

CHRISTOPHE JEAN-DAMIEN
Le Rat Haut
12600 BROMMAT

**LA BOUSE : HISTORIQUE, IMPORTANCE ET
ECOSYSTEME.**

THESE POUR LE DOCTORAT VETERINAIRE :
Diplôme d'Etat

ECOLE NATIONALE VETERINAIRE DE TOULOUSE

A MONSIEUR LE PROFESSEUR DABERNAT

**Professeur des Universités
Praticien Hospitalier
Bactériologie- Virologie**

Qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de notre thèse, qu'il veuille bien recevoir ici l'hommage de notre profond respect.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR BODIN

**Professeur de Pathologie Générale, de Microbiologie et d'Immunologie de
l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse**

Qui a eu l'amabilité d'accepter notre travail, qu'il trouve ici l'assurance de notre vive reconnaissance.

A MONSIEUR MEYER,

Maître de Conférence en Pathologie Bovine,

Qui a accepté de faire partie de notre jury de thèse, qu'il trouve ici l'expression de notre reconnaissance.

A MON EPOUSE, QUE LE CHEMIN QUE NOUS COMMENCONS A PARCOURIR ENSEMBLE SOIT SOUS L'EGERIE DU BONHEUR.

A MES PARENTS QUI ONT SU BATIR AUTOUR DE MOI UNE FORTERESSE INEBRANLABLE DANS LAQUELLE J'AI PU ET POURRAIS ME REFUGIER.

A MON FRERE ET MA SŒUR POUR TOUS CES SOUVENIRS PARTAGES

A MES AMIS DU QUEEN ET ASSIMILES SANS QUI CES ANNEES D'ECOLE N'AURAIENT PAS EU CETTE SI DOUCE SAVEUR.

A TOUTES CES PERSONNES QUI FONT PARTIE DE MA VIE, QU'ELLES RECOIVENT MA PROFONDE RECONNAISSANCE, ET MES SINCERES REMERCIEMENTS.

INTRODUCTION

La vache, depuis sa domestication au néolithique [42], fait partie de la culture de l'homme. Des peintures de Lascaux au paysan trayant sa vache assis sur son tabouret, la vache n'a cessé d'être présente dans l'histoire de l'humanité. Si l'homme était arrivé un beau jour sur une terre dépourvue d'animaux ou si Dieu, au lieu de créer le règne animal, s'était reposé les cinquième et sixième jours, l'homme aurait néanmoins survécu. Mais l'histoire est différente et la vache, source d'inspiration des peintures rupestres paléolithiques, symbole et déesse des premières civilisations sumériennes, vache céleste égyptienne, vache sacrée indienne, animal de labour, ressource alimentaire de viande et de lait, a traversé les siècles et les cultures pour être l'animal que l'on connaît.

La vache a donc longtemps fasciné, longtemps servi aux travaux des champs et à la nourriture des hommes mais l'on oublie trop souvent le rôle fondamental qu'elle joue, avec les grands herbivores, dans le grand livre de Dame Nature. En effet dans les systèmes pâturés, une partie importante de la production primaire prélevée par les grands mammifères herbivores retourne au sol sous forme de déjections, et permet ainsi le recyclage et la minéralisation de la matière organique nécessaire aux producteurs primaires, assurant ainsi un "turn over" de la matière. La bouse de vache apparaît donc comme un élément clé en tant que restitution des fourrages ingérés, permettant alors la réintégration au sol de cette biomasse.

De surcroît, les excréments animaux ont été employés très souvent et très tôt dans toutes les civilisations et tous les pays. Leurs utilisations faisaient partie de la vie courante mais furent peu relatées de par leurs singularités.

Ainsi après avoir dressé une liste non exhaustive des différentes utilisations de la bouse de vache à travers les époques, le souci sera d'évoquer son rôle dans l'écosystème prairial, sa place dans le flux et le recyclage de la matière ainsi que les différents acteurs et mécanismes de sa dégradation.

Table des matières

INTRODUCTION	p.1
1. <u>L'HISTOIRE DE LA BOUSE DE VACHE.</u>	p.4
1.) La bouse de vache : un excellent combustible	p.5
2.) La bouse de vache : un matériau de choix pour la construction.	p.7
3.) La bouse de vache un engrais de qualité.	p.9
4.) La bouse dans la médecine d'antan.	p.10
2. <u>LA BOUSE DE VACHE : UNE RESTITUTION NECESSAIRE POUR LES ECOSYSTEMES PATURES.</u>	p.13
1.) L'écosystème prairie	p.14
2.) La bouse : caractéristiques générales et composition	p.16
a. Fréquence des émissions et quantités émises.	p.17
b. Eléments chimiques contenus dans les déjections.	p.17
c. Formation d'une bouse de vache.	p.19
d. Importance des retours	p.20
3.) Les restitutions des déjections sur une pâture entraînent des modifications chimiques du sol sous-jacent	p.22
4.) Effet des déjections sur la production d'une pâture.	p.25
a. Effets localisés	p.25
b. Influences globales des restitutions au pâturage.	p.27

c. Un exemple d'enrichissement en matière organique d'un sol par les déjections animales	p.29
d. La bouse et l'écosystème prairie	p.31
3. <u>LE MICRO ECOSYSTEME BOUSE : COMPLEXITE ET ROLE FONDAMENTAL.</u>	p.32
1.) L'importance de la dégradation : les scénarios catastrophes...	p.32
2.) Les différentes étapes et acteurs de la dégradation d'une bouse de vache : le grand théâtre bousier	p.35
a. Les différents rôles des invertébrés dans la décomposition de la matière organique des bouses.	p.37
b. Evolution de la communauté coprophile des bouses de vache.	p.39
▪ Acte I : une faune coprophile spécialisée	p.41
▪ Acte II : le travail de la pédofaune	p.51
▪ Acte III : la végétation reprend ses droits, la boucle est bouclée	p.59
4. <u>UNE MENACE POUR CE FRAGILE ECOSYSTEME : LES ENDECTOCIDES.</u>	p.60
1.) Les dangers des résidus d'endectocides pour les invertébrés de la pédofaune.	p.60
2.) L'exposition de la pédofaune aux différents résidus d'endectocides dans les conditions naturelles.	p.65
CONCLUSION	p.73

1. L'HISTOIRE DE LA BOUSE DE VACHE.

De la vache si utile et si présente dans le quotidien de nos ancêtres, au point que la richesse d'un individu, d'une cité, ou d'un pays s'évaluait au nombre de têtes de bétail, ou que les guerres qui éclataient entre cités-états avaient pour objectif l'appropriation sinon la destruction des troupeaux de l'ennemi ou plus simplement que le mot capital dérive de caput : tête de bétail, la bouse ne pouvait être qu'un élément utile à l'homme [42].

Tout d'abord il serait intéressant de s'interroger sur l'étymologie du mot bouse qui n'est pas une moindre affaire puisque les lexicographes et les philologues se sont depuis des siècles évertués à proposer des solutions. L'hypothèse la plus curieuse voit son origine dans le mot hébreu « *bouts* » qui veut dire boue, limon. D'autres pensaient plutôt que le mot bouse était à rattacher à bœuf, par une déformation très irrégulière de *bov* ou *bou*. Plus près de nous, certains ont trouvé son origine dans *bovosa* ou *bou-osa*, c'est-à-dire boue car, l'idée de liquide est à la base de boue, or la bouse, excrément liquide s'oppose à la crotte, excrément dur. Enfin, le *Trésor de la langue française*, réfutant ces diverses hypothèses dont aucune ne satisfait totalement aux règles de la philologie, conclue...à une origine inconnue « peut être gauloise ».

S'il est difficile de se mettre d'accord sur l'étymologie du mot bouse en revanche sa définition est universelle : fiente de vache, de bœuf ou de taureau, et par extension de tout autre bovidé. [16], [25]

Les excréments animaux ont été employés très tôt et très souvent dans toutes les civilisations et tous les pays, mais la littérature n'en fait pas toujours état. En effet, ces utilisations (qui nous paraissent parfois bien extraordinaires) faisaient partie de la vie courante ; elles étaient tellement évidentes que les analystes ne jugèrent pas toujours nécessaire de les relater.

Cependant nous essaierons de dresser le tableau des principales utilisations de la bouse de vache à travers les siècles.

1.) La bouse de vache : un excellent combustible

La crise de l'énergie, contrairement à ce que l'on pourrait penser, n'est pas une nouveauté puisque jusqu'au milieu du XIX^e siècle, on vécut dans la crainte d'une pénurie de bois. Les grandes villes en effet ainsi que les industries métallurgiques, correspondant à la révolution industrielle, en faisaient une consommation croissante. La bonne gestion des forêts faisait partie des préoccupations majeures des rois de France et des seigneurs laïcs ou ecclésiastiques. Si aucun substituant au bois n'était utilisé pour fournir de l'énergie, l'exploitation intensive des forêts menait le pays à la catastrophe.

Il y avait cependant longtemps, dans quelques régions, que l'on avait recours aux combustibles minéraux afin d'économiser le bois : ainsi morceaux de terre noire et visqueuse, tourbe et houille, vordes des marais (sorte de roseaux en Champagne), branches de saules, tiges de colza, de fèves, d'œillette, de camelines, de navette sauvage, tiges de topinambours et de choux, servaient au chauffage des fours. Toutes les autres matières végétales étaient mises à contribution pour la production d'énergie, mais les difficultés de transport limitèrent, jusqu'à l'apparition de chemins de fer, leur emploi aux zones proches de leur production. [42].

Ainsi suppléer à la carence des matières ligneuses fut, une des grandes préoccupations non seulement de nombreuses provinces françaises, mais également de la plupart des pays du monde. Le recours aux excréments des animaux sauvages ou domestiques apparaît donc très anciennement. C'est ainsi que le prophète Ezéchiel relate que, le Seigneur lui ayant ordonné de faire cuire le pain des juifs alors en exil, à l'aide d'excréments humains desséchés, s'éleva contre cette souillure mais accepta de Jéhovah l'ordre d'utiliser pour ce faire, la bouse de bœuf (la Bible). On peut affirmer que l'emploi de la bouse pour le chauffage est bien antérieur au VI^e siècle avant Jésus-Christ, époque où vivait ce prophète, mais c'est à notre connaissance la première mention qui en existe.

On sait par les récits des voyageurs et les différents témoignages historiques relatant les faits de la vie courante, que l'utilisation de la bouse comme combustible était répandue dans de nombreux pays. D'ailleurs les Indiens des mauvaises terres du Nebraska désignaient les fientes de bisons sous le terme de « *bois de vache* ». [16]

Si l'utilisation de la bouse de vache était courante comme source d'énergie les différentes préparations bien que fondées sur les mêmes principes, restaient des méthodes artisanales transmises de génération en génération.

Les principes de fabrication étaient simples. Pour la combustion, la bouse de vache doit être évidemment très sèche. Le plus simple est donc de ramasser les bouses sèches au pré et de les utiliser telles quelles. Cependant, le plus souvent, la bouse subit une préparation. Elle peut-être utilisée seule, moulée ou remaniée de façon à lui donner une forme adéquate à l'utilisation que l'on veut en faire, ou bien encore malaxée avec plus ou moins de débris végétaux, paille, balle de céréales, herbes séchées ou même avec des matières inertes, sable, poussière ou terre.

Pour ce qui est du séchage des bouses, celles ci peuvent sécher à même le sol, plus ou moins bien disposées avec des formes plus ou moins travaillées, dans des moules et des abris, sur des rochers, ou même lancées sur les murs de façon à ce qu'elles tombent une fois sèches. Le piétinement animal ou même humain représentait aussi une autre façon de séchage qui s'opérait avec les voisins ou des amis invités pour la circonstance et donnait l'occasion d'une grande fête. Une autre méthode de fabrication de ces « bouses séchées » consistait simplement à découper le fumier au printemps (mai, juin) accumulé et tassé dans les étables depuis l'année précédente.

Chaque région possède ainsi son matériel spécifique, sa méthode artisanale de fabrication et son vocabulaire. En France, la bouse séchée afin d'être brûlée est généralement appelée "argol", ou encore "bouzat". D'une manière générale, dans les pays où ce mode de chauffage est fréquent, il existe un terme spécial pour désigner la bouse séchée par rapport à la bouse fraîche, alors qu'ailleurs un seul mot est employé. Ainsi, on trouve selon les régions de France : bouzat, argol, coipiaux, bousettes (bouses séchées sur le pré), grêbons (bouse et litière), en Bretagne, benzel, torpez, tolpez, glaoued ; en Mongolie, pays déficient en matière ligneuse combustible car essentiellement composée de grandes plaines, baos, argal (à noter la ressemblance avec le terme argol utilisé en France, qui en dérive peut-être par retranscription erratique) ; en Russie, korovii pomiot, argal ; en Turquie, gübre, tezek etc... [25]

Les utilisateurs, quelle que soit l'époque dans laquelle ils vécurent, ont donné de la valeur de ce combustible des opinions divergentes, dues à sa qualité dérivant des divers modes de préparation et surtout du séchage. Pour certains, il brûle « comme une mauvaise tourbe en répandant de surcroît une odeur pestilentielle ou insupportable », dégageant « une fumée âcre et nauséabonde qui prenait à la gorge », et une « odeur suffocante d'ammoniaque susceptible d'avoir quelques influences sur la santé des hommes qui la respirent habituellement ». D'autres affirment en revanche, qu'il « brûle très bien et ne dégage pas d'odeur désagréable », sinon « celle de la paille qu'il contenait », et « des effluves un peu spéciales », mais, ne donnant « aucun goût quelconque aux aliments ».

La manière dont s'opère la combustion fait davantage l'unanimité : « sans flamme », donnant « un feu très clair », « beaucoup de chaleur », conservant « un feu semblable à celui des mottes de tanneurs » [16].

Les principales raisons qui ont conduit les humains à utiliser la bouse de vache ont donc été la cuisine et le chauffage. En Inde, les enfants ou les basses castes étaient souvent chargés de recueillir des bouses de vache séchées pour les restaurants, moyennant un petit pourboire, de façon à faire fonctionner les fourneaux. De même, en France le chauffage des fours de boulangers a souvent été pratiqué à partir de bouse de vache comme combustible [25]. Jusqu'au début du XX^{ème} siècle de nombreux foyers français se chauffaient encore à la bouse de vache.

D'autres utilisations plus spéciales ont été retranscrites, notamment l'utilisation de la bouse comme moyen de chauffage des couveuses artificielles pour l'éclosion des œufs de poule en Egypte ; pour la cuisson de poteries en Afrique orientale ; pour la fusion des métaux chez les Indiens précolombiens, IX^e siècle avant J-C et enfin pour le ferrage des roues de charrettes en France, procédé encore en usage au début du XX^e siècle à Noirmoutier [25], [16]. Il exista certes beaucoup d'autres utilisations originales de la bouse en tant que combustible mais la liste serait alors trop grande et même si l'on essayait d'en faire un inventaire, beaucoup seraient omises.

2.) La bouse de vache : un matériau de choix pour la construction.

Si sur les 700 millions de tonnes de fumier produites annuellement en Inde, la majeure partie (voire la presque totalité) est utilisée comme engrais et comme combustible, la bouse de vache peut être employée à de nombreuses autres fins.

En effet dans de nombreux pays, elle était ou est encore un élément de base dans la construction, que ce soit pour l'édification des murs, le coffrage des sols, le comblement des fissures ou l'imperméabilisation des toitures.

Mélangée à d'autres éléments (sable, terre, paille, branches ...), elle servait de liant et donnait ainsi un caractère solide et imperméable au mélange, utilisé alors comme ciment ou mortier. On trouve des exemples de ces utilisations un peu partout : France, Hongrie, Chine, Réunion, Afrique. Ainsi, chez les Masais, le toit des maisons est constitué de branches entrelacées et recouvertes de bouse de vache. L'emploi le plus courant de la bouse en construction reste cependant le colmatage des brèches et l'imperméabilisation par le badigeonnage répété d'un mélange de bouse et d'eau sur les murs. Il paraîtrait de plus que cet enduit chasse les insectes. Son emploi pour la fabrication des sols des demeures est largement répandu dans les pays à température élevée, notamment en Afrique où son utilisation procurait un revêtement lisse, agréable et frais selon les divers témoignages.

Dans de nombreux villages de l'Inde, non seulement le badigeonnage des sols et des murs des maisons d'habitation a lieu quotidiennement, mais encore plus spécialement dans une chambre destinée à une accouchée, dans les pièces où le yoga est enseigné et dans les appartements où se déroulera une fête nuptiale.

La réalisation des aires de battages se faisait à partir d'un mélange de terre et de bouse. Une fois la surface du sol aplaniée, de la bouse diluée et mélangée à de la terre était enduite à même le sol. Après séchage, on répétait l'opération maintes fois pendant plusieurs semaines avant la mise en service de l'aire. Le revêtement constitué par ces couches de bouses rendait le sol suffisamment dur et solide pour résister aux coups de fléaux et aux poids des rouleaux tirés par les chevaux ou les bœufs.

Cette méthode de fabrication a été relevée dans de nombreuses régions françaises comme la Champagne, la Bretagne, la Vendée, l'Auvergne ainsi que dans le sud ouest. L'aire en question était en général pavée, mais quelques jours à quelques semaines avant le battage du blé, et après un nettoyage et un désherbage soigneux, on l'enduisait de ce revêtement particulier de bouse diluée dans de l'eau et plus ou moins mélangée à de la terre. Cet usage devait être très répandu car l'une des définitions du verbe « bouser » citée par Larousse est : « former l'aire d'une grange avec un mélange de terre et de bouse de vache ».

L'usage de la bouse comme matériau de construction, notamment dans l'amélioration du liant ou dans le colmatage des brèches, a été très souvent relaté, puisqu'il existe des exemples de ces utilisations dans tous les pays et à toutes les époques. En France, son ajout au plâtre, en vue de l'amélioration du liant avec le lait de chaux pour apporter cette couleur blanche que l'on connaît, servait à bâtir les murs des maisons [25].

3.) La bouse de vache un engrais de qualité.

La bouse est le produit de la digestion des végétaux ingérés par les bovidés. Les différents remaniements dans les « estomacs » puis le tube digestif de ces végétaux permettent une assimilation et une intégration d'une partie seulement des matières ingérées, le reste étant éliminé dans les bouses. Ces dernières sont donc riches en différents éléments organiques.

C'est pour cette raison que la bouse représente un engrais de qualité notamment pour sa forte teneur en azote, élément primordial pour le développement des végétaux.

Probablement depuis que le bœuf a été domestiqué pour aider au travail des champs, la bouse a été utilisée comme engrais améliorant considérablement le rendement des cultures. Aujourd'hui encore la pratique de l'épandage est très répandue dans le milieu de l'élevage.

L'emploi de la bouse sous forme de fumier (mélange de bouse et de litière) ou de lisier (bouse, urine, eau et débris pailleux) sur les cultures ou dans les champs pour en améliorer le rendement par l'apport d'agents fertilisants (en particulier l'azote), représente certainement l'emploi le plus important et le plus courant des excréments de vache. Le dépôt d'une bouse entraîne un enrichissement du sol sous-jacent en différents bioéléments nécessaires au développement végétal.

Cette pratique connue de tous et encore largement utilisée consiste, en général au printemps, quand le besoin des végétaux en croissance est maximal, à épandre sur la surface des sols le mélange de litière et de bouse ou de lisier, accumulé pendant la saison hivernale quand les bêtes sont à l'étable.

Cette méthode simple représente l'utilisation la plus courante et la plus importante en quantité, des déjections du bétail, et s'applique encore aujourd'hui.

Une autre utilisation de la bouse, qui paraît beaucoup plus anecdotique que les trois précédemment citées (chauffage, construction, épandage) a cependant été d'usage et se doit d'être relatée.

4.) La bouse dans la médecine d'antan.

L'utilisation de la bouse dans la médecine doit faire sourire bon nombre de personnes cartésiennes pour qui la nécessité d'arguments scientifiques passe avant le bon sens de simples observations les entourant.

Ne condamnons pas toujours certains traitements aussi paradoxaux ou bizarres qu'ils puissent paraître, sous l'insuffisant prétexte que nous ne savons pas en comprendre le mécanisme ni interpréter les résultats.

Pour en revenir à l'utilisation de la bouse de vache dans différents remèdes médicaux, il faut savoir que, "la bouse des bovins employée en médecine s'étend toujours fraîche, provient d'un animal en bonne santé, jeune, puissant, nourri en divers prés, surtout pas en ville, ou, comme on le conseille en Inde, d'une vache qui se déplace beaucoup, maigre, mais plus résistante que la vache d'étable" [24].

