

Table des matières

Introduction	3
I Le fumier de cheval	3
1°) Un temps révolu : les champignonnières, débouché royal.....	3
2°) Les problèmes actuels	4
3°) Les différentes fédérations peuplant le milieu chevalin.....	4
4°) Les solutions envisagées	6
a) Le fumier de cheval et la litière	6
b) Les solutions envisagées	6
c) Le compostage	7
II Les premiers contacts avec la FIVAL	8
1°) Organisation du groupe	8
2°) Les Assises du cheval : 4 décembre 2008	9
3°) Travail de documentation.....	9
4°) D'un projet technique à un questionnaire	10
III Le questionnaire	11
1°) Objectifs	11
2°) Les moyens envisagés	11
a) Questionnaire papier/ Questionnaire en ligne	11
b) Création du questionnaire et de la base de données/ Utilisation d'un	12
logiciel.....	12
c) Choix du logiciel.....	13
d) Le logiciel Itsquizz.....	14
3°) La rédaction du questionnaire	18
a) Un premier jet	18
b) La phase de test.....	19
c) La mise en ligne	19
4°) Synthèse des résultats.....	20
a) Caractérisation du panel des répondants.....	20
b) Activités	23
c) Equipement	24
d) Conduite des équidés	25
e) Gestion du fumier	27
f) Détermination des causes des problèmes	30
g) Valorisation souhaitée.....	34
IV Module expérimental	36

1°) Objectifs	36
2°) Détermination des caractéristiques.....	36
a) Définitions.....	36
b) Protocole expérimental	37
c) Résultats	39
d) Interprétation.....	40
3°) Méthanisation	40
a) Principe	40
b) Protocole expérimental	42
c) Résultats.....	47
4°) Conclusion.....	50
Conclusion.....	51
Annexes	52
Bibliographie	53
Annexe sécurité	54
Capital-Ex.....	Erreur ! Signet non défini.
Annexe sécurité des données.....	Erreur ! Signet non défini.
Traitement des données	Erreur ! Signet non défini.
Devis Itsquizz	Erreur ! Signet non défini.
Devis WysuForm.....	Erreur ! Signet non défini.
Questionnaire : Premier jet.....	Erreur ! Signet non défini.
Questionnaire : Version Finale.....	Erreur ! Signet non défini.

Introduction

Le présent rapport prétend décrire, avec précision mais sans exhaustivité, notre projet de deuxième année consacré à la valorisation du fumier de cheval. Ce projet, initié indirectement par M. Isambert, l'était par la Fédération Interprofessionnelle du Cheval de sport, de loisir et de travail (FIVAL).

Le milieu chevalin est confronté à un excédent de fumier de cheval que les centres équestres, touchés par la baisse d'activité des champignonnières, qui étaient leurs principales dépositaires de fumier, ne parviennent plus à évacuer. Les études sur la valorisation d'un tel fumier sont rares, bien que l'on puisse s'orienter a priori vers la méthanisation, le compostage ou la combustion.

Si les premiers contacts avec la FIVAL nous laissaient penser que nous aurions quelques expériences à mener sur ce sujet, nous avons finalement eu la charge, en janvier, d'élaborer un questionnaire en ligne qui serait envoyé aux centres équestres français, afin de cerner le chantier à mener en matière de communication et d'organisation de la valorisation du fumier.

Le questionnaire, dont nous venons d'achever le dépouillement, a mis en exergue le manque d'information au sujet des techniques de valorisation mais aussi le désir des exploitants de valoriser leur fumier.

I Le fumier de cheval

1°) Un temps révolu : les champignonnières, débouché royal

Les champignons ne contiennent pas de chlorophylle, ce qui les rend incapables de produire de l'énergie à partir de la lumière ; la culture en cave leur siéra parfaitement, pour peu qu'ils y trouvent de la matière organique. Le champignon de Paris possède en outre la particularité d'être décomposeur : il se nourrit de matière en décomposition (litière forestière, aliments en décomposition). Le mycélium, élément filamenteux incolore se développant dans le sol, et qui constitue l'appareil végétatif souterrain du champignon, nécessite un support végétal décomposé dans lequel il puise l'eau et les minéraux dont il a besoin. Vous l'aurez deviné, ce support est du fumier de cheval.

On peut décrire la culture du champignon de Paris par le triptyque préparation du compost, ensemencement et gobetage.

-le compost (voir description de la technique de compostage dans la partie *solutions envisagées*) est fabriqué à partir de fumier très pailleux, sur une plateforme. Il est ensuite pasteurisé en carrière : on le porte, mélangé à du plâtre, à une température supérieure par fermentation à 60°C pendant au moins 48 heures afin de détruire les champignons parasites et les germes pathogènes.

-l'ensemencement (ou lardage) s'étend sur deux semaines, au cours desquelles, à une température de 25°C et une humidité de 80% -entretenu par arrosage, le mycélium colonise le compost.

-le gobetage, l'ultime étape, désigne le recouvrement du compost ensemencé par une couche de tourbe blonde et de calcaire broyé. Cette couche, d'une épaisseur de 2 cm, maintient l'état d'humidité du compost et permettra la formation des carpophores (parties que l'on mange).

La France se situe au deuxième rang des pays producteurs de Champignon de Paris, derrière les Pays-Bas ; sa position se voit aujourd'hui ébranlée par l'ascension de la Pologne et la Chine, accélérée par la mondialisation. Un tableau vaut mieux qu'un paragraphe pour décrire cet effondrement.

année	total	frais	industrie
1991	231	55	176
1992	228	55	173
1993	216	50	166
1994	202	48	154
1995	213	52	161
1996	209	52	157
1997	181	51	130
2004	160	-	-
2006	98	-	-

Evolution de la production de champignons de couche en France (en milliers de tonnes)

2°) Les problèmes actuels

Les quelques 30 000 chevaux que compte l'Ile-de-France, disséminés dans plus de 450 centres équestres, produisent, selon l'ORDIF (Observatoire Régional des Déchets d'Ile-de-France) 360 000 tonnes de fumier par an. Comme nous l'avons vu ci-dessus, le déclin actuel de la production du champignon de couche, qui représentait l'habituel et essentiel débouché du fumier de cheval, impose désormais de réfléchir à de nouveaux débouchés pour celui-ci. Justement, aucune réflexion d'ampleur n'avait été menée, puisque la production champignonnière absorbait de grandes quantités de fumier.

En réaction à cette baisse d'activité conséquente, les négociants en paille et fourrage ont réduit le tonnage du fumier dont ils se chargeaient de la collecte afin de ne pas avoir d'excédent à gérer. Ce problème concerne dorénavant directement les centres équestres. Les centres de compostage se montrent de plus en plus exigeants sur la qualité du fumier. Cela conjugué à la baisse des prix d'achats par les champignonnistes, et l'évacuation du fumier devient un problème tant économique que pratique.

Néanmoins, la situation particulière de la région francilienne ne doit pas masquer le problème plus général d'évacuation et d'utilisation du fumier posé par la croissance de la filière du cheval de sport, de loisir et de travail. Le nombre de cavaliers a augmenté de 4% par an depuis 30 ans ; la Fédération Française d'Equitation, forte de 553 560 licenciés, est aujourd'hui la 4^{ème} fédération olympique en France en nombre d'adhérents. Les centres équestres ont tendance à se concentrer en périphérie des zones urbanisées, où les terres agricoles sont rares et les nuisances possiblement causées par le fumier plus nombreuses.

3°) Les différentes fédérations peuplant le milieu chevalin

Le monde du cheval en France est divisé en quatre filières : les deux filières des courses représentées par les sociétés mères **France Galop** (courses de galop) et **Cheval Français**

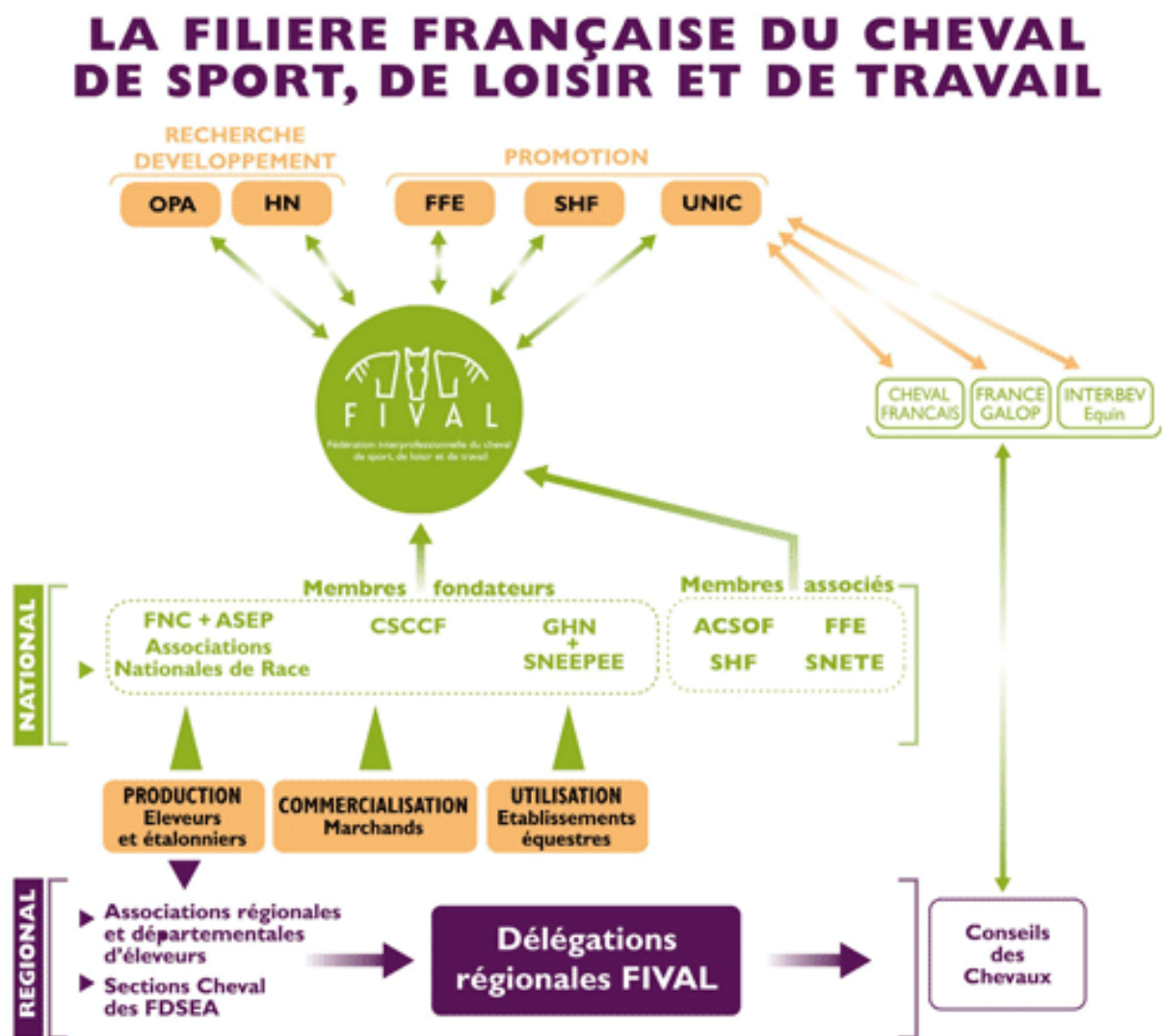
(courses de trot), la filière viande par **Interbev** et la filière sport, loisir, travail, représentée par la **FIVAL**.

La FIVAL (Fédération Interprofessionnelle du Cheval de sport) est constituée de cinq composantes représentant :

- le secteur professionnel de la **production** : la Fédération Nationale du Cheval (FNC) et l'Association Syndicale des Etalonniers Particuliers (ASEP)
- le secteur professionnel du **commerce** et de l'**utilisation** : la Chambre Syndicale du Commerce et des Chevaux de France (CSCCF), le Groupement Hippique National (GHN) et le Syndicat National des Exploitants d'Etablissements Professionnels et des Entreprises Equestres (SNEEPEE)

En outre, la FIVAL compte quatre membres associés : l'ACSOFF (Association des Cavaliers de Saut d'Obstacles en France), la FFE (Fédération Française d'Équitation), le SNETE (Syndicat National des Entreprises de Tourisme Equestre) et la SHF (Société Hippique Française).

Au cas où le lecteur serait décontenancé par cette myriade d'entités aux sigles incongrus, voici un schéma clarifiant la situation :



La FIVAL est un outil au service du développement économique qui fédère les acteurs intéressés par un même enjeu. Elle est même reconnue d'utilité publique depuis 2001. Sans maîtrise de l'art divinatoire, on pressent qu'elle aura un rôle important à jouer dans l'appréhension du problème de l'évacuation et de l'utilisation du fumier de cheval. Un groupe de travail a justement été créé et réfléchi à différentes solutions ainsi qu'à la caractérisation des fumiers.

4°) Les solutions envisagées

a) Le fumier de cheval et la litière

On appelle fumier de cheval le mélange de la litière et de l'urine et du crottin équin. Il contribue à enrichir la terre en y ajoutant des matières organiques et des nutriments, tel l'azote.

La composition du fumier de cheval varie en fonction de la litière, qui peut être la paille (c'est la plus courante), les copeaux de bois, le lin ou le chanvre ; néanmoins la densité du fumier de cheval se situe en général entre 150 et 350 kg/m³. Le crottin et l'urine étant les éléments fertilisants du fumier, la fréquence de curage des boxes influencera la qualité du fumier. En moyenne, un cheval produit 44m³ de fumier par an.

Ce volume se réduit de 20 à 40% avec les copeaux ou la semoulette de bois, de 50 à 75% avec le lin ou le chanvre. En outre, au terme d'une étude menée par Josselin Saint-Raymond portant sur le coût total de la litière, prenant donc en compte le coût de la litière, du curage et de l'entretien hebdomadaire, ces litières alternatives se révèlent moins chères à l'année que la paille (30360 € contre 36480 €) ; l'adoption de ces litières permettrait à la base de diminuer le volume de fumier.

b) Les solutions envisagées

Vient ensuite la question de l'élimination. Plusieurs solutions sont possibles :

- la **fourniture aux champignonnières** (en forte chute, de 50 à 75%), dont la proportion de fumier absorbée devient étique
- la **méthanisation** en présence de bactéries qui dégradent le fumier, induisant un dégagement de biogaz (mélange de dioxyde de carbone CO₂ et de méthane CH₄) mais qui reste aléatoire faute d'études, nonobstant des avantages considérables (suppression des odeurs et production d'une énergie renouvelable)
- quant à la **combustion**, elle est relativement peu coûteuse à mettre en oeuvre. Elle permet en outre de faire littéralement disparaître les déchets et donc de supprimer les problèmes de stockages. La combustion de biomasse présente l'avantage de ne pas ajouter de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. En effet, en poussant, les plantes absorbent le carbone présent dans l'air par le processus de la photosynthèse. Par la suite, après digestion par l'animal la combustion du fumier ne fait de rejeter le carbone qui avait été capté auparavant. Ainsi au cours d'un cycle, la quantité globale de dioxyde de carbone reste constante.

- la fabrication de **biocarburants** à partir de fumier n'en est qu'à un stade embryonnaire
- l'**épandage** de fumier brut reste une solution de secours, le fumier ne présente en outre aucune garantie sanitaire
- la mise en **tourbière**, est une solution dans l'absolu, mais n'est pas réalisable à l'échelle nationale
- le **compostage** reste la solution privilégiée: peu d'équipements et procédé simple.

La FIVAL, dans le compte-rendu du lancement de son projet de caractérisation des fumiers daté du 8 janvier 2008, préconise d'explorer « *trois pistes de valorisation du fumier de cheval ... [qui semblent] intéressantes à ce jour : la **méthanisation**, le **compostage** et la **combustion**.* [...] L'objectif de [l'] étude est :

- d'établir des références sur les caractéristiques des gisements
- d'établir des références sur les différents types de fumier de cheval des centres équestres
 - de fournir des données sur les critères de faisabilité des trois techniques citées ci-dessus en fonction des différents types de fumier de cheval. »

c) Le compostage

Le compostage est la décomposition biologique thermophile du fumier, en présence d'oxygène et dans des conditions contrôlées, sous l'action de micro- et de macro-organismes - déjà présents dans le fumier de cheval. Le compost est le produit final du compostage. Deux étapes se succèdent dans le processus de compostage :

- la décomposition et la dégradation intenses de la matière organique fraîche, à haute température (70°C), en présence d'oxygène
- la maturation de l'humus, plus lente et à des températures inférieures

Les paramètres importants pour le compostage sont :

- **le rapport C/N**, idéal entre 40 et 60 pour le substrat. Fumier de cheval : environ 40
- **l'aération** : idéale pour 30 à 35% d'espaces lacunaires. Fumier de cheval : plutôt bon mais il faut surveiller le tassement et retourner le tas si nécessaire
- **l'humidité** : la teneur minimale en eau est de 75%. Fumier de cheval : 30 à 35% pour la paille ; il faut donc humidifier le tas régulièrement, ce qui est délicat avec la paille. Les litières alternatives ont une humidité initiale supérieure et sont plus faciles à humecter
- **la température** doit dépasser 60°C. Le fumier de cheval chauffe très bien.
- **le pH** : celui du fumier de cheval (8-8,5) convient
- **l'hygiénisation** : il faut six semaines à plus de 50°C pour détruire la plupart des pathogènes

On infère de ces données que le fumier de cheval convient donc très bien au compostage.



Retournement et arrosage de compost

II Les premiers contacts avec la FIVAL

1°) Organisation du groupe

Notre groupe s'est constitué en octobre. Le projet proposé par Arsène Isambert avait déjà retenu notre attention au Forum Projet de mai 2007. Nous décidâmes de nous y engager début octobre, sur une décision collégiale.

S'il nous fallait caractériser en quelques mots l'organisation de notre groupe de projet, nous pourrions dire que la tâche a été équitablement répartie.

Équitablement car le temps de travail est le même pour tous. Chacun a payé son écot de labeur, mais souvent pas au même moment. Nous nous sommes attribué des tâches personnelles, sur décision consensuelle. Les deux autres n'interféraient en général pas dans le travail du troisième, si ce n'est à son terme pour en discuter les conclusions. Il n'y eut, peut être grâce à cela, jamais de dispute sérieuse dans le groupe, l'ambiance fut souvent plaisante.

Ainsi la programmation du questionnaire a été faite par une seule personne, tout comme les résultats statistiques, etc. Ces tâches ne représentaient pas des **orientations** du projet mais des **réalisations** de ces orientations, et leur accomplissement ne requirait pas le concours de tous. Les décisions façonnant l'avenir du projet (contacter tel ou tel organisme ou fédération, utiliser un logiciel pour le questionnaire, croiser telle ou telle donnée pour les statistiques,...) étaient elles soumises à l'approbation unanime.

