

**Études de différents facteurs
affectant la composition des fumiers
de bovins de boucherie entreposés
en andains au champ**

Rapport final

Réalisé par

Marcel Giroux, IRDA, Sainte-Foy

Rodrigue Grégoire, IRDA, Deschambault

Partenaires

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRD)

Fédération des producteurs de bovins de boucherie

Septembre 2000

Liste des tableaux	3
Liste des figures	4
Résumé	5
Introduction - Problématique et objectifs	7
VOLET 1 - Influence des régimes alimentaires	
Méthodologie.....	10
Résultats	15
Conclusion	26
VOLET 2 - Effet de l'âge des animaux	
Méthodologie	27
Résultats	28
Conclusion	34
VOLET 3 - Effet de la durée d'entreposage en andains au champ	
Méthodologie.....	35
Résultats	36
Conclusion	42
VOLET 4 - Couverture des andains et bilan de récupération des éléments nutritifs	
Méthodologie.....	43
Résultats	44
Conclusion	53
VOLET 5 - Effet de la proportion de bran de scie	
Méthodologie.....	54
Résultats	56
Conclusion	62
Remerciements	63
Bibliographie.....	64
Annexe 1	65

LISTE DES TABLEAUX

VOLET 1	1.1	Ingédients et proportion (%) des intrants dans la composition des régimes de croissance et de finition.....	11
	1.2	Composition chimique des ingrédients entrant dans la composition des régimes alimentaires (base de matière sèche)	11
	1.3	Composition chimique des régimes de croissance et de finition des différents traitements	12
	1.4	Résumé de la performance des bouvillons	13
	1.5	Quantité d'aliments et d'éléments nutritifs ingérés pendant la durée de l'essai (croissance et finition) en fonction des régimes alimentaires.....	14
	1.6	Analyse de variance de l'effet des régimes alimentaires et de l'âge des animaux sur la composition des fumiers de bovins de boucherie	16
	1.7	Effets des régimes alimentaires sur la composition des fumiers de bovins de boucherie.....	16
	1.8	Quantité de fumier produit par les bovins de boucherie selon les régimes alimentaires	20
	1.9	Quantité d'éléments nutritifs excrétés par les bovins de boucherie selon les régimes alimentaires	20
VOLET 2	2.1	Effet de l'âge des animaux sur la composition des fumiers de bovins de boucherie	29
VOLET 3	3.1	Analyse de variance de l'effet de la durée d'entreposage en andains et des régimes alimentaires sur la composition des fumiers de bovins de boucherie....	38
	3.2	Effet de la durée d'entreposage en andains sur la composition des fumiers de bovins de boucherie.....	38
VOLET 4	4.1	Analyse de variance de l'effet de la couverture des andains par une toile géotextile sur la composition des fumiers de bovins de boucherie après une période d'entreposage en andains de 26 semaines	45
	4.2	Évolution de la composition des fumiers de bovins de boucherie en fonction de la période d'entreposage et de la couverture des andains	45
	4.3	Récupération des éléments nutritifs à la fin de la période d'entreposage des fumiers en andains couverts et non couverts	46

4.4	Teneur en éléments nutritifs dans les sols sous les andains avant et après la période d'entreposage au champ de fumier de bovins de boucherie	46
VOLET 5	5.1 Résultat de la modélisation de la composition chimique des fumiers de bovins de boucherie selon diverses proportions de bran de scie et de fèces + urine.....	57
	5.2 Valeur théorique et mesurée des fumiers de bovins de boucherie correspondant à diverses proportions de bran de scie et de fèces + urine	61

LISTE DES FIGURES

VOLET 1	1.1 Effet des régimes alimentaires sur la composition des fumiers de bovins de boucherie.....	17
	1.2 Proportion des éléments nutritifs excrétés selon les régimes alimentaires	23
VOLET 2	2.1 Effet de l'âge des bovins de boucherie sur la composition des fumiers	31
VOLET 3	3.1 Effet de la période d'entreposage sur la composition des fumiers de bovins de boucherie.....	39
VOLET 4	4.1 a et b Évolution de la composition des fumiers de boucherie en fonction de la période d'entreposage et de la couverture des andains	47-49
	4.2 Récupération des éléments nutritifs dans les andains couverts et non couverts	49
VOLET 5	5.1 Effet de la proportion de bran de scie dans les fumiers de bovins de boucherie sur leur composition chimique	59

- RÉSUMÉ -

Les régimes alimentaires ont beaucoup d'effet sur la teneur en éléments nutritifs des fumiers. La supplémentation protéique et/ou l'addition d'urée (régimes B, D et F) accroissent de façon importante la teneur en N total et ammoniacal des fumiers. Les régimes A et B, renfermant du gros gluten de maïs, produisent également des fumiers plus riches en N, P, K et Mg. À l'opposé, les régimes C et G, avec drèche de distillerie ou de brasserie sans supplément protéique, montrent les plus faibles teneurs en éléments nutritifs. La quantité d'aliments ingérés, la concentration des régimes et l'assimilabilité des éléments sont les trois facteurs qui peuvent expliquer ces différences. Le régime G, avec drèche de brasserie, a produit le fumier le moins dense et le moins humide. À l'inverse, le régime F, avec supplément protéique et urée, a produit le plus dense et le plus humide. Les quantités d'éléments nutritifs rejetés sont directement reliées à celles ingérées et dépendent des régimes alimentaires. En moyenne 49,36 % N, 76,66 % P, 86,20 % K, 71,82 % Ca et 78,54 % Mg ingérés sont excrétés dans les fumiers, avec des variations importantes entre les régimes.

