.3 Annexes III : L'artémisinine

11.3.1 Annexe 1 : Le potentiel thérapeutique

Le cocktail de molécules précédemment décrit a des activités biologiques sur un large spectre de micro-organismes incluant des protozoaires (exemple : Plasmodium provoquant la malaria, la coccidiose), des bactéries, des parasites, des inflammations mais il a également une activité d'inhibiteur de l'enzyme de conversion de l'angiotensine (substance utilisée pour traiter les problèmes cardio-vasculaires) et de cytokinin-like (phytohormone) (Bhakuni *et al.*, 2001). L'artémisinine et ses dérivés se montrent également efficaces contre un certain nombre de virus (*Pneumocystis carinii*, *Toxoplasma gondii*) et de cancers humains (Efferth, 2007 ; Efferth *et al.*, 2008). Plusieurs articles mettent aussi en évidence une action contre des maladies parasitaires tropicales telles que la schistosomiase (Utzinger *et al.*, 2001), la leishmaniose (Sen *et al.* 2007), la maladie de Chagas et la trypanosomiase humaine africain (Mishina *et al.*, 2007).

11.3.2 Annexe 2 : La composition des différents tissus d'*Artemisia annua*

Tableau 1 : La composition des différents tissus d'*Artemisia annua* (Brisibe et al., 2009)

Proximal composition in different tissues of *Artemisia annua* (% dry basis).

Plant tissue	Protein content	Crude fat	Ash content	Moisture content
Inflorescence	18.4	10.5	6.99	9.95
Leaves	27.1	8.34	10.6	10.5
Stems	10.7	2.60	3.43	7.72
Roots	8.23	2.13	5.46	4.57

11.3.3 Annexe 3 : L'analyse nutritionnelle des différents tissus d'*Artemisia annua*

Tableau 2 : L'analyse nutritionnelle des différents tissus d'*Artemisia annua* (Brisibe et al., 2009)

Nutritional analysis of different tissues of *Artemisia annua*.

Plant tissue	ADF (g/100 g)	NDF (g/100 g)	IVDF (g/100 g)	TNC (g/100 g)	Starch (as % of TNC)	Dry matter (g/100 g)
Inflorescence	15.2	27.0	77.5	11.6	6.15	93.6
Leaves	13.1	39.5	64.7	7.6	0.27	91.5
Stems	47.4	76.4	45.0	9.7	5.77	96.1
Roots	49.1	82.4	37.7	6.2	8.51	97.0

ADF = Acid detergent fibre.

NDF = Neutral detergent fibre.

IVDF = In vitro digestible fraction.

TNC = Total non-structural carbohydrates.

11.3.4 Annexe 4 : La composition des substances antinutritionnelles dans les différents tissus d'*Artemisia annua*

Tableau 3 : La composition des substances antinutritionnelles dans les différents tissus d'*Artemisia annua* (Brisibe et al., 2009)

Proximal composition of anti-nutritive substances in different tissues of *Artemisia annua* (mg/100 g dry matter).

Plant tissue	Phytate	Tannin	Total oxalate
Inflorescence	25.1	0.115	0.004
Leaves	120	0.524	30.94
Stems	10.6	0.200	0.003
Roots	16.5	0.110	0.004
Mean	43.1	0.237	7.74

11.3.5 Annexe 5 : La composition minérale des différents tissus d'*Artemisia annua*

Tableau 4 : La composition minérale des différents tissus d'*Artemisia annua* (Brisibe et al., 2009)

Mineral composition in different tissues of *Artemisia annua* L determined by ICP spectrometry.

Mineral	Inflorescence	Leaves	Stems	Roots
Potassium	24,568 (3.4)	26,332 (0.4)	13,488 (0.9)	11,126 (4.2)
Calcium	4,405 (0.1)	11,470 (0.4)	2,037 (0.2)	946 (0.9)
Magnesium	2,291 (2.2)	7,138 (0.4)	1,704 (2.3)	850 (14.6)
Phosphorus	3,354 (1.8)	3,665 (0.4)	871 (0.7)	664 (15.8)
Sulphur	4,585 (3.8)	3,908 (1.4)	742 (1.9)	471 (16.2)
Iron	224 (0.6)	196 (0.7)	22.2 (13.0)	682 (3.0)
Manganese	296 (3.6)	219 (0.3)	21.0 (0.7)	19.8 (3.9)
Aluminum	64.1 (2.4)	134 (0.0)	21.9 (2.6)	848 (0.7)
Zinc	60.4 (0.8)	64.5 (43.2)	46.2 (87.0)	75.9 (34.5)
Copper	31.6 (1.6)	14.3 (3.0)	6.7 (13.8)	22.5 (0.0)
Boron	17.5 (1.2)	18.0 (8.0)	4.5 (32.4)	5.0 (16.0)
Sodium	<0.1 (0.0)	<0.1 (0.0)	<0.1 (0.0)	106 (5.3)

*The concentrations of all elements given here are in parts per million (ppm) whilst the values in parentheses represent relative standard deviation (RSD). All analyses were run in duplicates.