Ajoutons que personne ne s'imposa comme un chef de projet, sans doute parce que nous n'avons pas (encore?) l'étoffe de patrons ; aucune hiérarchie ne s'est établie.

Le projet commença début octobre avec plusieurs conversations avec M. Isambert, lequel nous présenta le contexte de notre future étude, dont nous ne connaissions pas la nature précise. Notre projet avait été monté sur demande de la FIVAL (Fédération

Interprofessionnelle du Cheval de sport, de loisir et de travail) ; dans un premier temps (octobre-novembre) nous éprouvâmes des difficultés à contacter cet organisme afin de déterminer l'enjeu du projet et la mission qui nous sera confiée.

Notre interlocutrice à la FIVAL fut Mme Solenn Le Boudec. Nous devions à deux reprises la rencontrer, elle et son directeur au siège de la FIVAL à Paris, rendez-vous que les grèves de novembre ont empêchés. Une conversation téléphonique mi-octobre nous a permis de mieux cerner notre domaine (du moins le croyons-nous) : ce serait le compostage et l'incinération du fumier de cheval. Mme Le Boudec nous fit parvenir quelques adresses internet, des documents qui constituaient l'état des lieux de la recherche en matière de revalorisation du fumier de cheval, ce qui constituait en fait un corpus assez mince, ainsi que des invitations pour le Salon du Cheval, qui se tenait Porte de Versailles du 1^{er} au 9 décembre, et les Assises du Cheval, organisées par la FIVAL le 4 décembre, qui sont l'assemblée annuelle de tous les secteurs concernés par le cheval. Nous avons lu et synthétisé les documents, qui nous ont permis d'avoir un aperçu vaste et plutôt détaillé de la situation, qui compose la première partie du présent rapport.

2°) Les Assises du cheval : 4 décembre 2008

Nous nous rendîmes le 4 décembre Porte de Versailles (un compte-rendu de la journée est disponible) et nous nous aperçûmes que bien peu de gens étaient (et sont aujourd'hui) au courant des problèmes liés au surplus croissant de fumier de cheval ; la Fédération Française d'Equitation elle-même n'a su nous renseigner sur les dispositifs mis en œuvre pour l'éliminer ! Nous avons eu l'occasion d'aborder plusieurs protagonistes de la profession, ceux-ci étant réunis en cette occasion par leur passion. Néanmoins, les questions trop techniques n'étaient que très rarement répondues car les personnes présentes n'étaient pas informées spécifiquement sur la filière du fumier de cheval. Des contacts ont été noués mais peu se sont par la suite révélés utiles.

Nous assistâmes aux Assises du Cheval le matin et rencontrâmes Mme Le Boudec à midi, laquelle nous dit que son directeur serait pris toute la journée (elle nous a cependant furtivement présentés) et que nous n'apprendrions pas grand chose dans les conférences et débats composant cet événement, ceux-ci ne touchant pas notre sujet ; ces discussions touchaient essentiellement les domaines du marketing et de la communication.

En outre, notre mission, si nous apprenions qu'elle serait exigeante en travail et en créativité, ne nous était toujours pas confiée, car la FIVAL attendait une réunion avec d'autres partenaires dont l'APESA (Centre Technologique en Environnement et Maîtrise des Risques). Nous rentrâmes donc bredouilles de cette journée.

Le 19 décembre Mme Le Boudec nous informa que leur réunion avec l'APESA concernant la typologie des fumiers se tiendrait le 8 janvier, après quoi il nous sera précisé « le planning et les travaux ». Nous espérons qu'alors notre projet connaîtrait son départ, même si un travail de prospection documentaire ne nous avait pas laissés dans une totale inactivité.

3°) Travail de documentation

Nous nous étions lancés d'emblée dans la nécessaire collecte d'informations qui prélude à l'orientation d'un projet, collecte d'autant plus difficile que peu de publications existaient sur la valorisation du crottin de cheval, mais d'autant plus intense que les ajournements de réunions se multipliaient.

Le plus délicat dans ces recherches (dans les bibliothèques du laboratoire LGPM et du Centre de Documentation) fut de discerner les ouvrages traitant de valorisation de fumier dans

l'ensemble des thèses, magazines et opuscules portant sur la méthanisation ou la combustion de matières organiques autres ou quelconques. Mais comme nous l'avons déjà dit, les études menées sur le fumier de cheval sont sporadiques. Le mémoire de Josselin Saint-Raymond, fourni par la FIVAL, fut le seul ouvrage exclusivement consacré au fumier de cheval que nous eûmes en main.

La recherche sur Internet, notamment sur Web of Science, ne fut pas plus fructueuse. Nous prîmes contact avec différentes entités que nous jugions plus à même de nous renseigner : les haras nationaux et le Ministère de l'environnement nous éclairèrent sur quelques points (différence, sur le plan juridique, entre combustion et incinération ; noms des centres équestres en pointe dans la valorisation), mais pas les fondamentaux (essais de combustion, pouvoir méthanogène, études de coût des différentes formes de valorisation).

4°) D'un projet technique à un questionnaire

Comme cela est dit plus haut, notre projet avait initialement une vocation scientifique et technique. Nous avons d'ailleurs demandé une équivalence ME, pensant avoir des manipulations visant à caractériser le fumier de cheval. Mais le contenu de ce projet connaîtra en fait un parcours erratique, louvoyant de l'expérience scientifique proprement dite à l'élaboration d'un sondage.

A l'aube de 2008 (mardi 22 janvier), une réunion dont les participants furent Mme Le Boudec, MM Isambert et Alexandre et nous-mêmes eut lieu. Au cours de cet entretien furent évoqués la plupart des aspects du traitement du fumier de cheval, dont les centres équestres sujets actuellement de quelques expérimentations menées notamment par le CEMAGREF à Antony. Seulement rien de concret et précis ne fut défini. Nous errions encore, comme depuis octobre, glanant des informations générales (souvent superfétatoires car imprécises) sur la revalorisation du fumier de cheval, lorsqu'un nouvel entretien le 29 janvier au siège le FIVAL mis enfin le projet sur les rails.

En présence de Mmes Le Boudec et Quitard, il fut décidé de faire un questionnaire en ligne sur la revalorisation du fumier de cheval, questionnaire adressé aux 5000 centres équestres français. Notre rôle :

-créer les questions en collaboration avec Mme Le Boudec de la FIVAL, et M. Pouech de l'APESA (Centre Technologique en Environnement et Maîtrise des Risques). Cette tâche est désormais effectuée.

-construire un questionnaire en ligne.

-mettre en ligne le questionnaire. La Fédération Française d'Equitation, qui possède une base de données comportant les adresses, mails, noms, localisations des centres équestres français se chargera d'envoyer les mails avec le lien vers la page d'accueil du questionnaire. Le questionnaire devrait demeurer en ligne un mois.

-recueillir les résultats sous forme de fichier Excel, les interpréter et les présenter. Nous devons le faire autour de la fin mai.

III Le questionnaire

1°) Objectifs

L'objectif premier du questionnaire est d'obtenir des informations sur la gestion du fumier dans les centres équestres de France, par exemple le volume de fumier produit par an dans chaque centre équestre, les difficultés éventuelles que les centres ont à stocker et traiter leur fumier, le surcoût que le traitement du fumier entraîne depuis la fin de l'utilisation du fumier dans les champignonnières, l'existence ou non de méthodes de valorisation.

Les réponses permettront de poursuivre les recherches pour déterminer quel type de valorisation est le plus adapté à chaque centre équestre en fonction de sa taille, de la quantité de fumier qu'il produit et de sa localisation.

Le second objectif, plus implicite, du questionnaire est de recueillir des informations comme par exemple le nombre d'équidés hébergés ou le nombre de personnes employées ; pour remettre à jour ces données dans les fichiers de la FFE sans qu'une nouvelle enquête soit nécessaire.

Le troisième objectif de cette enquête est de recueillir des informations sur la consommation en eau et sur la gestion de l'eau dans les centres équestres. Ces informations seront utilisées dans une autre étude menée par la FIVAL. Là encore ces questions ont été rajoutées au questionnaire initial pour ne pas multiplier le nombre d'enquêtes soumises aux centres équestres et ne pas agacer certains gestionnaires de centres qui pourraient dès lors ne plus daigner répondre.

2°) Les moyens envisagés

a) Questionnaire papier/ Questionnaire en ligne

Pour réaliser cette étude, nous avons deux possibilités de point de départ :

- un questionnaire papier
- un questionnaire en ligne

Le questionnaire papier présente un gros avantage : sa simplicité de mise en œuvre. En effet il est très simple de taper le questionnaire et de l'envoyer par la poste à l'ensemble des centres équestres.

Les inconvénients du questionnaire papier sont multiples :

- Consommation de papier très importante (10 pages par centre), pas très écologique
- Prix (consommation de timbres et d'enveloppes pour l'envoi et le retour des questionnaires, 3000€uniquement pour les enveloppes timbrées)
- Difficile de traiter les données (remplissage manuel d'une base de données)
- Réponse plus contraignante pour les centres (déplacement à la Poste, ...)

Le principal avantage du questionnaire en ligne est la simplicité de récupération des données et le prix (entre 500 et 1000€HT selon le nombre de répondants pour la location d'un

logiciel). Ce type de questionnaire dispense d'utilisation de support papier, il est par conséquent impossible de rencontrer des problèmes de relecture d'une réponse manuscrite ou de cases mal cochées par exemple. C'est enfin beaucoup plus écologique.

Les inconvénients du questionnaire en ligne sont :

- La difficulté de la mise en œuvre
- La gestion de la base de données

On peut résumer tout cela dans un tableau :

	Questionnaire papier	Questionnaire en ligne
Prix	-	++
Simplicité de réponse	-	+
Traitement des réponses	--	++
Mise en œuvre	++	--
Consommation de papier	--	+++
Conclusion	--	++

Le choix du questionnaire en ligne a été évident tant le questionnaire papier est mal adapté pour notre étude.

b) Création du questionnaire et de la base de données/ Utilisation d'un logiciel

Notre première idée pour réaliser le questionnaire fut de tout créer nous-mêmes. Nous voulions développer un site internet pour héberger le questionnaire, créer et organiser une base de données pour stocker les réponses et développer un programme permettant de ranger les réponses de chaque centre dans la base de données ordonnée. L'avantage de cette solution est qu'elle n'entraînait aucun frais pour la FIVAL dont nous ne connaissions pas le budget alloué à cette enquête.

Nos connaissances en création de bases de données et en développement de site internet étant limitées, nous avons contacté le responsable informatique de l'école, Mr Jean-Philippe Rey pour qu'il nous conseille en vue de la réalisation de notre projet de questionnaire.

Il nous a clairement dit que le développement du questionnaire était faisable mais que cela représentait un projet de deuxième année à lui seul et que nous aurions besoin de beaucoup de temps pour le réaliser. Il nous a dirigé vers Mme Dominique Sauquet qui a développé et qui gère le logiciel « Itsquizz » qui permet de créer des questionnaires en ligne d'en exploiter les réponses en ligne.

	Développement interne	Logiciel existant
Prix	+++	---
Temps de mise en service	---	+
Fiabilité	-	+
Fonctionnalités	-	++
Traitement des données	=	+
Gestion de la base de données	-	+
Conclusion	--	++

Etant donné que nous étions au mois de Janvier et la mise en ligne du questionnaire étant prévu pour le mois de Mars, nous ne disposons pas d'assez de temps pour faire le développement nous même, nous avons donc décidé de suivre les conseils de Mr J-P Rey et d'utiliser un logiciel adapté à ce genre de projet.

c) Choix du logiciel

En recherchant sur Internet, on trouve beaucoup de logiciels adaptés. Au final nous avons retenu deux logiciels pour réaliser notre étude : le logiciel Itsquizz et le logiciel de la société WysuForm.

Les deux logiciels proposent quasiment les mêmes fonctionnalités, le choix va donc s'est donc fait sur le prix et l'assistance technique.

Nous avons demandé des devis aux deux sociétés sur la base de 5000 envois et de 2500 répondants (nombre communiqué par la FIVAL au vu du taux de réponses de précédentes enquêtes) sur une durée de 2 mois.

WysuForm nous a fait une proposition à 936.65€
Mme Sauquet nous a fait une proposition à 500€

Pour ce qui est de l'assistance technique la société WysuForm nous proposait une assistance téléphonique (la société est basée à Avignon).

Dominique Sauquet est professeur à l'école et est donc présente plusieurs jours par semaine, ce qui permet de la rencontrer facilement en cas de besoin.

	Itsquizz	WysuForm
Prix	++	-
Assistance technique	+++	=
Fonctionnalités	+	++
Conclusion	+++	+

Nous avons évidemment choisi le logiciel Itsquizz pour réaliser notre enquête car il est moins cher et car Mme Sauquet est disponible à l'école plusieurs fois par semaine.

Nous avons ensuite présenté notre décision à la FIVAL, qui l'a acceptée.

d) Le logiciel Itsquizz

Le logiciel « Itsquizz » permet de réaliser très simplement des enquêtes en ligne. La première étape dans la création d'une enquête est la rédaction des questions, rédaction qui est très intuitive sur le logiciel et qui se fait en 3 étapes :

La première étape permet de rédiger la question et de régler les paramètres de la réponse (obligatoire ou non, ouverte ou fermée,...). Il est possible de rédiger un texte d'aide pour préciser une question.

The screenshot shows the 'Nouvelle question' (New question) form in the Itsquizz software. The interface includes a sidebar with navigation options: Questionnaires, Dictionnaires, Base de questions, Styles, Utilisateurs, and Mails. The main form contains the following fields and options:

- Libellé ***: A text input field containing 'Quelle type de litière utilisez-vous ?'.
- Description**: A text input field.
- Aide en ligne**: A text input field.
- Réponse obligatoire**: Radio buttons for 'Oui' (selected) and 'Non'.
- Question ouverte ***: Radio buttons for 'Oui' (selected) and 'Non'.
- Question en tableau**: Radio buttons for 'Oui' and 'Non'.
- Domaine de la question**: A dropdown menu with 'Entretien box' selected.
- J'ajoute un nouveau domaine**: A checkbox that is checked.
- Envoyer**: A button to save the question.
- Questionnaire blabla**: A link to return to the questionnaire.

La deuxième étape consiste à choisir la forme des réponses que l'on souhaite proposer pour la question (choix multiple, choix simple, ouverte).

Si on choisit une réponse ouverte, on peut restreindre le type de réponses possibles (entier, réel, date,...) pour forcer les répondants à entrer le type de données que l'on souhaite tout en bénéficiant de la liberté sur la valeur de la réponse que donne une question ouverte.

Autre fonctionnalité très pratique du logiciel, la possibilité d'ajouter un commentaire sur la dernière réponse pour les questions à choix multiples, c'est-à-dire que les répondants ont la possibilité de préciser leur réponse s'ils choisissent la dernière possibilité, qui correspond dans l'immense majorité des cas à la réponse autre.

The screenshot shows the configuration options for the question type in the Itsquizz software. The options are:

- Choix simple ou multiple ***: Radio buttons for 'Simple' and 'Multiple' (selected).
- Ordre des réponses fixe ou aléatoire**: Radio buttons for 'Fixe' (selected) and 'Aléatoire'.
- Pour une présentation verticale, donner le nombre de colonnes**: A text input field with '1' entered.
- Ajout d'un commentaire sur le dernier choix**: A checkbox for 'Oui' (checked).
- Texte associé**: A text input field.
- Nombre minimum de valeurs**: A text input field.
- Nombre maximum de valeurs**: A text input field.
- Valeur initiale**: A text input field.
- Valeur finale**: A text input field.

La troisième étape consiste à choisir les différentes réponses que l'on va proposer pour chaque question et les codes correspondants. Les codes apparaissent dans le fichier Excel contenant toutes les réponses, il faut donc les choisir courts et explicites pour pouvoir deviner la réponse à laquelle ils correspondent sans se reporter en permanence au questionnaire. Certaines réponses reviennent très souvent comme par exemple le choix oui/non ou encore les jours de la semaine. Pour éviter de rentrer ces réponses à chaque fois, il est possible de créer des dictionnaires que l'on crée une fois pour toutes et que l'on peut utiliser à souhait.

Une fois toutes les questions rédigées, il faut organiser le questionnaire; c'est-à-dire mettre les questions dans l'ordre s'il y a eu des changements et créer des conditions qui permettent de faire apparaître des questions en fonction des réponses précédentes.

L'organisation se fait très simplement puisqu'il suffit de faire monter ou descendre chaque question dans la liste grâce aux boutons « monter » et « descendre ». Le procédé est un peu pénible quand il faut remonter la question n°100 à la place de la question n°2, mais c'est le seul reproche que l'on peut faire au logiciel Itsquizz. Une interface permettant de faire glisser les questions avec la souris aurait été plus confortable. Cette solution est déjà à l'étude, mais il faut du temps pour la développer.

©2007 @ok			
connecté en tant que rvignais - se déconnecter			
Questionnaire Enquête fumier Version 1			
Questionnaires	Retour sur le questionnaire		
Dictionnaires	N°	Libellé	Domaine
Base de questions	Page 1 : Sondage		
Styles	Page 2 : Renseignement sur l'activité		
Utilisateurs	1.	Quelle est votre activité ?	Renseignement sur l'exploitation
Mails	C1	Si Q1 égale Autre	
	2.	Pouvez-vous préciser "autre" ?	Gestion du fumier
	Fin de condition		
	3.	Dans quel milieu se situe l'exploitation ?	Renseignement sur l'activité?
	4.	Combien d'employés avez-vous ?	Renseignement sur l'exploitation
	Page 3 : Renseignement sur l'exploitation		
	5.	Quelle est la surface de vos prés sur l'exploitation (en ha) ?	Renseignement sur l'exploitation
	6.	A quelle distance se trouvent les habitations les plus proches ?	Renseignement sur l'exploitation
	7.	Quel est le nombre moyen d'équidés présents sur votre exploitation à l'année ?	Renseignement sur l'exploitation
	7.1	Poney de club	Renseignement sur l'exploitation
	7.2	Poney de propriétaires	Renseignement sur l'exploitation

La mise en place de condition est très simple car il suffit de se laisser guider par les instructions qui apparaissent au fur et à mesure.

Une fois le questionnaire terminé et organisé, il faut le mettre en ligne.