Son utilisation essentielle en médecine porte sur les états d'inflammation, les douleurs et les plaies. Au Kenya par exemple, suite à la perforation des lobes des oreilles, l'application de cataplasme à base de bouse fraîche permettait l'accélération de la cicatrisation de la plaie saignante; en France on traitait de la même façon les coupures dues au rasage.

Un argument en faveur des vertus antiseptiques de la bouse de vache peut être trouvé dans un prospectus distribué dans les années 70 par un centre antivariolique de la région de Poona en Inde, qui, recommande de ne pas appliquer de bouse de vache sur les inflammations provoquées par le vaccin antivariolique [16].

Si une fois de plus l'on essaie de dater l'utilisation de la bouse à des fins médicinales, on apprend dans les "Acta sanctorum" que Saint Cyr, chrétien d'Alexandrie, martyrisé en 303 après J-C, médecin de profession, guérissait les blessures à l'aide d'excréments. De même, au XIXe siècle, un médecin anglais rapporte d'un médecin indigène (Afrique) que la pose de deux cataplasmes préparés à partir de bouse de vache et appliqués sur les deux plaies causées par un coup de fusil ayant traversé l'abdomen de part en part permit (suite à l'expulsion des saletés par l'insufflation d'air à travers une corne coupée aux extrémités et introduite dans la plaie) la guérison au bout d'une semaine [16].

L'utilisation de la bouse pour ses diverses propriétés, notamment pour son caractère antiseptique, fut largement répandue dans le traitement de nombreuses affections, que ce soit pour le panaris, le traitement des abcès, des flegmons, des engelures, des piqûres d'insectes et même dans certains pays comme l'Inde pour la lèpre.

Il est tout de même à noter que son utilisation n'est pas sans danger, en effet, au Pakistan, un grand nombre de nourrissons dont le cordon ombilical était « désinfecté » avec de la bouse de vache séchée et utilisée comme talc, mourrait de tétanos néonatal ou d'une septicémie [25].

Superstition ou réalité, l'épilogue serait long, mais quoiqu'il en soit une chose est sûre : il en était ainsi. Le thème de toute façon n'est pas d'aborder le bien fondé de toutes ces pratiques mais juste de replacer dans son contexte et avec le maximum de véracité l'utilisation de la bouse à travers les différentes époques, les différentes civilisations et les différents pays.

Pour l'aspect anecdotique, entre croyance populaire et médecine cartésienne, un extrait de "*la Médecine et la Chirurgie des pauvres*" donne une recette précise d'utilisation de la bouse : " mettre de la fiente de vache ou de bœuf fraîche dans un pot avec du bon vin, faire bouillir jusqu'à ce qu'il s'épaississe et appliquer en cataplasme sur le mal, le plus chaud qu'on pourra souffrir, continuant trois ou quatre fois" [16].

L'application directe (par cataplasme ou autres techniques...) de la bouse n'est pas la seule méthode de traitement. En effet pour des maladies plus "internes", que ce soit pour une atteinte du système respiratoire ou du système digestif, des administrations de cocktails à base de bouse ont été rapportés : en Inde, l'asthme bronchique et la dysenterie étaient traités ainsi par voie orale, le fait fut même relevé en Algérie dans les années 1900-1914, ou en Chine dans les années 1930.

En général, les apothicaires, connaissant l'aspect répugnant de l'utilisation de bouse par voie orale cachaient aux malades la nature de ce qu'on leur faisait boire; c'est ainsi que plusieurs personnes ayant bu, sans le savoir, de la fiente sèche de bœuf dans un bouillon ou le jus de la dite fiente, ont été guéris de leurs coliques [16].

Dans la *Pharmacopée universelle*, étaient décrits les moyens de fabrication et l'utilisation de l'*Eau de mille fleurs*, liquide obtenu par distillation de bouse recueillie préférentiellement au mois de mai. Cette dernière été estimée " apéritive, adoucissante, et souveraine pour l'hydropisie, les rhumatismes et la goutte sciatique". De même aux pages 755-756 on pouvait lire : "Si à la bouse de vache de mai, on joignait dans la proportion d'un tiers des limaçons avec leur coquille et du vin blanc, le distillat s'appellerait *Eau de toutes fleurs, de Bateus*. Cette eau, outre les propriétés de celle des milles fleurs, était employée contre les rougeurs, les démangeaisons, les dartres et les tâches du visage" [24].

D'autres utilisations enfin, dérivent de la combustion des bouses. La fumée qui se dégage de cette combustion permettait d'éloigner bon nombre d'insectes : araignées, moucheron, moustiques, abeilles ...

C'est peut être pour cette propriété que, dans trois peuples séparés par de grandes distances, les Cafres en Afrique australe, les Latouka dans la Haut Nil et les Patagons en Amérique du sud, il est de coutume de fumer un mélange de tabac et de bouse de vache. Les cendres elles mêmes étaient utilisées en médecine, soit seules, soit mélangées à de la bouse ou à divers autres éléments. C'est ainsi qu'à l'époque romaine la bouse a souvent été substituée par ses cendres dans diverses applications médicinales. Une des préparations souvent utilisées, consistait à cuire des oignons de lis avec des cendres de bouses, puis d'ajouter un peu de miel et d'appliquer cette préparation pour le traitement de divers maux, notamment des varices ou des états d'inflammation avec risque de suppuration.

L'efficacité réelle de la bouse dans les divers traitements médicaux est certes discutable, mais nous renonçons ici à juger les faits exposés, ils ne sont donc que relatés le plus objectivement possible.

Pourquoi, sans trouver d'explication ne pas tout simplement utiliser son sens de l'observation ou son bon sens et constater que ça marche même si les raisons du succès nous échappent !

N'a-t-il pas été prescrit, à l'époque des épidémies de peste bubonique, pour se protéger de la contagion, des onctions corporelles à base d'huiles alimentaires (olives ou noix)? Les résultats n'étaient-ils pas excellents? Cette technique ne limitait-elle pas la contagion?

En réalité, le vecteur essentiel de la peste est la puce, or on sait que cet insecte est repoussé par l'odeur de ces huiles et c'est ainsi que nos ancêtres, par leur observation et malgré leur ignorance des faits scientifiques, trouvèrent un moyen préventif contre cette terrible maladie.

La bouse, dont quelques applications quotidiennes de nos ancêtres ont été retranscrites, représente bien plus qu'un moyen de combustion, un matériel de construction ou un « remède » pour la guérison de divers maux : en tant que restitution des végétaux ingérés par les bovidés, elle est une étape dans le cycle des bioéléments de l'écosystème prairie.

2. LA BOUSE DE VACHE : UNE RESTITUTION NECESSAIRE POUR LES ECOSYSTEMES PATURES.

Dans les systèmes pâturés, une partie importante de la production primaire prélevée par les grands mammifères herbivores, retourne au sol sous forme de déjections. Les excréments de bovidés occupent donc un pôle énergétique capital dans l'écosystème prairie. L'optimisation de leur recyclage passe par leur enfouissement dans le sol par les insectes coprophages, ce qui permet par la suite aux microorganismes de jouer leur rôle dans les processus d'humification et de minéralisation. Un tel processus d'enrichissement des horizons édaphiques en humus et en matières minérales, améliore les propriétés physico-chimiques du sol et augmente la production primaire.

Le pâturage accélère grandement les processus de recyclage des éléments biogènes du milieu, car les excréments sont des produits organiques ayant déjà été transformés lors du transit intestinal, donc plus facilement minéralisables que la litière brute.

En fait, la dégradation naturelle des bouses résulte d'une série complexe d'évènements à la fois biologiques, certes, mais aussi physiques et mécaniques.

Au pâturage, la richesse de la faune du sol, le climat et la saison semblent ainsi, en l'absence de traitements antiparasitaires du bétail, être les principaux facteurs influant sur la vitesse de dégradation des bouses.

Selon la région, les facteurs climatiques (humidité, température, pluie, gel, vent, déshydratation, microclimat...) et les facteurs biologiques, auront des poids différents dans les mécanismes de dégradation : sous des climats tempérés, les facteurs climatiques, certes variables selon la saison, sont plutôt en faveur d'une dégradation rapide des bouses ; en revanche, sous des climats plutôt de type méditerranéen, où les conditions climatiques sont peu favorables à la dégradation naturelle des bouses, l'importance de l'action biologique est primordiale.

L'importance de la faune du sol est donc grande, non seulement dans l'enfouissement et la disparition des bouses de la surface du sol mais aussi dans le maintien des propriétés physiques du sol. En effet, par leurs actions mécaniques (brassage, déplacements, création de véritables réseaux de galeries...), ces invertébrés du sol luttent contre le phénomène de compaction et améliorent les propriétés physiques du sol (texture, taux d'infiltration, porosité) entraînant un meilleur rendement de la pâture [20].

Ces restitutions au pâturage, représentent une importante source de matière organique et minérale qui doit être remaniée, dégradée, décomposée, enfouie et transformée afin d'être à nouveau disponible dans l'écosystème, par sa réintégration au sol. L'importance de ce processus de recyclage est donc primordiale pour le bon fonctionnement de l'écosystème prairial.

1.) L'écosystème prairie

Un écosystème est un ensemble dynamique, formé par les organismes potentiellement interactifs d'une communauté et les facteurs abiotiques avec lesquels ils interagissent [33]. L'énergie y pénètre généralement sous forme de lumière solaire, elle est alors convertie en énergie organique par les organismes photosynthétiques autotrophes, devenant ainsi disponible sous forme de nourriture aux organismes hétérotrophes.

Les éléments chimiques y circulent de façon cyclique entre les composants biotiques et abiotiques de l'écosystème. Les organismes photosynthétiques puisent ces éléments sous forme inorganique dans le milieu extérieur (sol, air et eau), les incorporent dans des molécules organiques que d'autres organismes peuvent alors consommer. Les éléments retournent dans l'air, dans le sol et dans l'eau sous forme inorganique après avoir participé au métabolisme de végétaux, d'animaux et d'autres organismes qui, tel les bactéries et les mycètes, décomposent ces déchets organiques et les organismes morts.

Dans les écosystèmes pâturés, la production fourragère est assez étroitement dépendante du recyclage de la matière organique produite et de la quantité d'éléments minéraux disponibles pour la croissance des plantes qui les constituent. Ainsi les producteurs primaires captant l'énergie solaire et les différents nutriments présents dans leur environnement et nécessaires à leur croissance, sont consommés par les consommateurs primaires c'est-à-dire, les grands herbivores, qui se nourrissent de cette matière organique en intégrant une partie de la nourriture qu'ils ont consommée et en restituant sous forme d'excréments une importante quantité de cette matière organique.

Les excréments déposés sur le sol représentent une part immobilisée et non utilisable telle quelle, d'énergie et de matière, qui doit absolument être transformée et réintégrée au sol

afin de pouvoir être à nouveau disponible pour que le cycle de l'écosystème ne trouve pas de solution de continuité.

En effet, les conséquences de l'accumulation et du ralentissement de la minéralisation des bouses sont principalement :

- une diminution de la surface pâturée,
- une baisse de la croissance végétale par immobilisation de la matière organique et,
- une augmentation du parasitisme.

La première conséquence d'une accumulation des déjections du bétail peut être la réduction de la surface pâturée. La surface occupée par une bouse au sol multipliée par le nombre de défécation mensuelle d'une vache, multiplié par le nombre de vaches au pâturage, donne la surface mensuelle de pâture perdue et inutilisable par le bétail si les bouses n'étaient pas dégradées.

Quand on sait qu'en moyenne un bovin adulte produit 12 bouses par jour, soit environ 4 Kg de matière sèche, soit environ 1 m² de surface au sol couverte par les bouses [23], on se rend vite compte du rôle de ces invertébrés et de ces microorganismes de la pédofaune éboueurs des sols. C'est d'ailleurs la conséquence d'une non adéquation entre les bousiers australiens et les excréments des bovins et des ovins importés sur cette île que la non dégradation des excréments a entraîné une importante accumulation de bouses, qui non enfouies, a conduit à une perte annuelle cumulée, vue l'importance du cheptel australien, d'environ un million d'hectares de pâturage, sans compter la prolifération de mouches qui se développaient dans les déjections et attaquaient le bétail.

D'un point de vue économique, la valeur des bousiers pour les seuls Etats-Unis d'Amérique est estimée à 2 milliards de dollars par an qui, en l'absence de ces insectes, seraient à dépenser par l'ensemble du secteur agricole en engrais supplémentaires, interventions techniques et multiplication des traitements sanitaires du bétail.

De même en revenant sur le cas australien, chaque éleveur a été amené pendant quinze ans à déboursier un dollar par an et par tête de bétail pour financer le programme d'introduction d'une quarantaine d'espèces exotiques de bousiers (provenant d'Afrique et d'Europe) lancé par le Commonwealth Scientific Industrial and Research Organization (CSIRO) et qui a coûté entre 1970 et 1985 plusieurs millions de dollars australiens [26]. D'autres programmes moins ambitieux mais de même finalité ont vu le jour en d'autres

régions du monde, comme aux îles Hawaii en 1906, à Puerto Rico en 1922, au Texas en 1970 et plus récemment en Nouvelle Calédonie et au Vanuatu en 1988.

Une seconde conséquence du ralentissement de la minéralisation des bouses concerne une éventuelle moindre croissance végétale des zones pâturées, due à un moins bon fonctionnement des cycles de minéralisation. Les différents cycles de minéralisation (phosphore, azote) ne sont pas affectés par leur immobilisation en surface du sol mais la moindre dégradation des excréments par les invertébrés coprophiles ralentit le fonctionnement des cycles, indispensable à la croissance végétale.

Outre les conséquences d'une moindre dégradation des bouses et donc une accumulation de celles-ci sur les pâturages et une diminution des surfaces utiles, ainsi qu'un ralentissement du cycle de l'azote, il est à noter les conséquences possibles de l'augmentation du parasitisme. En se nourrissant de bouses et en les asséchant plus vite, les bousiers désorganisent les cycles de nombreux parasites (notamment helminthes et diptères) dont les œufs éclosent dans les bouses. De plus le brassage mécanique qu'ils font subir aux excréments induit une forte mortalité des larves écloses et de ce fait ils réduisent l'incidence des parasites sur les bovins [1].

2.) La bouse : caractéristiques générales et composition

La bouse est le résultat de la non digestion de certains composés fourragés. La vache en tant qu'herbivore donc consommateur primaire, ingère une certaine quantité de végétaux qui subissent, au niveau de sa panse une action microbienne intense et au niveau de sa caillette une action chimique importante. Cependant, certaines substances, résistent à ces attaques microbiennes, enzymatiques et chimiques tout au long de leur passage dans le tube digestif et sont libérées dans le milieu extérieur au moment de la défécation sous une forme hydratée nommée communément chez les ruminants bovidés « bouse ».

La bouse représente donc une restitution au pâturage d'une partie du fourrage ingéré. De par le nombre journalier de défécation ainsi que la masse de bouse émise sans oublier la composition physico-chimique de ces restitutions, la bouse représente une non négligeable ressource organique et minérale pour le sol.

a. Fréquence des émissions et quantités émises.

La fréquence journalière des émissions est l'un des paramètres de la densité de répartition des fèces sur l'étendue du pâturage. En moyenne, il ressort que les bovins adultes défèquent entre 10 et 24 fois par jour. Les quantités excrétées ont une forte corrélation avec les quantités d'aliments ingérés. Or le niveau de consommation de l'animal dépend de son poids, de son état, des besoins à couvrir et enfin de la digestibilité des aliments proposés.

Les bovins adultes expulsent en moyenne et en temps normal 30 à 50 Kg d'excréments par jour constitués de 80 à 90 % d'eau selon le type d'alimentation.

Rapporté à une vache laitière (600 Kg), la quantité de bouses émises par jour est en moyenne de 3.2 Kg de matière organique soit environ 4 Kg de matière sèche fécale (à 20% de cendres) [23].

b. Eléments chimiques contenus dans les déjections.

Les restitutions du bétail sont les produits de la digestion ruminale puis intestinale de la vache qui n'ont pas été intégrés par l'organisme.

La matière sèche est constituée :

- de la fraction non digérée de la ration : essentiellement composée de fragments de tissus lignifiés, de sclérenchymes et de tissus vasculaires avec en outre des éléments minéraux ayant échappé à la dégradation microbienne dans le réticulo-rumen, à la dégradation dans la caillette et l'intestin grêle et, à la fermentation microbienne dans le gros intestin,
- de produits endogènes (sucs digestifs, débris cellulaires...) ou microbiens non digérés [22], [27].

Les différents éléments excrétés à travers les fèces sont principalement les phosphates, le calcium et le magnésium sans oublier l'azote alors que les excréta liquides en revanche drainent, potasse, sodium ainsi qu'une forte proportion de l'azote restitué (cf. tableau 1 et 2). Le solde (ce qui n'est pas restitué par les déjections) est distribué dans l'organisme animal selon les besoins de production (viande, phanères, lait, sueur ...).

REPARTITION DES ELEMENTS RESTITUES [23]

(en pourcentage des éléments ingérés chez les bovins laitiers au pâturage)

(tableau 1)

	N	P	K	Ca	Mg	Na
% d'éléments restitués dans les bouses	26	66	11	78	77	30
% d'éléments restitués dans l'urine	53	trace	81	trace	3	56
% total d'éléments restitués en fonction des éléments ingérés	79	66	92	78	80	86

TENEUR EN DIFFRENTS ELEMENTS DES FECES [23]

(Tableau 2)

	N	P	K	Ca	Mg	Na	Mn
teneur en % MS fécale prairie entretenue	2,87	0,99	1,31	1,95	0,64	0,38	0,026

Mis à part les éléments minéraux essentiels on retrouve aussi dans les matières fécales :

- la silice : elle provient essentiellement de particules terreuses ingérées en même temps que le fourrage et peut représenter 20 à 40 % de la M.S fécale.
- Les microorganismes : des bactéries, mortes ou vivantes, originaires en majorité du rumen atteignant parfois 10 à 20 % du poids des fèces. D'ailleurs, une partie de l'azote restitué se retrouve sous forme bactérienne. Le nombre moyen de bactéries dans une bouse est compris entre $5 \cdot 10^9$ et $3 \cdot 10^{12}$ cellules par gramme de matière sèche [39]. De même on dénombre environ $2 \cdot 10^7$ cellules de levure par gramme de bouse de vache, 10^6 éléments mycéliens et 10^{10} Actinomycètes par millilitre de crottin de brebis [31].

c. Formation d'une bouse de vache.

Après leur ingestion, les fourrages sont déglutis vers le réticulo-rumen, gigantesque réservoir (150 à 200 litres) à fermentation intense. Dans ce pré-estomac, règne une microflore riche et active. De nombreuses bactéries anaérobies (amylolytique et cellulolytique), digèrent par leurs enzymes extracellulaires, les molécules organiques végétales, les hydrolysant en leurs monomères ou en de plus petites molécules alors assimilables par l'organisme. Une certaine proportion est aussi intégrée par cette microflore. Ces diverses actions bactériennes sont rendues possibles notamment grâce au phénomène de rumination (qui caractérise ces « créateurs de bouses »), en fragmentant mécaniquement les différentes fibres ingérées, les rendant plus « attaquables » par la flore ruminale. Au niveau de tube digestif (duodénum essentiellement), une partie des molécules transformées par les bactéries et les protozoaires du rumen ou hydrolysées par les sucs acides de la caillette, est absorbée par la muqueuse intestinale selon des modalités de transports actifs et passifs allant de la simple diffusion au transport par des récepteurs spécifiques ATP dépendant. Cette absorption des nutriments au travers de la muqueuse intestinale se fait donc tout au long du tube digestif dans lequel d'autres remaniements s'opèrent (par l'action de diverses sécrétions : bile et pancréas), de façon à permettre à l'organisme d'intégrer les éléments et molécules qui lui sont nécessaires.

Cependant une importante part de cette matière ingérée ne peut être absorbée. Il s'agit essentiellement de molécules peu ou pas dégradées par la microflore et les sécrétions digestives à cause de leurs structures moléculaires particulières (lignine, cellulose ...).

Dans les parties distales de l'intestin, l'action essentielle consiste en l'absorption d'eau et par conséquent au moulage des bouses.