11.3.6 Annexe 6 : Le profil des acides aminés constitutionnels dans les différents tissus d'*Artemisia annua*

Tableau 5 : Le profil des acides aminés constitutionnels dans les différents tissus d'*Artemisia annua* (Brisibe et al., 2009)

Constitutional amino acid profile (g/100 g) in different tissues of *Artemisia annua*.

Plant tissue	Inflorescence	Leaves	Stems	Roots	WHO Standard [*]
<i>Essential amino acid</i>					
Arginine	1.14	2.23	0.90	0.79	
Histidine	0.54	0.56	0.30	0.21	
Isoleucine	1.21	1.49	1.04	0.55	4.0
Leucine	1.82	2.87	1.08	0.91	7.0
Lysine	1.70	2.17	0.76	0.52	5.0
Methionine	0.44	0.96	0.00	0.00	3.5 ^a
Phenylalanine	1.02	2.25	0.45	0.21	6.0 ^b
Valine	1.12	1.91	0.56	0.48	5.0
Threonine	1.15	1.66	0.82	0.67	4.0
Tryptophan	-	-	-	-	4.0 ^c
<i>Non-essential amino acid</i>					
Taurine	-	-	-	-	
Alanine	1.21	1.98	0.57	0.44	
Glycine	1.11	2.23	0.92	0.89	
Glutamic acid	2.98	3.78	1.52	1.12	
Serine	1.60	1.40	0.51	0.49	
Aspartic acid	1.21	2.10	0.86	0.72	
Total	18.3	27.6	10.3	8.01	38.5

^{*}Based on the essential amino acid needs of a preschool child according to the WHO/FAO Report: Energy and Protein Requirements, WHO Technical Report Series No. 522 (World Health Organisation, 1973).

^a The values indicated here of the WHO standard are representative of methionine and cystine in combination.

^b The values indicated here of the WHO standard are representative of phenylalanine and tyrosine in combination.

^c Tryptophan was not determined in the present study.

11.3.7 Annexe 7 : La concentration en vitamines A et E dans les différents tissus d'*Artémisia annua*

Tableau 6: La concentration en vitamines A et E dans les différents tissus d'*Artémisia annua* (Brisibe et al., 2009)

Concentration of vitamins A and E in different tissues of *Artemisia annua*.^{*}

Plant tissue	Vitamin A	Vitamin E
Inflorescence	<0.3 µg/100 g	19.38 mg/kg
Leaves	<0.3 µg/100 g	22.63 mg/kg
Stems	<0.3 µg/100 g	1.19 mg/kg
Roots	<0.3 µg/100 g	1.36 mg/kg

^{*}Vitamin values from fresh or freeze-dried plant materials will provide much higher values than the sun-dried tissues evaluated in the current study.