De manière générale, la concentration en éléments nutritifs des fumiers s'accroît avec l'âge des animaux pendant la période de croissance (A_1 , A_2 et A_3). Pendant la période de finition (A_4), les concentrations se stabilisent ou sont légèrement réduites par rapport à A_3 . L'âge des animaux est donc un facteur très important pour expliquer la variabilité de la valeur fertilisante des fumiers de bovins de boucherie. Les animaux les plus jeunes absorbent moins d'aliments, les assimilent mieux et ont un taux de croissance élevé. La concentration des éléments nutritifs dans les fumiers est alors plus faible. La quantité de fèces + urine excrétée s'accroît avec l'âge des animaux. Comme la quantité de bran de scie est demeurée fixe à 4 kg de bran de scie (base sèche) par animal par jour, ceci explique l'accroissement de la teneur en éléments nutritifs avec l'âge des animaux. En période de finition A_4 , les régimes sont plus riches en grains et moins riches en protéine de sorte que les rejets d'éléments nutritifs se stabilisent ou diminuent pour cette période. La densité des fumiers n'a pas été affectée par l'âge des animaux, mais leur teneur en eau l'a été.

La teneur en éléments nutritifs s'accroît proportionnellement avec la durée d'entreposage en andains. L'activité biologique réduit progressivement la masse des andains, ce qui concentre les éléments. Le carbone subit l'effet inverse. L'activité biologique produit du CO₂ et accroît les cendres, ce qui diminue la teneur en C des fumiers selon la durée d'entreposage. Les plus forts changements surviennent pendant la période estivale, au moment où les températures sont plus élevées. Le rapport C/N des fumiers diminue également avec la période d'entreposage. La densité des fumiers

demeure stable pendant la durée de l'entreposage. Par contre, la teneur en eau s'accroît, même si les andains étaient couverts d'une toile géotextile semi-perméable.

La récupération des éléments nutritifs est plus élevée dans les andains couverts que non couverts. Dans les andains couverts, elle dépasse généralement 80 % alors qu'elle varie de 60 à 80 % dans les andains non couverts. Même si le bran de scie est un des meilleurs absorbants disponibles, il ne peut assurer la totale rétention des éléments. Il semble que d'autres mesures devraient être prises pour compléter son action et limiter encore davantage le lessivage des éléments. La couverture des andains peut être un scénario possible, mais il n'élimine pas entièrement le lessivage des éléments N, P, K et Mg. Des mesures complémentaires, comme par exemple la présence de matériel absorbant sous les andains, devraient être étudiées. L'aménagement d'aires appropriées permettant de gérer les lixiviats serait une mesure sans doute plus coûteuse mais plus efficace sur le plan environnemental. De plus, la lixiviation des éléments sous les andains crée des conditions d'hétérogénéité dans la fertilité des sols qui vont compliquer la réalisation des plans de fertilisation et créer des situations potentiellement à risque pour le lessivage des éléments, notamment N-NH₄, K et P.

Des modèles mathématiques et des logiciels existent et peuvent être très utiles pour définir les proportions de bran de scie à utiliser pour atteindre une humidité et un rapport C/N désirés. Ces mêmes outils permettent de connaître la composition chimique du fumier qui va résulter du mélange de bran de scie avec les fèces + urine. Des considérations pratiques nous ont amenés à établir les besoins en bran de scie à 0,42 kg/kg fèces + urine, soit 30 % de bran de scie et 70 % de fèces + urine dans le fumier. Cette proportion permet d'atteindre 75 % de teneur en eau dans le fumier et un rapport C/N de 26. Cette proportion représente le compromis entre les contraintes agronomiques, économiques et environnementales permettant de respecter la teneur en eau maximale de 80 % dans les andains et fournissant un rapport C/N et une humidité acceptable pour le compostage. Ces proportions de bran de scie et de fèces + urine dépendent fortement de la teneur en eau du bran de scie et de celle des fèces + urine. Il en va de même du rapport C/N et des analyses chimiques des fumiers qui vont varier selon les caractéristiques chimiques du bran de scie et celles des fèces + urine. Il est donc souhaitable et même nécessaire de connaître ces caractéristiques pour obtenir les résultats escomptés. Les modèles et les logiciels utilisés tiennent compte de cette variabilité.

- INTRODUCTION -

Problématique et objectifs

Plusieurs facteurs peuvent affecter la teneur en éléments nutritifs des fumiers de bovins de boucherie. Les régimes alimentaires, la durée et les conditions d'entreposage des fumiers, l'âge des animaux, la quantité de litière et les mesures d'atténuation des pertes par lixiviation sont les principaux critères qui peuvent en modifier la valeur fertilisante.