Le logiciel nous permet de choisir tous les paramètres. On commence par sélectionner le panel auquel on va envoyer le questionnaire. Ce panel aura été créé à l'avance par nos soins, il comporte l'ensemble des login et des mots de passe des répondants. On peut choisir les login et mots de passe nous même ou laisser le logiciel les créer aléatoirement.

Le logiciel permet de choisir la durée de la mise en ligne lorsque l'étude se déroule entre deux dates précises.

La tarification se faisant au nombre de répondants, il est possible de limiter ce nombre pour ne pas dépasser le quota.

Une fois tous les paramètres ajustés et la mise en ligne validée, le logiciel attribue une adresse au questionnaire qui devient accessible à tous les répondants.

Une fois le questionnaire en ligne, on peut suivre les statistiques de connexions et ainsi décider du moment opportun pour envoyer un mail de relance.

Questionnaires

Questionnaire en ligne

Nombre de pages	11	Visualiser/Imprimer le questionnaire
Date de mise en ligne	23-04-2008 23:18	
Pas de date de retrait spécifiée		Créer une copie du questionnaire
Panel associé	Centre équestre 2	
Un seul questionnaire par répondant		
Pas de limite sur le nombre de questionnaires		
Nombre de fois où le questionnaire a été ouvert	656	Visualiser l'historique des mises en ligne
Nombre de répondants (au moins 1 page validée)	649	
Nombre de questionnaires complétés	456	

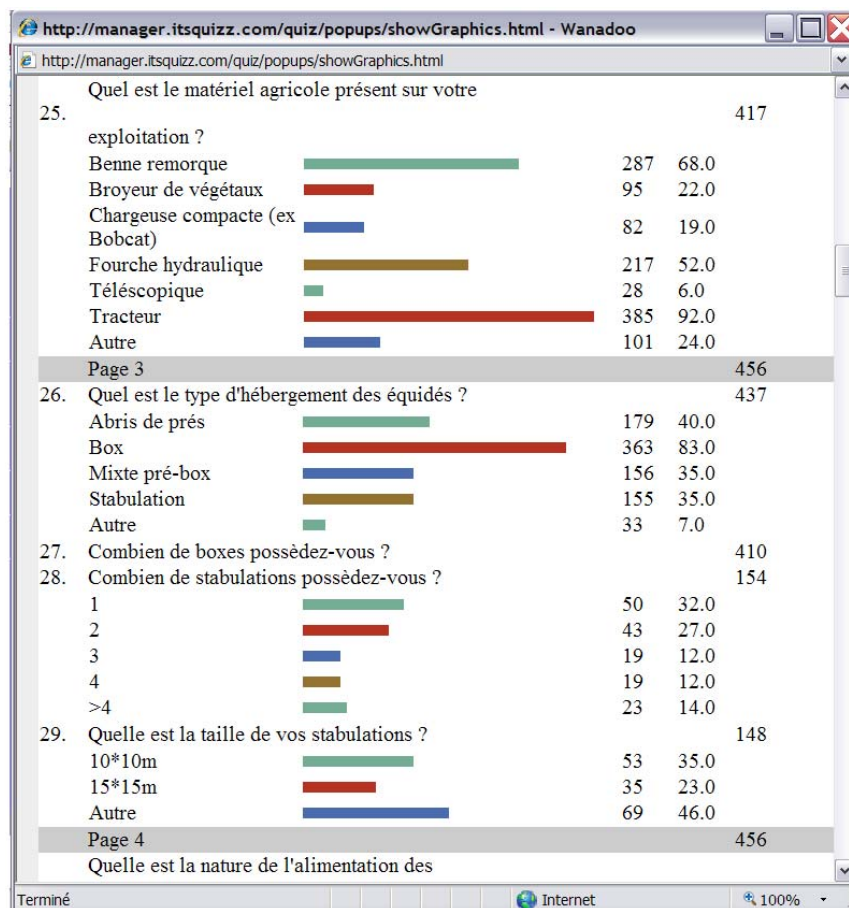
[Statistiques de connexions](#)

Le grand intérêt de ce logiciel est le traitement des réponses ; le logiciel permet de récupérer les réponses sous forme d'un tableau Excel contenant les codes des réponses à chaque question. L'extraction des données peut se faire à tout moment, ce qui permet de commencer à traiter une partie des données alors que le questionnaire est encore en ligne et ainsi d'être plus efficace dans le traitement final des données en dégagant des tendances.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
4	5755000	PoC+ChC+P/D	Rur	3	55	35		>500	20	40	N		
5	8125000	ChC+Tou	Rur	4	80	25		100-500	3	20	N		
6	1923004	PoC+ChC+P/D	Rur	2	10	8		<50	8	32	N		
7	3280000	ChC+Tou	Rur	0	8	8		>500		12	N		
8	3887000	PoC	Rur	1							N		
9	7465001	PoC+ChC+P/D+Tou	Rur	2	22	20		100-500	15	40	N		
10	1910001	PoC+ChC+P/D	Urb	3	2			<50	13	28	N		
11	2100001												
12	6019002	PoC+ChC+P/D	Rur	4	15	12		50-100	10	15	N		
13	8915000	PoC+ChC+P/D	Rur	3	12	6		50-100	20	20	N		
14	8930001	PoC+ChC+P/D	Rur	1	0.5	0		<50	8	20	N		
15	8680000	PoC+ChC+P/D	Rur	0	5.5	4.5		>500	16	20	N		
16	2245000	PoC+ChC+P/D	Rur	5	6	5		100-500	15	30	N		
17	5167300	PoC+ChC	Urb	4	3	2 hectares paddock		50-100	20	20	N		
18	6236001	PoC+P/D	Rur	0	18	15		50-100	15	20	N		
19	5470000	PoC+ChC+P/D	Per	4	4	2		<50	25	50	N		
20	9116000	PoC+ChC+Tou	Per	6	2	1h5		<50	26	21	N		
21	1380004	PoC+ChC+P/D	Per	15	3			50-100	80	70	N		
22	1742001	PoC+ChC+P/D+Tou	Rur	9	12	2		>500	30	60	N		
23	3138000	PoC+ChC+P/D	Rur	2	110	30		<50	35	35	N		
24	2417001	PoC+ChC+P/D+Tou	Rur	0	21	21		100-500	15	25	N		
25	1413008	PoC+ChC+P/D	Rur	1	13	11		<50	25	20	N		
26	1301303	PoC+ChC+P/D+Tou	Per	10	5	3		<50	60	80	O	Bov+Ov+Cap+Por+Aut	lamas
27	6284000	PoC+ChC+P/D	Rur	4	17	15		50-100	45	40	N		
28	3181000	PoC+ChC+P/D	Rur	2	8	7		>500	16	18	N		
29	9742702	PoC+ChC	Per	6	2	3000 m2		50-100	30	30	N		
30	3311201	PoC+P/D	Rur	0	13	11		<50	10	15	N		

Le logiciel possède une fonction qui permet de traiter les données en ligne en fournissant des histogrammes pour chaque question. Cette fonction permet de dégager des tendances très rapidement sans avoir à passer par Excel pour obtenir un graphe.

Il est même possible de faire des tris croisés en ligne, ce qui est très pratique pour voir ce qui peut être intéressant à étudier plus précisément par la suite. Néanmoins le traitement des données en ligne reste très basique et ne remplace absolument pas un logiciel de calcul comme Excel. Le but de cette fonction est de permettre une analyse rapide des données.



3°) La rédaction du questionnaire

Parallèlement au choix du logiciel, nous avons commencé la rédaction du questionnaire. La rédaction des questions est une étape cruciale dans la réalisation de l'enquête car une question mal posée peut rendre le résultat inexploitable.

a) Un premier jet

Nous sommes rentrés en contact avec le responsable de l'APESA, Mr Pouech, pour déterminer les informations essentielles à l'avancée des recherches. La FIVAL nous a aussi fait part des informations qu'elle souhaitait récupérer pour remettre à jour la base de données de la FFE.

Nous nous sommes alors réunis plusieurs fois pour rédiger les questions et pour décider de leur forme (ouverte, fermée, choix multiples) et de la forme du questionnaire (mise en place de conditions...).

A la suite de ces réunions, nous avons transmis le fruit de notre travail à la FIVAL qui l'a comparé à celui qu'ils avaient produit en parallèle et un questionnaire rassemblant des idées des deux parties a été produit.

b) La phase de test

Le questionnaire a ensuite subi une phase de test importante auprès de divers acteurs de la filière chevaline.

Nous avons mené le premier test au centre équestre de Châtenay-Malabry, ce test nous a permis de changer la forme de certaines questions et surtout d'affiner les réponses proposées (fourchettes plus précises, termes techniques utilisés dans la filière,...)

La FIVAL a ensuite soumis le questionnaire à de nombreuses personnes au sein de la filière chevaline et du laboratoire de l'APESA. Chacune de ces personnes a pu suggérer des modifications au questionnaire.

Les modifications ont été faites au fur et à mesure sur le questionnaire et donc chaque nouvelle personne testée était soumise au questionnaire actualisé. Pour cette raison certaines modifications faites ont été annulées car une majorité de personnes préférait la version précédente.

Tous ces tests nous ont permis de supprimer des questions qui se seraient révélées inexploitablement ou inutiles mais ils nous ont surtout servi à modifier la forme de certaines questions pour les rendre compréhensibles par tous et qu'il n'y ait pas d'ambiguïté sur les termes (curage, vidage des boxes, triage de la litière).

Après deux mois et demi de test, le questionnaire acquit sa forme définitive, et, bien que cette dernière ne satisfasse pas tout le monde, elle satisfaisait la majorité des intervenants du projet.

Le questionnaire a été livré le 23 avril 2008 dans sa version finale.

c) La mise en ligne

Une fois le questionnaire livré, nous avons transmis son lien à la FIVAL pour l'envoyer à tous les centres équestres. Le problème fut que la FIVAL ne disposait pas d'un fichier contenant les adresses e-mail de tous les centres et seule la FFE en possédait un. Les relations entre la FFE et les différentes associations de la filière chevaline étant très politiques, la FFE n'a pas accepté de transmettre son fichier pour ne pas que la FIVAL en profite par la suite pour communiquer avec les centres équestres sans son accord.

Le fichier contenant les adresses e-mail est nécessaire à l'utilisation du logiciel Itsquizz qui envoie les mails à chaque centre en générant aléatoirement un login et un mot de passe pour chacun.

Nous devons donc trouver un moyen pour transmettre le lien du questionnaire, un mot de passe et un login à chaque centre sans avoir accès à leur adresse. Mme Dominique Sauquet nous suggéra d'utiliser comme login le numéro FFE du centre et de créer un mot de passe

unique, la FFE se chargeant d'envoyer un mail à tous les centres équestres contenant le lien, le mot de passe et expliquant que le login correspondait au code FFE du club.

Une fois le lien transmis, le lancement de l'enquête dépendait uniquement de la FFE. Une fois de plus en raison des relations entre la FFE et la FIVAL, la FFE décida de faire de nouveaux tests techniques sur le questionnaire qui avait déjà été testé, ce qui eu pour effet de retarder le lancement de l'enquête au 6 mai 2008.

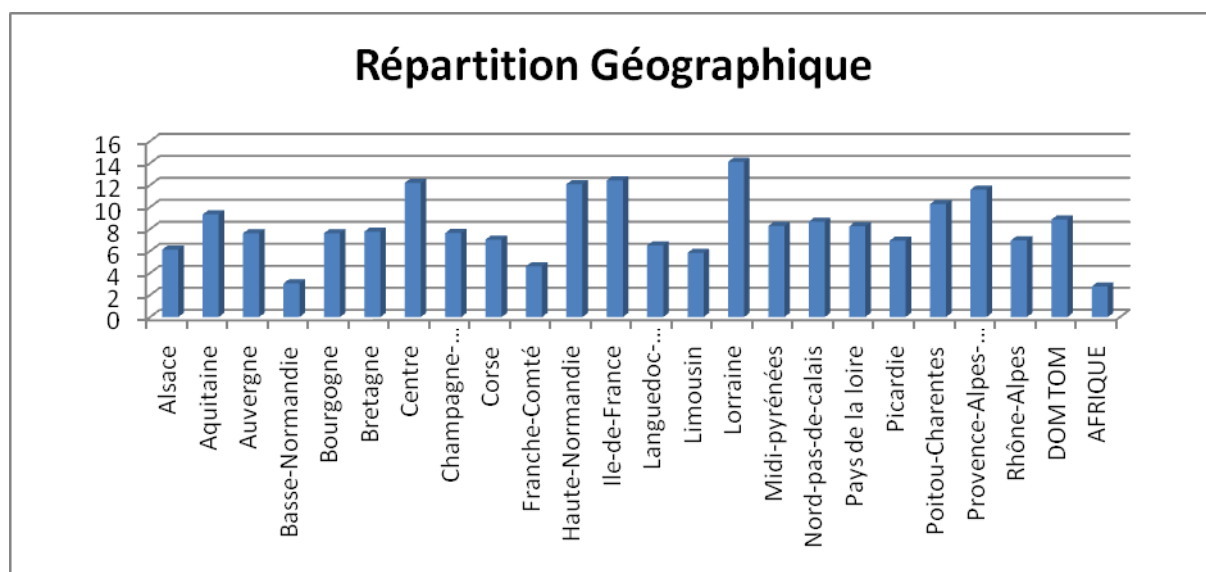
4°) Synthèse des résultats

a) Caractérisation du panel des répondants

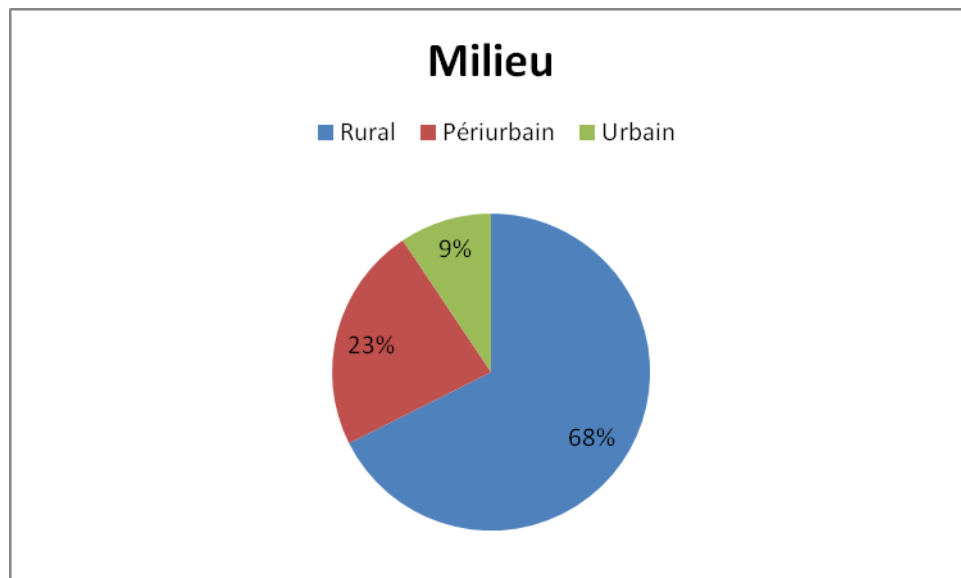
Nous avons 654 répondants, ce qui représente moins de 10% des centres sondés. Ce taux est plus faible que ce que l'on espérait en lançant l'enquête.

On va caractériser le panel des répondants en regardant leur répartition géographique, le milieu dans lequel se situe leur exploitation, leur activité, la surface de leur exploitation et le nombre d'équidés hébergés.

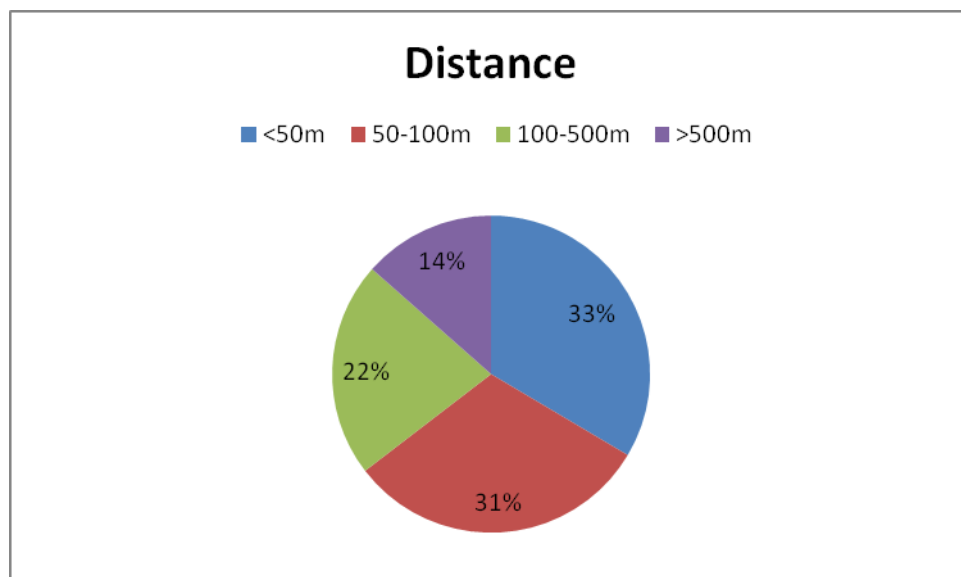
La répartition géographique des répondants est bien homogène, entre 6 et 12% des centres de chaque région ont répondu au questionnaire, avec un minimum de 2% en Basse-Normandie et un maximum de 14% en Lorraine.



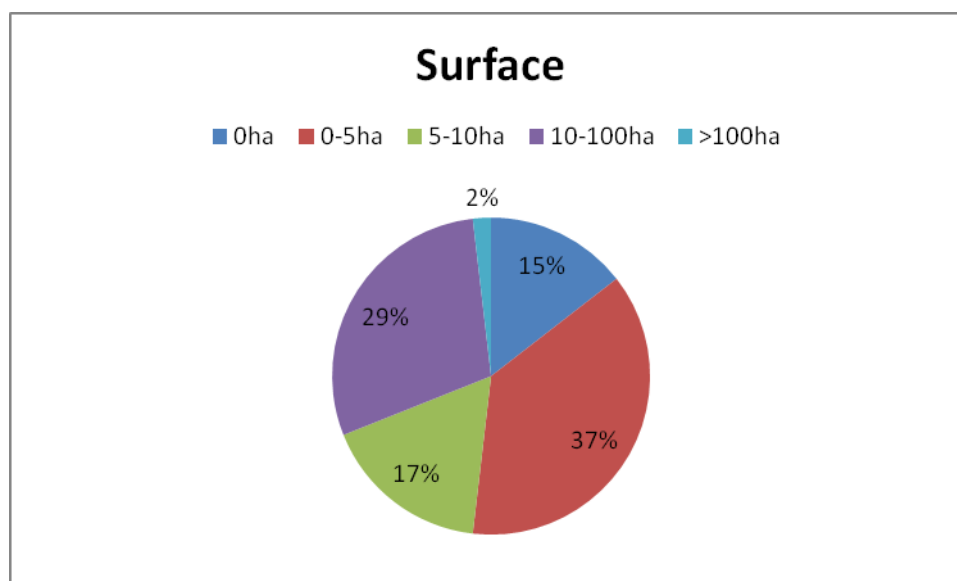
La grande majorité des centres équestres se situe en milieu rural (68%) et très peu en milieu urbain (9%). Cela s'explique facilement par la difficulté d'installer un centre équestre en ville car il faut de l'espace, des voisins assez éloignés pour éviter les plaintes de voisinage,...