11.3.8 Annexe 8 : Les structures de l'artémisinine et de ses dérivés semi-synthétiques

Structures de l'artémisinine et de ses dérivés semi-synthétiques

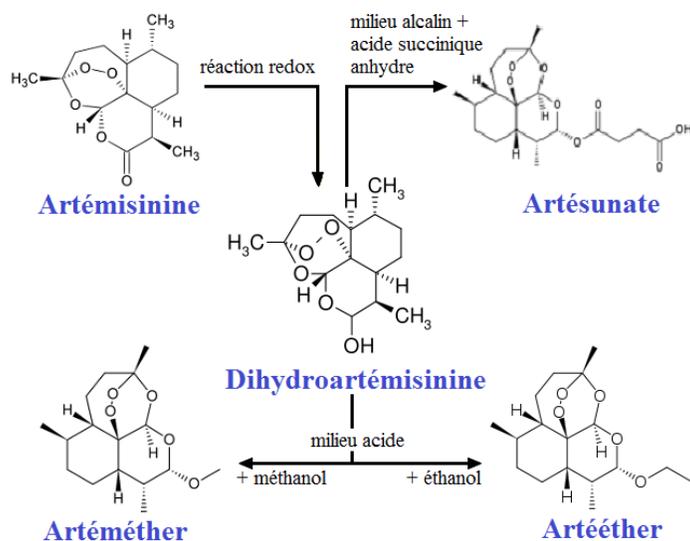


Figure 2 : Les structures de l'artémisinine et de ses dérivés semi-synthétiques

Source : Wikipédia, consulté le 17/11/14

11.4 Annexe IV : Précisions sur une étude concernant la capacité antifongique de *A. annua*

A. annua possède une certaine capacité antifongique. Une étude (Chang Hong Liu *et al.*, 2001) a mis en évidence l'effet antifongique d'endophytes présents dans la plante. 21 d'entre eux, ont été capables de produire des substances inhibitrices sur plusieurs ou l'ensemble des champignons pathogènes observés (*Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*, *Rhizoctonia cerealis*, *Helminthosporium sativum*, *Fusarium graminearum*, *Gerlachia nivalis* et *Phytophthora capsici*).

11.5 Annexe V : Production économique

11.5.1 Annexe 1 : Les coûts de production de feuilles sèches broyées d'armoise annuelle

Tableau 1 : Les coûts de production de feuilles sèches broyées d'armoise annuelle cultivée et traitée au Danemark (1 DKK = 0,13 €) **Source :** Skovmand, A. (2014)

	Quantity/unit	Costs DKK/ha	Yield/ha	Data source
Plantlets				
Seeds	5 g./ha	1,541		Mediplant.ch
Plantlet production	50.000/ha	25.000		JH Planter
Cultivation				
Plowing & harrowing	1	1.025		Farmtal Online
Fertilizer	100 kg N/ha	985		Farmtal Online
Machine planting	37h/ha + machine	7.389		Scharff (2013)
Irrigation 3 weeks	10 d, 10 mm/d	2.180		Farmtal Online
Interrow hoeing	3	1.050		Farmtal Online
Harvest & drying				
Swathing at 40 cm	1	475	44,4 tons	Farmtal Online
Raking after field drying	1	140	25,1 tons	Farmtal Online
Home transport	1	200		Farmtal Online
Insertion in boxes	2 hours/ha	1.100		Farmtal Online
Ventilated hay drying	25,1 tons/ha	1.380	11,0 tons	Oekologi.dk
Threshing & packing				
Threshing & sieving	11 tons/ha	281	4,0 tons leaves	Farmtal Online
Grinding	4 tons/ha	133		Farmtal Online
Packaging & handling	4 tons/ha	512		Estimate
Investments				
Drying facility, annual cost	per ha	224		Oekologi.dk
Total costs and yield				
Total costs incl. investments		43.614		
Sale of stems for energy	7,0 tons/ha	3.509		Farmtal Online
Cost price	4,0 tons/ha	40.106		
Gross margin & sales value				
Avg. of spring barley	1 ha	1.500		Farmtal Online
Required sales value	1 ha	41.606		

11.5.2 Annexe 2 : Les coûts de production, inclus les investissements dans les installations de séchage, de feuilles séchées broyées d'armoise par poulet de chair et pour différents dosages

Tableau 2 : Les coûts de production, inclus les investissements dans les installations de séchage, de feuilles séchées broyées d'armoise par poulet de chair et pour différents dosages (1 DKK = 0,13 €) **Source :** Skovmand, A. (2014)

Dosage leaves	Artemisinin per broiler	# treatments/ha	Costs per treatment
5 g / kg feed	0,31 g	251.638	0,165 DKK
20 g / kg feed	1,23 g	62.909	0,661 DKK
40 g / kg feed	2,46 g	31.455	1,323 DKK

11.5.3 Annexe 3 : Les coûts de production d'extrait de feuilles sèches d'armoise annuelle

Tableau 3 : Les coûts de production d'extrait de feuilles sèches d'armoise annuelle (1 DKK = 0,13 €) **Source** : Skovmand, A. (2014)