La majeure partie des éléments nutritifs ingérés par les bovins est excrétée dans les fèces et l'urine (CPAQ 1998). La concentration d'un élément nutritif dans les fumiers est donc reliée à la composition des régimes alimentaires, la quantité de ration ingérée et à l'assimilabilité de l'élément par l'animal. Pour les bouvillons d'engraissement, la quantité moyenne d'intrant azoté/tête pendant la période de croissance et de finition est de 57,6 kg N/tête; 7,6 kg N/tête sont retenus par l'animal et 50 kg N/tête sont rejettés, pour une proportion de 86,8 % de rejet (CPAQ 1998). Ces résultats sont basés sur une ration de 13 % de protéine brute et ils correspondent à un poids initial de 275 kg et final de 593 kg. Pour le phosphore, les intrants de P sont de 11,4 kg P/tête pendant la période de croissance et de finition; 2,11 sont retenus et 9,3 sont rejettés, pour un pourcentage de rejet du P de 81,6 %. Ces données sont établies à partir d'une teneur moyenne de 0,42 % P dans les rations (CPAQ 1998). La concentration en éléments nutritifs des fumiers est donc fortement reliée à la composition des régimes alimentaires. Il est important de connaître les rejets d'éléments nutritifs par les bovins afin d'établir la superficie des sols nécessaire à leur épandage.

Dans cette étude, la composition des fumiers provenant de six régimes alimentaires sera comparée pour leur contenu en N, P, K, Ca, Mg, teneur en eau et en cendres, en relation avec celui des rations. Ces régimes incluent des sous-produits industriels comme les drêches de distillerie et de brasserie ou le gros gluten de maïs. La supplémentation en tourteau de soya et l'ajout d'urée à la ration seront également étudiés. Ces régimes sont décrits plus en détail à la section «Méthodologie» du volet 1. Les quantités d'éléments nutritifs ingérés et excrétés selon les régimes alimentaires seront déterminées pour la période de croissance et de finition.

L'âge de l'animal affecte également les rejets. On considère généralement que les animaux plus jeunes sont plus efficaces pour assimiler les éléments et qu'ils rejettent quotidiennement moins d'éléments nutritifs que les animaux plus âgés. Owen et Zinn (1988) ont démontré que le taux de rétention de l'azote protéique diminue de façon très marquée avec l'accroissement en poids des

bovins de boucherie. Soltner (1979) mentionne que la quantité d'aliments consommés pour faire un kilo de poids vif est de plus en plus élevée au fur et à mesure que l'animal prend de l'âge. La teneur en éléments nutritifs des fumiers varierait donc avec l'âge des bovins. Ceci fera également partie des aspects à mesurer dans cette étude.

Dans le cas de l'entreposage en andains au champ, la quantité de litière et la teneur en eau des fumiers sont en relation directe avec la quantité d'éléments perdus dans les lixiviats (CRIQ 1995). Cette étude a démontré que tous les fumiers mis à composter en andains, y compris les andains couverts d'une toile géotextile, ont généré des lixiviats. Elle conclut que l'utilisation quotidienne de litière, à raison de 2,4 à 6,4 kg/u. (base fraîche) n'a pas permis d'atteindre des niveaux d'humidité suffisamment bas pour éviter la production de lixiviats en cours de compostage du fumier de bovins laitiers et qu'une teneur en eau initiale (TEE) de 70 % serait nécessaire pour minimiser la lixiviation. De plus, un rapport C/N < 20 dans les fumiers frais est également révélateur d'une quantité de litière insuffisante.

La nature de la litière est également importante. Les résidus de bois dont les sciures montrent le plus haut taux de rétention en eau lorsque soumis à une pression donnée (CRIQ 1995). Côté et al. (1998) ont établi qu'un fumier de bovins qui serait composé de 4 kg de paille, 36 kg de fèces et 4 kg d'urine nécessiterait en plus 6 kg de sciure (base fraîche) pour atteindre un C/N de 31. L'usage de bran de scie dans une proportion suffisante, pour abaisser l'humidité du fumier de bovins à 70 %, semblerait un bon moyen de contrôle des pertes par lixiviation et d'ajustement du rapport C/N. Un des objectifs de cette étude est de fournir et valider une méthode permettant de déterminer la quantité de bran de scie nécessaire pour atteindre un niveau d'humidité ou un rapport C/N adéquat dans le fumier.

Plusieurs autres études confirment que des pertes importantes d'éléments nutritifs peuvent survenir si la TEE des andains est trop élevée (ACSI-Biorex, 1993). Si on ajuste la proportion de bran de scie dans les fumiers, de manière à obtenir une TEE de 70 %, quel serait alors le pourcentage de récupération des éléments nutritifs après l'entreposage en andains au champ?