Ces dernières sont donc composées des produits de non digestion intestinale associés aux sécrétions endogènes non réabsorbées et aux microorganismes morts ou vivants provenant essentiellement du rumen.

d. Importance des retours

L'intérêt que les excréments de bovidés offrent sur le plan bioénergétique relève de quelques considérations quantitatives à propos du niveau « consommateurs primaires » représentés par le bétail. En effet, les bovidés domestiques absorbent par jour (dans des conditions de charge normales), approximativement 2000 Kcal/m² soit 1/8 de la productivité primaire. Mais ils en rejettent 1250 Kcal/m² sous la forme de matières organiques non assimilées c'est-à-dire d'excrétas (ces données anciennes (1963) pouvant largement être majorées en rapport avec l'augmentation des rendements de productions). En d'autres mots, plus de la moitié de ce qui est ingéré par le bétail est rejeté à la surface du sol sous la forme de déjections : les bouses. Celles-ci, distribuées de manière dispersée, constituent donc un stock permanent de petites unités d'énergie potentielle. En outre, par leur masse importante, les bouses sont soustraites, pendant un temps plus ou moins long, à l'action des organismes bioréducteurs du sol, essentiellement les bactéries et les champignons, au contraire d'autres excréments qui se diluent en milieu aquatique ou dont la dispersion en milieu terrestre multiplie rapidement la surface d'attaque. En plus de leur richesse en matières organiques les bouses offrent au sol quantité de bioéléments indispensables au sol [10].

Une vache produisant 10 000 litres de lait par an, exporte seulement 15 Kg de P₂O₅, 18 Kg de K₂O et 18 Kg de Ca O. De même pour produire 1000 Kg de viande, un troupeau ne fixe que 19 Kg de P₂O₅, 5 Kg de K₂O, 23 Kg de CaO et 30 Kg de N.

La quantité qui est retournée sous forme de déjections est par contre importante et peut atteindre annuellement pour une vache laitière [23] : 120 Kg d'azote, 85 Kg de superphosphate (7.4 Kg de phosphore), 135 Kg de chlorure de potassium (81 Kg de potassium), 120 Kg de gypse (32 Kg de calcium) et 30 Kg de chlorure de sodium (12 Kg de sodium). Selon les sources bibliographiques ces valeurs varient légèrement mais ces

différences n'ont que peu d'intérêt, ces données n'ayant pour objectif que de constater l'importance quantitative et qualitative de ces restitutions.

Ces quantités retournées au sol par l'acte de défécation, sont sous la dépendance de facteurs plus ou moins contrôlables : ainsi, le climat, la nature du sol et sa pédofaune, les espèces végétales présentes sur la prairie, les méthodes de pâturage et de fertilisation sont autant de facteurs influençant la vitesse de restitution et la réintégration au sol des matières fécales.

En effet, lorsqu'une bouse tombe sur le sol, elle devient rapidement le siège d'agressions physiques et biologiques qui tendent à la faire disparaître de la surface. Les multiples acteurs de cette dégradation sont :

- de petits animaux, pour la plupart invertébrés (larves d'insectes, insectes coprophages, lombrics ...) qui creusent des galeries, enfouissent des fragments de matière fécale, ou pondent dans ce milieu favorable au développement de leurs larves. D'ailleurs, certaines études démontrent que lors des premières phases de décomposition, 1/8 du poids des bouses est constitué par des larves d'insectes [23].

- des oiseaux en quête de nourriture qui fouillent et picorent la bouse
- la pluie qui maintient une humidité et un état physique favorables à l'activité biologique ; en son absence, une croûte protectrice se développe en surface et fait obstacle à la décomposition. Ainsi selon les climats les facteurs biologiques et physiques n'ont pas le même poids dans la décomposition des excréments.

- Des micro-organismes qui interviennent enfin, bactéries essentiellement, dont l'activité peut être tant aérobie qu'anaérobie, mésophile ou thermophile, certaines moisissures et quelques protozoaires qui s'attaquent principalement à la cellulose qui n'a pas été dégradée dans le rumen.

Cette décomposition produit dans un premier temps du dioxyde de carbone, des nitrites, des nitrates, de l'ammoniac et de l'eau et prépare la synthèse de composés humiques à grosses molécules.

Le laps de temps nécessaire à l'accomplissement de la chaîne de phénomènes qui mènent à la disparition des bouses varie selon :

- le climat (la pluie agissant comme un accélérateur),
- l'abondance des invertébrés dans le sol et la quantité d'azote disponible pour les micro-organismes [31].

Les différentes modalités et étapes de décomposition ainsi que les facteurs intervenant dans la disparition des bouses de la surface du sol seront étudiés et détaillés dans une troisième partie.

Les diverses données chiffrées sur l'importance de ces retours témoignent de l'important apport organique en différents bioéléments des bouses, conduisant, par son enfouissement et son intégration, à un enrichissement conséquent du sol qui se trouve sous la déjection et dans un périmètre proche.

- 3.) Les restitutions des déjections sur une pâture entraînent des modifications chimiques du sol sous-jacent.

L'effet des fèces sur le sol se fait ressentir à deux niveaux :

- l'amélioration des propriétés chimiques du sol,
- l'amélioration des propriétés physiques : amélioration de la stabilité structurale et de l'aération du sol.

La remise en circulation des éléments prélevés dans le fourrage par les animaux est d'autant plus intéressante qu'elle permet une accélération des flux de minéralisation. D'une part, les restitutions succèdent rapidement à l'ingestion et, d'autre part, le taux de minéralisation de la matière organique d'origine animale est plus élevé que celui des végétaux morts. (cf. tableau 3)

TAUX DE MINERALISATION DE FECES ET DE MATIERE VEGETALE.

(tableau 3)

	Taux de minéralisation		
	Période (jours)	rythme (mg/l)	taux (%/jour)
Matière organique Animale (fécès bovins)	30	310	1.03
M.O végétale <i>Lolio cynosuretum</i> <i>crystati</i>	30	190	0.63

Les principaux effets dus au dépôt d'excréments sur le sol et aux processus associés à leur décomposition (attractivité d'une faune coprophile, brassage, enfouissement) concernent d'un point de vue chimique le pH, l'azote, le calcium, les phosphates, la potasse et d'un point de vue physique la texture, l'aération, la porosité et le taux d'infiltration du sol.

- Le pH : sous l'action des fèces, le pH a tendance à augmenter permettant ainsi la libération d'éléments fixés à pH faible (notamment les phosphates). Cette hausse n'est significative que pour les quatre premiers centimètres du sol, modérée pour les quatre autres et quasi nulle au delà de huit centimètres [23].

- L'azote : les fèces apportent un gain en azote total (essentiellement sous forme organique) estimé à 1,9 g pour 100 grammes de matière sèche dont une significative proportion est contenue dans les cellules microbiennes [31].

Cet azote reste dans le sol beaucoup plus longtemps que l'azote urinaire. Présent sous forme organique il est moins rapidement assimilable mais offre moins de prise au lessivage. La rémanence de l'azote fécal au sol est estimée en moyenne à plus de deux ans.

La perte en azote par volatilisation est négligeable (moins de 5 %), elle se produit essentiellement pendant la première semaine et ne concerne que la fraction ammoniacale.

- Le carbonate de calcium : les bouses restituent près de 99 % du calcium total soit environ 3,9 g pour 100 grammes de matière sèche permettant un enrichissement en calcium échangeable de l'ordre de 10 % dans les premiers centimètres du sol.

- Les phosphates : la concentration du sol en phosphates assimilables augmente sous l'effet de deux facteurs combinés :

- l'apport brut de phosphates présents dans les fèces,
- la libération de phosphates bloqués, grâce à l'amélioration du pH.

Ces phosphates seraient localisés dans les cinq premiers centimètres du sol et entraîneraient un enrichissement du sol de 50 %. Les pertes par lessivage sont négligeables puisque le phosphore est un élément très peu mobile.

- La potasse : tout le potassium apporté se trouve sous forme hydrosoluble donc rapidement assimilable par la plante. La rémanence de cet élément dans le sol serait voisine de 20 à 30 mois selon les auteurs [23].

En ce qui concerne les propriétés physiques du sol, le dépôt de bouses et les conséquences de l'activité de décomposition qui en découlent sont :

- une diminution de la densité du sol sous jacent par la création de galeries et le mouvement de la faune attirée par l'excrément,
- une augmentation du pouvoir de rétention d'eau,
- une baisse de la résistance à la pénétration et,
- une augmentation de la capacité d'infiltration [44].

Ces différents apports au sol fournis par le dépôt des bouses, ont donc, de par leur importance tant qualitative que quantitative en bioéléments, des conséquences sur la productivité et le rendement des prairies.

4.) Effet des déjections sur la production d'une pâture.

a. Effets localisés

- Effets sur la production de matière sèche

Tant sous les bouses que dans leur voisinage proche, on observe un accroissement de la production de matière sèche. Le rendement en matière sèche double en moyenne sur une durée d'un an au voisinage des bouses.

Ce gain de production est dû à l'apport massif d'éléments fertilisants qui accompagnent la déjection [4].

Cet effet d'une défécation sur le rendement est en relation linéaire avec la distance du centre de la déjection. L'accroissement de la production est maximal à proximité de la déjection et s'estompe peu à peu quand on s'en éloigne.

D'une façon générale, la rémanence de l'effet sur la production dépend étroitement (de façon corrélative) du *taux d'appauvrissement* du sol en éléments nutritifs. Ce *taux d'appauvrissement* du sol est un coefficient traduisant les pertes que subit le sol sous la double action d'agents biologiques (plantes, bactéries, champignons...) et mécaniques (pluie, température, ensoleillement, lessivage, volatilisation). Ainsi les fèces, riches en composés organiques agissent d'une façon étalée dans le temps dont l'effet peut excéder un an et demi [23].

- Effet sur la composition botanique

L'apport de bouse agit comme une fertilisation minérale complète. Cependant, la présence d'une bouse pendant quinze jours sur le sol détruit 75 % des graminées et pratiquement la totalité des nodosités de légumineuses. Le sol est ainsi nettoyé par le bousât.

La conquête de l'espace neutralisé met alors aux prises les graines germées dans les fèces d'une part, les graminées ou trèfles environnants d'autre part qui développent latéralement leurs racines, stolons ou talles. Les plantes à stolons et les trèfles semblent

être favorisés dans un premier temps, mais après un an, les graminées productives présentes dans la flore initiale s'imposent peu à peu par le jeu de la concurrence pour la lumière et la nutrition potassique.

Mais après deux ans, lorsque l'azote redevient facteur limitant, les graminées les plus agressives (dactyle, agrostides notamment) évincent les plus discrètes et le trèfle reprend de l'importance. (cf. tableau 4).

Les bordures de la bouse (sur 2 à 5 cm) sont rapidement colonisées tandis que le centre demeure peu couvert pendant six à douze mois.

Il faut noter que l'influence des fèces sur la composition botanique est d'autant plus marquée que la rémanence des bouses sur le sol est élevée. Les bouses pauvres en matière sèche disparaissent rapidement et leur action est donc beaucoup moins importante sur la sélection des espèces botaniques [23].

EVOLUTION DU COUVERT APRES APPORT D'UNE BOUSE, EN MASSE RELATIVE.

(Tableau 4)

Espèce	Variation en % du témoin				
	automne		printemps		
	après 1 an	après 2 ans	après 1 an	après 2 ans	
Fétuque rouge	+ 2.2	- 1.1	- 6.1	+ 3.7	<u>graminées</u>
Dactyle	+ 6.5	+ 5.8	+ 12.7	+ 12.8	
Agrostide	+ 12.6	+ 11.7	+ 14.4	+ 8.9	
Trèfle blanc	- 1.1	+ 6.1	- 1.7	+ 3.7	<u>trèfle</u>
Plantain lancéolé	- 4.8	- 5.5	- 3.5	- 3.7	<u>diverses</u>
Grande Marguerite	+ 3.7	- 8.2	+ 6.9	- 4.0	
Renoncule bulbeuse	- 0.2	- 0.4	- 3.8	+ 2.2	
couverture totale	+ 16.8	+ 12.8	+ 21.4	+ 13.0	

Les changements dans la composition botanique peuvent altérer aussi la composition chimique du fourrage produit sous une déjection puisque les graminées absorbent facilement l'azote et le potassium et les légumineuses le calcium.

D'autres facteurs influent aussi sur la qualité des restitutions et la composition chimique du sol sous un bousât.

Le climat ainsi que l'entomofaune principaux responsables de la dégradation des restitutions et de leur réincorporation au sol, influent sur la vitesse de décomposition, sur la vitesse de restitution au sol et donc sur la vitesse de disponibilité aux plantes.

La saison elle aussi influe sur la qualité ou l'efficacité des restitutions ; un bousât de printemps est mieux valorisé par les plantes qu'un bousât d'automne car les éléments libérés sont utilisables par la plante au moment où ses besoins de croissance sont à leur apogée.

b. Influences globales des restitutions au pâturage.

- Influence sur le rendement

La répartition des déjections s'effectuant de façon très hétérogène, il ne faut pas s'attendre à bénéficier de hausses spectaculaires apportées par les simples restitutions au pâturage. A court terme, la présence de déjections sur une pâture exploitée modérément (charge de 2 à 3 vaches ou 10 à 15 ovins par hectares), permet un accroissement de la production de 10 à 20 %.

Dynamiquement, on peut concevoir qu'il s'établit un équilibre entre l'effet-fécès qui, à court terme, réduit le potentiel fourrager consommable par les animaux mais qui permet la mise en réserve d'éléments tant au niveau du sol que des refus.

- Effets des déjections sur la production réellement utilisable.

Le gain obtenu, grâce aux déjections, n'est pas complètement profitable car il est contrebalancé en partie par le refus des animaux à consommer une partie du fourrage souillé par les bouses. C'est pour cette raison, que bon nombre d'agriculteurs enfouissent (au lieu d'épandre) les bouses en retournant le sol (ébouseuse). Ils s'acquittent ainsi des problèmes liés aux refus.

Le dépôt de déjections au pâturage permet de garantir un niveau de fertilité hétérogène mais réel du point de vue phytotechnique. L'approche zootechnique est plus complexe puisque la présence de ces déjections entraîne une baisse de l'intensité de l'exploitation du fourrage.

L'importance des surfaces refusées ne traduit pas exactement celle de la masse du fourrage rendue inappétente par la proximité de la bouse. En effet, l'herbe située sur de telles surfaces est en fait partiellement consommée (certains estiment même que 40 % de la masse d'herbe produite sur la surface apparemment refusée est consommée).

La principale cause des refus semble être due à la présence physique de la bouse et surtout à l'odeur qu'elle dégage. Le salissement d'une parcelle (pour un chargement moyen de 2 à 3 bovins par hectares) entraîne une perte d'appétit voisine de 10 % par rapport au niveau de consommation en parcelle propre c'est-à-dire non pâturée [23].

Cependant, la répartition géographique des refus est très mobile, les bovins déféquant aux endroits où la nourriture est présente donc pas au niveau des zones de refus. Peu de refus sont donc stables : ils semblent se déplacer tout au long de la période de pâture de telle sorte que 50 % de la surface pastorale est occupée au moins une fois par des refus durant la saison de pâture.

En fin de saison, pour une conduite de troupeau sans surpâturage (chargement faible), plus de 90 % d'entre eux ont disparu et les bouses du dernier cycle ne constituent généralement pas de foyers de refus pour l'année suivante.

Ces notions de refus et d'effet bouse sur la production primaire sont difficilement estimables et quantifiables de par le nombre de facteurs qui interviennent dans la dégradation des bouses. La vitesse de décomposition et de réintégration de la matière fécale au sol est un facteur influant fortement sur la qualité des restitutions et la quantité de refus.

En effet, les facteurs biotiques (invertébrés de la pédofaune) et abiotiques (climat, saison, précipitations...) qui augmentent la vitesse de dégradation des bouses en l'intégrant plus rapidement au sol, conduisent à un enrichissement précoce plus riche car les pertes par lessivage et évaporation sont diminuées et par une nette baisse des refus car le temps de présence de la bouse en surface est largement diminué.

- c. Un exemple d'enrichissement en matière organique d'un sol par les déjections animales.

Depuis la sécheresse de 1972-1973, le Niger a mis l'accent sur l'autosuffisance alimentaire céréalière et plus particulièrement sur celle du mil (*Pennisetum typhoides*). Ceci explique qu'aujourd'hui plus des trois quarts des sols nigériens soient consacrés à cette culture dont la graine constitue la céréale alimentaire de base des populations locales.

L'importante poussée démographique a entraîné l'abandon progressif de la jachère. De ce fait, la presque totalité des terres cultivables est aujourd'hui utilisée. Corrélativement à cette pratique, il est nécessaire d'augmenter le rendement du mil. Pour ce faire, il est possible d'intervenir à plusieurs niveaux comme la sélection de variétés de mil, la fertilisation de sols par apport d'engrais...

Les sols sableux où l'on cultive le mil sont non seulement pauvres en matière organique mais celle-ci se dégrade rapidement, ce qui pose un problème difficile si l'on souhaite assurer le maintien de leur fertilité.

Une voie possible pour y parvenir consisterait à utiliser les excréments de zébu qui représentent une importante quantité de matière organique d'autant plus que l'élevage de bovidés représente la deuxième activité économique du pays après la production de mil. En saison sèche (octobre à mai), ces ruminants se nourrissent des tiges et feuilles sèches de cette graminée. Ils déposent leurs bouses en quantités importantes sur les terres où sera cultivé le mil à la saison des pluies suivante (juin à septembre). Les bouses déposées sur ces champs ne sont pas enfouies mécaniquement, le cultivateur ne labourant pas le sol. Ces bouses, en surface sur le sol sont alors enfouies et incorporées par les Coléoptères coprophages dans le sol pour construire leur nid. La quantité totale de masse stercorale enfouie par ces insectes étant estimée à 600 kg/ha/an (poids frais), il apparaît indiqué d'exploiter les bénéfices d'un cycle de la matière organique basé au Sahel sur la succession suivante : mil → zébu → bouse → Coléoptère → sol → mil...

Différentes expériences ont alors été menées en laboratoire et sur le terrain pour voir l'effet bouse et l'effet bouse et Coléoptères sur la croissance du mil. Les différents résultats ont conduit à une nette amélioration du rendement du mil (aussi bien expérimentalement en laboratoire que sur le terrain) suite à l'ajout de bouse corrélé à l'action des insectes coprophages.

COMPARAISON DES CARACTERISTIQUES DU MIL A LA RECOLTE SELON LES CONDITIONS EXPERIMENTALES. [36]

	Mil sur sol témoin	Mil + bouse sans insectes	Mil+ bouse + insectes
Hauteur à la récolte, en cm	55	78	152
Diamètre à la base de la tige principale	0.2	0.3	1.5
Diamètre moyen de l'ensemble des tiges	0.1	0.2	0.8
Longueur de l'épi	7.0	8.0	20.2
Poids de l'épi totalement desséché	1.2	1.7	17.2
Aspect des racines	plumeuses, fines	plumeuses, fines	grosses racines
Longueur des racines	24.6	29.8	30.5
Diamètres des racines	0.02	0.02	0.15

Les sols sahéliens sont particulièrement pauvres en éléments minéraux assimilables, en matière organique et en composés humiques.

Le dépôt de bouse sur ce sol ne modifie pas sensiblement la composition chimique de celui-ci si les bouses ne sont pas enfouies par les insectes coprophages.

En revanche, l'activité de ceux-ci entraîne des augmentations notables de la teneur du sol en C organique, N, Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ échangeables, en acides humiques, et retient donc à travers tous ces éléments sur la fertilité du sol.

Sans la présence de ces insectes, les bouses de zébu se dessèchent très rapidement et l'amendement organique potentiel que constitue leur matière organique est alors dispersé et dilapidé.

Du point de vue économique et de la pratique agricole au Niger, cet apport en matière organique constitue donc un ajout considérable.

Dans la mesure où il est indispensable de renouveler, chaque année, cette réserve de matière organique pour permettre une nouvelle culture, l'apport de bouse et l'action des insectes coprophages (essentiellement les *Scarabéidae*) sont essentiels pour cultiver le mil au Niger et donc pour l'homme.

Il apparaît ainsi opportun de ne pas dissocier l'élevage de l'agriculture [36].

d. La bouse et l'écosystème prairie.

Dans une prairie pâturée non fauchée, la grande majorité des matières organiques mortes proviennent presque uniquement des bouses. Celles-ci constituent sans aucun doute une litière tout à fait particulière. Avant d'être intégrée au sol, la matière organique ingérée par le bétail est partiellement dégradée lors de son passage dans le tube digestif des bovidés. Les matériaux non assimilés et rejetés sous la forme de bouses sont de plus enrichis en diverses substances, qui leur confèrent précisément des qualités tout à fait originales. C'est donc une litière où les processus de dégradation, aboutissant à la minéralisation, ont été plus ou moins largement amorcés par le transit dans le tube digestif des bovidés.