	Quantity	Costs DKK	Data source
Dried A. annua leaves			
Purchased (Table 2)	1 ton	10.266	
Extraction & Microencapsulation			
DCM solvent 95% reuse	152 kg	167	GEA Niro
Water	713 l	28	Online price
Maltodextrin	609 kg	1.674	Vandcenter Syd
Lecithin	87 kg	383	Online price
Steam (3 & 14 bar)	2.609 kg	183	Online price
Power	522 Kwh	485	US Dep. Energy
Packaging (25 kg)	28 bags	111	Dansk Energi
Technical operators	5,8 hours	1.649	Estimate
Laboratory technician	1,5 hours	562	Lund et al.
A: Investment			
Processing plant, annual costs	Per ton	4.484	GEA Niro
Total costs incl. investments		19.994	
Value of residual material	920 kg/ton	-230	
Cost price	696 kg powder	19.764	
B: Toll manufacturer			
Outsourced processing	Per ton	5.244	Costs as above
Cost price	696 kg powder	15.506	

11.5.4 Annexe 4 : Les coûts de production d'extrait de feuilles sèches d'armoise annuelle par poulet de chair et à différents dosages

Tableau 4 : Les coûts de production d'extrait de feuilles sèches d'armoise annuelle par poulet de chair et à différents dosages (1 DKK = 0,13 €) **Source** : Skovmand, A. (2014)

Dosage powder	Artemisinin /broiler	# treatments/ton dried leaves	Costs per treatment	
			Own investment	Toll manufacturer
1,1 g/kg feed	0,07 g	193.258	0,102 DKK	0,080 DKK
3,0 g/kg feed	0,20 g	72.868	0,271 DKK	0,213 DKK
4,9 g/kg feed	0,32 g	44.449	0,445 DKK	0,349 DKK

11.5.5 Annexe 5 : Les conditions dans lesquelles a été effectuée l'analyse

Les coûts de production d'armoise annuelle en tant que complément alimentaire ont été estimés par l'examen de la littérature, d'études préalablement réalisées, des bases de données en ligne ainsi que des entretiens avec des entreprises privées actives dans la recherche végétale, l'extraction et les techniques de séchage. Considérant les conditions danoises semblables à celles de nos régions, les données obtenues lors de cette étude peuvent être analysées dans le cadre de notre projet.

Concernant les investissements pour les installations de séchage, ceux-ci ont été obtenus à partir de plusieurs études réalisées sur le séchage de foin au Danemark. Pour une capacité de séchage de 300 ha, la rénovation d'une grange existante et l'installation de ventilateurs ont été évaluées à 100.813,23 €. En outre, le coût moyen annuel de l'investissement a été estimé à 9,02 € et ce, pour un taux d'intérêt de 3%,

une valeur de rebut de 30% et un amortissement linéaire sur une période de 10 ans (en ayant considéré une utilisation à pleine capacité).

11.6 Annexe VI : Le matériel et les méthodes utilisés

11.6.1 Annexe 1 : La batteuse

Une batteuse Saatmeister Kurt Pelz (Bad Godesberg, Germany) a été utilisée pour séparer les feuilles des tiges. Cette machine n'est pas encore commercialisée aujourd'hui, mais un modèle similaire existe et est commercialisé par l'entreprise Wintersteiger.

(<http://www.wintersteiger.com/fr/Seedmech/Produits/Programme-de-produits/Equipement-de-recherche/55-LD-350>, consulté le 14/12/14)

Les batteuses sont utilisées à l'origine pour séparer les graines des pailles. Le battage permet donc de purifier la récolte.

11.6.2 Annexe 2 : Le séchage

La concentration en artémisinine et de ses précurseurs (acide artémisinique et acide dihydroartémisinique) ainsi que l'activité antioxydante varie en fonction du mode de séchage des feuilles. Ainsi un article (Ferreira *et al.*, 2010 (a)), en comparant le séchage par lyophilisation, étuve, à l'ombre et au soleil, a mis en évidence que :

- La lyophilisation donne les moins bonnes valeurs en artémisinine.
- Le pouvoir antioxydant est conservé lors d'une lyophilisation et d'un séchage à l'étude mais diminue lors du séchage à l'ombre et plus fortement au soleil.
- La luminosité ne change pas la concentration en artémisinine lors dans séchage à l'ombre.
- Tous les modes de séchage ont montré une perte importante (82% en moyenne) de l'acide dihydroartémisinique. Mais cette perte est due en partie en sa conversion (43% pour le séchage à l'étuve et à l'ombre, 94% pour le séchage au soleil) en artémisinine.
- Un séchage à l'étuve de 24h à 45°C peut fournir des bons niveaux d'artémisinine et d'antioxydant.

11.6.3 Annexe 3 : Le broyage

Les recherches effectuées dans la littérature n'ont pas permis d'identifier des méthodes préférentielles (pour la teneur en composés actifs) de broyage.