Lors du compostage des fumiers en andains pendant une période prolongée (140 jours), l'étude du CRIQ a rapporté une masse résiduelle de 42 à 67 % de la masse initiale et un accroissement de la teneur des éléments nutritifs N, P et K, et ce, malgré une lixiviation appréciable de ces éléments. Les pertes d'éléments nutritifs des fumiers de bovins laitiers mis à composter après 140 jours variaient de 37 à 64 % pour N, de 12 à 24 % pour P et de 54 à 61 % pour K (CRIQ 1995). Pour les

andains couverts, les pertes de P ont été inférieures à 5 % et celles de K inférieures à 27 %. L'humidité des fumiers étudiés dépassait 80 % de teneur en eau. Un des objectifs de cette étude est de mesurer l'effet de la couverture des andains avec une toile géotextile sur la teneur et les pertes en éléments nutritifs des fumiers. Écotech (1997) a rapporté une perte totale de 21 % de l'azote durant le compostage du fumier de bovins laitiers en silo-couloir retourné tous les jours. La volatilisation de l'azote ammoniacal est donc également une source de perte importante d'azote lors du compostage.

La durée de la mise en andains a beaucoup d'effet sur la composition des fumiers. En effet, les conditions dans les andains sont propices au compostage, ce qui accroît la teneur en éléments nutritifs et diminue le carbone et le rapport C/N. Un des objectifs de cette étude est de mesurer l'évolution de la teneur en éléments nutritifs des fumiers de bovins de boucherie mis en andains pendant une longue période.

La présente étude a comme objectif de mieux connaître la composition des fumiers de bovins de boucherie selon 5 facteurs constituant les différents chapitres de la présente étude.

VOLET 1	Caractérisation selon les régimes alimentaires.
VOLET 2	Caractérisation selon l'âge des animaux.
VOLET 3	Caractérisation selon la durée d'entreposage en andains.
VOLET 4	Caractérisation selon la couverture ou non des andains.
VOLET 5	Caractérisation selon la proportion de bran de scie utilisée.

Les performances zootechniques des régimes étudiés précisant le poids des animaux, les gains, les aliments ingérés, les aspects économiques et les conditions expérimentales ont été publiées par Grégoire (2000).

- VOLET 1 -

Influence des régimes alimentaires

Méthodologie

L'expérience fut conduite avec des bouvillons mâles castrés provenant de races croisées à large ossature (Charolais, Simmental, Limousin, Blonde d'Aquitaine, etc.). Ces bovins, achetés d'encans locaux et pesant initialement de 250 à 290 kg, furent gardés durant l'essai dans une étable froide avec un plancher de béton et une litière de bran de scie (4 kg/tête/jour) sur une base de matière sèche. Le fumier est ramassé à chaque semaine. La distribution des animaux sur les six régimes expérimentaux a été faite au hasard. Chacun des six traitements (régimes alimentaires) était donné à trois groupes de 5 bouvillons. Les différents sous-produits (drèche de brasserie, de distillerie et gros gluten de maïs) furent incorporés dans les rations de croissance et de finition au taux de 30 % de la matière sèche. Les rations furent formulées en tenant compte des valeurs respectives en protéine brute et en énergie nette de gain (EnG) des différents intrants (Tableaux 1.2 et 1.3). L'ensilage de maïs a constitué l'ingrédient de base commun à tous les régimes. Quelques traitements furent comparés avec ou sans l'addition de tourteau de soya. Tous les régimes contenaient 1,15 Mcal/kg d'EnG en période de croissance (0-24 semaines d'essai) et 1,25 Mcal/kg d'EnG en finition (24 semaines à l'abattage à 33 à 40 semaines). La teneur en protéine brute des rations a varié de 15,88 à 18,8 % en période de croissance et de 14,19 à 17,31 % en période de finition (Tableau 1.3). Un traitement avec drèche de distillerie est supplémenté à la fois en tourteau de soya et en urée.

Pour connaître l'effet des six régimes alimentaires sur la composition des fumiers frais de bovins de boucherie, une analyse du fumier provenant des parquets d'engraissement des bovins alimentés avec chacun de ces régimes a été réalisée à quatre moments correspondant à quatre âges différents des animaux. Il s'agit donc d'analyser le fumier frais selon les régimes alimentaires et l'âge des animaux selon un dispositif factoriel (6 régimes x 4 âges x 2 répétitions). Ces deux répétitions sont prélevées lors du nettoyage hebdomadaire sur des échantillons composites des différents parquets et répétées pour deux semaines consécutives.

Une description détaillée des six régimes alimentaires est présentée aux tableaux 1.1, 1.2 et 1.3. Le régime A est à base d'ensilage de maïs et de gros gluten de maïs. Le régime B ressemble au régime A mais il comporte un supplément protéique fourni par le tourteau de soya. Le régime C est à base d'ensilage de maïs et de drèche de distillerie sans supplément protéique. Le régime D ressemble à C

Tableau 1.1 Ingrédients et proportion (%) des intrants dans la composition des régimes de croissance et de finition.