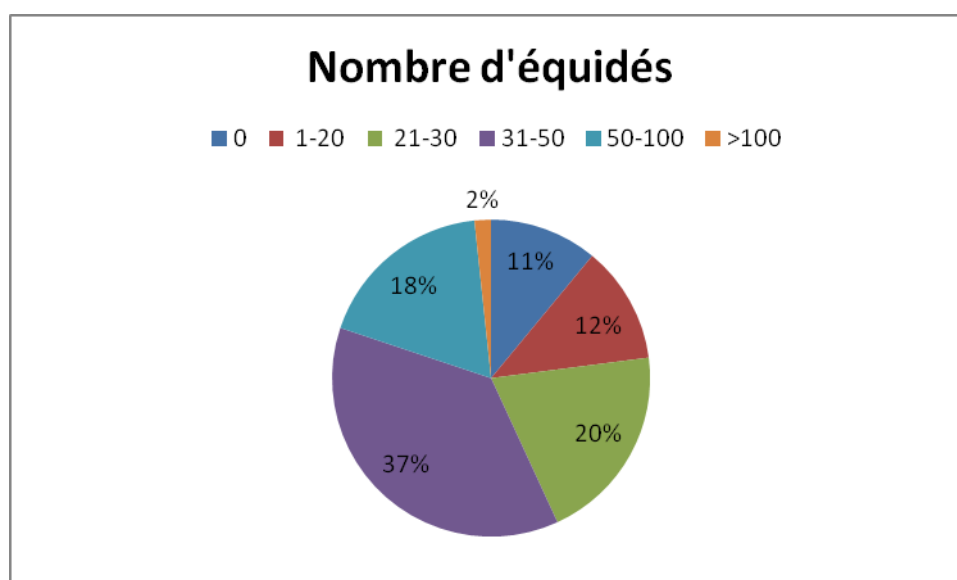
En plus du milieu pour caractériser l'environnement dans lequel se situe le centre, nous avons demandé la distance des plus proches habitations. Les réponses ont été proposées sous forme de fourchette (on voit d'ailleurs que la répartition est assez équitable entre les fourchettes), ce qui signifie que les fourchettes utilisées étaient adéquates.



Le panel de répondants comprend des exploitations de surfaces très variées, allant de 0 ha à 2000 ha, avec une moyenne à 30.9 ha. La majorité des exploitations ont une surface modeste >10ha (69%).



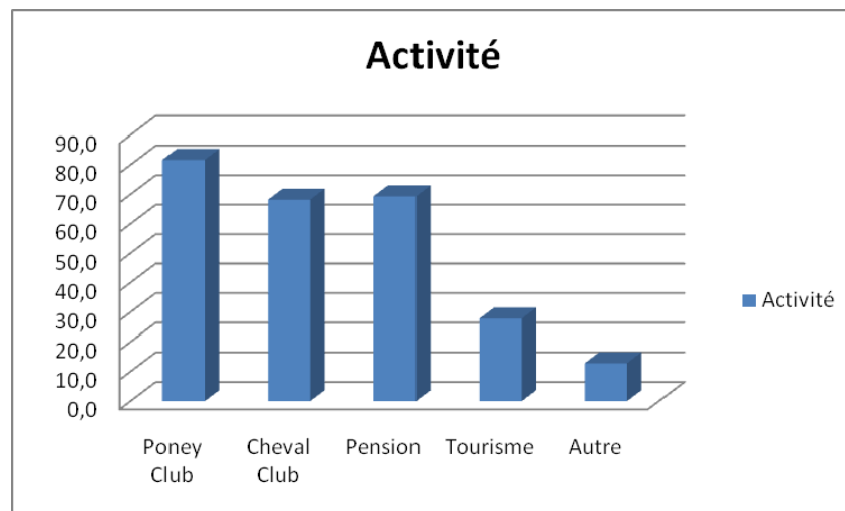
Le nombre d'équidés hébergés est aussi très variable : la moyenne est de 38 équidés avec un minimum à 0 équidé et un maximum à 220 équidés hébergés. On a créé des fourchettes pour classer les exploitations en fonction du nombre d'équidés qu'elles hébergent. Le graphique nous permet de voir que la majorité des exploitations (80%) sont de taille moyenne (moins de 50 équidés hébergés). On remarque que beaucoup de centres (72) n'hébergent pas d'équidés, ce qui soulève la question incongrue : comment un centre équestre peut-il n'héberger aucun animal ?



On voit donc que l'ensemble des répondants se répartit bien dans l'ensemble des catégories. Puisque tous les types d'exploitation se retrouvent dans le panel, il nous est permis d'exploiter les données malgré le faible taux de répondants.

b) Activités

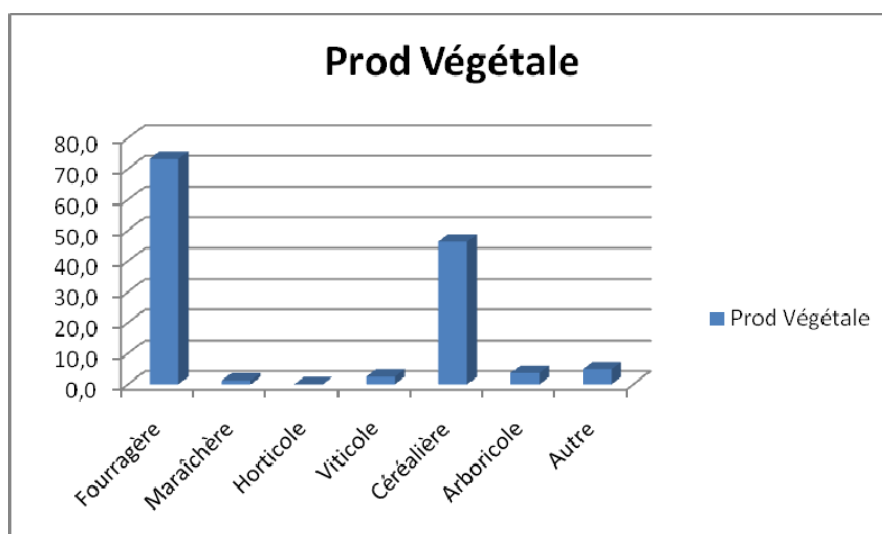
L'immense majorité des centres équestres cumule plusieurs activités, seulement 17% ont une activité unique. L'activité la plus fréquemment proposée est le Poney-Club (81.7%) suivie par l'activité de pension et dressage (69.3%) puis par le Cheval-Club (68.2%) ; l'activité de tourisme est plus rare (27.9%) car elle dépend beaucoup de la localisation. Parmi les activités non répertoriées, on trouve des écuries de propriétaires, des loueurs de chevaux ou des attelages.



L'activité de centre équestre n'est parfois pas la seule activité de l'exploitation, en effet dans 14% des cas s'adjoint une production végétale et dans 5% des cas une production animale.

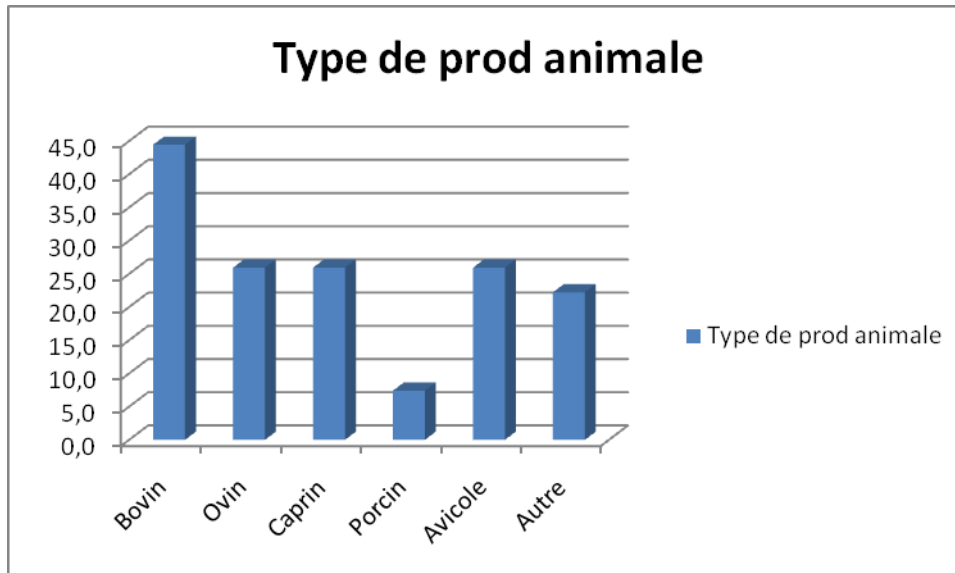
Les productions végétales sont de différentes natures. Comme le montre le graphique suivant, les cultures les plus répandues sont les cultures fourragères et les cultures céréalières. La forte proportion de ces types de cultures s'explique par le fait que la production végétale est directement utilisée par le centre équestre. Ainsi, le foin sert de nourriture aux équidés, tout comme les céréales et la paille de blé sert de litière.

Dans la catégorie « autre », on trouve des cultures de pommes de terre, de betteraves, de piment d'Espelette... etc mais cela reste marginal.



La production animale est plus variée que la production végétale qui est dominé par deux types de culture. Ici, hormis l'élevage porcin tous les autres types d'élevage ont des proportions similaires.

Dans la catégorie « autre », on trouve des élevages de chiens, de cerf et de biches, de lapins et même de lamas.

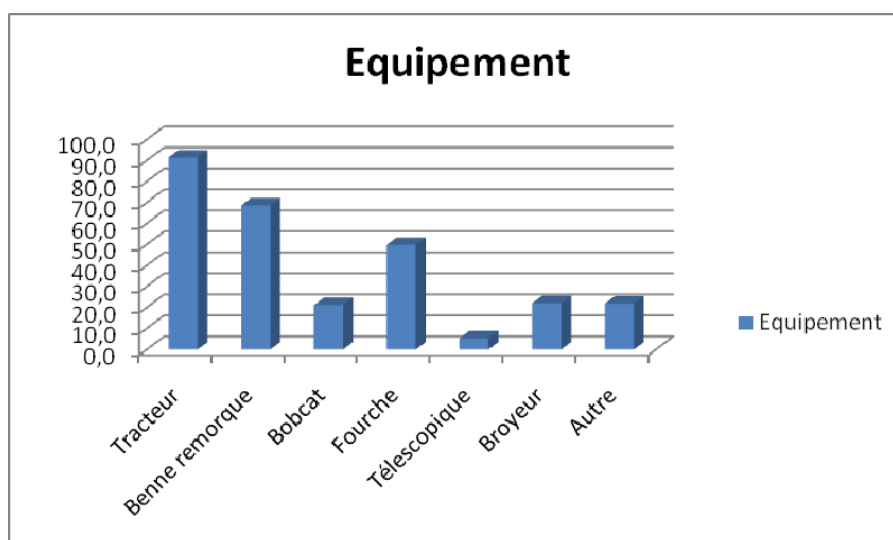


c) Equipement

Le niveau d'équipement des centres permet de savoir si la mise en place d'un nouveau procédé de valorisation du fumier nécessitera des investissements en matériel ou si les centres sont déjà assez équipés.

L'outil de base est le tracteur, presque tous les centres déclarent en posséder un. Ensuite une benne est indispensable pour transporter le fumier, là encore la grande majorité des centres en possède une. Pour ce qui est des équipements plus perfectionnés comme une chargeuse compacte ou un télescopique, les centres en sont beaucoup moins pourvus.

Dans la rubrique « autre », les équipements qui reviennent souvent sont l'épandeur à fumier et le girobroyeur.



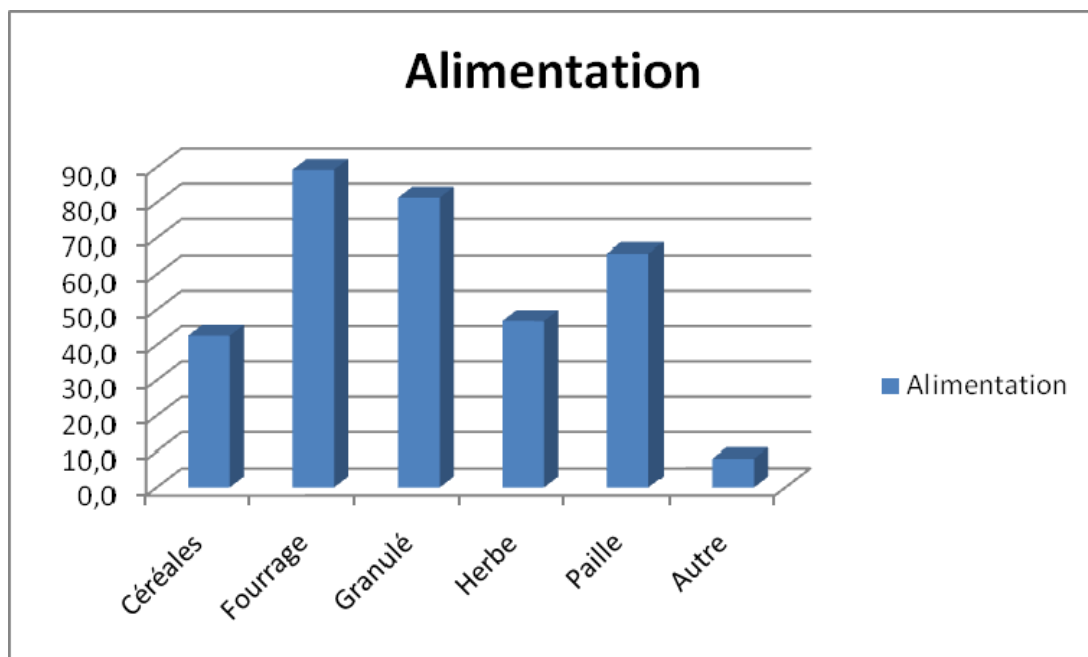
d) Conduite des équidés

Les questions sur la conduite des équidés dans chaque centre permettent de savoir comment sont hébergés les équidés, comment ils sont nourris ou encore combien cela coûte au centre d'entretenir ses équidés.

L'alimentation est un poste très important dans le budget des centres équestres, il est donc intéressant de savoir combien cela leur coûte par équidé ; en moyenne cela revient à 290€ par équidé et par an, un équidé mange chaque jour 16 litres d'aliments. Le fourrage, nourriture la plus utilisée comme nous le verrons juste après, est très peu dense tout comme la paille et l'herbe.

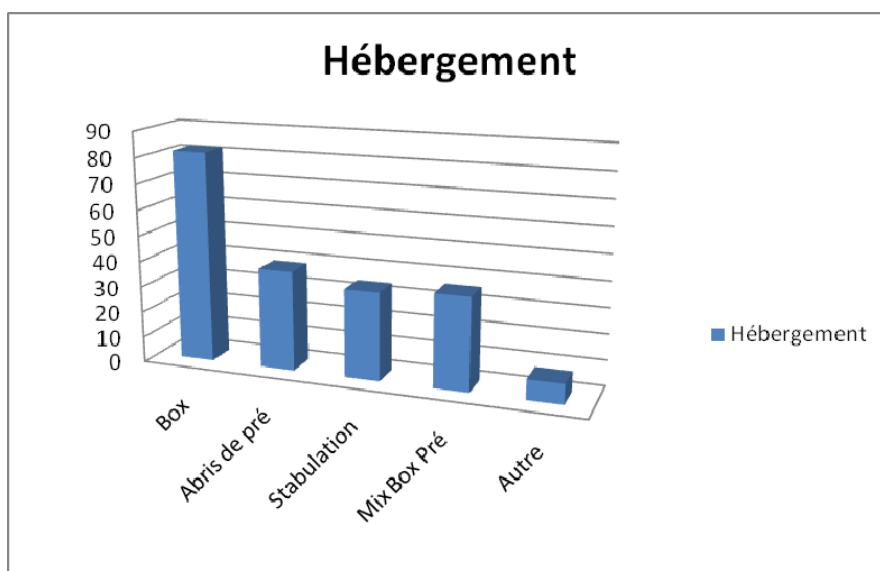
On regarde aussi le type de nourriture, les aliments de base semblent être le fourrage et les granulés avec 89.3% et 81.4% des centres qui les utilisent. Les centres utilisent rarement un seul aliment, les aliments de base sont souvent complétés par de la paille (65.8%) qui a l'avantage de servir de litière et d'aliment, les céréales (42.7%) ou de l'herbe (46.8%). Le mélange des aliments permet de fournir aux équidés une alimentation équilibrée.

Dans la rubrique « autre », on retrouve des aliments plus originaux comme les carottes et les betteraves ou plus exotiques comme des mangues et des bananes.



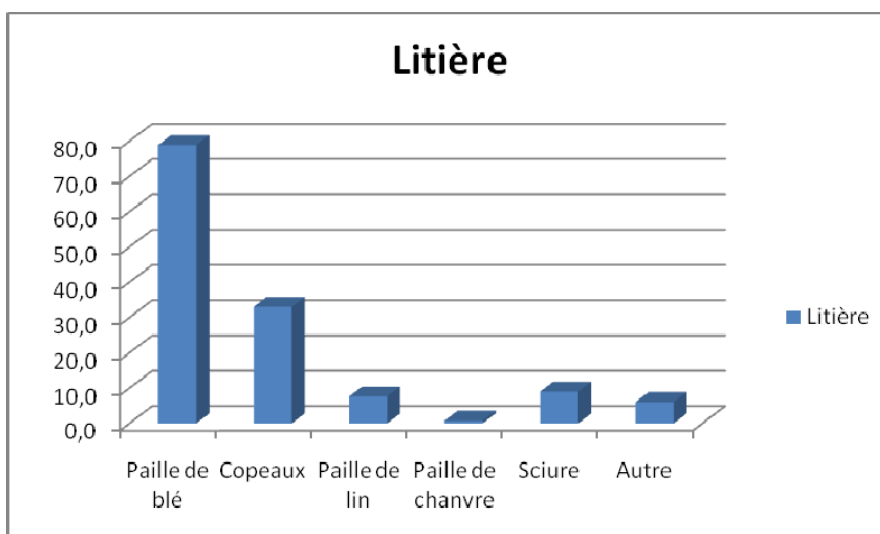
Le mode d'hébergement le plus répandu est l'hébergement en box, 82% des répondants l'utilisent. Viennent ensuite les abris de pré, l'hébergement mixte box-pré et l'hébergement sous stabulation avec respectivement 39%, 36% et 34% des centres qui proposent cette solution.