Le moyen couramment utilisé pour le broyage des feuilles d'armoise dans les différentes expérimentations analysées est typiquement un mixeur. Cependant, pour une production de poudre d'armoise afin de nourrir un élevage de poulets, d'autres techniques doivent être envisagées. Différents types de broyeurs existes, mais dans le cas d'un broyage de feuilles sèches, un broyeur à marteaux semble le plus indiqué.

Un simple broyeur gravitaire à marteaux (à usage agricole) avec un réglage des grilles à +/- 3 mm peut être utilisé. En fonction de la machine, le rendement peut être compris entre 150kg et 1,5T par heure. Une machine alliant broyeur et mélangeur pourrait également se montrer utiles (<http://groupetoy.com/toy/fr/liste?rub2=41>, consulté le 13/12/14).

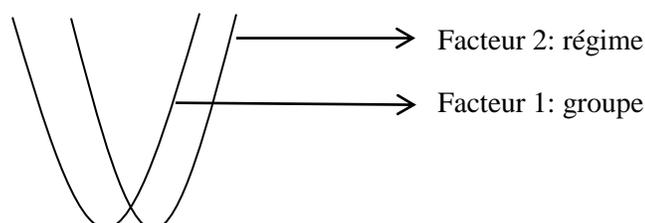
11.7 Annexe VII : Les résultats de l'expérimentation

11.7.1 Annexe 1 : Le modèle statistique utilisé

Notre modèle statistique est un modèle croisé mixte avec un facteur « groupe » (légers et lourds) aléatoire et un facteur « régime » (Témoin, 0.5% et 1.5%) fixe.

Groupe*Régime

Les réponses : le gain quotidien moyen, l'indice de consommation, la quantité d'aliments consommée.