		Proportion des intrants (%)					
Régimes	Ingrediénts	A Gros gluten de maïs (GM) -TS**	B Gros gluten de maïs (GM) +TS	C Drèche de distillerie (DD) -TS	D Drèche de distillerie (DD) +TS	F Drèche de distillerie (DDU) +TS + urée	G Drèche de brasserie (DB) -TS
Ensilage de maïs	c*	54,64	53,84	63,77	57,00	61,00	48,70
	f	36,90	36,30	47,00	45,10	48,20	32,00
GM, DD ou DB	c	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
	f	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
T. soya (TS)	c		3,00		3,00		
	f		2,20		2,20		
T. canola (TC)	c	6,86	6,86	4,23	4,23		7,20
	f	2,40	2,40				2,50
Maïs concassé	c	7,00	2,50				12,00
	f	17,20	14,50	12,00	10,00	16,30	20,5
Orge roulée	c		2,30		2,00		
	f	12,00	13,10	9,50	10,60	1,30	13,50
Paille d'orge	c			0,50	2,27	2,00	0,60
	f				0,60		
Urée	c					0,50	
	f					0,50	
Prémix crois. & fin.	c	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
	f	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50

* : pour chaque régime, la rangée «c» correspond à la période de croissance, alors que la rangée «f» correspond à la période de finition.

** TS : avec (+) ou sans (-) supplément protéique de tourteau de soya.

Tableau 1.2. Composition chimique des ingrédients entrant dans la composition des régimes alimentaires (base de matière sèche).

Nature	N	P	K	Ca	Mg	Cendres
-----(%-----)						
Paille	1,44	0,25	1,18	0,60	0,13	9,61
Gluten de maïs	4,02	1,32	1,88	0,07	0,57	7,73
Orge	2,05	0,46	0,51	0,06	0,14	2,81
Maïs-grain	1,68	0,31	0,39	0,04	0,12	1,54
Maïs-ensilage	1,38	0,24	1,06	0,24	0,14	4,97
Drèche de brasserie	4,38	0,65	0,05	0,35	0,20	4,74
Drèche de distillerie	4,99	0,75	0,83	0,08	0,27	4,07
Tourteau de soya	8,29	0,76	2,27	0,30	0,31	6,76
Tourteau de canola	6,16	1,15	1,38	0,67	0,59	8,10
Urée	46,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tableau 1.3. Composition chimique des régimes de croissance et de finition des différents traitements.

Analyse chimique des régimes (base sèche)							
Régimes Ingrédients	A Gros gluten de maïs (GM) -TS**	B Gros gluten de maïs (GM) +TS	C Drèche de distillerie (DD) -TS	D Drèche de distillerie (DD) +TS	F Drèche de distillerie (DDU) +TS + urée	G Drèche de brasserie (DB) -TS	
N (%)	c* 2,54	2,66	2,65	2,79	2,94	2,76	
	f 2,27	2,45	2,31	2,75	2,77	2,40	
P (%)	c 0,64	0,64	0,45	0,47	0,40	0,48	
	f 0,63	0,69	0,40	0,45	0,41	0,48	
K (%)	c 1,33	1,30	1,08	1,08	1,04	0,69	
	f 1,15	1,24	0,92	0,95	0,97	0,69	
Ca (%)	c 0,58	0,47	0,56	0,53	0,58	0,72	
	f 0,51	0,51	0,47	0,50	0,47	0,64	
Mg (%)	c 0,39	0,36	0,29	0,29	0,25	0,30	
	f 0,33	0,34	0,23	0,24	0,22	0,25	
Cendres (%)	c 7,51	7,03	6,72	6,57	6,62	6,32	
	f 6,52	6,88	5,27	5,55	5,37	5,36	
Protéine brute (%)	c 15,88	16,63	16,56	17,44	18,38	17,25	
	f 14,19	15,31	14,44	17,19	17,31	15,0	
Fibres (%)	c 20,34	20,33	20,96	23,25	23,48	22,49	
	f 15,72	15,68	19,29	19,20	19,31	17,87	
Énergie nette de gain (M cal/kg)	c 1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	
	f 1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	

* Pour chaque régime, la rangée «c» correspond aux aliments de croissance (0-24 semaines d'essai), alors que la rangée «f» a trait aux aliments de finition (24 semaines à l'abattage de 33 à 40 semaines d'essai).

** TS : Correspond à un supplément protéique des régimes à base de tourteau de soya présent (+) ou absent (-).

mais il est supplémenté avec du tourteau de soya. Le régime F ressemble à D mais il est supplémenté en plus avec de l'urée. Le régime G est à base d'ensilage de maïs et de drèche de brasserie sans supplément protéique. Les régimes de finition correspondant contiennent les mêmes sous-produits avec moins d'ensilage et plus de grains (orge et maïs) et globalement moins de protéines. Un résumé de la performance des bouvillons et les quantités d'éléments ingérées, utiles pour établir des liens avec la composition des fumiers, sont présentés aux tableaux 1.4 et 1.5.

Les quatre périodes d'échantillonnage des fumiers frais pour chacun des régimes correspondant à des âges différents des animaux sont :

A₁ : au début de la période de croissance (mi-décembre 1998)

A₂ : 56 jours après le début de la période de croissance

A₃ : 140 jours après le début de la période de croissance

A₄ : 168 jours après le début de la période de croissance (régime de finition)

Les données correspondant au fumier frais produit avec le bran de scie ajouté au taux de 4 kg/tête/jour ont été traitées à l'aide du logiciel de traitement statistique SAS, selon un dispositif factoriel (6 régimes x 4 âges des animaux x 2 répétitions). Les éléments mesurés sont : C, N total, N-NH₄, N-NH₄/N total, C/N, P total, P ortho, P ortho/P total, K, Ca, Mg, densité, cendres et teneur en eau. La densité a été calculée en mesurant le poids des fumiers d'un volume de 250 ml. La teneur en eau des fumiers a été établie en séchant un poids de 10 g à 105°C. Un test Duncan a été réalisé sur ces valeurs au niveau statistique P = 0,05.