Dans la rubrique « autre », on trouve des hébergements du type stalles, paddocks ou au pré. Il est très rare qu'un centre utilise uniquement un type d'hébergement, ils proposent tous plusieurs formes d'hébergement qui dépendent de la saison, du type d'équidé (cheval, poney),...



Pour ce qui est de la litière utilisée, la paille de blé est utilisée dans 78.9% des cas, loin devant les copeaux (33%). Les autres litières comme la paille de lin ou de chanvre ou encore la sciure sont très peu utilisées et, quand elles le sont, servent de complément et non de litière principale.

Dans la rubrique « autre » on trouve des litières de paille de céréales autres que celles proposées comme l'orge ou l'avoine, du sable et de la paille de canne à sucre (Dans les DOM TOM)...



Prix de la litière par équidés	
Total	163,96 €
Paille de blé	175,50 €
Copeaux	123,38 €
Sciure	108,02 €
Paille de lin	93,50 €
Autre	94,64 €

La domination de la paille de blé peut s'expliquer en partie par le fait que la paille de blé est considérée comme une litière noble, c'est la plus chère. Les propriétaires exigent bien souvent que leurs chevaux soient sur paille de blé et pas sur des copeaux. De plus, nous avons vu qu'une grande majorité des centres équestres possèdent des poneys. Les centres équestres proposant des poneys sont souvent fréquentés par des enfants. Leur imaginaire et donc leur propension à vouloir "faire du cheval" est stimulée par la présence d'une telle litière ce qui peut expliquer la domination de la paille de blé sur le marché des litières.

e) Gestion du fumier

L'obtention de renseignements sur la gestion du fumier dans les centres équestres était la raison d'être du questionnaire.

On s'intéresse tout d'abord à la quantité de fumier produite par équidé et au surcoût que le traitement du fumier entraîne pour chaque centre.

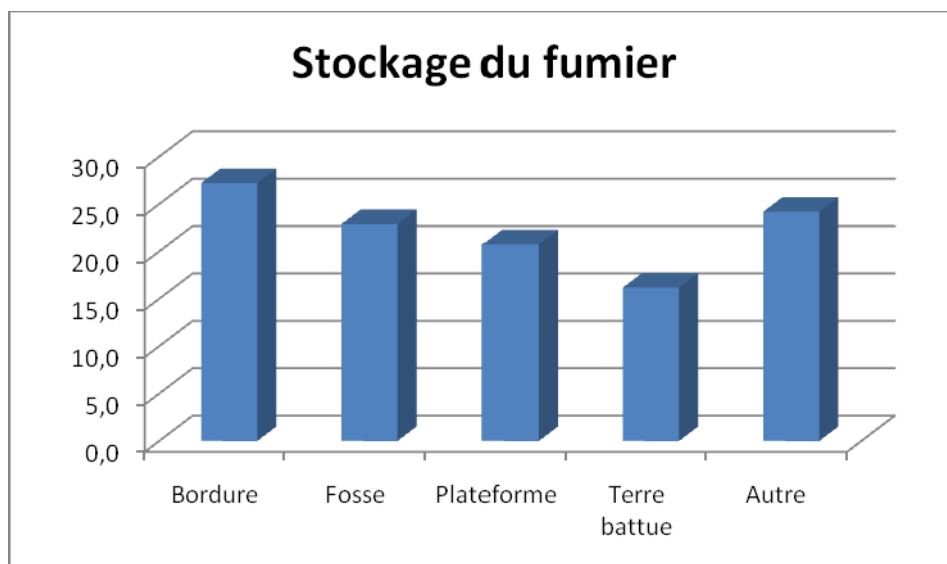
En moyenne un équidé produit 7,23 t de fumier par an, ce qui revient à 53,01€ par équidé et par an.

	Moyenne/équidé
Production de fumier par an	7,23t
Coût du fumier par an	53,01 €

Le stockage du fumier est une difficulté à laquelle doivent faire face les centres. Les solutions choisies sont assez bien réparties entre le stockage en bordure de champ (27.2%), dans une fosse à fumier (22.9%), sur de la terre battue (16.2%) ou sur une plateforme en béton (20.7%). La solution miracle n'existe évidemment pas, et chaque centre fait selon ses possibilités.

Dans la rubrique « autre », des solutions comme le stockage dans une benne, l'épandage immédiat ou l'enlèvement quotidien par un agriculteur sont mentionnées.

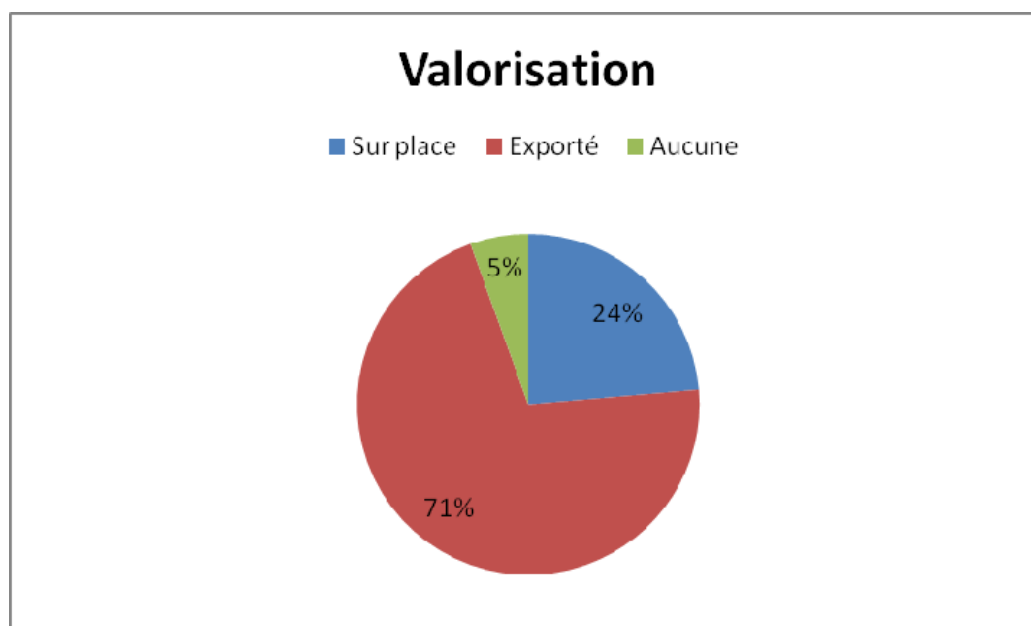
Dans les centres qui stockent leur fumier en bordure de champ, celui-ci y reste en moyenne 9,43 mois ; cette information permet de se faire une idée sur l'avancement de la dégradation du fumier.



Il est intéressant de noter que, malgré les solutions de stockage mises en place 31.1%, des centres manquent d'espace pour stocker leur fumier.

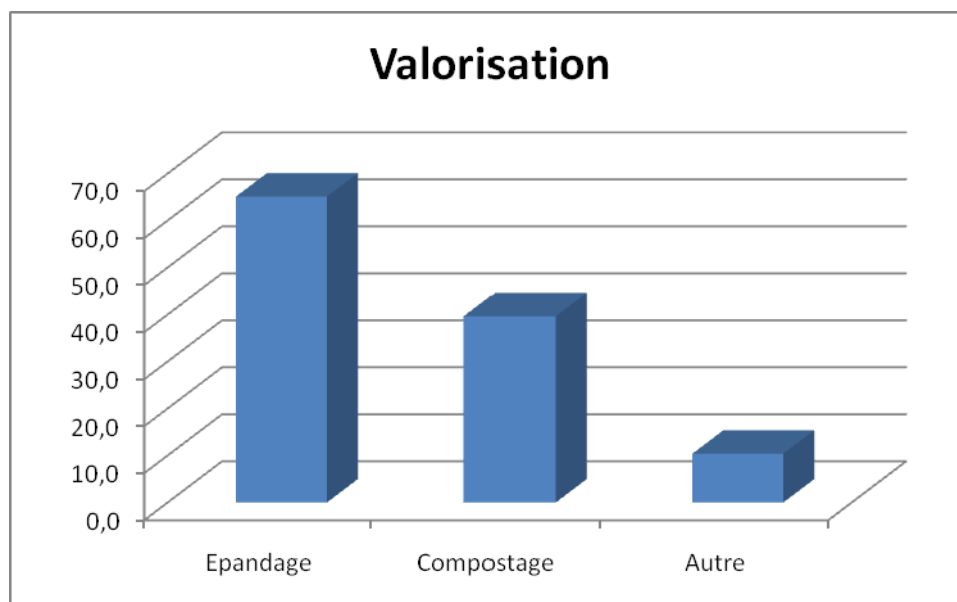
Pour savoir si un phénomène de dégradation peut s'être mis en place, on regarde si le fumier est stocké sous couvert ou sans abri. Le stockage sans abri (94.7%) permet au fumier d'être arrosé par les précipitations, ce qui l'humidifie et permet le développement de bactéries qui vont dégrader le fumier, mais n'est pas toujours possible pour des raisons législatives et de problèmes d'odeurs et de pollution visuelle.

L'immense majorité des centres 94.5%, ont trouvé un moyen d'utiliser leur fumier, 24% le valorise en interne et 71% l'exporte.



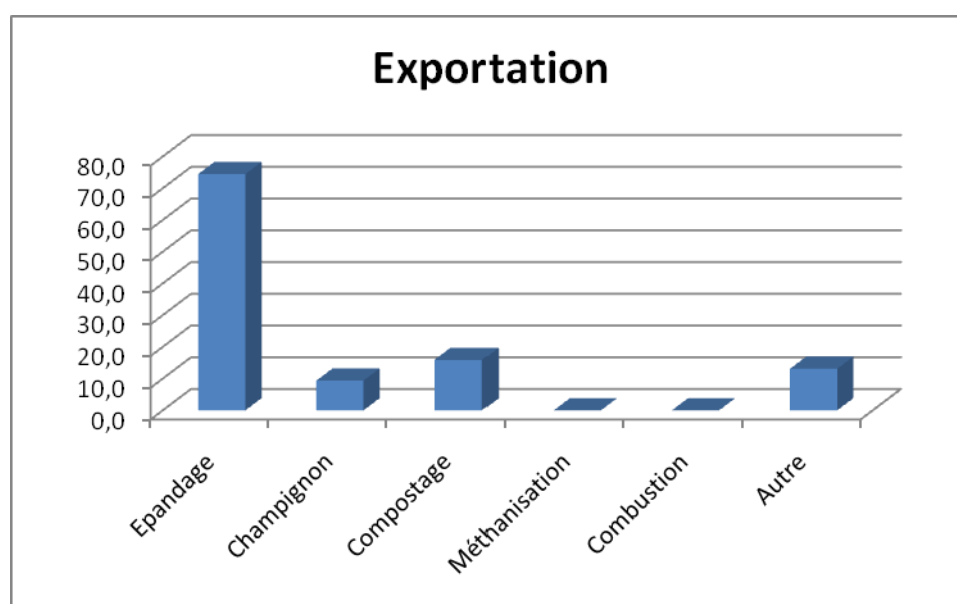
La valorisation en interne prend en général la forme d'épandage dans 65.1% des cas ou de compostage dans 39.6% des cas. Certains ont trouvé d'autres types de valorisation comme la vente aux particuliers ou, plus original, la lombriculture.

Aucun centre n'utilise son fumier pour produire de l'énergie via un procédé de méthanisation ou de combustion. Ce fait est remarquable.

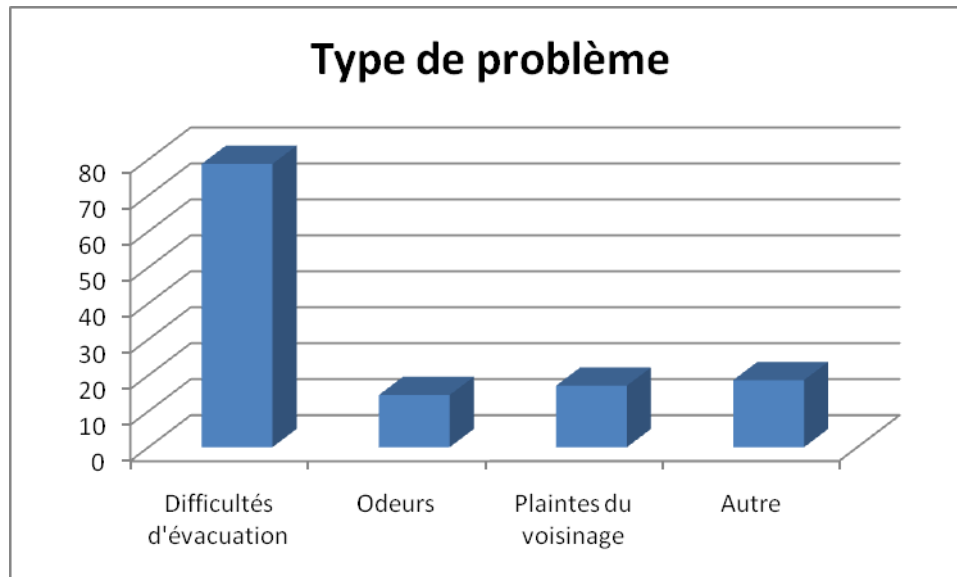


Quand le fumier est exporté, il sert très souvent en épandage (dans 74.5% des cas). Il existe aussi des solutions comme les champignonnières (9.3%) ou le compostage (15.9%). Là encore, le fumier n'est jamais utilisé pour produire de l'énergie.

Les recherches menées par la FIVAL à ce sujet sont donc justifiées car cette solution n'existe pas pour le moment.



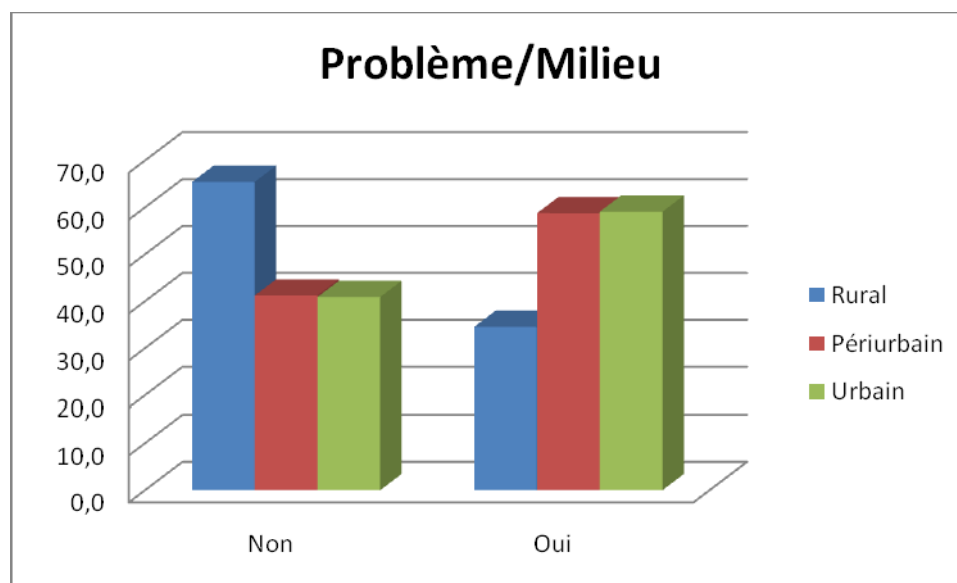
Bien que la plupart des exploitations aient trouvé un moyen d'utiliser leur fumier, beaucoup (43%) ont à faire face à de multiples problèmes causés par le fumier. Ces problèmes sont assez variés : plaintes du voisinage (13%), odeurs (11%), ou encore d'autres types de problème comme les écoulements des jus et les mouches (14%). Le problème majeur auquel doit faire face la majorité des centres est la difficulté d'évacuation (61%).



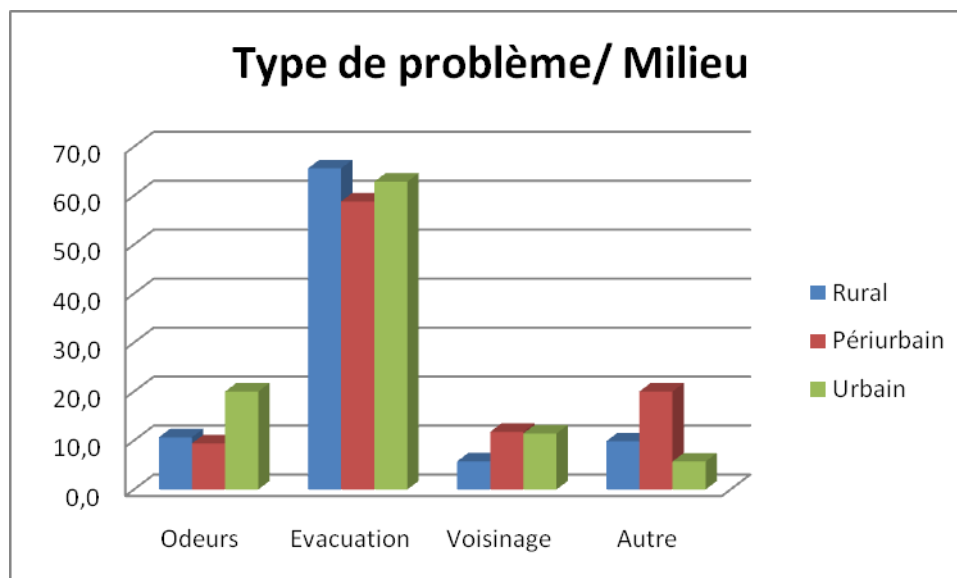
f) Détermination des causes des problèmes

Nous allons voir quels facteurs font que les centres ont plus ou moins de problèmes.

Tout d'abord le milieu dans lequel se situe l'exploitation semble être un de ces facteurs. Les exploitations en milieu rural ont beaucoup moins de problèmes avec leur fumier que les centres équestres situés en milieu urbain, ce qui était prévisible. On remarque que les centres en milieu périurbain et urbain rencontrent la même proportion de problème.