Enfin l'importance pondérale de cet horizon pédologique permet de penser que les bouses représentent au sein de l'écosystème prairie pâturée un pôle d'énergie et de matière mis à la disposition d'un réseau complexe de chaîne trophiques qui sillonnent l'écosystème à la fois dans l'espace et dans le temps, tout au long de sa transformation.

Les restitutions sous forme de bouses représentent donc l'équivalent d'une litière, permettant la remise en circulation des différents éléments constitutionnels de l'écosystème, permettant ainsi un flux cyclique permanent, à la base même de son fonctionnement [10].

3 LE MICRO ECOSYSTEME BOUSE : COMPLEXITE ET ROLE FONDAMENTAL.

L'écosystème "prairie pâturée" peut être considéré comme englobant une série d'écosystèmes transitoires de dimensions réduites, limités dans le temps et caractérisés par leurs biocénoses destructrices à chaîne de détritivores et de décomposeurs dominants : les micro écosystèmes "bouses". Ces derniers, de par leur richesse en matières organiques et les conditions microclimatiques qui y règnent, constituant un milieu favorable à l'installation de ces biocénoses spécifiques, riches et variées... [10]

1.) L'importance de la dégradation : les scénarios catastrophes...

Les excréments déposés au sol occupent une certaine surface. Celle-ci peut devenir considérable si les bouses s'accumulent, diminuant ainsi directement ou indirectement (par la constitution de refus) les surfaces pâturables. En effet les systèmes herbagés supportant ces activités de pâturage fonctionnent en réinvestissant une part non négligeable de la biomasse végétale produite, le gros bétail restituant sous forme de bouses, des quantités considérables de matière organique et minérale (rappelons qu'en moyenne un bovin adulte excrète 12 bouses par jour, soit environ 30 à 50 Kg en poids frais). Le devenir des fèces est ensuite lié aux groupes d'organismes recycleurs et décomposeurs de l'écosystème, ainsi qu'au type de climat.

L'absence de ces organismes se traduit par de graves dysfonctionnements des pâturages. Une telle absence entraînerait une accumulation de bouses non enfouies, conduisant à une régression importante des surfaces utiles de pâturage.

Ce phénomène d'accumulation sur la surface prairiale de bouses d'herbivores fut un véritable fléau en Australie, que commente d'ailleurs le quotidien Midi Libre dans sa publication du 6 juillet 1988.

"Cinq vaches, deux taureaux, sept chevaux et quarante moutons. Non ce n'est pas Noé qui tient ses comptes. Ce troupeau hétéroclite était celui qui, en janvier 1788, voici deux siècles, débarqua sur la terre australienne, amené par les premiers colons. La prospérité suivit. On compte aujourd'hui, sur l'immense territoire du Pacifique, cent trente millions d'ovins et

trente millions de bovins. Pour l'écologiste et l'historien, le phénomène devient captivant. Une gigantesque activité d'élevage se développe sur une terre à peu près vierge, en poussant à l'écart des espèces d'origine : les marsupiaux, parmi lesquels les fameux kangourous. Rares sont les séismes écologiques d'aussi grande envergure. Et celui-ci n'allant pas sans dégâts.

En effet sur les bateaux, les conquérants n'avaient pas pensé à embarquer les bousiers correspondants. Certes, il existait bien des bousiers indigènes, fidèles compagnons des marsupiaux. Ils goûtèrent un peu à la bouse de vache mais ils firent moue. Cette nourriture venue d'ailleurs ne leur convenait pas car il y a là dedans une composition spéciale : teneur en eau, texture, acidité, pH, éléments organiques, odeur...

La nature est têtue, à chaque mammifère son bousier particulier. Plaisanterie mise à part, au fil des décennies, l'Australie se mit à s'asphyxier sous les bouses, lesquelles mettent quatre ans à disparaître si un bousier n'en fait pas son destin. A dix bouses de vaches par jour, on atteint vite les quatre cents millions de bouses quotidiennes, entraînant la dégradation, chaque année, d'un million d'hectares de terres agricoles. Les mouches s'en mêlent à qui mieux-mieux, elles énervent le bétail, elles piquent volontiers les plaies qui s'infectent. La pauvre bête harcelée produit moins de viande, moins de lait, moins de laine" [34].

Le nombre limité d'espèces coprophages et leur non adéquation avec les excréments d'ovidés et de bovidés (probablement due à l'isolation du continent et à la faune spécifique australienne) a donc été responsable d'une accumulation de bouses sur les surfaces pâturées australiennes, mais aussi et surtout d'une prolifération considérable de mouches parasites, causant des dommages économiques importants sur les cheptels [22].

L'Australie a donc réagi en décidant d'introduire des bousiers allochtones, spécialisés dans les excréments de bovins. Une cinquantaine d'espèces de bousiers (*Hydrophilidae*, *Aphodiinae* et *Scarabaeinae* notamment) a été sélectionnée en Afrique et dans tout le pourtour méditerranéen et élevée dans deux fermes, l'une en Afrique du Sud, l'autre à Montpellier, avant d'être relâchée sur le terrain, pendant plus de dix ans, au terme d'un véritable « pont aérien ».

Financé par les éleveurs à hauteur de 1 dollar australien par tête de bétail, ce programme, réalisé par le C.S.I.R.O (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation), a duré 15 ans (de 1970 à 1985), pour un coût total de près de 2 milliards de francs.

Après implantation définitive d'environ la moitié des espèces introduites, le bilan de l'opération est un franc succès même si le problème de la prolifération des mouches (notamment *Musca vetustissima* et *Haematobia irritans*) n'est pas complètement résolu [1].

Désormais, les quelques milliards de descendants de nos bousiers montpelliérains et africains coulent des jours heureux à l'autre bout du monde, en y régénérant tranquillement les immensités herbeuses de cette île grande comme un continent.

Mais l'importance du scarabée, le même que l'on retrouve sur une minuscule boîte en albâtre datant de la première dynastie égyptienne, il y a près de 5000 ans, avec suffisamment d'exactitude pour qu'on le reconnaisse à coup sur, le même que les Egyptiens adulaient comme un dieu, identifiant sa boulette au soleil qui disparaissait tous les soirs dans le sol avant de réapparaître le matin suivant de sorte que l'insecte lui-même était pour eux symbole de renaissance, pouvant aider à vaincre la mort, son importance va au-delà.

En effet, Yves Cambefort, chercheur au CNRS et au laboratoire d'Entomologie du Muséum d'Histoires Naturelles, va, de façon ironique certes mais pas totalement burlesque, jusqu'à évoquer que sans bousier, pas d'êtres humains.

Il est maintenant bien connu que les bousiers sont très utiles dans la fertilisation des prairies pâturées, mais leur importance pour l'espèce humaine a peut être été infiniment plus grande...

On pense que les vastes étendues de savanes qui caractérisent notamment l'Afrique sont au moins dues pour une part à l'action des grands mammifères, du type de l'éléphant, qui ont bel et bien défriché les forêts. Or la production herbagère des savanes africaines, indispensables au maintien des grands mammifères herbivores, nécessite la présence de bousiers. Il existe ainsi un équilibre permanent : "mammifères → bousiers → herbes → mammifères ..." qui serait rompu en l'absence de l'un de ces éléments.

Si donc l'origine des savanes africaines est due pour une part aux grands mammifères, leur maintien est probablement lié à la présence de bousiers, et à l'efficacité de leurs nombreuses espèces dans l'activité d'enfouissement des excréments. Et ceci n'a pas qu'un intérêt anecdotique. Il est maintenant démontré que l'espèce humaine est apparue dans la savane africaine, et que ce sont les conditions biologiques régnant dans ce milieu qui ont, d'une façon ou d'une autre, entraîné le développement des caractères proprement humains. Or, s'il n'y avait pas eu de bousiers en Afrique, il n'y aurait pas eu de savanes, ou celles-ci auraient été différentes. Dans ce cas, l'espèce humaine aurait-elle pu se différencier?

Comme on le voit, par delà les millénaires et avec des motivations différentes, nous rejoignons les égyptiens : oui, l'humble scarabée qui vit dans les bouses est bien digne de notre respect [9].

2.) Les différentes étapes et les acteurs de la dégradation d'une bouse de vache : le grand théâtre bousier

Dès l'instant où une bouse tombe sur le sol prairial, ce dernier acquiert pour un temps plus ou moins long un ensemble de caractéristiques originales qui le différencie notablement de son environnement immédiat.

Ainsi, sol et bouse se trouvent étroitement liés formant un complexe transitionnel et éphémère dans la chaîne de recyclage de la matière organique. Considérés comme une annexe du sol, ces dépôts de matières fécales possèdent des propriétés physico-chimiques spécifiques, véritables niches écologiques pour un bon nombre d'organismes.

Cette annexe organique du sol, se transforme plus ou moins rapidement en fonction des différents facteurs biotiques et abiotiques du milieu. Ce milieu, à évolution rapide, est habité par des espèces spécialisées qui occupent des vagues successives, intégrées sous forme de biocénoses évolutives. Ces dernières sont en fait des chaînes de décomposition dont les nombreux acteurs n'agissent pas tous en même temps mais se succèdent par escouades, l'une préparant l'arrivée de l'autre.

Le processus aboutit, comme dans toute chaîne de décomposition, à la minéralisation de la bouse et à son retour dans le cycle des bioéléments.

Lorsque les vagues de décomposeurs se succèdent, l'activité de la première entraîne des modifications du milieu telles, que ce dernier devient de plus en plus hostile tout en favorisant une deuxième escouade ; celle-ci sera elle-même remplacée par une troisième et ainsi de suite jusqu'à la disparition de l'annexe en quelque sorte « digérée par le sol » [18].

De plus, cette « digestion » paraît indispensable pour le bon fonctionnement des écosystèmes pâturés, car la persistance de cette matière à la surface du sol entraîne :

- Une immobilisation de la matière organique qui, non enfouie, peut altérer la structure du sol, tandis que la végétation ne profite pas de l'enrichissement lié à cet apport organique.
- Le maintien dans le pâturage des œufs et des larves de parasites du bétail qui sont normalement détruits par les Coléoptères Scarabéidés coprophages, lorsque ceux-ci triturent et brassent les excréments [7], [13], [22].
- Une dégradation importante des pâtures par suite de l'écrasement et l'élimination des herbacées tellement conséquente qu'à terme les excréments peuvent laisser la place à des mauvaises herbes non consommées par le bétail, qui constituent autant de refus.

Cette matière fugace déposée sur le sol doit donc être enfouie rapidement avant sa dessiccation qui ralentirait l'action des agents atmosphériques et biologiques essentiellement représentés par la faune coprophage (Diptères et Coléoptères) et coprophile (notamment Lombrics) [28].

Ce micro biotope très particulier, est caractérisé par une structure, une composition chimique, une texture physique et une teneur en eau particulières; ces différents paramètres évoluant considérablement dans le temps.

La colonisation de ce micro écosystème, dépend essentiellement du niveau d'humidité, de la taille de l'excrément et des facteurs météorologiques qui conditionnent la vitesse de dessiccation de sa masse initiale, ainsi que de la saison qui influe sur l'activité des différentes espèces colonisatrices. L'attractivité des excréments est limitée dans le temps, conduisant les espèces à s'y succéder rapidement en plusieurs escouades, les plus précoces arrivant dans les premières secondes ou minutes qui suivent le dépôt de la matière fécale. Les diptères sont les premiers à arriver. Les imagos utilisent l'excrément pour se nourrir et les adultes pour la ponte. La formation progressive de la croûte en surface ralentit l'arrivée des diptères, tandis qu'arrive la seconde vague de colonisation, celle des Coléoptères coprophiles et coprophages dont la densité maximale dans l'excrément atteint un seuil situé généralement entre le premier et le cinquième jour qui suit le dépôt de l'excrément [5], [22].

L'enfouissement des bouses par les insectes conduit à un enrichissement des horizons édaphiques sous-jacents, ce qui stimule les populations de microarthropodes du sol, en particulier les Collembolés et les Acariens. Le brassage du à l'enfouissement augmente généralement d'une manière significative le rapport bactéries/hyphes mycéliens favorisant de la sorte le développement des bactéries ammonifiantes, qui accélèrent le recyclage de la matière fécale et donc la circulation de l'azote et des autres bioéléments dans les écosystèmes pâturés [6], [32].

Les déplacements actifs de la mésofaune édaphique vers la source attractive, contribuent à accélérer les processus de minéralisation des excréments.

Les microarthropodes profitent des galeries ouvertes par les insectes coprophages pour coloniser et transformer les excréments.

Transportant passivement des conidies, spores d'Actinomycètes et des bactéries accrochées à leurs téguments, ils ensemencent les bouses en microorganismes d'origine tellurique [26].

Ainsi, le stade ultime de l'évolution de la bouse est marqué par la disparition progressive de la barrière écologique excrément/sol, avec la participation de plus en plus importante de groupes édaphiques comme les Collembolés, les Acariens, les Diplopodes ou les Lombrics.

La bouse, annexe organique épigée du sol, suite aux différents remaniements par la microfaune et la microflore du sol pour être minéralisée, finit par disparaître complètement.

- a. Les différents rôles des invertébrés dans la décomposition de la matière organique des bouses.

Les rôles joués par la micro communauté hétérotrophique des bouses, constituée essentiellement d'invertébrés, se subdivisent en deux catégories : les effets directs et les effets indirects.

- Effets directs :

Le premier effet de la faune coprophage constitue la consommation de la matière organique grâce à l'appareil digestif de ces détritivores, dont les enzymes (carbohydrases) ou la flore endogène peuvent dégrader et digérer la cellulose et autres polysaccharides. La faune coprophage se nourrit à partir des éléments nutritifs contenus dans les bouses que les

ruminants n'ont pas pu assimiler. Une partie de cette nourriture est alors rejetée dans les crottes de ces organismes qui, au cours de leur développement, sont amenés à manger et consommer plusieurs fois leur excréta.

Le second effet direct de l'action de la faune coprophile est représenté par l'enfouissement d'une importante partie de la masse stercorale, réalisé essentiellement par les Coléoptères. Cette intégration au sol de la matière organique contenue dans les déjections est due au mode de vie de ces insectes qui enterrent des boulettes de bouse pour y pondre des œufs, permettant après éclosion, aux larves qui en sont issues, d'avoir à disposition une nourriture suffisante pour leur développement et leur métamorphose.

- Effets indirects :

Un des effets indirects essentiels est la fragmentation de la matière organique, par action mécanique et passages successifs dans les tubes digestifs des différents invertébrés de la pédofaune et des insectes coprophages. Les conséquences en sont une augmentation de la surface d'attaque de cette matière organique pour la microflore, et par voie de fait, de sa vitesse de minéralisation.

L'aération des bouses colonisées constitue un second effet accélérant le métabolisme aérobie et stimulant la croissance de la microflore aérobie. Cette aération est nécessaire pour le développement des différentes larves qui ont éclos dans la bouse.

Les deux derniers effets sont, la conversion des bouses dans les crottes des invertébrés et l'action de la microflore.

Un autre rôle des macro-invertébrés détritivores est la conversion de la matière organique des bouses dans leurs crottes, qui représente une sorte de modification, de transfert de substrat. Puisque la plupart des invertébrés ont un taux d'assimilation relativement faible, ils défèquent plus de matière organique qu'ils n'en intègrent à leur organisme. Ils représentent ainsi de véritables « usines à crottes ». Le remaniement subi dans leurs tubes digestifs, transforme cette matière organique en changeant ses propriétés physico-chimiques (composition chimique et rapport surface/volume), la rendant plus disponible aux réseaux trophiques inférieurs ou à la microflore.

Le dernier effet indirect concerne la microflore. Les interactions entre les invertébrés et la microflore représentent certainement l'effet indirect le plus important des macro-invertébrés

sur la décomposition de la matière organique. Les arthropodes consomment un grand nombre de bactéries et de champignons. Cette prédation stimule la croissance microbienne et fongique. Le passage de la matière organique à travers les tubes digestifs des macro-invertébrés augmente la population de bactéries et d'actinomycètes ainsi que leur activité métabolique puisque le milieu intestinal est un environnement plus favorable pour leur développement que le milieu extérieur.

En ingérant les organismes de la microflore, les invertébrésensemencent leur tube digestif et, en déféquant, leurs crottesensemencent le milieu extérieur. Un équilibre se crée entre la prédation de la microflore par les invertébrés du sol et la multiplication de cette dernière, favorisant alors la dégradation et la minéralisation de la matière organique fécale [39].

b. Evolution de la communauté coprophile des bouses de vache.

Les excréments de vertébrés, particulièrement ceux des grands mammifères, représentent une importante source de nourriture pour de nombreux insectes. Certains d'entre eux jouent un rôle actif et important dans la disparition et la décomposition des bouses, tandis que d'autres sont des parasites d'animaux. Larves, adultes et autres stades de développement dépendent plus ou moins directement des excréments pour leur nourriture. Ces invertébrés coprophages peuvent ensuite être attaqués et mangés par des parasites et des prédateurs qui dépendent indirectement des bouses pour se nourrir.

Dans le règne animal, les insectes (notamment les Coléoptères et les Diptères) représentent le principal groupe exploitant les bouses.

Nématodes, Enchytrées, Lombrics, Acariens, Collemboles et la microflore (bactéries, champignons et protozoaires) indispensable dans le processus de minéralisation, constituent le reste de la faune des bouses [22].

Même si dans ce grand théâtre bousier, la faune effectue l'essentiel de l'action mécanique, lessivage, cryoturbation, évaporation et circulation des gaz contribuent aussi à la disparition des bouses. Cependant ce sont les bactéries et les champignons qui sont les plus efficaces dans la transformation biochimique de la matière fécale, mais on connaît encore mal leur action.

- Les différents acteurs du théâtre bousier, une farandole d'espèces.

Nombre d'acteurs permettent le déroulement des différents actes de la pièce. Une grande diversité d'espèces est représentée, en compétition dans la même niche écologique, en étroite relation les unes avec les autres ou totalement indépendantes dans le temps et/ou l'espace [30].

De la mégafaune (animaux de plus de 80 mm) à la microfaune (animaux d'une longueur de moins de 0.2 mm : amibes, ciliés, flagellés, nématodes...), chacun tient son rôle indispensable et précis afin que la bouse réintègre le sol et que la matière organique soit minéralisée pour être à nouveau disponible.

La bouse de vache, en tant qu'annexe organique du sol, possède des modalités différentes par rapport au sol lui-même ; Une faune spéciale dite coprophile, qui trouve dans la bouse une nourriture, un abri, un lieu de reproduction et de ponte, un milieu favorable pour le développement des œufs et des larves, colonise cette annexe modifiant alors ses caractéristiques supprimant alors et créant ainsi de nouvelles conditions donc de nouvelles niches écologiques [37].

Les différentes étapes de sa dégradation font intervenir en particulier les insectes coprophiles, comprenant essentiellement des coléoptères et des diptères mais aussi tous les organismes du sol constituant la pédofaune et participant au recyclage de la matière organique.

Dans un premier temps nous nous attarderons sur cette faune originale et spéciale coprophile puis nous étudierons ensuite de façon simplifiée comment la matière organique est prise en charge par la faune édaphique pour être, après de nombreuses interventions et remaniements, minéralisée.

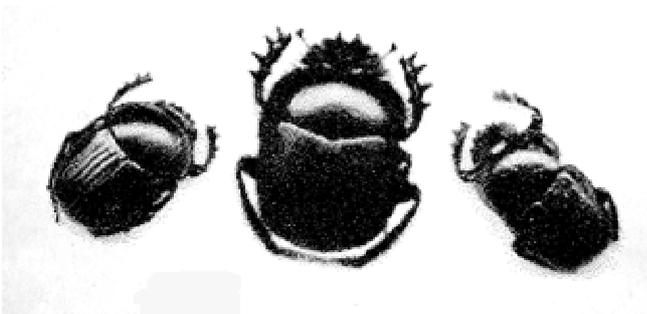
La dégradation d'une bouse peut schématiquement être décomposée en trois actes. Ces derniers ne répondant cependant pas à une modélisation stricte. Selon les régions, le climat, les saisons, la richesse de la pédofaune, ces étapes peuvent s'entrecouper, d'autres acteurs ou facteurs (physiques et/ou biologiques) peuvent intervenir et les rôles joués par les différentes espèces peuvent être substitués à d'autres [2], [17].

Ce schéma non figé représente globalement la façon dont la bouse est progressivement réintégré au sol, restituant une partie de la matière organique qui lui avait été prélevée par l'ingestion des plantes fourragères qui le constituent.