Tableau 1.4. Résumé de la performance des bouvillons

Paramètres	GM (gros gluten de maïs)	DD (drèche de distillerie)	DDU (drèche de distillerie + urée)	DB (drèche de brasserie)
Poids initial (kg)	268,2 a*	269,5 a	265,3 a	266,0 a
Poids 24 s	490,7,0 a	496,0a	496,7 a	505,7 a
Poids final (abattage)	623,0 a	635,1 a	634,5 a	639,6 a
Durée d'engraissement (jours)	255,4 a	263,4 a	258,7 a	257,1 a
Gain total	354,9 b	365,6 ab	369,1 ab	373,6 a
Gain/jour (0 - 24 s)	1,32 a	1,35 a	1,38 a	1,43 a
Gain/jour (24 s - abattage)	1,52 a	1,46a	1,52 a	1,51 a
Gain/ jour (0 – abattage)	1,39 a	1,39a	1,43 a	1,45a
Aliment/jour (0 –abattage)	9,65 a	8,97 b	9,31 ab	8,89 b
Aliment/gain (0 –abattage)	6,94 a	6,46 b	6,53 ab	6,13 b
Poids de carcasse (kg)	367,0 a	373,7 a	373,3 a	375,2 a
Rendement de carcasse (%)	58,9 a	58,8 a	58,8 a	58,7 a
Rendement viande (classement)	59,2 a	60,2 a	59,8 a	59,7 a
Revenus de carcasse, \$	1194,16 a	1215,85 a	1214,77 a	1220,73 a
Marge de profit/bœuf, \$	148,96 a	98,56 b	102,29 b	167,74 a
Qté totale d'aliment (kg)	2462 a	2362 ab	2409 ab	2287 b
Coût total d'alimentation, \$	306,23 b	374,66 b	381,32 b	319,99 b
Coût d'aliment/jour , \$	1,199 b	1,422 a	1,474 a	1,244 b
Coût d'aliment/ kg de gain	0,864 b	1,025 a	1,034 a	0,857 b
Qté totale de supplément (kg)	798,3 a	770,7 a	800,5 a	716,7 b
Coût du supplément, \$	94,20 c	200,37 a	208,13 a	108,22 b
% de coût du supplément	30,77 d	53,53 b	54,65 a	33,84 c

* Test Duncan : Les données porteuses d'une même lettre ne diffèrent pas entre elles au seuil statistique P = 0,05.

Tableau 1.5. Quantité d'aliments et d'éléments nutritifs ingérés pendant la durée de l'essai (croissance et finition) en fonction des régimes alimentaires.

Quantité ingérée		Régimes				
		A	B	C	D	F
Quantité d'aliment ingéré (kg)	c*	1468	1425	1419	1365	1448
	f	1014	1016	933	1008	997
	t	2482	2441	2351	2373	2445
Quantité de N ingéré (kg)	c	37,30	37,91	37,59	40,12	40,41
	f	23,01	24,89	21,54	27,72	27,62
	t	60,31	62,80	59,13	67,84	68,03
Quantité de P ingéré (kg)	c	9,47	9,12	6,41	6,47	5,80
	f	6,38	6,97	3,72	4,54	4,08
	t	15,85	16,09	10,13	11,01	9,88
Quantité de K ingéré (kg)	c	19,52	18,53	15,33	14,74	15,06
	f	11,66	12,59	8,58	9,58	9,67
	t	31,18	31,12	23,91	24,32	24,73
Quantité de Ca ingéré (kg)	c	8,51	6,70	7,95	7,23	8,40
	f	5,17	5,18	4,39	5,04	4,69
	t	13,68	11,88	12,34	12,27	13,09
Quantité de Mg ingéré (kg)	c	5,73	5,13	4,12	3,96	3,62
	f	3,35	3,45	2,15	2,42	2,19
	t	9,08	8,58	6,27	6,38	5,81
Quantité de cendres ingérées	c	110,27	100,19	95,32	89,66	95,88
	f	66,09	69,91	49,14	55,94	53,52
	t	176,36	170,10	144,46	145,60	149,40
						131,78

* Pour chaque régime, «c» correspond à la période de croissance (0-24 semaines), «f» à trait à la période de finition et «t» au total des deux périodes.

- VOLET 1 -

Influence des régimes alimentaires

Résultats

Les résultats présentés correspondent à la valeur moyenne des fumiers pour les différents âges des animaux pour chacun des régimes alimentaires et sont exprimés sur base sèche. Les régimes alimentaires affectent la teneur en éléments nutritifs des fumiers pour la plupart des paramètres mesurés (Tableau 1.6). Les effets peuvent cependant varier selon les éléments considérés. Pour tous les paramètres étudiés, l'interaction régime x âge est non significative, sauf pour l'azote ammoniacal et le rapport N-NH₄/N total. L'effet de l'âge est par contre significatif pour la majorité des facteurs mesurés (Tableau 1.6). L'effet des régimes alimentaires sur la composition des fumiers doit donc être interprété en considérant l'âge des animaux.