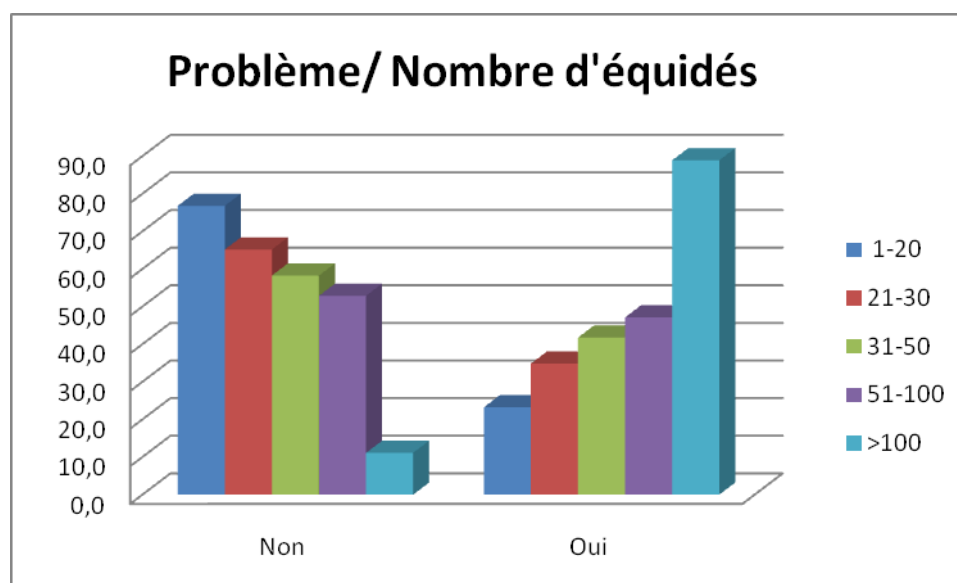


Il peut être intéressant de regarder s'ils doivent faire face au même type de problème. On voit qu'il n'y a pas une grosse différence, les exploitations en milieu urbain souffrent plus du voisinage et des odeurs que les exploitations en milieu rural. Le problème de l'évacuation est très présent et dans les mêmes proportions (autour de 60%) dans tous les types d'exploitation.



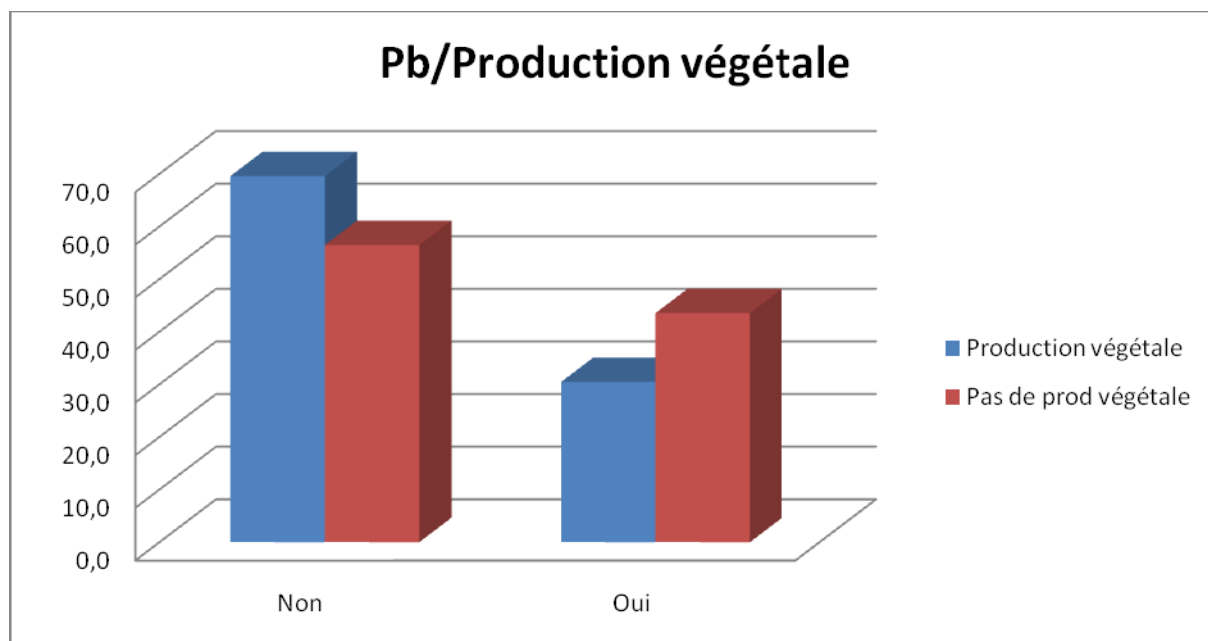
Le nombre d'équidés présents sur l'exploitation a logiquement une influence directe sur la quantité de fumier produit, mais il doit aussi avoir une influence sur les problèmes rencontrés par les exploitations. On suppose que plus le nombre de chevaux est important, plus il y a de problème.

Le graphique suivant confirme cette hypothèse, il est très clair que le nombre de chevaux influe directement sur les problèmes dû au fumier.



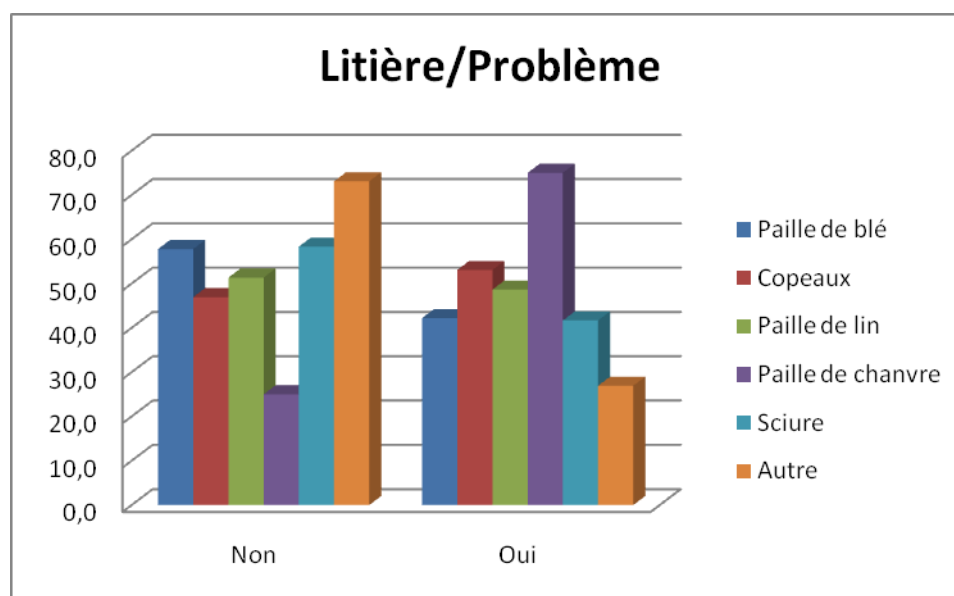
Les activités parallèles des centres peuvent aussi influencer car certains centres (27) ont des productions végétales, on peut penser que ces productions peuvent fournir une possibilité d'utilisation du fumier, notamment de l'épandage.

Effectivement, les exploitations qui ont une production végétale ont moins de problèmes que celles qui n'en ont pas, comme le montre l'histogramme.



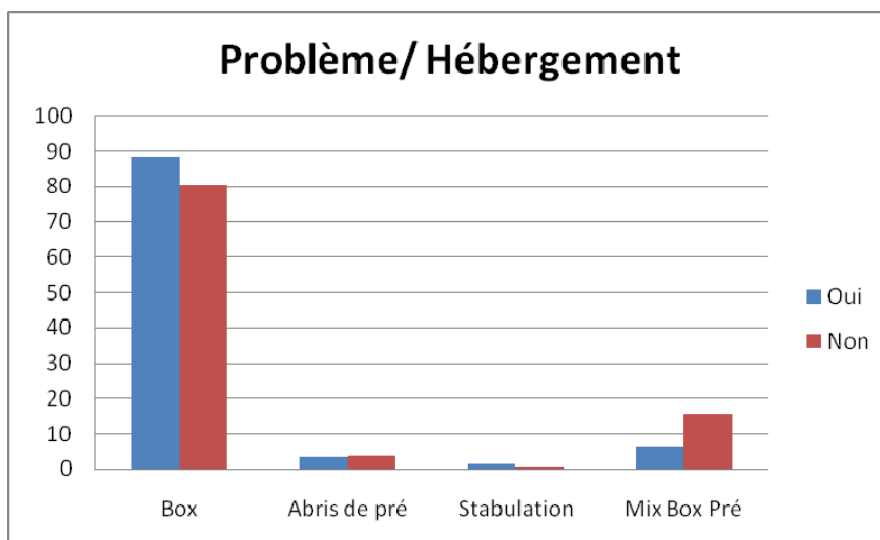
Les différentes litières ne nécessitent pas le même entretien des box. La paille de blé exige un curage beaucoup plus fréquent que les autres litières.

L'histogramme nous montre que la paille de blé est en fait la litière qui pose le moins de problème à ses utilisateurs. Ce sont les copeaux qui causent le plus d'ennuis. On ne tient pas compte de la paille de chanvre car très peu de centres l'utilisent (moins de 0,5%).



Les boxes ont besoin de beaucoup plus d'entretien que les autres types d'hébergement. On note que parmi les centres qui ont des problèmes, il y a une plus grande proportion d'hébergement en box que parmi les centres qui n'ont pas de problème. C'est l'inverse avec l'hébergement mixte pré-box.

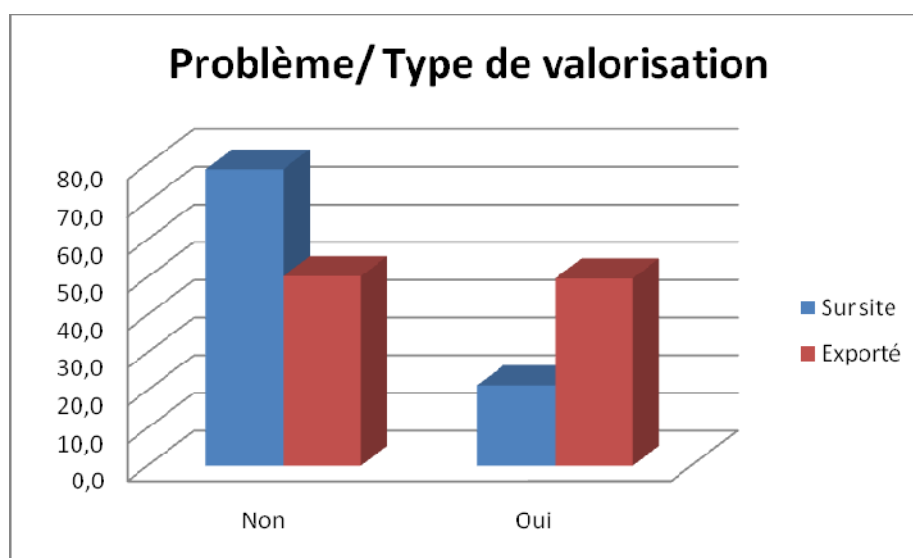
On peut donc dire que l'hébergement en box est une source de problèmes. Ce type d'hébergement entraîne une production plus importante de fumier. Une solution est l'hébergement mixte (mais tous les centres n'ont pas de prés pour sortir leurs chevaux) : en effet, les abris de pré dispensent de problèmes car les déjections des chevaux restent dans les prés.



Certaines exploitations valorisent leur fumier sur site, et doivent en théorie avoir moins de problèmes.

C'est effectivement le cas, très peu d'exploitations (21.4%) valorisant leur fumier ont des problèmes.

La valorisation sur site est une solution efficace aux problèmes de fumier, encore faut-il pouvoir la mettre en place.

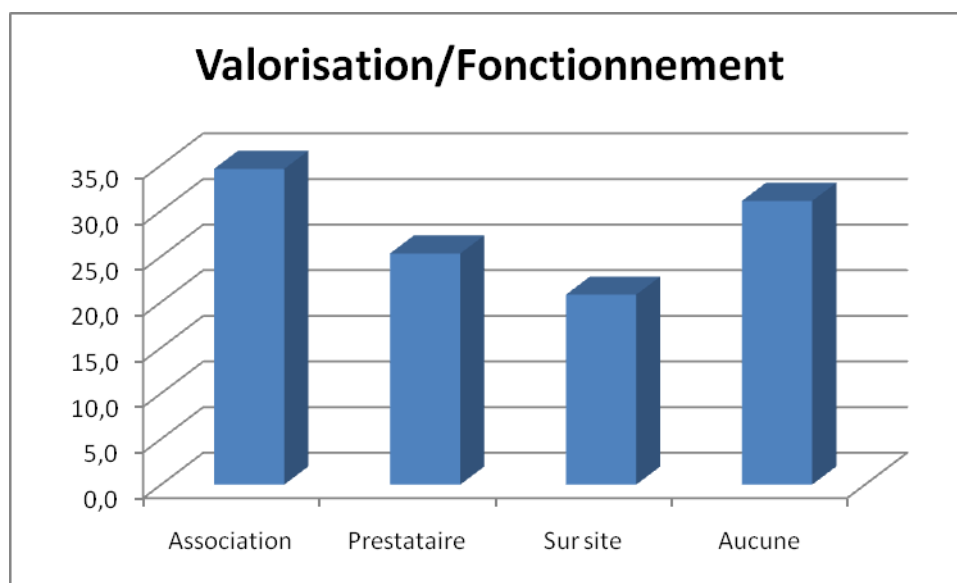


On peut dresser un profil type des exploitations rencontrant des problèmes. Elles se situent en milieu urbain ou périurbain, hébergent plus de 50 équidés, n'ont aucune production végétale, utilisent des box et bien sûr ne valorisent pas leur fumier sur site.

g) Valorisation souhaitée

Il faut tout d'abord regarder comment les centres veulent fonctionner pour valoriser leur fumier.

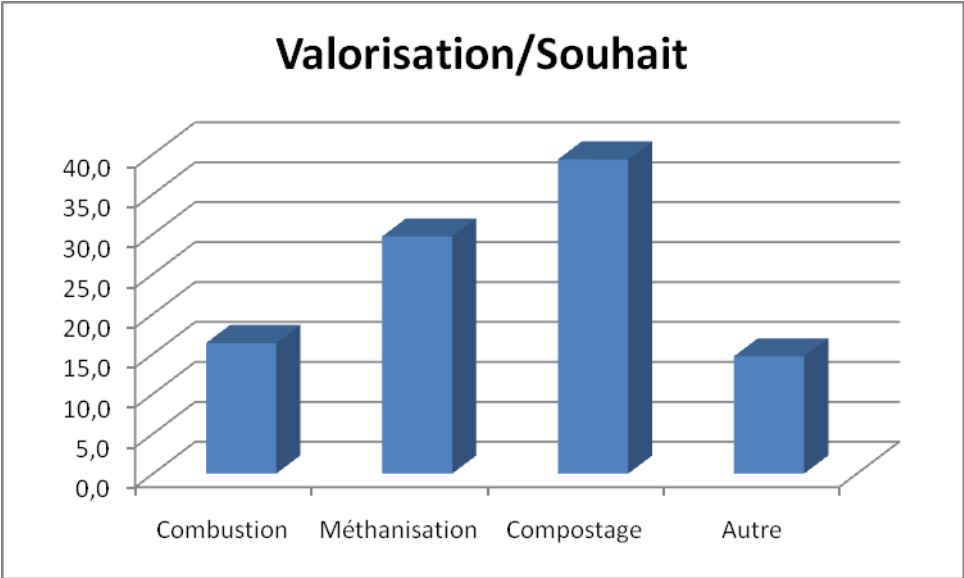
On remarque que 31% des centres ne veulent mettre en place aucune valorisation ; ces centres n'ont bien sûr aucun problème de gestion du fumier ou le valorisent déjà sur site. Ensuite seulement 20% veulent valoriser leur fumier sur site et préfère dans 60% des cas travailler en association ou avec un prestataire. Cette solution permet de réduire les coûts de mise en place du procédé et la surcharge de travail nécessaire pour faire fonctionner le procédé.



Une fois le mode de fonctionnement choisi, il faut déterminer le type de valorisation vers lequel on va s'orienter.

La majeure partie souhaite s'orienter vers le compostage (39.3%) et la méthanisation (29.7%), ces deux procédés étant assez bien connus des exploitants. C'est pour cette raison qu'ils souhaitent majoritairement voir ces solutions se développer.

La combustion de fumier de cheval est encore très mal connue, comme on a pu le voir dans les commentaires, et c'est pour cela que si peu de centres souhaitent la mettre en place. De la communication sur ce procédé auprès des exploitants de centre équestre, ainsi que de la communication sur la méthanisation, encore mal comprise, seraient bienvenues.



IV Module expérimental

1°) Objectifs

Déterminer quelques caractéristiques du crottin, des fumiers et de la litière.

Mettre en évidence le phénomène de méthanisation qui peut être utilisé pour valoriser le fumier.

Nous avons aussi prévu de mesurer les taux de carbone, d'azote, hydrogène et soufre, mais l'analyse étant beaucoup trop chère. Nous avons abandonné l'idée.

2°) Détermination des caractéristiques

a) Définitions

- **Taux de matières sèches**

Le taux de matières sèches d'un composé est le rapport entre la masse de ce qu'il reste après avoir été chauffé à 105°C et la masse initiale ; le chauffage s'effectue pendant un temps assez long pour que la masse soit stabilisée c'est-à-dire que toute l'eau soit évaporée, et sa masse initiale.

$$\text{Taux de matières sèches} = \frac{\text{Masse à } 105\text{ °C}}{\text{Masse initiale}}$$

- **Taux de matières minérales et taux de matières organiques**

Le taux de matières minérales d'un composé est le rapport entre la masse restante après calcination du composé à 550°C et sa masse de matières sèches.

$$\text{Taux de matières minérales} = \frac{\text{Masse à } 550\text{ °C}}{\text{Masse de matières sèches}}$$

- **Taux de matières organiques**

Le taux de matières organiques est rapport de la différence entre la masse de matières sèches et la masse de matières minérales et la masse de matières sèches.

$$\text{Taux de matières organiques} = \frac{\text{Masse de matières sèches} - \text{Masse à } 550\text{ °C}}{\text{Masse de matières sèches}}$$

- **Pourcentage de litière dans le fumier**

$$\text{Pourcentage de litière} = \frac{\text{Matière sèche fumier} - \text{Matière sèche crottin}}{\text{Matière sèche litière} - \text{Matière sèche crottin}}$$

b) Protocole expérimental

- Taux de matières sèches

Pour mesurer ce taux on peut utiliser deux méthodes :

_ 1^{ère} méthode

On utilise une balance qui mesure automatiquement le pourcentage d'eau

On commence par tarer la balance

On introduit quelques grammes du composé à analyser dans la balance qui chauffe le composé à 105°C grâce à un rayonnement infrarouge et qui mesure la masse en continu.