- **Acte I (scènes 1, 2, 3, 4) : une faune coprophile spécialisée.**

Les acteurs :

- Les Coléoptères coprophages :



Aussi appelés bousiers, les coléoptères coprophages, dont la biologie est étroitement liée aux excréments, sont très répandus et de nombreuses espèces sont connues de par le monde. Ces insectes à cuticule souvent épaisse et résistante sont

pourvus d'une paire d'ailes coriaces, les élytres, qui protègent les ailes membraneuses utilisées pour voler. Les pièces buccales sont en grande majorité broyeuses, avec des mandibules bien développées. Leur taille peut dépasser 50 mm, mais beaucoup n'excèdent pas le centimètre. Les adultes coprophages possèdent des appendices buccaux membraneux qui leur permettent de se nourrir des fluides des bouses fraîches (jus de bouse) et pondent dans l'amas stercoral même ou dans une boulette enfouie dans le sol sous-jacent ou à une distance plus ou moins grande selon les espèces. Cette boulette enfouie sert de lieu de ponte et de réserve de nourriture pour la progéniture, chaque boulette contenant un œuf. Suite à l'éclosion la larve se nourrit à partir de l'excrément dont elle aspire et concentre la phase aqueuse grâce à son appareil buccal adapté [22].

Le plus connu des bousiers, au moins de nom, est le très symbolique scarabée sacré des Egyptiens, autrement dit le *Scarabaeus sacer* des entomologistes. Dans l'Egypte antique c'était le symbole des forces de la création, de la fécondité, et de la résurrection. La partie antérieure de la tête, qui est un demi-cercle dentelé, représentait le soleil, et la boule d'excréments que l'insecte roule figurait la Terre qu'il était censé rouler de l'aube au crépuscule. La boule, selon la croyance, restait enterrée 29 jours, et le trentième jour elle était jetée dans le Nil où elle donnait naissance à un nouveau scarabée.

Parmi ces coléoptères coprophages, de nombreuses espèces sont nettement opportunistes même si d'autres sont plus ou moins sélectives, voire franchement spécialisées. Ainsi, tout excrément trouve preneur, depuis les crottes de lapins ou de chiens, en passant par celles des moutons ou des cervidés et même des hommes, sans oublier bien sur les bouses plébiscitées par de nombreuses espèces. Une étude menée en 1923 rapporte qu'en ne prenant en compte que l'ordure humaine, en Inde, en mai et en juin, quarante ou cinquante mille tonnes d'excréments sont enfouies chaque jour dans le sol par les scarabées ; ceci n'incluant pas la bouse des animaux qui peut facilement doubler ou tripler cette quantité [9].

La répartition des bousiers est évidemment tributaire des exigences écologiques propres à chaque espèce, et si certains sont très largement répandus, d'autres sont au contraire nettement plus localisés [15].

Bon nombre d'espèces sont nocturnes ou crépusculaires, mais tout autant sont diurnes. Leurs différentes périodes d'activité dépendent étroitement du climat donc de la région et de la saison. (cf. tableau 5)

PRINCIPAUX FACTEURS DE DISPARITION D'UN DEPOT DE FECES. [29]

(tableau 5)

Période du dépôt	Attractivité des fécès	activité		Consommation des fécès	remarques
		bousiers	Micro-arthropodes		
Printemps	Forte	++++	++++	++++	Reproduction des espèces, besoins alimentaires intenses
Eté	Faible	+	+	+	Dessiccation très rapide, estivation des arthropodes
Automne	Forte	+++	+++	+++	Réhydratation des fèces, reprise d'activité
hiver	moyenne	++	++	++	Ralentissement hivernal, peu d'espèces actives

IMPORTANCE DES DEUX MODALITES DE COMPETITIONS SUIVANT LES
REGIONS ET LEUR INFLUENCE SUR LE NOMBRE D'ESPECES. [8]

	Régions tempérées	Régions tropicales
Condition du milieu niche	Instables	Stables
Niches écologiques	Larges	Etroites
Compétition intra-spécifique	Faible	Forte
Compétition inter-spécifique	Forte	Faible
Nombre d'espèces	Réduit	Elevé

Les bousiers étant des insectes fouisseurs ils sont en quelque sorte outillés en conséquence (tibias armés de très fortes pointes, excavation du thorax permettant un effet bulldozer, chaperon céphalique (souvent dentelé) faisant office de pelle et de grattoir, etc...). Pour ces insectes coprophiles et coprophages, les excréments constituent à la fois une ressource et un abri. Les adultes se nourrissent des fluides des bouses fraîches (ingérant de petites particules de matière organique) dont l'odeur diffusée contient des phéromones attractives aéroportées, et, l'amas stercoral sert de lieu de ponte et de développement pour leur progéniture. Les œufs pondus éclosent pour donner des larves coprophages (qui à l'inverse des adultes ingèrent de grandes quantités de matière organique) ou carnivores selon l'espèce et le stade de développement. La larve se métamorphose ensuite en adulte et, après avoir creusé un tunnel pour atteindre la surface s'envole à la recherche d'une nouvelle bouse [22].

Si dans les régions tempérées et humides l'action des Coléoptères et des Diptères est plutôt discrète, les lombrics étant les principaux acteurs, il n'en est pas de même sous des climats plus chauds et sec où les contraintes édaphiques et climatiques (sécheresse) favorisent l'action des bousiers. Cependant la compétition est rude pour exploiter efficacement cette ressource fécale. C'est pour répondre à ces contraintes que les différentes espèces d'insectes coprophages ont élaboré diverses stratégies.

Dans certains excréments, jusqu'à 10000 individus par kilo de bouse, appartenant à une centaine d'espèces ont pu être recensés; cela implique une intense compétition pour s'assurer une portion de la précieuse ressource alimentaire et pour éviter une compétition spatiale de la bouse. Plusieurs techniques ont été adoptées afin d'utiliser cette manne fécale. La stratégie la plus simple est de l'utiliser sur place, ce qui détermine le groupe des résidents encore appelés endocoprines qui restent dans l'excrément et se nourrissent au sein même de la masse fécale. Une seconde méthode consiste à enfouir dans le sol, sur place, le butin, cette technique détermine le groupe des fouisseurs encore appelés paracoprines. La troisième méthode, qu'utilisent les rouleurs (ou télécoprines) ressemble à la précédente mais s'affranchit de l'espace limité du sol sous-jacent à la bouse qu'utilise les paracoprines, en fabriquant à partir de l'amas stercoral une boule ou pilule qui est roulée sur le sol (grâce à la morphologie de leurs pattes arrières) pour être enfouie plus loin, à quelques dizaines de mètres.

Ces différentes techniques élaborées résultent d'une double compétition vis-à-vis de la ressource alimentaire et du taux d'occupation de l'espace. La pression sélective a donc induit une évolution des espèces coprophages, vers une de ces trois techniques d'utilisation de la bouse [8].

Sous des climats de type méditerranéen (sud de la France), les *Aphodiinae* représentent l'essentiel des endocoprines, les paracoprines sont représentés par les *Coprinae* et les *Geotrupinae*, et les *Scarabeinae* sont majoritairement télécoprines.

Ainsi, les modalités de coexistence des Scarabéides coprophages peuvent être regroupées selon ces trois guildes dans lesquelles les sous-familles d'espèces partagent la même histoire phylogénétique, source potentielle de mécanismes coévolutifs, facilitant la coexistence et donc la survie, jusqu'à nos jours, des espèces.

- Les résidents ou endocoprines sont des insectes qui colonisent très tôt l'excrément où ils y pondent leurs œufs. Les larves se développent au sein de la masse stercorale puis migrent dans le sol pour la nymphose. Cette stratégie est celle de nombreux *Aphodiinae* dont la femelle compense la non-protection de la progéniture par une forte fécondité.

La grande diversité des *Aphodiinae* est liée à la fois à la grande hétérogénéité des conditions environnementales locales et aux changements saisonniers importants dans l'apparition des espèces de cette sous-famille.

Certains *Aphodius* ont un cycle biologique complètement original par rapport à celui de la majorité des autres espèces, ce qui leur permet de bénéficier de la période où la vitesse de

dessiccation des excréments est la plus faible, tout en limitant la concurrence. Ainsi un bon nombre d'espèces de cette sous-famille exploite les bouses durant l'hiver. Les femelles pondent et sont actives de décembre à février, parfois plus tard si le printemps est tardif (c'est le cas notamment, dans le sud de la France, d'*Aphodius constans*, *A. fimetarius*, *A. distinctus*, *A. consputus*...

Les endocoprides exploitent directement l'excrément en place sans faire, au préalable, de réserves (sauf quelques exceptions comme *A. erraticus*). Ils sont de la sorte plus exposés à la concurrence que les autres espèces. En particulier le développement des larves, qui se déroule au sein de l'excrément, est tributaire de la présence, ou plutôt de l'absence, des autres espèces.

Au contraire les paracoprides et les télécoprides, en prélevant l'excrément destiné à leur consommation et à celle de leurs larves et en l'enfouissant dans un terrier creusé à l'aplomb de l'excrément ou à distance, se soustraient en partie à cette concurrence. Il apparaît donc logique que la discrimination temporelle soit un facteur important pour les endocoprides.

D'autres différences comportementales contribuent à diversifier, encore un peu plus, l'exploitation de ressources. La répartition spatiale, selon un gradient vertical des différentes espèces d'*Aphodius*, permet aussi une coexistence des différentes espèces au sein de la bouse, en limitant la compétition interspécifique. Selon des exigences physicochimiques, (température, texture de la bouse, richesse en eau...) les espèces vont se situer préférentiellement dans la croûte, en profondeur, à la périphérie ou dans l'ensemble de la masse stercorale pour des espèces plus généralistes.

De même certaines espèces d'*Aphodius* ont adopté un comportement pseudo paracoprides, en creusant de courts terriers sous la déjection, pour pondre leurs œufs et y enfouir un peu de nourriture fécale qui apparaît alors comme une réponse à la concurrence.

Les fousseurs ou paracoprides, représentés en France essentiellement par les *Geotrupinae* et les *Coprinae* (on retiendra surtout les espèces *Ontophagus vacca*, *Ontophagus taurus*, *Copris hispanus*, *Typhaeus typhaeus*, *Geotrupe mutator* et *Chironitis irroratus*), creusent sous l'excrément un nid pédotrophique qui peut atteindre 1.5 m de profondeur (*Typhaeus typhaeus*), ce qui limite la concurrence, la prédation et la dessiccation des réserves destinées aux larves. La masse stercorale soustraite à la concurrence des autres espèces est par la suite fractionnée en boules ou boudins, qui reçoivent chacun un œuf. La profondeur et l'architecture du nid sont spécifiques à chaque espèce, avec cependant quelques variantes

d'ajustement. Chez ces espèces fouisseuses, différentes adaptations ont été adoptées pour diminuer au maximum la compétition intra et inter spécifique et ainsi optimiser l'utilisation de la matière fécale.

Ainsi, les périodes d'activité des *Coprinae*, essentiellement actifs durant la période chaude de l'année : printemps et été, diffèrent de celles des Géotrupes actifs en automne, permettant de minimiser les compétitions entre les différentes sous-familles de paracoprides.

Les interactions étroites entre les coprophages de la même sous-famille qui exploitent en même temps la masse stercorale, sont minimisées par des biologies différentes selon les espèces (modalité de colonisation, cycles biologiques, comportement de nidification...) [27].

Parmi les paracoprides (dont les principales espèces représentées sont *Scarabeus sacer*, *Scarabeus laticollis*, *Scarabeus variolosus*, *Scarabeus semipunctatus* et *Gymnopleurus flagellatus*), une ségrégation par la taille est envisageable. Généralement les espèces de grande taille (> 50 mg) arrivent tardivement sur l'excrément et y restent longtemps, alors que les espèces de petite taille (< 50 mg) arrivent plus tôt et migrent plus facilement d'un excrément à l'autre. Cette migration entre les excréments est un phénomène important dans la dynamique des communautés de bousiers. Les espèces qui arrivent tôt peuvent être qualifiées de « spécialistes » puisqu'elles présentent une niche trophique étroite ; elles sont caractérisées par un développement rapide, une importante fécondité et une grande capacité de vol. Les espèces tardives sont qualifiées de « généralistes » avec une niche trophique large.

Représentants les plus symboliques de la faune bousière, le rôle des Coléoptères coprophages (par leurs actions mécaniques, leurs régimes alimentaires et leur mode de vie) dans l'enfouissement des bouses est bien connu. Cependant, on omet trop souvent leur importance en tant que nourriture d'autres organismes et proies de nombreux prédateurs. Leur présence entraîne celle de leurs consommateurs comme des Hyménoptères entomophages, des Arachnides, des oiseaux insectivores, des amphibiens, des mammifères terrestres..., qui, de façon indirecte, interviennent dans cette farandole d'espèces, contribuant à faire disparaître de la surface du sol les matières fécales [22].

- Les Coléoptères coprophiles prédateurs :

Essentiellement représentés par les familles des *Hydrophilidae*, des *Staphylinidae* et des *Histeridae* dont les différentes espèces qui les composent peuvent d'ailleurs aussi être des

Coléoptères coprophages, ils sont très présents dans les bouses puisqu'ils représentent jusqu'à 1/3 de la biomasse des Coléoptères coprophiles. Ces différents prédateurs sont présents en grande quantité dans les bouses car ils y trouvent de quoi satisfaire leur régime alimentaire. En effet la plupart se nourrit de larves (de Coléoptères ou de Diptères) ou des macro invertébrés présents dans les bouses. Leur présence est donc étroitement liée à celle de leurs proies. De même que les coprophages ils font aussi partie du régime alimentaire de nombreux oiseaux et mammifères.

- Les Diptères, des larves et encore des larves... :



Le grand public associe facilement Diptère aux excréments...et il est vrai que ces insectes, souvent coprophiles, sont présents partout dans le monde. Leurs habitats sont très diversifiés et ils colonisent tous les milieux selon l'espèce et le stade de développement. Les adultes n'ont qu'une seule paire d'ailes, la seconde étant transformée en balanciers. Les pièces buccales sont essentiellement suceuses (mais aussi parfois piqueuses). Le moustique et la mouche domestique sont des modèles assez représentatifs de l'ensemble de l'ordre en ce qui concerne les adultes. Mais ce sont essentiellement les larves qui font partie de la pédofaune active. Sous une apparente uniformité, elles montrent une grande diversité morphologique, écologique et comportementale. La reproduction a lieu en été, où les conditions sont les plus favorables. La prolificité est en général très grande et le cycle relativement rapide. Une seule mouche domestique, par exemple, peut pondre jusqu'à 1000 œufs, en plusieurs pontes de 150 œufs chacune.

Les bouses représentent pour un certain nombre d'espèces un lieu de ponte idéal offrant une humidité, une texture et surtout une nourriture pour leurs larves qui se développent au sein même de cet amas stercoral.

Selon les conditions climatiques les œufs éclosent entre 8 et 24 heures. Ils deviennent alors des larves, puis des nymphes pendant une brève période avant de se transformer en imago puis en adultes. La durée de vie d'un adulte n'excède en général pas deux ou trois semaines, c'est pourquoi, pour survivre, l'espèce doit avoir une capacité de prolifération très importante. L'activité étant saisonnière, le cycle doit être court, de façon à avoir en un minimum de temps un maximum de générations. A titre d'exemple, en France, dans des

conditions idéales, on peut compter jusqu'à trente générations de mouches domestiques par an, soit, pour une seule femelle, une descendance de quelques quatre trillions (10 puissance 18) d'individus. Une autre illustration de cette importante prolificité, peut être apportée par les 2469 larves de diptères, appartenant à 16 familles différentes, recueillies dans une seule bouse de vache, prélevée dans un pâturage du Haut Jura [18].

Grâce à cette prolificité, les larves de Diptères constituent une importante proportion de la biomasse des bouses [35].

Alors que certains Diptères adultes se nourrissent abondamment du jus de bouse présent sur la surface des déjections fraîches, les bouses représentent surtout un lieu de ponte fréquent que les appendices reproducteurs des Diptères peuvent traverser leur permettant d'ensemencer cette masse fécale. Les œufs ainsi déposés éclosent pour donner des larves qui sont majoritairement coprophages grâce à des pièces buccales spécialisées qui leur permettent de se déplacer et d'aspirer différents nutriments au sein même des bouses. Elles accumulent ainsi l'énergie nécessaire, à partir de cette matière organique, à leur développement et leurs mues. Certaines d'entre elles peuvent être carnivores soit à la fin de leur développement soit depuis le début et se nourrissent donc d'autres larves de diptères ou d'invertébrés plus petits de la pédofaune [22]. Leur importance dans les bouses n'est pas négligeable car leur régime coprophage permet le recyclage des déjections et leur régime carnivore ou prédateur (macroarthropodes ou champignons) contribue à l'équilibre biologique des bouses (et des sols).

Cependant, plusieurs espèces de Diptères coprophiles peuvent proliférer dans les bouses et devenir nuisibles à l'état adulte alors que leurs larves participent activement à la dégradation de ces déjections. On peut citer par exemple en France la mouche des étables, *Stomoxys calcitrans* ou la mouche d'automne, *Musca autumnalis* qui causent des baisses de production sur le cheptel français. De nombreux autres pays sont aussi concernés par cette prolifération de Diptères nuisibles dans les bouses mais avec d'autres espèces.

Les larves de Diptères ont aussi un autre rôle, indirect cette fois, car, elles attirent des espèces prédatrices (oiseaux, mammifères, insectes carnivores...) qui colonisent les bouses à leur recherche et qui, par leurs actions mécaniques (constitution de galeries, fouissage, piétinement, picorage, dispersion...) participent aussi à la dégradation des bouses.

Scène 1 :

La bouse subit l'assaut des premiers insectes.

Au sortir du tube digestif, les bouses représentent un milieu anoxique riche en eau, en débris végétaux et en microorganismes. Elles sont le siège d'une activité bactérienne intense accompagnée d'un fort dégagement de méthane [18].

Les hydrophilidés de la sous-famille des Sphaeridinés sont les premiers à arriver, ils pénètrent dans la bouse où ils mènent une vie quasi aquatique. Les diptères (familles des Calliphoridés, Muscidés, Psychodidés, Sarcophagidés et Sepsidés) les suivent immédiatement, pondant un grand nombre d'œufs sous la surface de la bouse. Les Staphylins, Coléoptères prédateurs des œufs et des larves de diptères, sont attirés à leur tour. Ils seront présents tout au long de l'évolution de la bouse. Guidés par l'odeur, ces insectes arrivent par voie aérienne et pondent substantiellement (plus de 2000 larves de Diptères par bouse peuvent être dénombrées). Les larves jouent un rôle important dans l'écologie des bouses, les adultes n'étant que des inséminateurs. Par leur régime alimentaire essentiellement coprophage, mais aussi carnivore pour certaines au cours de leur développement, elles contribuent à la disparition de la matière fécale en l'ingérant et en la digérant. En remaniant ainsi ses différentes propriétés, elles permettent à d'autres organismes de la remanier à leur tour. Par leur prédation et leurs différents régimes alimentaires, elles participent à la régulation de différentes populations édaphiques (arthropodes, champignons, protozoaires...).

Scène 2 :

Colonisation de la masse fécale et formation de véritables réseaux tunneliers.

La ponte des diptères est stoppée par la formation d'une croûte due au dessèchement de la bouse, que leur organe de ponte ne peut traverser. Les larves de diptères ne survivraient pas dans ce milieu encore quasi anoxique sans le travail des Coléoptères de la famille des Hydrophilidés. Ceux-ci favorisent, par leurs déplacements, l'oxygénation du milieu en créant des galeries, véritables tunnels à oxygène. Par la formation de ces réseaux, véritables canalisations, de nombreux arthropodes du sol provenant de différents horizons édaphiques,

peuvent coloniser progressivement la masse fécale en empruntant ces galeries, leur physiologie et leur anatomie ne leur permettant pas de creuser dans cette masse fécale. Ainsi, outre l'oxygénation du milieu, les insectes, par leur déplacement, favorisent la colonisation de la bouse et son ensemencement de manière passive, en microorganismes (fixés au tégument de cette faune édaphique).

Scène 3 :

Nouvelles vagues de colonisation de la bouse.

La croûte de la bouse durcit et s'épaissit. L'intérieur de la masse se condense mais reste mou.

Les Hydrophilidés sont toujours abondants, leur activité provoque la formation de trou rond dans la croûte. Les larves des diptères de la première escouade grossissent. Arrivent encore en volant les Histéridés et les Staphylins, coléoptères carnivores, prédateurs des asticots qui font la chasse aux nombreuses larves en développement ainsi que les Ptilidés, nécrophages et mycétophages. Par leur déplacement dans la masse fécale, Hydrophilidés et Histéridés améliorent son aération et accélèrent son évaporation. De nouvelles vagues de diptères viennent pondre dans les galeries de ces coléoptères.