11.7.2 Annexe 2 : La consommation journalière au cours des semaines par poulet en g

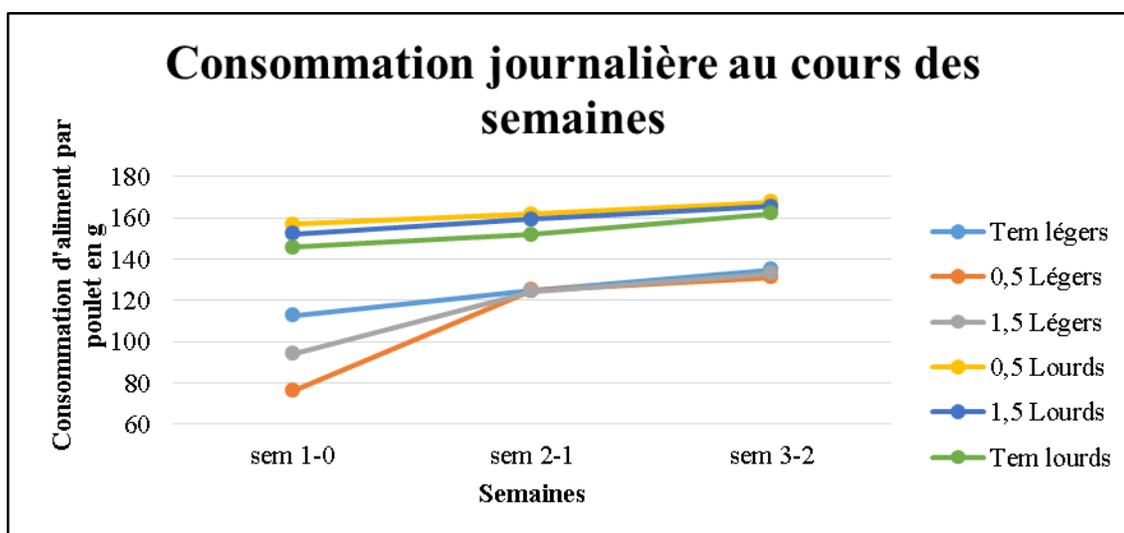


Figure 1: La consommation journalière au cours des semaines par poulet en g

11.7.3 Annexe 3 : Indice de consommation (g d'aliment/g de poulet) en fonction de la concentration en armoise

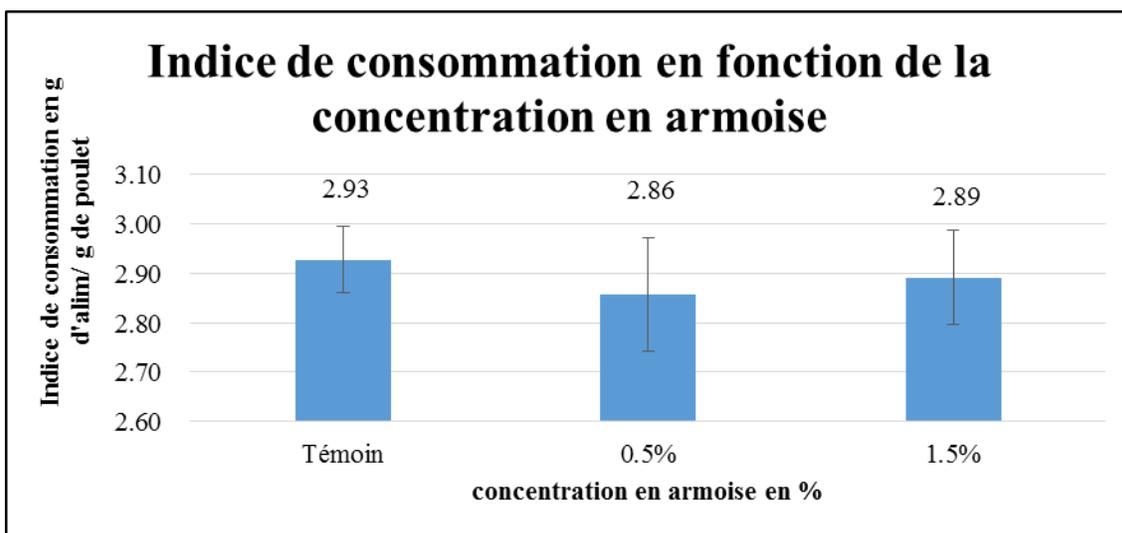


Figure 2 : Indice de consommation (g d'aliment/g de poulet) en fonction de la concentration en armoise

11.7.4 Annexe 4 : La consommation journalière (g/j) en fonction de la concentration en armoise

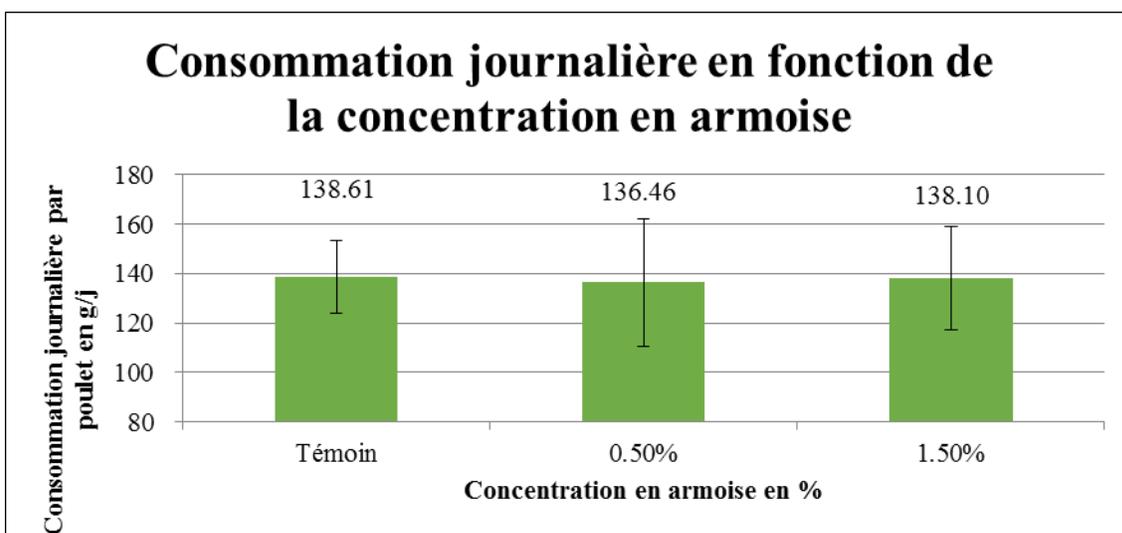


Figure 3: La consommation journalière (g/j) en fonction de la concentration en armoise