Carbone

Les différents régimes alimentaires ont eu un effet sur la teneur en carbone des fumiers (Tableaux 1.6 et 1.7). Les régimes C, D et G fournissent les plus fortes teneurs en carbone (avec 46,4 à 46,9 % C) qui diffèrent significativement du régime B avec la plus faible teneur de 45,0 % C. L'écart entre ces traitements est d'environ 1,5 % C (Tableau 1.7). Les régimes A, B et F sont ceux qui ont montré la plus grande quantité totale d'aliments ingérés (Tableau 1.5). Une production de fèces plus élevée en résulte et elle a comme effet de réduire la teneur en C des fumiers, les fèces étant moins riches en carbone que le bran de scie. L'ampleur de la variation de la teneur en C selon les régimes est toutefois moins importante que pour plusieurs autres éléments nutritifs (Figure 1.1). Le tableau 1.8 présente la quantité de fèces + urine produite par les bovins, le bran de scie utilisé et la quantité de fumier produit en croissance et en finition.

Azote total

La teneur en azote total des fumiers est affectée par les régimes alimentaires. Les régimes C et G, à base respectivement de drèche de distillerie et de brasserie sans supplément protéique, fournissent le moins d'azote total dans les fumiers avec 1,56 et 1,28 % N. Ces résultats sont liés au fait que l'azote des drèches est très digestible et qu'il y a moins d'ingestion de N par l'animal, de sorte que les fumiers correspondant sont plus bas en N total (Tableau 1.5). Les régimes B et D supplémentés en protéine avec le tourteau de soya produisent des fumiers plus riches en N, avec respectivement 1,89 et 1,86 % N, que les régimes non supplémentés. Le régime A, à base de gros gluten de maïs

Tableau 1.6. Analyse de variance de l'effet des régimes alimentaires et de l'âge des animaux sur la composition des fumiers de bovins de boucherie

Traitement	C	N total	N-NH ₄	N-NH ₄ N total	C/N	P total	P ortho	P ortho P total	K	Ca	Mg	Densité	TEE	Cendres
Valeur F														
Régime alimentaire	*	*	*	*	*	**	**	**	**	NS	**	*	NS	*
Âge des animaux	*	**	**	**	**	**	**	NS	**	**	**	NS	*	*
Régime X âge	NS	NS	*	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Coefficient de variation	1,9	13,2	33,0	28,2	14,4	19,2	25,2	8,3	12,5	13,4	17,7	5,5	4,9	21,1

* : significatif à P = 0,05

** : significatif à P = 0,01

NS : non significatif à P = 0,05

Tableau 1.7. Effet des régimes alimentaires sur la composition des fumiers de bovins de boucherie

Régimes alimentaires	C	N total	N-NH ₄	N-NH ₄ N total	C/N	P total	P ortho	P ortho P total	K	Ca	Mg	Densité	Cendres	TEE
	-----(%-----)				-----(%-----)				(kg/l) -----(%-----)					
A	46,0ab	1,81ab	0,22ab	12,2b	26,3bc	0,54ab	0,42a	79,2a	1,31a	0,48b	0,36ab	0,86a	8,0ab	70,7ab
B	45,0b	1,89ab	0,27ab	14,3ab	24,0c	0,66a	0,55a	84,7a	1,48a	0,45b	0,40a	0,89a	10,1a	71,4a
C	46,8a	1,56bc	0,18b	11,5b	30,2b	0,30c	0,19b	63,0c	0,91bc	0,60a	0,28b	0,87a	6,4b	68,8ab
D	46,4a	1,86ab	0,35a	18,8a	26,1bc	0,37c	0,25b	68,1b	1,07b	0,46b	0,28b	0,87a	7,1b	70,5ab
F	45,9ab	2,10a	0,35a	16,7ab	22,3c	0,42bc	0,27b	66,7b	1,05bc	0,47b	0,29b	0,92a	8,3ab	73,2a
G	46,9a	1,28c	0,19b	14,8ab	36,6a	0,30c	0,20b	68,9b	0,83c	0,51ab	0,28b	0,76b	6,2b	66,2b