Scène 4 :

Arrivée des scarabées (seconde escouade) et début d'envahissement de la bouse par les invertébrés de la pédofaune.

Alors que la bouse s'assèche de plus en plus, viennent désormais les Scarabéidés. Ils malaxent la matière fécale, s'en nourrissent, l'enfouissent sous la bouse ou l'exportent sous forme de boulettes. Une partie des larves de diptères est détruite par leur activité ainsi qu'une grande partie des œufs ou des larves des parasites intestinaux, diminuant la charge parasitaire. Le régime alimentaire de certains asticots issus des premières pontes a changé : de coprophage, il est devenu carnivore, permettant de réguler les nouvelles populations d'invertébrés du sol qui colonisent de plus en plus la bouse (macro et micro arthropodes, champignons, protozoaires...).

Des vers de terre épigés (vers du fumier) et anéciques apparaissent à l'interface sol-bouse, occupée par la végétation écrasée. Ces vers de terre jouent un rôle inestimable dans l'écosystème prairial mais aussi dans la disparition des annexes du sol comme la bouse. Ils sont à eux seuls un condensé de la chaîne de détritux car ils fragmentent dans leur jabot la matière organique (cellulose, lignine, sclérenchyme, non dégradés dans la panse) qui est ensuite remaniée par l'importante microfaune et microflore de leur tube digestif. Leurs turricules sont constitués d'un mélange de terre et de la matière organique qu'ils ont ingéré et fragmenté.

Leur impact mécanique, par leur action de brassage, permet un enfouissement, un malaxage et un mélange de la bouse au sol, contribuant à sa réintégration et à sa mise à disposition pour la faune et la microflore édaphique.

En zone tempérée, les lombrics produisent de 40 à 250 tonnes de turricules par hectare et par an. Ainsi, en un an, toute la terre d'une prairie passe dans leur tube digestif véritable bioréacteur contenant des protozoaires et des bactéries très actifs. Sous un mètre carré de prairie, les vers de terre creusent en moyenne 400 à 500 mètres de galeries soit un volume d'air de 5 à 9 dm³ [18].

Petit à petit, cette faune coprophile associée à la faune édaphique, simultanément ou successivement et à différentes échelles, brasse, fragmente, creuse des galeries dans cette masse fécale qui, au bout d'une semaine environ, est une masse traversée par de très nombreuses galeries où prolifèrent champignons, levures et bactéries, source de nourriture pour de nombreux invertébrés de la pédofaune.

- **ACTE II, Scènes (5, 6, 7) : le travail de la pédofaune.**

Jusqu'à présent la majeure partie du travail d'enfouissement et de disparition de la matière stercorale a été effectuée par une faune spécifique dite coprophile. Les coléoptères et les diptères ou du moins leurs larves, sont les acteurs primaires de sa décomposition. Ils permettent un enfouissement d'une partie de la bouse et par leurs actions mécaniques et leurs régimes alimentaires permettent une colonisation et une régulation des différentes populations édaphiques qui trouvent désormais une niche écologique adaptée dans cette annexe organique.

Petit à petit, l'évolution des conditions physico-chimiques de la bouse crée un environnement favorable à sa colonisation par de nouveaux organismes tandis qu'elle devient inhospitalière à ceux qui l'occupaient.

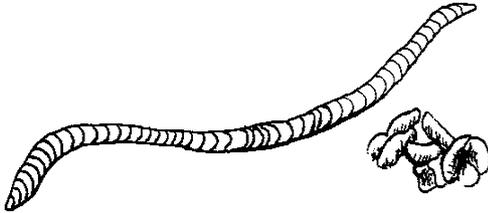
Désormais la bouse subit l'assaut de la faune édaphique sous-jacente et son processus de décomposition suit le chemin classique de la chaîne des détritivores.

Selon la taille, le régime alimentaire et le comportement des organismes désormais impliqués, plusieurs effets mécaniques majeurs interviennent dans ces phénomènes de décomposition :

- le macro brassage qui permet de remuer une grande quantité de matière, ramenant en surface des horizons riches en matières minérales et enfouissant la matière organique superficielle.
- le micro brassage, moins spectaculaire mais tout aussi nécessaire, permettant par la fabrication de grandes quantités de petites crottes, d'incorporer sous cette forme la matière organique au sol. Ces organismes à faible capacité de pénétration utilisent les galeries d'autres invertébrés et sont essentiellement phytosaprophages (oribates, collemboles, larves de diptères et enchytrées).
- La formation de galeries, nécessaires pour l'aération du sol, l'augmentation de sa capacité hydrique et de sa macroporosité.
- La fragmentation, conséquence de l'activité de la pédofaune qui influence fortement l'évolution de la matière organique dans le sol et conditionne pour une bonne part l'importance des peuplements bactériens, fongiques et micro fauniques.
- La formation d'agrégats par le mélange de la matière organique et minérale ingérée dans le tube digestif de macro arthropodes et de vers de terre. L'action de la microflore et de la microfaune de leurs tubes digestifs et des différentes sécrétions enzymatiques permettent de stabiliser cette association organominérale. Les crottes des micro arthropodes et des enchytrés sont très stables et se retrouvent quasi intactes dans les crottes des macro invertébrés qui les ont ingérées.

Les acteurs : la faune du sol.

- Les Lumbricidés ou vers de terre, rois du sol :



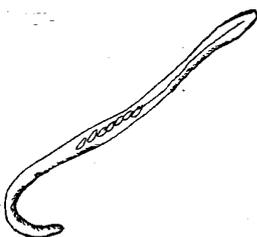
Embranchement des Annélides, classe des Oligochètes, ordre des Haplotaxidés, sous ordre des Lumbricina, famille des Lumbricidés, les vers de terre sont répandus sur tous les continents, sauf dans les déserts chauds ou glacés. Il existe trois catégories écologiques de vers de

terre, les épigés qui vivent en surface (genre *Dendrobaena* et *Lumbricus rubellus*), les anéciques, qui sont les vers « verticaux » (*Lumbricus terrestris*, *Aporrectodea*), de grande taille, tunneliers, qui construisent des galeries dans l'ensemble du *solum*, qui ont le maximum d'impact sur le sol et les endogés qui vivent en profondeur, « horizontalement » [11], [18].

Qualifiés d'intestins de la terre par Aristote, leur travail a des effets importants sur le sol et ses annexes. Par leurs déplacements et l'importante quantité de nourriture qu'ils ingèrent (terre, matière organique en décomposition : fumier, litière, feuilles mortes, bouses...), les vers de terre enfouissent, malaxent et mélangent le sol faisant remonter la matière minérale des horizons profonds et descendre la matière organique.

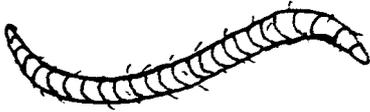
L'activité des vers de terre est facilitée par le travail préalable des Coléoptères et des larves de Diptères qui augmente la porosité des bouses rendant alors leurs déplacements et la consommation des particules de bouses qu'ils ingèrent et transforment dans leur bio réacteur intestinal, plus faciles [21].

Les vers de terre représentent de véritables tuyaux dans lesquels passe l'ensemble du sol qui y est digéré et remanié pour être excrété à travers leurs crottes, particules petites et stables qui sont à la base de la formation de l'humus et du maintien de la structure physico chimique du sol [20].

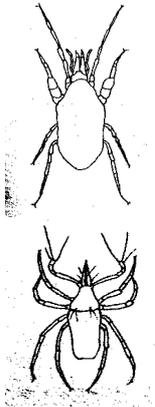


- les nématodes, embranchement des Némathelminthes, sont des vers non segmentés vivant dans l'eau pelliculaire et interstitielle des matières en décomposition (notamment dans les composts, le fumier et les déjections humides). Leur importance dans le sol est grande car ce sont

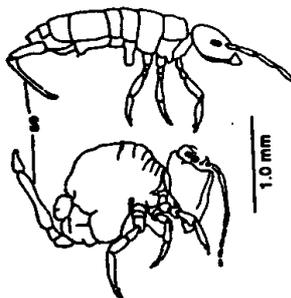
des intermédiaires fonctionnels entre les bactéries, les champignons, les protistes et la mésofaune.



- les enchytrées, petits cousins des vers de terre, de l'embranchement des Annélides, classe des Oligochètes, ordre des Haplotaxidés, sous-ordre des Enchytreina, ils ressemblent à de petits lombrics. Microphage et phytosaprophages, ils mangent les crottes de collemboles et d'autres arthropodes. Ce sont des phytosaprophages performants, qui peuvent consommer une importante quantité de matière organique et qui par leur prédation exercent une action stimulante sur les peuplements de bactéries et de champignons. Par leur activité de tunneliers ils augmentent aussi la porosité du milieu dans lequel ils évoluent.



- les Acariens Oribates, sont des micro arthropodes longs de 0.1 à 0.2 mm. Ils font partie de la mésofaune. On les retrouve dans le sol et ses annexes en grande quantité. Ce sont de véritables acteurs dans la décomposition de la matière organique en contribuant à la micro fragmentation et au brassage de cette dernière, ainsi qu'à la dispersion et la régulation de la microflore.



- les collemboles, omniprésents dans le sol, sont des insectes primitifs, appartenant à la sous-classe des Aptérygotes. Ils sont surtout fongivores mais, on retrouve tous les régimes alimentaires dans cette classe. Ainsi plusieurs espèces sont coprophages, phytosaprophages ou carnivores (nématodes). Leur rôle est similaire à celui des acariens. Comme eux, ils contribuent à la micro fragmentation et au brassage des matériaux organiques, ainsi qu'à la dispersion et à la régulation de la microflore.

- les protozoaires, nains de la pédofaune, règne des Protistes, sous-règne des Protozoaires, sont des êtres unicellulaires eucaryotes. Leur reproduction par scissiparité leur donne un grand potentiel biotique. Ils font partie de la microfaune, de 3 à 250 µm, parfois jusqu'à 3 mm, et sont essentiellement bactériophages, saprophages ou prédateurs d'autres protozoaires. A l'exception des bactéries, ce sont les organismes les plus abondants dans le sol. Leur importance est de taille dans les équilibres biologiques au niveau des microorganismes. Ce sont les principaux prédateurs des bactéries et ils ont également un rôle symbiotique en dégradant les tissus cellulosiques ou stimulant l'activité bactérienne dans le tube digestif de leurs hôtes.

- la microflore : bactéries et champignons

La microflore au sens large regroupe trois groupes : les bactéries, les champignons et les algues microscopiques. A l'échelle bactérienne, la bouse représente, ou même titre que le sol, une mosaïque de niches écologiques différentes, qui vont permettre la cohabitation, à des distances d'une fraction de millimètres, de différentes espèces ayant des conditions d'existences différentes. Leur rôle est essentiel dans la dégradation de la matière organique puisque ce sont les bactéries qui sont en majeure partie responsables de sa minéralisation.

Les champignons qui sont tous des eucaryotes hétérotrophes aérobies à digestion extracellulaire, sont, de par leur taille et leur structure, capables de transporter activement au moyen de leur mycélium d'importantes quantités d'eau et de substances d'un endroit à l'autre. La « manne » représentée par les matières fécales, profite aux champignons souvent spécialisés qui s'y succèdent aux différentes étapes de l'évolution du substrat. La teneur élevée en azote leur est particulièrement favorable. La succession des champignons se fait à peu près dans l'ordre taxonomique ascendant : en premier lieu les zygomycètes, espèces primitives à mycélium non cloisonné et à croissance souvent très rapide, à l'exemple de *Pilobolus*. Puis viennent des ascomycètes comme *Ascobolus stercorarius*, alors que les basidiomycètes coprophiles (particulièrement les coprins) accompagnent les dernières phases de l'évolution de la bouse.

Les spores de plusieurs champignons coprophiles, particulièrement des espèces spécialisées précoces, sont déjà présentes dans les bouses lorsqu'elles sont déposées par les herbivores. Ceux-ci les ont avalées en broutant la végétation et elles ont traversé leur tube digestif. Ce passage a un double effet : outre l'inoculation anticipée des bouses, il est indispensable à l'activation des spores dormantes de ces champignons. Tant que ces spores sont collées à la végétation, elles ne doivent pas germer, même si les conditions d'humidité et/ou de

température leur sont favorables. Si elles le faisaient, le champignon mourrait, faute de pouvoir poursuivre son développement. C'est le passage par le tube digestif, sous l'effet de l'élévation de température ou de facteurs chimiques et biochimiques, qui lève la dormance. Les spores germent alors et le champignon entame son développement, dès le retour à des conditions aérobies, c'est-à-dire lorsque la bouse est déposée. Mais les herbivores ne mangent pas leurs excréments, à la surface desquels les fructifications des champignons sont formées. Il est donc nécessaire que les spores soient projetées à bonne distance et aillent se coller à la végétation au-delà même des refus. Le moyen original trouvé par plusieurs champignons coprophiles est de les expulser en amas. Ceux-ci ont un rapport surface/volume plus faible que les spores prises individuellement ; ainsi le frottement de l'air est-il proportionnellement moins important, pour une même impulsion initiale. L'amas parcourant une distance plus grande permet de sortir de la zone de refus [18].

Les algues font aussi partie de la microflore, et sont en quantité importante à la surface du sol. Par extrapolation on peut supposer que l'on en retrouve aussi dans les déjections mais de toute façon, leur rôle est encore mal défini.

Le travail de minéralisation de cette matière organique qu'est la bouse, composée essentiellement de polysaccharides d'origine végétale (comme la cellulose, les pectines, l'amidon...), de polyphénols (comme la lignine), de protéines, de lipides, d'acides nucléiques... est essentiellement effectué par la microflore et les microorganismes. Cette décomposition biochimique est le fruit d'une « digestion », ou plus précisément d'une hydrolyse de ces macromolécules en leurs constituants mono ou dimériques, par le biais d'enzymes extracellulaires. Les mécanismes précis de minéralisation ne seront pas abordés mais font intervenir, selon les conditions (aérobie, anaérobie, sols acides, basiques, teneur en eau etc...) diverses bactéries aux substrats et produits différents (bactéries nitrifiantes, sulfoxydantes, ferroxydantes, dénitrifiantes, ferriréductrices, sulfatoréductrices, méthanogènes etc...)

Seuls les principaux organismes de la pédofaune que l'on retrouve dans les bouses ont été décrits, mais en fait, de par toutes les interactions des différentes chaînes alimentaires et des différentes niches écologiques, un grand nombre d'espèces a été omis puisque l'on peut retrouver, selon les régions, les climats et une multitude d'autres facteurs presque toutes les populations édaphiques dans ou sous une bouse de vache, plus ou moins impliquées et de façon plus ou moins temporaire (Protozoaires, Rotifères, Nématodes, Tardigrades,

Plathelminthe, Arachnides, Myriapodes, Annélides, Mollusque gastéropodes, Crustacés isopodes, Insectes...).

Scène 5 :

La bouse est désormais sèche, la croûte s'est encore épaissie et se craquèle. L'intérieur, poreux, est un feutrage de nature fibreuse (restes végétaux ayant résisté jusqu'ici à la digestion).

De nombreux micro coléoptères et des larves édaphiques de diptères colonisent l'excrément, la population de vers augmente, se nourrissant de la bouse depuis le dessous. Le refus s'est formé, constitué de plantes non consommées.

A ce stade l'aspect physique de la bouse a considérablement évolué. Petit à petit, la matière organique intègre le sol, notamment grâce au rôle important des scarabéidés et des vers de terre qui enfouissent ou exportent une grande quantité de matière fécale, la mélangeant et la mettant à la disposition de la pédofaune. L'interface sol-bouse commence à disparaître. L'annexe présente de plus en plus les mêmes caractéristiques que le sol sous-jacent et la pédofaune continue son travail de fragmentation et de minéralisation.

Scène 6 :

La bouse se craquèle, elle est fragmentée par les oiseaux, souvent Corvidés à la recherche de larves et de vers de terre dont ils se nourrissent. Abrisant une faune d'invertébrés importante, à la base du régime alimentaire de nombreux oiseaux et mammifères, la bouse a donc aussi un rôle important en tant que « réserve » de nourriture pour de nombreuses espèces. La disparition de sa faune, non seulement entraînerait une accumulation des bouses à la surface des prairies, mais encore pourrait entraîner la disparition ou du moins la raréfaction d'espèces comme les chauves souris, les musaraignes, les hérissons, les corbeaux, les étourneaux et bien d'autres, gros consommateurs de ces invertébrés coprophiles représentant la majeure partie de leur alimentation.

Scène 7 :

Les pluies détrempent les petits fragments de bouse qui se désagrègent rapidement, et sont entraînés par lessivage en profondeur, laissant sur le sol une mince couche spongieuse de débris végétaux.

Les vers de terre achèvent l'enfouissement. Il ne reste presque plus de trace de la bouse à la surface de la prairie, dont la végétation reprend ses droits et commence à repousser sur cette zone désormais débarrassée de l'annexe organique.

La bouse, en tant que restitution organique, constitue un apport aux réseaux de décomposition.

Dans cette chaîne de détritus, la matière organique et la microflore constituent une sorte de fil rouge le long duquel se succèdent des escouades d'invertébrés phytosaprophages. Ces derniers mangent, donc fragmentent, ils digèrent donc modifient chimiquement. Ils rejettent à l'extérieur un produit différent de la matière originelle, la crotte. Les éléments nutritifs et l'énergie qu'elle contient sont loin d'être épuisés par le premier niveau de la chaîne même si cette matière organique a déjà subi différentes attaques mécaniques et chimiques dans le tube digestifs de la vache qui l'a émise. En effet le coefficient d'utilisation de la nourriture ingérée s'élève au mieux à 40 %. Les escouades suivantes bénéficient de ces éléments nutritifs et de cette énergie non assimilée en se nourrissant des crottes et des débris encore substantiels, les modifiant à leur tour physiquement et chimiquement.

Le rôle de la faune dans les processus de dégradation des déjections est essentiel, notamment par l'augmentation de surface des résidus de matière organique qu'ils mettent à disposition de la microflore en fragmentant cette dernière. L'importance de cette fragmentation (digestive) peut être facilement appréciable en divisant successivement un cube de 1 cm^3 en cubes de 1 mm, 1/10, 1/100 de mm d'arêtes, et en calculant l'augmentation de la surface totale qui en résulte ; ce découpage multiplie de façon significative la surface du substrat qui sert de « milieu de culture » à la microflore, elle-même responsable du gros de l'attaque biochimique.

Vue d'une façon théorique et simplifiée, la chaîne de décomposition de cette matière organique épigée qu'est la bouse, est formée de trois compartiments (ou modules)

fonctionnels correspondant respectivement à la macrofaune, à la mésofaune et à la microfaune.

Dans les deux premiers, les activités essentielles sont le découpage, l'enfouissement ainsi que la dispersion et la sélection de la microflore. Celle-ci, présente dans la bouse est sélectionnée dans le tube digestif des invertébrés tout en restant active (dans la crotte, où la substance initiale est modifiée physiquement et chimiquement, les populations bactériennes et fongiques explosent). Dans le troisième compartiment, les processus biochimiques prennent largement le pas sur les processus physiques. La microfaune, composée surtout d'espèces bactérovores et fongivores, contribue avant tout à maintenir l'équilibre biologique dans le sol tandis que la microflore assure l'essentiel des réactions biochimiques de la minéralisation (bactéries quasi exclusivement).

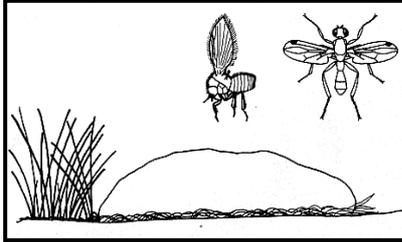
Chaque module comprend des détritivores consommés par des prédateurs et les fèces sont souvent remangées plusieurs fois par les détritivores qui les ont émises puis elles sont prises en charge ainsi que les fragments non consommés (les restes ou les miettes des « repas » des macro arthropodes), par le compartiment suivant.

- **ACTE III : la végétation reprend ses droits, la boucle est bouclée.**

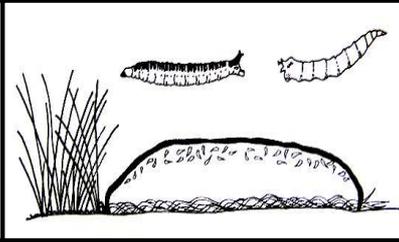
Désormais la bouse est totalement enfouie, réintégrée au sol. C'est là, dans les horizons édaphiques que la microflore achève doucement sa minéralisation, mettant de nouveau à disposition, les éléments minéraux nécessaires au développement de ces producteurs primaires essentiels que sont les plantes. Ces dernières, en compétition pour certains éléments avec les microorganismes et les bactéries (notamment pour l'azote), prendront plus ou moins le dessus pour finir par repousser dans cette zone de refus et être à nouveau consommées.