11.7.5 Annexe 5 : L'évolution du poids des poulets (g) au cours des semaines

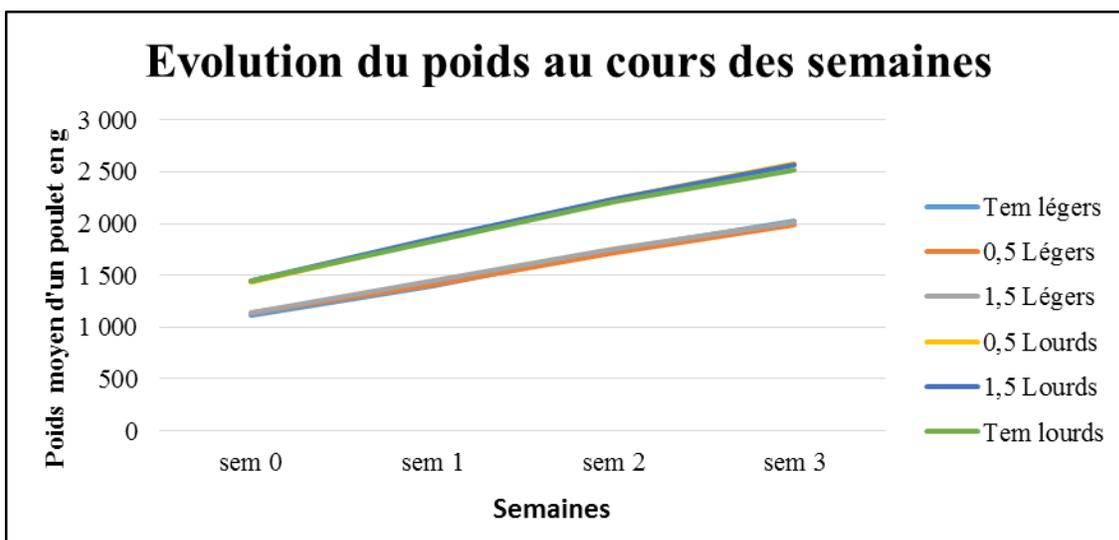


Figure 4: L'évolution du poids des poulets (g) au cours des semaines

11.7.6 Annexe 6 : Le gain quotidien moyen (g/j) au cours des semaines

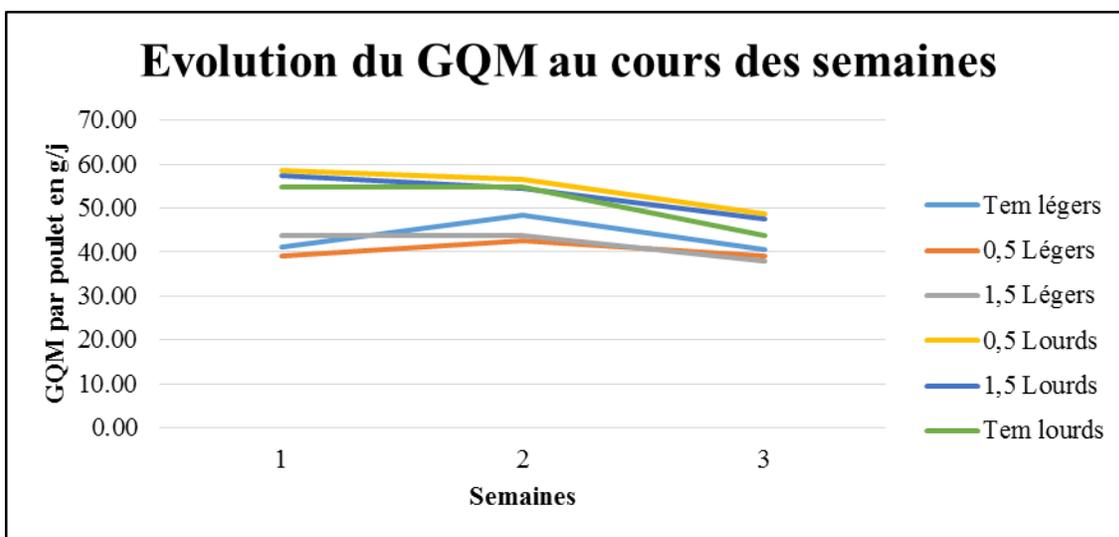


Figure 5: Le gain quotidien moyen (g/j) au cours des semaines

11.7.7 Annexe 7 : Le gain quotidien moyen (g/j) en fonction de la concentration en armoise

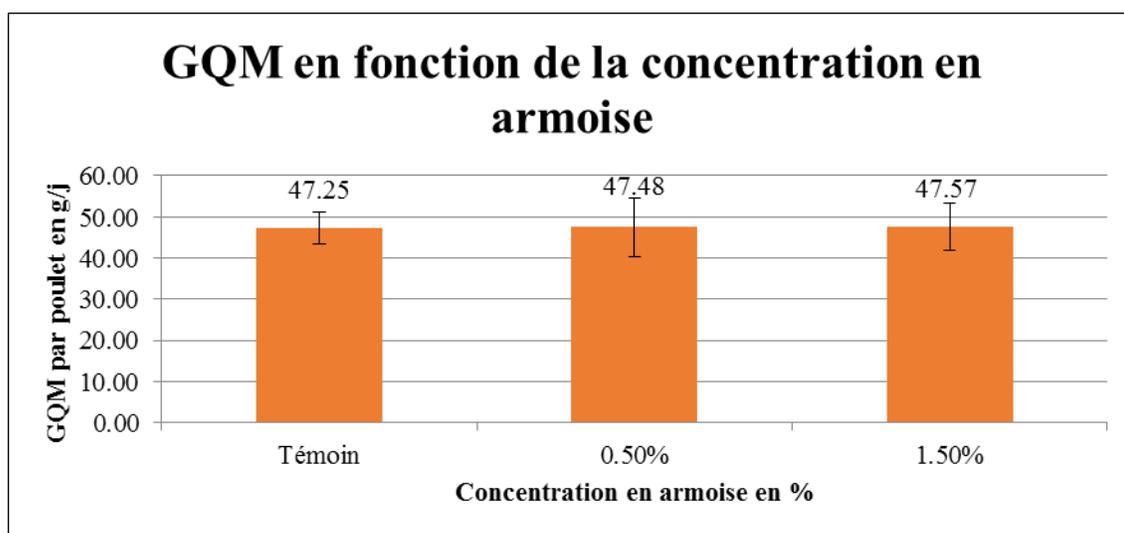


Figure 6: Le gain quotidien moyen (g/j) en fonction de la concentration en armoise

11.7.8 Annexe 8 : L'analyse de la variance pour le GQM

Tableau 1 : Analyse de la variance pour le GQM

Source	DF	SS	MS	F	P
Régime	2	0.107	0.054	0.01	0.990
Groupe	1	185.450	185.450	35.73	0.027
Error	2	10.381	5.191		
Total	5	195.939			

S = 2.27831 R-Sq = 94.70% R-Sq(adj) = 86.75%

Tableau 2 : Analyse de la variance pour le GQM en semaine 1

Source	DF	SS	MS	F	P
Régime	2	7.37	3.68	0.66	0.602
Groupe	1	367.72	367.72	65.88	0.015
Error	2	11.16	5.58		
Total	5	386.25			

S = 2.36255 R-Sq = 97.11 % R-Sq (adj) = 92.77 %