Une fois la masse stabilisée, la balance donne le pourcentage d'eau contenu dans le composé, duquel on en déduit facilement le taux de matières sèches.



Balance automatique

_ 2^{ème} Méthode

On pèse une coupelle d'aluminium vide

On introduit quelques grammes de composé dans la coupelle et on le pèse.

On introduit la coupelle dans une étuve ou un four réglé à 105°C ou dans une étuve.

On laisse la coupelle au four plusieurs heures puis on la pèse à nouveau.



Four à 105°C

Pour nos mesures nous avons utilisé la balance car c'est la méthode la plus rapide et la plus simple à mettre en œuvre.

- **Taux de matières minérales**

Pour mesurer le taux de matières minérales :

On pèse une coupelle en aluminium

On introduit quelques grammes de composé

On met le tout dans le four à 105°C pour évaporer l'eau et ainsi ne pas produire trop de fumée au moment de la calcination car cela risque d'encrasser le four.

Après quelques heures on introduit la coupelle dans le four à 550°C

On laisse calciner une demi-journée

On laisse refroidir dans un dessiccateur pour éviter que de l'humidité viennent se déposer à la surface des cendres, ce qui fausserait la mesure

On pèse le tout et on en déduit le taux de matières minérales



Four à 550°C

- **Taux de matières organiques**

Le taux de matières organiques se déduit du taux de matières sèches et du taux de matières minérales grâce à la définition donnée précédemment.

- **Pourcentage de litière**

On déduit le taux de litière dans le fumier des mesures de matières sèches précédentes.

c) Résultats

	Matières sèches	Matières minérales	Matières organiques	Pourcentage de litière
Crottin Frais	25%	4%	96%	
Fumier Frais	30%	3,3%	96,7%	25%
Fumier de Fumière	30%	3%	97%	25%
Copeaux	45%	0,7%	99,3%	

d) Interprétation

On remarque que le crottin contient moins de matières sèches que le fumier, ceci est dû au fait que les copeaux contenu dans le fumier sont plus secs et donc leur présence dans le fumier augmente le pourcentage de matières sèches global du fumier.

Le crottin et le fumier contiennent beaucoup d'eau : seulement 30% de matières sèches. Ce résultat laisse penser que la combustion en l'état du fumier risque d'être difficile, il faudra probablement le faire sécher ou le traiter au préalable.

Le crottin est issu de la digestion par le cheval de ses aliments. Or l'alimentation du cheval est à base de végétaux, donc de matière organique. C'est ce qui explique l'important taux de matière organique dans le crottin.

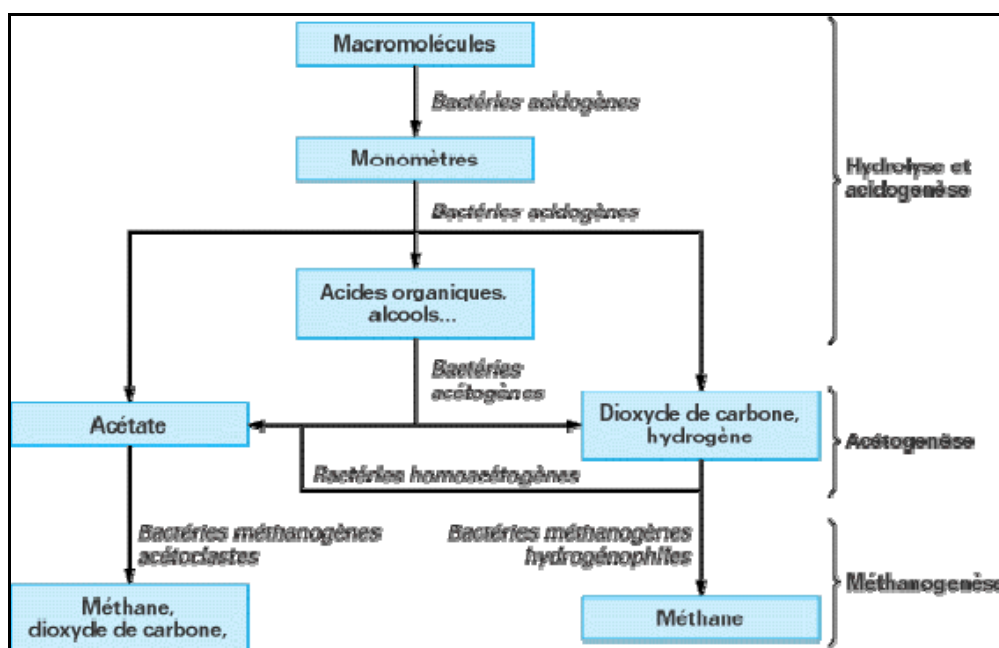
De même les copeaux présents dans la litière sont des copeaux de bois, eux aussi sont donc d'origine organique. Le fumier est conséquemment composé de deux éléments organiques, ce qui explique un si haut taux de matière organique.

3°) Méthanisation

a) Principe

La méthanisation est un procédé biologique de dégradation de la matière organique par des micro-organismes en atmosphère anaérobie. La dégradation produit du biogaz, principalement du CO₂ et du méthane.

La méthanisation se divise en trois étapes : l'hydrolyse et l'acidogénèse, l'acétogénèse et la méthanisation proprement dite. Chacune de ces étapes est réalisée par des micro-organismes, des bactéries principalement.



Le principe de la méthanisation

- **L'hydrolyse et l'acidogénèse**

L'hydrolyse est réalisée par des bactéries fermentaires et permet de découper la matière organique complexe en substances simples plus facilement utilisable par les autres bactéries du procédé. L'hydrolyse de certaines substances organiques comme la cellulose peut être difficile et ralentir le procédé, ce fut le cas ici car les copeaux de bois en contiennent. L'acidogénèse est réalisée par des bactéries acétogènes qui dégradent les substances pour produire des alcools, des acides organiques mais aussi des gaz comme l'hydrogène et de dioxyde de carbone.

- **L'acétogénèse**

Cette étape permet de transformer les composés formés précédemment en précurseurs direct du méthane : l'acétate, le dioxyde de carbone et l'hydrogène.

Deux types de bactéries acétogènes participent à cette étape :

-les bactéries productrices obligées d'hydrogène qui produisent de l'hydrogène et de l'acétate à partir des métabolites réduits produits à l'étape précédente.

-les bactéries acétogènes non syntrophes qui produisent majoritairement de l'acétate et qui se développent dans les milieux riches en dioxyde de carbone.

- **La méthanogénèse**

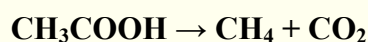
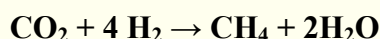
Cette étape est assurée par des archaebactéries anaérobies stricts.

La production de méthane se fait de deux façons :

-en utilisant de l'hydrogène et du dioxyde de carbone par des espèces hydrogénotrophes

-en utilisant l'acétate par des espèces acétotrophes

Les deux possibilités pour produire du méthane



Cette étape est souvent l'étape limitante dans le procédé car les bactéries méthanogènes ont un taux de croissance plus faible que celui des bactéries acidogènes et acétogènes.

De plus les bactéries méthanogènes ont besoin d'oligo-éléments particuliers comme le fer, le nickel ou encore le magnésium.

Pour que la méthanisation ait lieu on doit se placer dans des conditions de pH et de température qui favorisent la croissance des bactéries.

La production de méthane nécessite que le pH soit compris entre 6 et 8, de préférence 7, et que la température se situe entre 30 et 40°C avec un maximum de production à 35°C. Les bactéries que nous utilisons sont mésophiles, c'est ce qui explique cette plage de température, il existe aussi des bactéries thermophiles qui produisent du méthane entre 55 et 60°C.

b) Protocole expérimental

On utilise comme protocole de base, un protocole expérimental fourni par l'entreprise Onelia de Fabien Guitonneau et Jérôme Baetz.

- **Principe**

Introduction dans un récipient hermétiquement clos contenant un milieu d'essai approprié de boue de manière à obtenir une concentration en matières solides totales comprises entre 1g/l et 3g/l en incubation à $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ en présence de fumier à une concentration en carbone organique de 20mg/l à 100mg/l.

On mesure la quantité de biogaz produite par le processus.

- **Milieu d'essai**

On introduit dans un récipient les éléments suivants dont les concentrations sont données en g/l.

Dihydrogénophosphate de potassium anhydre (KH_2PO_4)	: 0,27 g
Monohydrogénophosphate de sodium dodécane ($\text{Na}_2\text{HPO}_4, 12\text{H}_2\text{O}$)	: 1,12 g
Chlorure d'ammonium (NH_4Cl)	: 0,53 g
Chlorure de calcium dihydraté ($\text{CaCl}_2, 2\text{H}_2\text{O}$)	: 0,075 g
Chlorure de magnésium hexahydraté ($\text{MgCl}_2, 6\text{H}_2\text{O}$)	: 0,10 g
Chlorure de fer (II) tétrahydraté ($\text{FeCl}_2, 4\text{H}_2\text{O}$)	: 0,02 g
Sulfure de sodium nonahydraté ($\text{Na}_2\text{S}, 9\text{H}_2\text{O}$)	: 0,1 g
Solution d'oligo-éléments	: 10ml

Ces éléments sont nécessaires à la croissance des bactéries : la concentration de bactéries initiales étant faible, il faut favoriser leur croissance pour obtenir une bonne méthanisation.

Pour atteindre les conditions anaérobies on fait barboter de l'azote dans la solution pendant 20min pour éliminer l'oxygène dissous

Il est aussi nécessaire d'ajuster le pH à $7 \pm 0,2$ à l'aide d'une solution d'acide minéral ou de base selon les cas.

La solution d'oligo-éléments est une solution contenant les produits qui ne sont pas nécessaires à la survie des bactéries mais qui favorisent grandement le processus de dégradation en accélérant la croissance des bactéries. Cependant il ne faut pas se tromper dans la concentration car si elle est trop élevée ces éléments sont très nocifs et tuent rapidement la colonie de bactéries.

La solution d'oligo-éléments est composée des éléments suivants dont les concentrations sont données en g/l :

Chlorure de manganèse tétrahydraté ($\text{MnCl}_2, 4\text{H}_2\text{O}$)	: 0,05 g
Acide orthoborique (H_3BO_3)	: 0,005 g
Chlorure de zinc (ZnCl_2)	: 0,005 g
Chlorure de cuivre (II) (CuCl_2)	: 0,003 g
Molybdate disodique dihydraté ($\text{Na}_2\text{MoO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$)	: 0,001 g

Chlorure de cobalt hexahydraté (CoCl ₂ , 6H ₂ O)	: 0,01 g
Chlorure de nickel hexahydraté (NiCl ₂ , 6H ₂ O)	: 0,005 g

Nous ne disposions pas de tous ces réactifs dans le magasin de produits chimiques du laboratoire LGPM.

Ainsi, tous les réactifs prévus ne furent pas introduits dans la solution. Cela n'a pas eu une grande importance car les composés manquant appartenaient tous à la solution d'oligo-éléments et étaient donc facultatifs.

D'autres réactifs étaient présents dans le magasin mais pas avec le même taux d'hydratation que stipulé (par exemple nous avons du molybdate disodique anhydre à la place du molybdate disodique dihydraté).

Un calcul très simple nous a permis d'introduire la bonne quantité du réactif dont nous disposions pour avoir la même concentration de réactif.

- **Composé à expérimenter**

Le composé que nous allons expérimenter est le fumier de cheval frais. Ce composé se présente sous forme solide et on l'introduit directement dans les récipients contenant le milieu d'essai afin d'obtenir une concentration en carbone organique d'environ 100mg/l.

- **Préparation des boues**

On laisse les boues digérer à 35°C sans ajouter de nutriment pendant 7 jours maximum.

Cette opération est nécessaire pour que les échantillons blancs ne soient pas faussés par les boues qui s'autodigèrent, produisant ainsi du biogaz sans que l'on ait ajouté de composé à dégrader.

- **Préparation de l'inoculum**

Une fois que les boues ont digérées, il faut les laver afin de réduire la concentration en carbone inorganique.

On centrifuge les boues à faible vitesse, 3000g pendant 5min. On met en suspension les matières solides dans les récipients d'essai. On doit avoir une concentration en matières solides comprise entre 1g/l et 3g/l. Tout en faisant attention de mettre les bactéries le moins possible en contact avec l'oxygène.

- **Détermination des caractéristiques des boues**

Afin de déterminer la quantité de boue à centrifuger pour avoir la concentration requise en matière solide dans chaque échantillon, nous devons déterminer les caractéristiques des boues. On suit le même mode opératoire que pour l'analyse du crottin et du fumier.

	Matières sèches	Matières minérales	Matières organiques
Boue de Valenton	0,30%	66,6%	33,4%
Boue de récupération	1%	40%	60%

- **Mode opératoire**

On a choisi de préparer trois échantillons de 300mL dont un blanc.

On commence par préparer 2 litres de milieu d'essai afin d'en avoir assez pour pouvoir relancer l'expérience une deuxième fois si la première ne marchait pas. On ajoute tous les composants préalablement pesés dans un erlenmeyer de 3 litres en mélangeant en permanence grâce à un agitateur magnétique pour faciliter la dissolution. Une fois tous les réactifs introduits on fait barboter de l'azote pour désoxygéner la solution.

Notre expérience ne durant que 2 semaines et non 60 jours comme le protocole expérimental le demande, nous avons choisi d'augmenter les concentrations de fumier et de bactéries afin d'accélérer le processus.

Nous avons introduit 2 grammes de fumier par erlenmeyer, sauf dans l'échantillon qui va servir de blanc. On rajoute de l'eau distillée dans le blanc pour ajuster le volume. On en déduit grâce à la caractérisation du fumier que nous fait, la quantité de matière organique introduite :

Matière organique= (Masse totale) x (Taux de matière sèche) x (Taux de matière organique)

-Fumier frais : Matière organique = $2 \times 0.30 \times 0.967 = 580\text{mg}$
Matière solide = $2 \times 0.30 = 0.6\text{g}$

-Fumier de fumièrè : Matière organique = $2 \times 0.3 \times 0.97 = 582\text{mg}$
Matière solide = $2 \times 0.3 = 0.6\text{g}$

La matière organique ne correspond pas au carbone organique, on approxime la quantité de carbone organique à partir de la quantité de matière organique en la divisant par deux. Ce qui donne :

-Fumier frais Carbone organique= $580/2 = 290\text{ mg}$
-Fumier de fumièrè Carbone organique= $582/2 = 291\text{ mg}$

Pour respecter les quantités que le protocole indique, on aurait dû introduire :

Carbone organique= $0.25 \times 100 = 25\text{mg}$

On a donc introduit environ 10 fois trop de fumier dans nos échantillons.

Dans chaque échantillon, nous avons introduit le résultat de la centrifugation à 9000tr/min pendant 10 minutes, de flacons de 250mL remplis de boues que l'on a fait préalablement digérer pendant une journée car nous ne disposions pas d'assez de temps pour laisser les bactéries digérées une semaine.

On en déduit la quantité de matière solide introduite :

-Boue de Valenton Matière solide = $0.003 \times 250 = 0.75\text{g}$
-Boue de récupération Matière solide = $0.01 \times 250 = 2.5\text{g}$

Nous avons fait deux expériences au cours de ce ME, une première où nous avons associé la boue de Valenton et du fumier de fumièrre et une seconde avec de la boue de récupération et du fumier frais.

Ce qui nous donne une quantité de matière solide totale dans chaque échantillon

$$\text{-Exp1 Boue de Valenton + Fumier de fumièrre} = 0.75 + 0.6 = 1.35 \text{ g}$$

$$\text{-Exp2 Boue de récupération + Fumier frais} = 2.5 + 0.6 = 3.10 \text{ g}$$

D'où une concentration en matière solide de :

$$\text{-Exp1 Boue de Valenton + Fumier de fumièrre} = 4 \times 1.35 = 5.40 \text{ g/L}$$

$$\text{-Exp2 Boue de récupération + Fumier frais} = 4 \times 3.10 = 12.4 \text{ g/L}$$

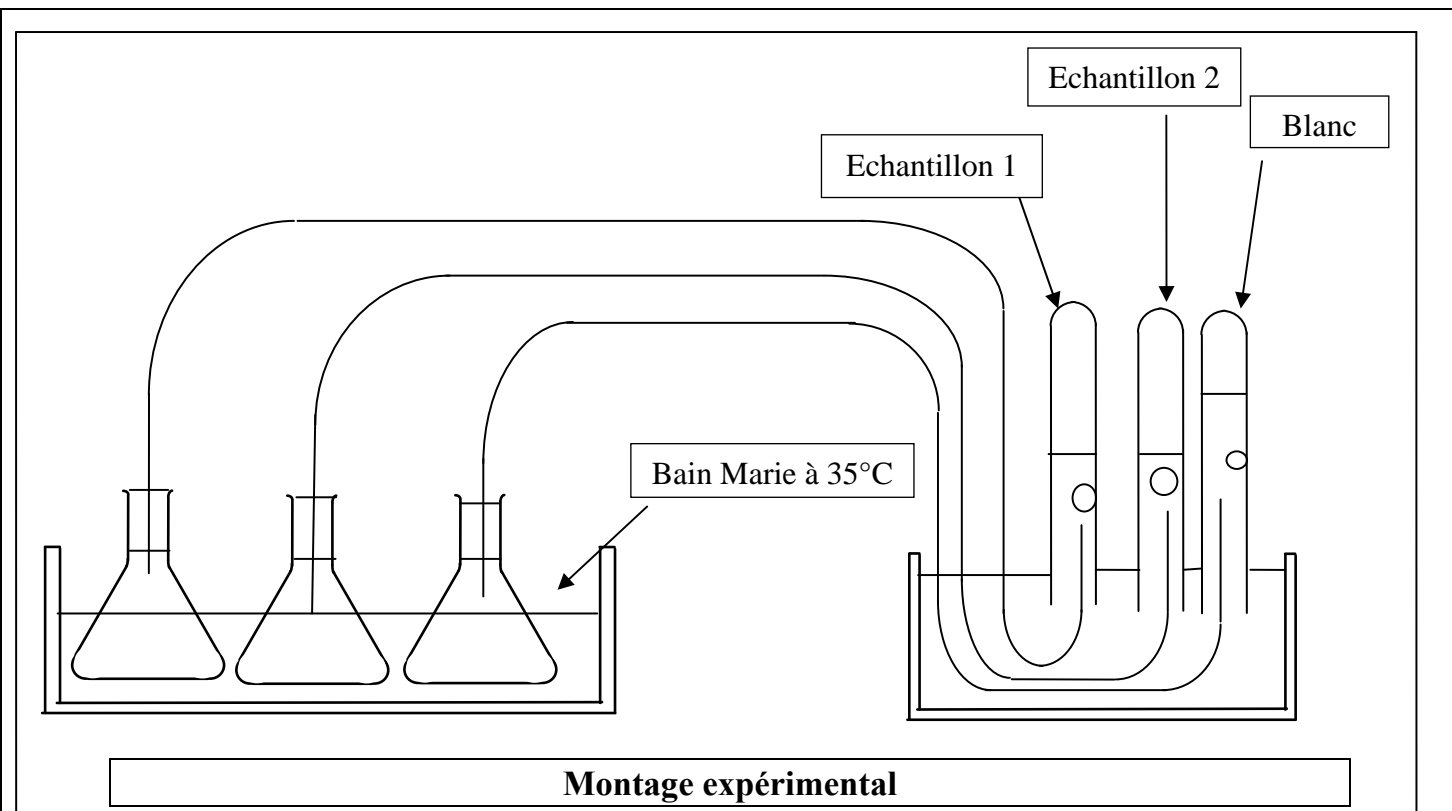
Dans la première expérience nous avons donc introduit environ 2 fois trop de matière solide alors que dans la seconde nous avons introduit 4 fois trop de matière solide. En effet le protocole conseillait une concentration en matière solide de 1g/L à 3g/L.