La boucle bouclée peut recommencer son cycle parfait ne laissant de l'annexe organique que le souvenir à présent lointain d'un théâtre agité, aux multiples acteurs qui ont pu pérenniser leur espèce.

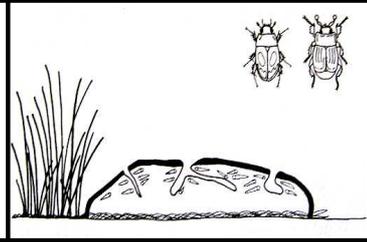
LE THEATRE BOUSIER EN BANDE DESSINEE.



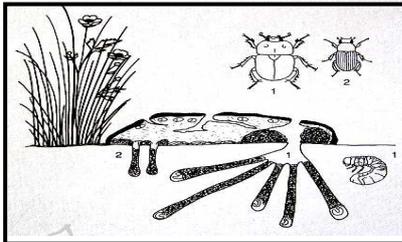
Phase 1 : Evolution d'une bouse de vache. Au sortir du tube digestif les bouses sont le siège d'une activité bactérienne intense ainsi que d'une colonisation précoce par les insectes coprophiles. Diptères et Hydrophilidés sont les premiers à arriver.



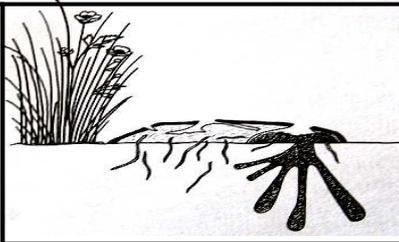
Phase 2 : Dans les heures qui suivent le dépôt, une croûte se forme, par dessèchement de la surface. Les œufs pondus se transforment en larves. Un réseau de galeries formé par le déplacement des invertébrés permet l'oxygénation de la bouse.



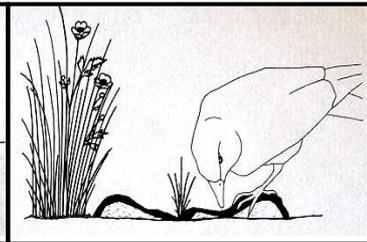
Phase 3 : La croûte durcit et s'épaissit mais l'intérieur reste mou. Les Coléoptères coprophages et prédateurs des différentes larves arrivent désormais.



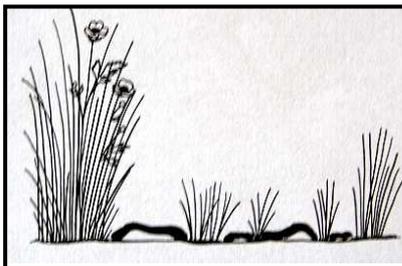
Phase 4 : La bouse s'assèche de plus en plus. Les Coléoptères effectuent l'essentiel du travail d'enfouissement.



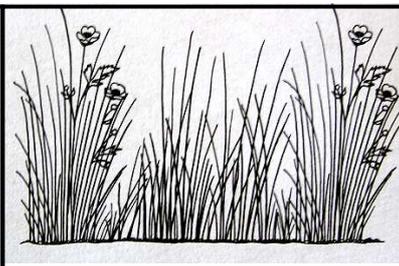
Phase 5 : La bouse est désormais sèche. La croûte épaisse se craquelle. L'intérieur poreux (constitué de restes de végétaux non digérés) est colonisé par la population édaphique sous-jacente, notamment par les vers de terre qui achèvent l'enfouissement.



Phase 6 : La bouse se craquelle et se morcelle. Des prédateurs (mammifères et oiseaux) viennent y chercher leurs proies.



Phase 7 : Les pluies détrempent les petits fragments qui se désagrègent rapidement ne laissant sur le sol qu'une mince couche spongieuse de débris végétaux.



Phase 8 : La bouse a disparu : seules des traces subsistent sur le sol. La végétation a repris ses droits...

4 UNE MENACE POUR CE FRAGILE ECOSYSTEME BOUSE : LES ENDECTOCIDES.

1.) Les dangers des résidus d'endectocides pour les invertébrés de la pédofaune.

Sortis sur le marché depuis le début des années 1980, les macrolides endectocides, produits de fermentation d'un Actinomycète du genre *Streptomyces*, représentent une large part du marché des traitements anti-parasitaires utilisés en santé animale pour lutter contre les parasites nématodes et arthropodes des animaux de rente, des animaux domestiques et parfois même de l'homme.

Ces produits, représentaient en 1993 un chiffre d'affaire de l'ordre de 1 milliard de dollar US et le laboratoire producteur estimait à 15 % la population de bovins et d'équins traitée avec ces lactones macrocycliques [1].

Soupçonnés depuis la mise sur le marché de ces macrolides, les effets nocifs des résidus de traitement contenus dans les déjections du bétail sur les invertébrés du sol, ont fait l'objet de nombreuses études et d'autant de polémiques... [38].

L'importante utilisation de ces endectocides résulte de leur très large spectre d'action (action autant sur les parasites externes que les parasites internes) essentiellement dû à leur mode d'action. En interrompant les neurotransmissions dépendantes de l'acide gamma-aminobutyrique (GABA), neurotransmetteur essentiel chez les invertébrés, les macrolides paralysent les parasites et les empêchent d'assurer leurs fonctions vitales (nutrition, respiration, reproduction ...) et leur fixation sur l'hôte.

L'impact environnemental de l'utilisation de ces molécules résulte de l'excrétion fécale sous forme inchangée, donc active, du macrolide et de sa grande rémanence. Certaines études ayant démontré que des insectes coprophages pouvaient être encore intoxiqués en consommant des bouses d'animaux traités quarante jours auparavant (ivermectine en pour-on) [1], [38].

Ces résidus contenus dans les selles peuvent avoir un effet nocif sur la pédofaune notamment les Diptères et Coléoptères coprophiles, la mésofaune édaphique, ainsi que les vers de terre et nématodes du sol. Leur élimination partielle, même pendant un laps de temps

court, peut conduire à plus que doubler le temps de disparition des bouses à la surface du sol [26].

Outre la source de biodiversité que représente le maintien de cette pédofaune coprophile et coprophage, son rôle majeur dans le nécessaire recyclage de la matière organique fait d'elle une organisation essentielle à conserver pour le bon fonctionnement de l'écosystème prairie.

Les différents effets des résidus d'endectocides sur la faune non-cible ont été le fruit de nombreuses études. Qu'ils soient létaux ou sub-létaux (effets sur le comportement alimentaire, sur l'osmorégulation, sur la reproduction, sur la métamorphose, malformations morphologiques...), les effets des traitements endectocides sur les invertébrés du sol, sont nombreux à avoir été démontrés et affectent toujours plus ou moins sensiblement la survie et la pérennité de ces espèces non-cibles.

La mortalité aiguë, surtout présente sur les larves d'insectes, rendrait les déjections bovines stériles pendant près de deux semaines après un traitement à base d'ivermectine (aux concentrations usuelles) et resterait significative pendant environ un mois. De plus, les nombreux effets sub-létaux, dont l'action se manifeste à des doses nettement moindres et donc sur des durées beaucoup plus longues, peuvent mettre en péril le cycle naturel de reproduction de nombreux invertébrés coprophages [1].

Beaucoup d'essais ont été effectués *in vitro* pour tester la toxicité des résidus de différentes lactones sur le développement des larves de Coléoptères et de Diptères. Les résultats suggèrent une grande hétérogénéité en fonction des différentes espèces testées et des différentes molécules utilisées. La toxicité sur les larves étant évidente (mortalité), les différences se font essentiellement sur les durées de toxicité (notion de rémanence) et les seuils de létalité (DL50). (cf. tableau 6 et 7) [38].

Résumé des principales études menées sur la toxicité des résidus de différentes lactones macrocycliques sur le développement et la survie de différents Coléoptères coprophages. [38]

(Tableau 6)

molécule	formulation	espèces	Mortalité des adultes	fécondité	Durée de toxicité létale sur les larves (en jours)	sources
ivermectine	Sous-cutanée	<i>Aphodius constans</i>	–	–	5-7	Kadiri et al . (1999)
		<i>Euoniticellus intermedius</i>	Non	Pas d'effet	7-14	Fincher (1992)
		<i>Onitis alexis</i>	–	Pas d'effet	7-14	Kruger and Scholtz (1997)
		<i>Onthophagus gazella</i>	Non	Pas d'effet	14-21	Fincher (1992)
	Pour-on	<i>Euoniticellus intermedius</i>	Non	Pas d'effet	7-14	Fincher (1996)
		<i>Onthophagus gazella</i>	Non	Pas d'effet	14-21	Fincher (1996)
	bolus	<i>Aphodius constans</i>	–	–	143	Errouissi et al. (2001)
		<i>Onthophagus sagittarius</i>	Oui	Baisse de fécondité	135	Wardhaugh et al. (2001)
moxidectine	orale	<i>Aphodius constans</i>	–	–	2-3	Kadiri et al . (1999)
	Sous-cutanée	<i>Euoniticellus intermedius</i>	Non	Pas d'effet	Pas de mortalité	Fincher and Wang (1992)
		<i>Onthophagus gazella</i>	Non	Pas d'effet	Pas de mortalité	Fincher and Wang (1992)

Tous les insectes ne sont pas touchés de la même façon par ces molécules. Les Coléoptères coprophages adultes semblent assez résistants. Par contre leur fécondité et le taux

d'émergence des adultes peuvent être diminués, tandis que la mortalité des imagos récemment émergés ainsi que celle des larves peut être assez élevée. Les larves de Diptères quand à elle semblent particulièrement affectées (forte létalité) par les résidus toxiques de ces endectocides. (cf. tableau 6)

Résumé des principales études menées sur la toxicité des résidus de différentes lactones macrocycliques sur la survie de larves de Diptères [38].

(Tableau 6)

molécule	formulation	espèces	Durée de toxicité létale sur les larves (en jours)	Source
ivermectine	Orale	<i>Neomyia cornicina</i>	7-9	Kadiri et al. (1999)
		<i>Musca vetustissima</i>	8-16	Wardhaugh and Mahon (1998)
	Sous-cutanée	<i>Musca vetustissima</i>	16-32	Sommer et al. (1992)
		<i>Musca autumnalis</i>	14	Kruger and Scholtz (1995)
		<i>Musca domestica</i>	7	STEEL.J.W and WARDHAUGH. K.G, 2002
	Pour-on	<i>Musca autumnalis</i>	14	Sommer et al. (1992)
		<i>Stomoxys calcitrans</i>	>7	Floate et al. (2001)
		<i>Musca domestica</i>	7-11	Floate et al. (2001)
		<i>Haematobia irritans</i>	14-42	Floate et al. (2001)
	Bolus	<i>Musca vetustissima</i>	100	Wardhaugh et al. (2001)

doramectine	Pour-on	<i>Haematobia irritans</i>	>28	Floate et al. (2001)
		<i>Musca domestica</i>	>28	Floate et al. (2001)
moxidectine	Sous-cutanée	<i>Musca vetustissima</i>	0	Wardhaugh et al. (2001)
		<i>Musca domestica</i>	0	Wardhaugh et al. (2001)
		<i>Haematobia irritans</i>	28	Miller et al. (1994)
		<i>Neomyia cornicina</i>	10-16	Kadiri et al. (1999)
	Pour-on	<i>Haematobia irritans</i>	7	Floate et al. (2001)
		<i>Musca domestica</i>	0	Floate et al. (2001)
<i>Stomoxys calcitrans</i>		0	Floate et al. (2001)	

Une étude récente menée avec l'aide du ministère de l'environnement a montré que plus de 100 jours après un traitement par bolus d'ivermectine, le bétail rejetait des bouses dont l'effet toxique sur les insectes était encore significatif. (cf. tableau 5 et 6).

Les résultats des études conduites sur les Lombriciens sont plus contrastées, et même contradictoires. Cependant il semblerait que la croissance ainsi que la production de cocons soient diminuées sous l'action de ces résidus [26].

Il semble sensé de dire que les effets des résidus sur la pédofaune du sol dépendent d'un grand nombre de facteurs qu'il ne faut pas omettre, pour étudier les véritables impacts écologiques.

Le climat (humidité, température, lessivage), la molécule utilisée, la dose, le nombre d'animaux traités sont autant de facteurs qui conditionnent les effets de ces endectocides. De plus, les différents types de contact des invertébrés du sol avec ces résidus conditionnent grandement leur conséquence sur cette pédofaune. Les larves qui se nourrissent

exclusivement au cours du début de leur développement de matière fécale, ont un contact très étroit avec ces résidus, alors que les Diptères adultes par exemple n'ont souvent qu'un faible contact avec les bouses qui ne servent que de lieu de ponte. Le même raisonnement est applicable aux coléoptères et à tous les organismes de la pédofaune coprophile.

Les différentes résistances interspécifiques de cette microfaune sont à prendre en compte car tous les invertébrés n'ont pas la même sensibilité face aux différents résidus.

2.) L'exposition de la pédofaune aux différents résidus d'endectocides dans les conditions naturelles.

Quelle que soient les voies d'administration, sous-cutanée, intra-musculaire ou en pour-on sans oublier en bolus intra-ruminal, la métabolisation de ces lactones macrocycliques est peu destructurante, puisque la majorité des rejets se fait sous forme active. L'excrétion quasi exclusivement hépato-biliaire est responsable de la concentration des résidus actifs dans les matières fécales.

Même si la comparaison entre la voie injectable et l'administration en pour-on indique une courbe de concentration plasmatique assez similaire il n'en est pas de même pour le bolus intra-ruminal.

Conçu spécifiquement pour prévenir l'infestation parasitaire des bovins durant la saison de pâturage, le bolus intra-ruminal est une formulation galénique se maintenant dans le rumen et délivrant, soit de façon constante soit de façon séquentielle, une dose quasi constante d'anti-parasitaire dans le tractus digestif des bovins, ceci pendant environ 3 mois. Non métabolisée dans le rumen et faiblement absorbé par l'intestin, l'ivermectine ainsi libérée, sera excrétée en grande proportion dans les matières fécales pendant près de 130 jours.

La pharmacocinétique varie selon le macrolide utilisé. La différence de rémanence des molécules aura donc un effet sur la durée d'excrétion dans les bouses. Plus la molécule sera lipophile, plus elle sera stockée dans les graisses, plus son volume de distribution sera important et plus elle aura une excrétion lente, responsable d'une persistance plasmatique plus longue.

Par rapport à l'ivermectine, molécule commerciale mère en quelque sorte, la doramectine (famille des avermectines) et plus encore la moxidectine (famille des

milbémécines), molécules à caractère plus lipophile, ont une excrétion plus lente, responsable d'une excrétion fécale plus longue.

Mais une fois excrétés, quel est alors le devenir de ces résidus dans l'environnement ?

Le caractère fortement lipophile des lactones macrocycliques est responsable d'une importante adsorption aux constituants du sol et notamment à la matière organique située en surface. La première conséquence de cette forte adsorption aux composants superficiels du sol est le faible entraînement des molécules par l'eau de ruissellement et de percolation. Les molécules ont tendance à rester en surface, ce qui entraîne une forte dégradation par métabolisme aérobie ou par photodégradation.

L'exposition aux rayons ultra-violetts d'une part, mais aussi l'homogénéisation, l'aération, la température et la richesse du sol en matière organique d'autre part, paramètres qui influencent positivement le métabolisme aérobie, sont des facteurs qui accélèrent nettement la dégradation des molécules contenues dans le sol (les valeurs des DT50 sol, calculées par différents auteurs le plus souvent pour des saisons estivales, s'échelonnent entre 2 et 38 semaines pour les ivermectines) [1].

Il n'en est cependant pas de même pour les résidus d'endectocides contenus dans les bouses. L'ensemble des études menées sur le devenir des résidus dans les matières fécales semble dégager que la disparition progressive des résidus dans les bouses est due essentiellement au fait d'éviter l'encroûtement prématuré de la bouse par dessiccation. Cette dernière faisant de la bouse une véritable forteresse imprenable ensuite, tant par les facteurs physiques que par les facteurs biologiques. Cette action destructurante, qui doit être précoce, peut être le fait de facteurs mécaniques (piétinement, action mécanique de fortes pluies...) ou de facteurs biologiques (rôles joués par les invertébrés du sol).

La vitesse de dégradation de ces résidus dans les bouses est donc sous la dépendance de nombreux facteurs, responsables de grandes variations selon la région et la saison, facteurs influant tant sur le climat que sur la fréquentation biologique.

Sous des climats ou dans des situations où l'action destructurante sur les bouses ne peut être effectuée par des facteurs mécaniques, le rôle en incombe aux invertébrés coprophages constituants de la pédofaune c'est-à-dire essentiellement insectes Diptères et Coléoptères mais aussi vers de terre et Nématodes du sol. Etant donné leur rôle majeur dans les processus de disparition directe des déjections du bétail, mais aussi indirectement des résidus d'endectocides par la précocité de leur action mécanique (dilacération, aération et enfouissement des bouses), les bouses qui ne seront pas colonisées par ces animaux vont

rester intactes, durcir, devenir imperméables et ralentir d'autant la dégradation des résidus d'endectocides. Or, ces invertébrés coprophages doivent agir précocement après l'émission de la bouse au moment où la concentration en résidus d'antiparasitaire est la plus forte. Ainsi, dans le cas où les doses excrétées par les bovins sont dans l'intervalle actif sur ces invertébrés coprophages, les bouses ne seront pas colonisées.

Pour résumer, malgré la fragilité apparente des molécules d'endectocides (maintien à la surface du sol, forte dégradation à la lumière...), les bouses apparaissent comme de véritables forteresses pour ces résidus. Les concentrations au sein de celles-ci ne diminuent que très lentement au pâturage. Dès lors, la fragmentation des bouses, du fait des facteurs biotiques ou abiotiques, apparaît comme essentielle dans la disparition rapide des résidus de traitements anti-parasitaires. C'est un peu l'histoire du serpent qui se mord la queue : la présence de résidus actifs en quantité dans les bouses induit une non colonisation des bouses par les invertébrés coprophages (effets létaux ou sub-létaux), cette non colonisation entraîne une non-dégradation des résidus et donc un maintien de leur concentration au sein de la bouse empêchant sa colonisation par la faune coprophage etc....

L'évaluation de l'exposition réelle de la faune coprophage aux résidus des traitements anti-parasitaires, passe aussi par une estimation des volumes de bouses contenant des résidus dépendants de la quantité de bétail traité. Ainsi interviennent les différentes conduites d'élevage. Pour des jeunes animaux par exemple, plus sensibles aux infestations parasitaires du fait de leur faible immunité digestive, et dont l'espérance de vie économique impose un GMQ important qui serait largement diminué par une infestation parasitaire, un traitement rémanent semble bien approprié pendant la saison de pâture alors que pour des adultes ayant déjà été sensibilisés aux parasites « autochtones » le traitement est plus au cas par cas, quand le parasitisme est la cause de pathologie ou de retard de croissance.

De plus, il est important de se poser la question de l'attractivité ou de la répulsion des bouses «toxiques» vis-à-vis des insectes coprophages. Les différentes études menées sont peu concluantes et souvent contradictoires, mais il semblerait qu'en moyenne les invertébrés de la pédofaune ne distinguent pas les bouses contenant des résidus d'endectocides des bouses issues d'animaux non traités [1]. Cependant certains auteurs démontrent, quant à eux, que certains insectes seraient nettement attirés par les bouses «toxiques» au moment où elles sont les plus nocives [26].

L'analyse des effets de ces résidus sur l'écosystème bouse et sur l'écosystème prairie est donc la résultante de la dangerosité du polluant face au degré d'exposition à celui-ci.

L'impact environnemental de ces traitements, du fait que ces résidus sont concentrés et «capturés» dans les bouses (lipophilie) dépend de l'impact toxique sur la colonisation et sur la dégradation de ces déjections.

Dans la totalité des études portant sur les effets de ces résidus sur la colonisation des déjections, les bouses fraîches, issues des différents lots d'animaux, sont immédiatement collectées pour homogénéiser leur densité, reconstituées toutes identiques et replacées dans les conditions naturelles à l'extérieur. Après un temps variable, passé en conditions naturelles, les bouses sont ramassées et les différents invertébrés sont ensuite extraits, identifiés (genres, espèces, stades de développement) et comptabilisés.