Tableau 3 : Analyse de la variance pour le GQM en semaine 2

Source	DF	SS	MS	F	P
Régime	2	5.914	2.957	0.43	0.700
Groupe	1	160.758	160.758	23.34	0.040
Error	2	13.778	6.889		
Total	5	180.450			

S = 2.62469 R-Sq= 92.36 % R-Sq (adj) = 80.91 %

Tableau 4 : Analyse de la variance pour le GQM en semaine 3

Source	DF	SS	MS	F	P
Régime	2	2.778	1.389	0.21	0.827
Groupe	1	80.981	80.981	12.20	0.073
Error	2	13.271	6.636		
Total	5	97.031			

S = 2.57599 R-Sq = 86.32 % R-Sq (adj) = 65.81 %

11.7.9 Annexe 9 : L'analyse de la variance pour l'indice de consommation

Tableau 2 : Analyse de la variance pour l'indice de consommation

Source	DF	SS	MS	F	P
Régime	2	0.005055	0.002528	2.26	0.307
Groupe	1	0.051176	0.051176	45.74	0.021
Error	2	0.002238	0.001119		
Total	5	0.058470			

S = 0.0334507 R-Sq = 96.17% R-Sq(adj) = 90.43%

11.7.10 Annexe 10 : L'analyse de la variance pour la quantité d'aliments d'ingérée**Tableau 3** : Analyse de la variance pour la quantité d'aliments d'ingérée

Source	DF	SS	MS	F	P
Régime	2	5.05	2.52	0.04	0.961
Groupe	1	2502.79	2502.79	39.96	0.024
Error	2	125.26	62.63		
Total	5	2633.10			

S = 7.91389 R-Sq = 95.24% R-Sq(adj) = 88.11%