Nous avons délibérément choisi d'augmenter les concentrations inscrites dans le protocole afin d'accélérer le processus de méthanisation. Nous n'avons pas le choix car les quantités indiquées font que la concentration en bactéries est faible au départ, ce qui entraîne une période de latence de 15 jours pendant laquelle les bactéries se développent et où la production de méthane est très lente. De plus les bactéries les plus lentes à se développer sont les bactéries méthanogènes, c'est ce qui explique la lenteur initiale du processus, la population de bactéries méthanogènes doit être assez importante pour que la méthanisation démarre de façon visible.

Une fois tous les réactifs introduits, il faut désoxygéner le milieu pour mettre les bactéries dans une atmosphère anaérobie nécessaire au processus de méthanisation. Pour cela on fait barboter de l'azote dans chaque erlenmeyer pendant 20 minutes.

Les échantillons doivent être à 35°C, pour cela on les plonge dans un bain marie thermostaté.

On mesure la quantité de biogaz produite grâce à des éprouvettes retournées reliées aux échantillons par des tuyaux souples



Montage expérimental

Pour suivre l'évolution de l'expérience, nous avons relevé la quantité de gaz dégagé par la dégradation du fumier tous les jours.

c) Résultats

- **Première expérience**

La première expérience consistait à faire dégrader du fumier de fumière par des boues issues de la station d'épuration de Valenton.

Le tableau suivant présente le résultat de cette expérience :

Date	Temps (jours)	Mesure Blanc (en mL)	Mesure échantillon 1 (en mL)	Mesure échantillon 2 (en mL)
14/05	0	12	14	14
15/05	1	12	14	14
16/05	2	12	14	14

On s'aperçoit que le processus de méthanisation n'a pas fonctionné car le volume de gaz est constant pendant plusieurs jours alors (si la méthanisation avait eu lieu, il aurait augmenté chaque jour).

Nous avons donc décidé d'arrêter l'expérience et d'en relancer une autre mais avec d'autres boues, fournies par Damien Fonteneau, et du fumier frais.

La raison du dégagement gazeux observé est à chercher ailleurs. Ce dégagement a commencé dès que l'on a connecté l'erenmeyer à l'éprouvette retournée via le tuyau. Ce dégagement est trop rapide pour être le résultat de la dégradation du fumier. Ce gaz est le résultat de la surpression qui apparaît dans l'erenmeyer au moment où l'on enfonce le bouchon pour le fermer.

Il faut donc tenir compte de ce dégagement dans les mesures du volume de gaz dégagé lors de la seconde expérience.

- **Les raisons de l'échec de la première expérience**

Une première cause de cet échec est la qualité des boues utilisées. En effet, après avoir laissé, digérer les boues deux jours à 35°C, nous n'avons pas observé de surpression dans le bidon qui les contenait, ce qui signifiait que les bactéries contenues dans les boues ne produisaient pas de méthane et étaient probablement déjà mortes. Malgré cette observation nous avons continué car elles étaient les seules boues à notre disposition à ce moment.

La deuxième raison est la préparation des échantillons. Nous avons bien désaéré le milieu d'essai lors de sa préparation mais nous n'avons pas désaéré chaque erlenmeyer après y avoir introduit les boues. Il y avait donc de l'oxygène dans l'espace de tête qui s'est dissout dans le milieu d'essai, l'atmosphère anaérobie n'était pas respectée et donc la méthanisation ne pouvait pas avoir lieu.

Ce sont les deux principales raisons qui expliquent le résultat de la première expérience. Nous ne pouvions rien faire pour la qualité des boues mais nous avons retenu nos erreurs de manipulation lors de la préparation des échantillons et les avons rectifiées lors de la deuxième expérience. Nous avons désaéré le milieu d'essai et ensuite chaque erlenmeyer pour s'assurer d'être en atmosphère anaérobie.

- **Deuxième expérience**

Cette fois nous avons utilisé des boues issues de la digestion du lisier de porc, fournies par Onelia, et du fumier frais qui a un pouvoir méthanogène plus grand que le fumier de fumière qui a déjà été en partie digéré.

De plus nous avons introduit une concentration plus importante en boue et en fumier pour favoriser le processus.

Nous avons laissé les boues digérées une seule journée en raison du manque de temps. Cette fois ci nous avons observé un léger gonflement du bidon, ce qui montre que nous avons des bactéries vivantes dans les boues.

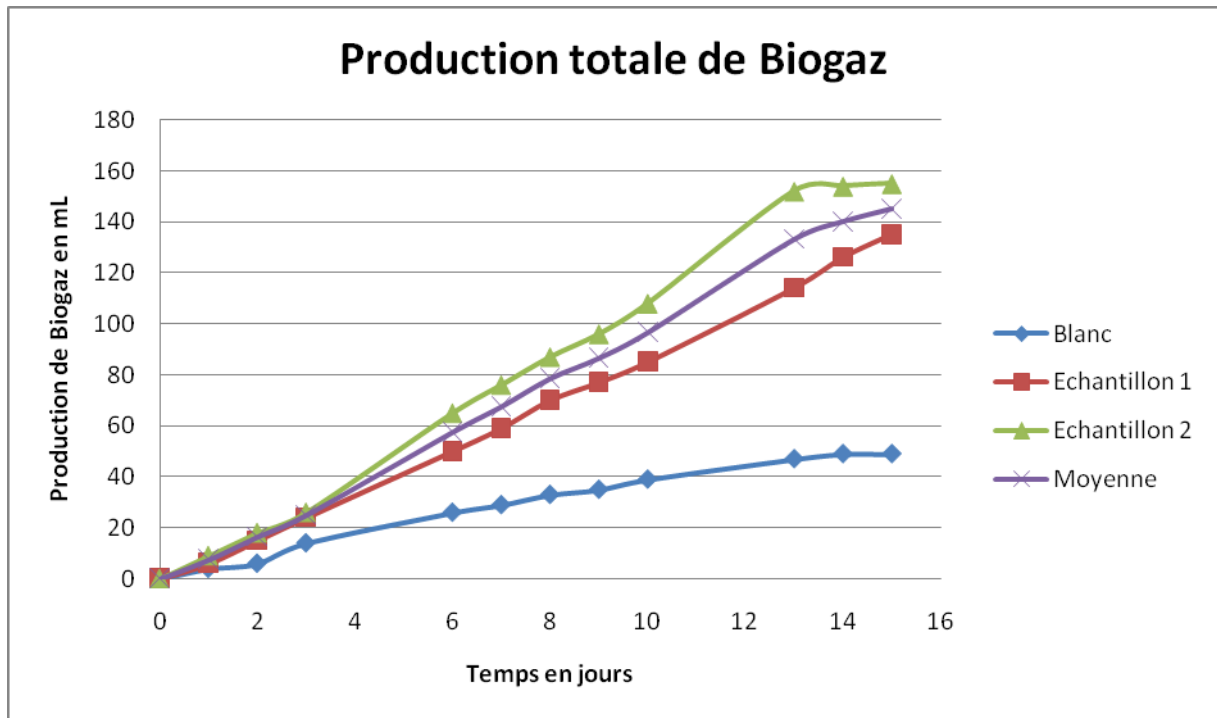
Le tableau suivant rapporte le résultat des mesures :

Date	Temps (jours)	Mesure Blanc (en mL)	Mesure Echantillon 1 (en mL)	Mesure Echantillon 2 (en mL)
20/05	0	14	15	15
21/05	1	18	21	24
22/05	2	20	30	33
23/05	3	28	39	41
26/05	6	40	65	80
27/05	7	43	74	91
28/05	8	47	85	102
29/05	9	49	92	111
30/05	10	53	100	123
02/06	13	61	129	167
03/06	14	63	141	169
04/06	15	63	150	170

Le volume produit par les échantillons 1 et 2, étant plus important que celui des éprouvettes que nous avons utilisé. Nous avons dû remplir les éprouvettes en cours d'expérience.

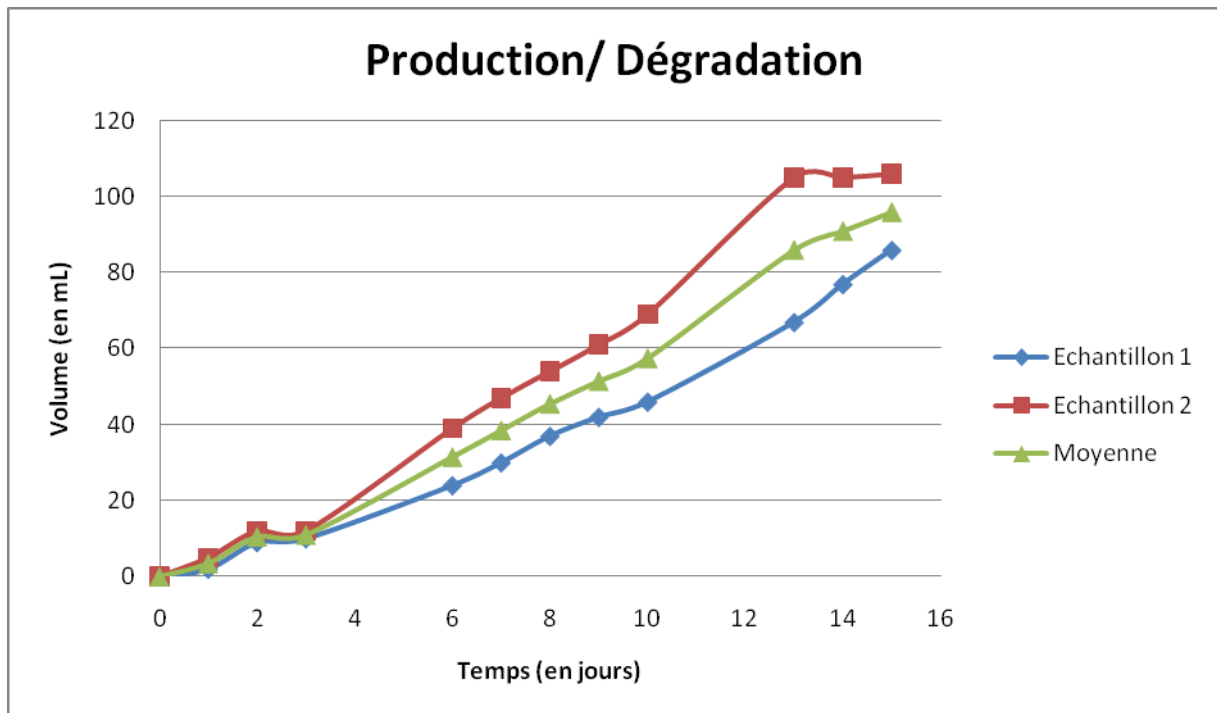
En tenant compte du dégagement de gaz initial pour décaler le zéro, on obtient alors la production de gaz réelle qui est rapporté dans le tableau suivant :

Temps (jours)	Blanc (en mL)	Echantillon 1 (en mL)	Echantillon 2 (en mL)	Moyenne (en mL)
0	0	0	0	0
1	4	6	9	7,5
2	6	15	18	16,5
3	14	24	26	25
6	26	50	65	57,5
7	29	59	76	67,5
8	33	70	87	78,5
9	35	77	96	86,5
10	39	85	108	96,5
13	47	114	152	133
14	49	126	154	140
15	49	135	155	145



La production de l'échantillon blanc n'est pas nulle, ce qui s'explique par le fait que l'on a pas laissé les boues digérées assez longtemps. Nous nous attendions à ce résultat.

Pour avoir le biogaz produit à partir de la dégradation du fumier, nous avons soustrait à la production de chaque échantillon, la production du blanc.



L'échantillon 2 a une production plus importante que l'échantillon 1, cela peut-être dû à une différence de la concentration initiale en bactéries. Cette différence de concentration peut provenir d'un mauvais mélange du bidon contenant les boues, avant le remplissage des flacons de la centrifugeuse. L'échantillon 2 correspond à la fin du bidon alors que l'échantillon 1 au début du bidon. Les boues ayant tendance à décanter, la concentration est plus importante au fond.

Les deux échantillons présente un palier entre le 2^{ème} et le 3^{ème} jour, avant de reprendre la production de biogaz.

L'échantillon 2 présente un palier à la fin de l'expérience, cela signifie que tout le fumier a été consommé et que les bactéries n'ont plus rien à dégrader. D'où l'arrêt de la production de gaz.

L'échantillon 1 qui a une production plus lente n'a pas eu le temps d'atteindre ce palier. Il aurait été intéressant d'attendre que l'échantillon 1 se stabilise aussi pour voir si on aurait obtenu la même valeur finale. C'est ce qui devrait se passer en théorie car nous avons introduit la même quantité de fumier dans chaque échantillon.

La mesure de la proportion de méthane et de dioxyde de carbone du biogaz aurait été très utile pour connaître la qualité du gaz produit par ce phénomène et ainsi savoir si on peut l'utiliser dans le but de produire de l'énergie.

La deuxième expérience est donc un succès car elle nous a permis de montrer que la méthanisation a bien lieu avec du fumier.

4°) Conclusion

Nos expériences nous ont permis de déterminer quelques caractéristiques de différents types de fumier et des copeaux.

Nous avons aussi mis en place une méthanisation, ce qui nous a permis de démontrer que ce procédé peut être utilisé dans la valorisation du fumier de cheval.

Conclusion

Nous avons pu dresser le portrait des exploitants des centres équestres rencontrant des problèmes avec leur fumier : ils se situent en zone urbaine ou périurbaine, hébergent un grand nombre de bêtes en boxes et utilisent les copeaux comme litière. La valorisation, dont nous avons vu en quoi elle était souhaitable, est souhaitée par beaucoup de centres équestres ; la méthanisation, la combustion et le compostage sont plébiscités.

Il y aurait certainement une communication à faire à ce sujet et un réseau à mettre en place pour valoriser le fumier de cheval. Nous espérons que cette étude permettra à la FIVAL d'organiser au plan national une campagne d'information à ce sujet, et d'éventuellement mettre en place un système de récupération du fumier.

Nous tenons à remercier chaleureusement M. Isambert pour sa disponibilité et ses conseils, qui témoignent de l'attention avec laquelle il a suivi ce projet. Mme Le Boudec fut aussi une interlocutrice attentive et sur laquelle nous avons pu compter tout au long de l'année ; qu'elle soit en remerciée. Plus généralement, nous exprimons notre gratitude au personnel de la FIVAL pour son accueil et l'aide qu'ils nous ont apportée. Enfin nous devons à Mme Sauquet la mise en place rapide et pratique du questionnaire.

Ce projet, s'il mit du temps à démarrer, nous a, entre autres, permis d'aborder un problème d'échelle nationale, d'étudier des techniques de valorisation de déchets organiques, et d'appréhender un milieu dont nous ignorions presque tout, le monde du cheval. Au point final de ce rapport et de ce projet, nous avons le sentiment d'avoir participé (modestement) à la compréhension d'un problème, ainsi qu'à la détermination des solutions envisageables, ceci dans une ambiance propice à une excellente collaboration ; c'est donc sur une note de satisfaction teintée d'estime pour ceux qui nous ont accompagnés dans notre travail que nous concluons.

Annexes

Bibliographie

- _ Titre : Les dossiers du biogaz : Trois études de cas
Auteurs : Groupe de Recherches et d'Echanges Technologiques
Groupement pour l'exploitation de l'énergie solaire
Date de publication : 1983

- _ Titre : Le biogaz : procédés de fermentation méthanique
Auteur : Bertrand de la Farge
Date de publication : 1995

- _ Les techniques de l'ingénieur
Titre : Méthanisation des effluents liquides industriels
Auteur : Sylvain Frédéric
Aurélien Lugardon

- _ Titre : Contribution à la valorisation des déchets d'abattoir au Sénégal par fermentation méthanique

- _ Protocole fourni par l'entreprise Onelia

- _ Titre : Valorisation du fumier de cheval
Auteur : Josselin Saint-Raymond

Annexe sécurité

Sécurité biologique

Durant nos expériences, nous avons manipulé des micro-organismes. Il faut les manipuler avec précaution pour ne pas les répandre un peu partout dans le laboratoire.

Nos bactéries que nous avons utilisées étant anaérobie le risque de contamination est moindre, car elles meurent au contact de l'oxygène.

Sécurité manipulation

Il faut prendre des précautions en manipulant les fours, notamment celui qui sert à la calcination. Il faut bien entendu faire attention aux brûlures.

La manipulation des récipients en verre nécessite de prendre des précautions, il faut éviter les chocs thermiques qui font éclater le verre. On pose les récipients en verre sur un support en liège ou sur des grilles en métal ou mieux dans un dessiccateur pour les faire refroidir et pas directement sur le carrelage des plans de travail.

La manipulation de la bouteille d'azote nécessite de prendre des précautions. L'ouverture de la bouteille doit se faire en deux temps, on ouvre d'abord la vanne sur le dessus de la bouteille puis très doucement la seconde vanne du détendeur. On est obligé d'ouvrir doucement pour ne pas avoir un trop grand débit d'azote dans le récipient, ce qui peut faire éclabousser le liquide.