Les effets des résidus d'endectocides sur les insectes coprophages et coprophiles adultes (essentiellement Diptères et Coléoptères) semblent inexistant, du moins sur leur éventuelle létalité, ce qui n'est pas forcément le cas pour leur reproductivité. En revanche, il n'en est pas de même sur les larves de Diptères et de Coléoptères (cf. tableaux 6 et 7) [38].

Les résidus de ces macrolides entraînent une forte toxicité létale sur les larves de Diptères coprophages, premier chaînon considéré comme essentiel dans la colonisation naturelle des bouses, prémice à leur minéralisation. De même, les bouses, émises autour du moment où la concentration plasmatique en macrolide se situe dans l'intervalle thérapeutique, contiennent suffisamment de résidus pour entraîner la mort des larves de Coléoptères fortement exposés de par l'importante matière organique stercorale qu'ils ingèrent au cours de leur développement.

Concernant les nématodes du sol, la fréquentation des bouses est significativement inférieure dans les bouses issues d'animaux traités [19] ou sans différence significative [3], [41]. La plupart des expériences menées sur le sujet tendant quand même à dire que la différence est peu voire pas significative.

On peut donc conclure que l'effet léthal ou sublétal des résidus sur les larves de Diptères et de Coléoptères (principaux acteurs de la dégradation des bouses avec les nématodes du sol) conduit, sous des climats où l'action de ces invertébrés est primordiale, à un retard dans la dégradation des bouses (dilacération, aération, enfouissement...) et à la formation rapide d'une croûte empêchant de nouvelles colonisations. C'est alors le cycle de reproduction de nombreux insectes qui est interrompu au niveau de l'écosystème [1].

Mis à part les dangers que représentent l'utilisation de ces anti-parasitaires pour les invertébrés de la pédofaune (dont la vie ou le cycle de reproduction sont très inféodés aux matières stercorales et qui peuvent conduire de la raréfaction jusqu'à la disparition de certaines espèces coprophages déjà rares ou ultra-spécialisées), la présence de résidus dans les matières fécales peut avoir des répercussions sur l'ensemble de l'écosystème.

Même si les vertébrés sont réputés peu sensibles aux endectocides (protection de la barrière méningée face aux grosses molécules comme ces lactones macrocycliques qui ne peuvent alors atteindre les synapses à neurotransmetteur gamma qui se situent uniquement dans le système nerveux central), certaines espèces, fortes consommatrices d'insectes coprophiles, peuvent être fragilisées. Les Coléoptères et les Diptères des bouses notamment, participent à la nourriture de nombreux oiseaux sous nos latitudes (rapaces, pie grièche, huppe fasciée, étourneau, sansonnet, corbeau freux, choucas des tours, crave à bec rouge, vanneau huppé ...). De même, certaines espèces de mammifères (chauves-souris, hérisson, musaraigne, blaireau...) nécessitent à certaines périodes de leur cycle des quantités importantes de Coléoptères qui représentent une importante part de leur alimentation.

Ainsi il existe un danger non-négligeable quant à l'utilisation des ces anti-parasitaires vis-à-vis des espèces à régime alimentaire insectivore [1].

Un autre aspect est à envisager dans les conséquences possibles d'utilisation d'endectocides sur le bétail et concernant la prolifération de certaines espèces parfois nuisibles. Sous la demande d'une agriculture fortement handicapée par la présence de mouches coprophiles proliférant en grand nombre dans certaines régions notamment en Australie, de nombreux chercheurs ont étudié les interactions animales au sein des matières fécales. Très rapidement, la dégradation rapide des bouses par les coléoptères est apparue comme le meilleur contrôle de la population de mouche (en particulier *Musca vetustissima*, *Haematobia irritans*).

Ainsi, en Australie, la vitesse de colonisation des bouses par le Coléoptère fouisseur *Onthophagus gazella* est le facteur essentiel de contrôle de l'émergence des mouches (*Musca vetustissima*). Si la moitié de la bouse est enfouie dans les 24 premières heures suivant le dépôt, seules quelques mouches adultes émergeront. Si la dégradation est plus rapide, l'émergence des Diptères est réduite à zéro.

De même, l'effet létal des résidus d'endectocides sur les larves de Diptères et de coléoptères, décomposeurs de la masse stercorale, entraîne une diminution du nombre

d'adultes émergents. Or certains Diptères ou Coléoptères adultes, non nuisibles pour l'agriculture ou le bétail jouent un rôle important dans l'écosystème (en tant que prédateurs, d'espèces nuisibles). Les conséquences de la raréfaction des adultes sont à déterminer et à envisager ! [1].

Aux Etats-Unis, des espèces étrangères de Coléoptères coprophages ont été importées pour contrôler la population de mouches dont les larves se développaient dans les bouses des bovidés. La compétition entre les Coléoptères et les Diptères coprophages permettait un équilibre stable, régulant les populations de mouches coprophiles qui pondaient dans les bouses. Que ce soit une compétition vis-à-vis de la nourriture fécale, ou tout simplement une destruction mécanique des œufs et des larves de mouches due à l'action des Coléoptères, l'équilibre permettait un contrôle de la population de mouches.

Plus d'un billion de bouses de vaches sont émises chaque jour aux Etats-Unis et quelques millions de ces bouses restent à la surface du sol pendant plusieurs mois parce que les insectes coprophages autochtones n'arrivent pas à les dégrader et à les enfouir.

L'intensification de l'élevage aux Etats-Unis, et les méthodes zootechniques de conduite des troupeaux ont conduit à une disproportion des Coléoptères coprophages dont la population n'a pas augmenté proportionnellement à l'accroissement du nombre de têtes de bétail. L'utilisation importante d'insecticides, de fongicides ou d'anti-helminthiques systémiques en sont peut être la cause [14].

Le nombre de mouches nuisibles pour l'élevage notamment *Haematobia irritans*, parasite hématophage et *Musca autumnalis*, qui se nourrit des sécrétions muqueuses essentiellement autour des yeux des bovins, a augmenté de façon inquiétante créant des pertes de production importantes au niveau de l'élevage.

Ces pertes annuelles concernant uniquement ces deux parasites sont estimées à plus de 780 millions de dollars.

En réaction, le gouvernement a lancé des plans d'introduction de Coléoptères coprophages exotiques afin d'augmenter la vitesse de dégradation et d'enfouissement des excréments au sol pour lutter contre cette prolifération de mouches nuisibles [14].

Diminuant ainsi le nombre d'œufs et de larves de mouches dans les bouses par leurs actions (brassage, dilacération, enfouissement...), l'implantation d'espèces exotiques de Coléoptères, suite à diverses interventions de stérilisations et répondant à des normes précises (pays de provenances, statut épidémiologique quant à diverses maladies...), représente une stratégie efficace de contrôle de la prolifération des mouches du bétail se reproduisant à partir

des bouses de bovidés, et permet aussi une lutte efficace contre les parasites gastro-intestinaux dont les œufs ou les larves se développent dans les matières fécales [12].

Ainsi, tout écosystème est un équilibre complexe et fragile, au sein duquel la disparition d'une seule espèce assurant souvent une fonction bien précise peut avoir des conséquences insoupçonnées. L'écosystème prairial, développé grâce aux fèces, n'échappe pas à cette règle.

Il faut cependant ménager les conclusions trop hâtives et pour ne pas faire du politiquement correct, s'attarder et s'attacher aux différents angles de vue. Il n'est certes plus à démontrer que ces lactones macrocycliques ont une toxicité réelle sur la pédofaune et notamment sur les invertébrés coprophiles « spécialisés », mais, en globalisant notre regard sur l'ensemble d'une prairie pâturée et en intégrant les données actuelles sur les conduites d'élevage, le point de vue doit être pondéré. L'utilisation massive de ces endectocides conduirait en effet, à une baisse notable et significative du taux d'occupation des bouses (et alors à une nette diminution de leur vitesse de réintégration au sol), à un risque de disparition d'espèces coprophiles très spécialisées et aussi, à un danger indirect pour les animaux qui se nourrissent en grande partie de ces invertébrés présents dans les bouses. Cependant actuellement rien ne permet de dire que nous risquons, en maintenant les conduites d'élevage pratiquées jusqu'à ce jour, une catastrophe écologique. En effet, l'utilisation de ces molécules est en majeure partie réservée à une certaine catégorie de bovins (jeunes essentiellement); tout le cheptel n'étant généralement pas traité, un grand nombre de bouses permettent ainsi le développement, la régénération et donc le maintien de nos insectes coprophages [38].

La conclusion est donc nuancée et une utilisation raisonnée de ces molécules ainsi qu'une prise de conscience des éventuels dangers permettrait de minimiser les risques et d'éviter d'éventuels dommages irréversibles.

CONCLUSION

Le rôle ou l'importance de la bouse de vache, aussi bien d'un point de vue historique dans le quotidien de nos ancêtres que d'un point de vue écologique, dans sa participation à l'écosystème prairie, est peu connu. Comme combustible, matériau de construction, isolant, engrais ou même comme remède médicinal ou élément de magie, la bouse faisait partie intégrante du quotidien de nombreux de nos ancêtres. Mis à part ses quelques utilisations relatées et les nombreux oublis, faute de littérature, sur toutes ses fins, la bouse est un pôle capital dans l'écosystème prairie. Composée de matière organique, elle est une étape dans le flux de l'énergie. Sa dégradation et sa transformation apparaissent obligatoires sans lesquelles une quantité colossale d'énergie serait perdue au sein de cet écosystème, rendant son fonctionnement impossible. La non dégradation et donc la persistance des bouses au sol entraîne en effet : une immobilisation de cette matière organique non recyclée, une occupation d'une certaine surface au sol pouvant à long terme entraîner une dégradation importante des pâturages (écrasement et l'élimination des herbacées, persistance d'œufs et de larves de parasites des bovidés qui ne sont pas détruits par les insectes (Coléoptères en particulier) qui les brassent et les enfouissent).

La bouse, qualifiée à tort de « microécosystème » puisqu'elle ne représente en fait qu'une étape, un point de stagnation dans le cycle des bioéléments, est un véritable théâtre biologique où des acteurs spécialisés (Diptères et Coléoptères) avec la pédofaune sous-jacente contribuent à sa minéralisation et à son retour dans le cycle des éléments. Cette biocénose évolutive où pullulent une innombrable quantité d'organismes nous impose une grande humilité. Sans les Coléoptères et les Diptères, ces discrets éboueurs, ces vers de terre qualifiés par Aristote d'intestins de la terre et sur lesquels Darwin a publié un ouvrage en 1881 (*The formation of Vegetable Mould through the Action of Worms, with Observations of their Habits*), et tous ces invertébrés qui grouillent sous nos pieds, la vie, nos vies seraient impossibles.

La prochaine fois que vous mettrez un pied dans une bouse, plutôt que de vous en désoler, repenser à ce spectacle merveilleux qui foisonne sous vos pieds et à l'importance capitale de la bouse et de sa faune dans le maintien de ce paysage même dans lequel vous êtes venus vous promener.

Et, si vous veniez à vous demander pourquoi un tel sujet, peut-être que cette « comptine », qui me revient en mémoire, apprise comme un jeu d'enfant, en est l'inconsciente cause :

« La vache a deux sous-produits, le lait et la bouse ; si c'est le lait, aucun intérêt, mais si c'est la bouse ça peut se présenter sous deux formes ; si elle est fraîche ou si elle est sèche, si elle est sèche aucun intérêt, mais si elle est fraîche ça peut se présenter sous deux formes ; si quelqu'un passe ou si quelqu'un ne passe pas, si quelqu'un ne passe pas, aucun intérêt, mais si quelqu'un passe ça peut se présenter sous deux formes ; s'il marche dedans ou s'il n'y marche pas, s'il n'y marche pas, aucun intérêt, mais s'il marche dedans ça peut se présenter sous deux formes ; s'il est poli ou s'il est impoli, s'il est poli, aucun intérêt mais s'il est impoli il s'écrit : la vache!!! ... a deux sous produits le lait et la bouse... »

Bibliographie

- 1 BARBUT.B, Impact environnemental des endectocides sur la pédofaune, thèse vétérinaire, ENVT, 2002
- 2 BARTH.D, Importance of methodology in the interpretation of factors affecting degradation of dung, *Veterinary parasitology*, 48 :99-108, 1993
- 3 BARTH.D, HEINZE-MUTZ.E.M, LANGHOLFF.W.K, RONCALLI.R, SCHLUTER.D, Colonization and degradation of dung pats after subcutaneous treatment of cattle ivermectin or levamisole, 1994
- 4 BORNEMISSZA.G.F, WILLIAMS .C.H, An effect of dung beetle activity on plant yield, *Pedobiologia*, 1970
- 5 BREYMEYER.A, The role of coprophagous beetles (coleopterae, scarabaeidae) in the utilization of sheep dung, *Ekologia polska*, 22 :3/4, 617-634, 1974
- 6 BREYMEYER.A, Influence of coprophagous arthropods on microorganisms in sheep feces, *Bulletin de l'académie polonaise des sciences*, 1975
- 7 BRYAN.R.P, The effects of dung beetle activity on the numbers of parasitic gastrointestinal helminth larvae recovered from pasture samples, 1972
- 8 CAMBEFORT Y, Des scarabées et des hommes : écologie et stratégies évolutives des Scarabéides coprophages, *insectes n°80*, 1991
- 9 CAMBEFORT.Y, Rôle des coléoptères Scarabaeidae dans l'enfouissement des excréments en savane guinéenne de Côte-d'Ivoire, *Acta oecologica*, 1986.
- 10 DESIERE.M, Ecologie des coléoptères coprophiles en prairie permanente pâturée, *bulletin écologique*, 1983
- 11 DUCHAUFOR.P, Introduction à la science du sol, 2000
- 12 FINCHER.G.T, Importation, colonization, and release of dung-burying Scarabs
- 13 FINCHER.G.T, effects of dung beetle activity on the number of nematode parasites acquired by grazing cattle, *the journal of parasitology*, vol 61, n°4, 759-762, 1975
- 14 FINCHER.G.T, The potential value of dung beetles in pasture ecosystems, 1981
- 15 GALANTE.E, MENA.J, LUMBRERAS.C, Dung beetles (coleoptera : scarabaeidae, geotrupidae) attracted to fresh cattle dung in wooded and open pasture, 1995
- 16 GANDILHON René, La bouse de vache, étude d'ethnologie, 1978

- 17 GITTINGS.T, GILLER.P.S, STAKELUM.G, Dung decomposition in contrasting temperate pastures in relation to dung beetle and earthworm activity, *Pedobiologia* 38, 455-474, 1994
- 18 GOBAT.J.M, le sol vivant, 2^{ème}ed, presses polytechniques et universitaires romandes, 2003
- 19 GUNN.A, SADD.J.W, The effect of ivermectin on the survival behaviour and cocoon production of the earthworm *Eisenia fetida*, *pedobiologia* 38, 327-333, 1994.
- 20 HERRICK.J.E, LAL.R, Soil physical property changes during decomposition in a tropical pasture, *Soil sciences society of america journal*, v 59, n°3, may-june, 1995
- 21 HIRSCHBERGER.P , BAUER.T, Influence of earthworms on the disappearance of sheep dung, *Pedobiologia* 38, 475-480, 1994
- 22 HUGHES.R.D, Introduced dung beetles and australian pasture ecosystems, 1975
- 23 LANCON.J, Les restitutions du bétail au pâturage et leurs effets, *fourrages* n°75, 1978
- 24 LEMERY.N, pharmacopée universelle, 1697.
- 25 LEMOINE Françoise, La bouse de vache : folklore et traditions, thèse vétérinaire, ENVV, 1998.
- 26 LUMARET, Impact des produits vétérinaires sur les insectes coprophages : conséquences sur la dégradation des excréments dans les pâturages
- 27 LUMARET.J.P, BERTRAND.M, KADIRI.N, BLANC.P, Utilisation des déjections animales par la faune édaphique en région méditerranéenne, 1989
- 28 LUMARET.J.P , Analyse des communautés de scarabéidés coprophages dans la maquis corse et étude de leur rôle dans l'utilisation des excréments, *Ecologia mediterranea*, 1980
- 29 LUMARET.J.P, BERTRAND.M, L'effet reposoir sur les arthropodes édaphiques conséquence d'une accumulation excessive d'excréments dans les zones pâturées, *bulletin écologique*, 1985
- 30 LUMARET.J.P, Les échelles de temps et d'espace dans l'analyse des conditions d'enfouissement de la matière organique par les insectes coprophages en région méditerranéenne
- 31 LUMARET.J.P, Sécheresse et stratégies comportementales chez les scarabéides coprophages, *bulletin écologique*, 1989
- 32 LUSSENHOP.J, Insect effects on bacteria and fungi in cattle dung, *Oikos*, 34 :54-58, 1980
- 33 MATHIEU R, Campbell, 3^{ème}ed, De Boeck université, édition du renouveau pédagogique, 1995.

- 34 MIDI LIBRE, édition du 6 juillet 1988
- 35 OLECHOWICZ.E, the role of coprophagous dipterans in a mountain pasture ecosystem, *Ekologia polska*, 24 :2, 125-165, 1976
- 36 ROUGON.D, ROUGON.C, TRICHET.J, LEVIEUX.J, Enrichissement en matière organique d'un sol sahélien au Niger par les insectes coprophages (Coleoptera, Scarabaeidae). Implications agronomiques, 1988
- 37 SKIDMORE.P, *Insects of the cow dung community*, 1991.
- 38 STEEL.J.W and WARDHAUGH.K.G, Ecological Impact of Macrocyclic Lactones on Dung Fauna, VERCRUYSSSE.J and REW.R.S, *Macrocyclic Lactones in Antiparasitic Therapy*, chapter 4, 2002
- 39 STEVENSON.BUCE.G and DINDAL.DANIEL.L, Functional ecology of coprophagous insects : a review, *Pedobiologia*, 30, 285-298, 1987
- 40 STEVENSON.BRUCE.G and DINDAL.DANIEL.L, Insect effects on decomposition of cow dung in microcosms, *Pedobiologia*, 30, 81-92, 1987
- 41 SVENDSEN.T.S, SOMMER.C, HOLTER.P, GRONVOLD.J, Survival and growth of *Lumbricus terrestris* fed on dung from cattle given sustained-release boluses of ivermectin or fenbendazole, *European journal of soil biology*, 2002.
- 42 TISSANDIER Cyrille, *La symbolique de la vache à travers l'art et la mythologie dans les temps préhistoriques et les civilisations antiques de méditerranée, d'Egypte et d'inde*, 1999
- 43 WATERHOUSE, *The biological control of dung*
- 44 YOKOYAMA.K, KAI.H, KOGA.T, KAWAGUCHI.S, *Soil sciences plant nutrition*, 37(2), 341-345, 1991

Résumé :

La bouse. Quel intérêt ? Et pourtant !...

Largement utilisée dans le monde entier, et encore il y a quelques années dans notre pays, la bouse faisait partie intégrante du quotidien de nos ancêtres (chauffage, construction, agriculture, médecine, magie...).

Elle représente, par ailleurs, un maillon capital dans la chaîne de recyclage des écosystèmes pâturés en tant que restitution des consommateurs primaires.

Ce maillon a pour clés une faune coprophile spécialisée (essentiellement représentée par des Coléoptères et des Diptères), ainsi que la pédofaune autochtone permettant la réincorporation au sol de cette matière organique et par voie de conséquence l'eutrophisation du milieu.

Cependant, les derniers endectocides mis sur le marché (lactones macrocycliques) sont à l'origine dans les bouses de résidus toxiques pour cette faune coprophile, et menacent cette fragile dynamique « bousière » indispensable au bon fonctionnement de l'écosystème prairie.

MOTS-CLES : BOUSE, BOVIN, BOUSIER, VACHE

Abstract :

The dung. Which interest ? And yet !...

Largely used in the whole world, and still a few years ago in our country, the dung formed an integral part of our ancestors' everyday life (heating, building, agriculture, medicine, magic...)

In addition, it represents an essential link in the recycling chain of grazed ecosystems as a restitution of primary consumers.

Key components of this link are the specialized coprophile fauna (primarily dung beetles and dipterous), as well as the indigenous pedofauna allowing the reincorporation of this organic matter in the ground and thus favouring soil eutrophication.

However, the most recent endectocides put on the market (macrocyclic lactones) produce in the dung toxic residues for this coprophile fauna, and threaten this fragile « dung » dynamic required for the correct operation of grazed ecosystems.

KEYWORDS : DUNG, BOVINE, DUNG-BEETLE, COW