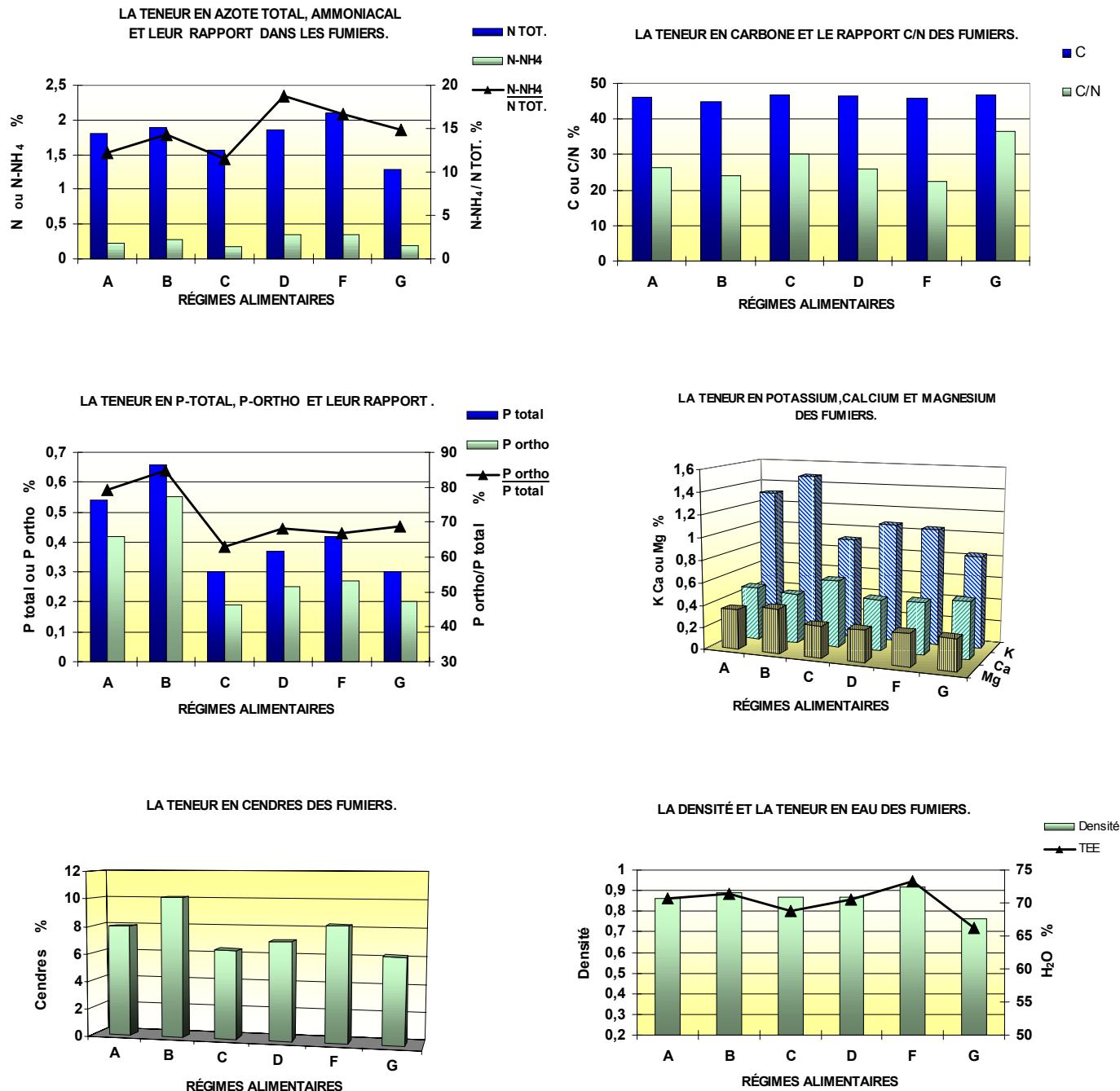
Test Duncan : Les données porteuses d'une même lettre ne diffèrent pas entre elles au seuil statistique P = 0,05.

Moyenne des deux répétitions et des différents âges des animaux confondus.

Les résultats sont exprimés sur une base de la matière sèche des fumiers.

non supplémenté en protéine, a fourni une teneur élevée de 1,81 % N dans les fumiers (Figure 1.1). L'azote du gluten de maïs est moins digestible que celui des drêches, ce qui expliquerait les teneurs élevées en N des fumiers. La proportion des rejets azotés est également élevée pour le régime A à base de gluten (Figure 1.2).

Figure 1.1 Effet des régimes alimentaires sur la composition des fumiers de bovins de boucherie.



Le régime F, à la fois supplémenté en protéine et en urée, fournit la plus forte teneur en N total des fumiers avec 2,10 %. L'azote uréique est reconnu pour son faible taux d'assimilation par les bovins, ce qui explique la teneur en N plus élevée des fumiers. La proportion des rejets azotés est la plus élevée pour le régime F, contenant un supplément protéique et de l'urée (Figure 1.2). La nature et la quantité d'aliments ingérés, le supplément de protéine des rations et l'addition d'urée ont beaucoup d'effets sur la teneur en N total et donc sur la valeur fertilisante des fumiers de bovins.

La quantité d'azote rejeté par bovin dans les fumiers pendant la période de croissance a varié de 15,06 à 24,55 kg, selon les régimes et de 8,96 à 14,91 kg pendant la période de finition pour un total de 24,11 à 39,44 kg (Tableau 1.9). La proportion d'azote excrété par rapport à N ingéré a varié de 41,5 à 58,0 %, selon les régimes (Figure 1.2). La quantité d'azote rejeté et la proportion des rejets sont plus faibles que celles rapportées par le CPAQ (1998). Cette différence pourrait s'expliquer en partie par la volatilisation ammoniacale dans les parquets. Le fumier est ramassé à chaque semaine, une certaine quantité de N-NH₄ peut donc se volatiliser dans les parquets. Les quantités d'azote excrété pourraient donc être plus élevées que celles mesurées. Il en va ainsi des proportions excrétées. Grégoire et al. (1992) ont mesuré un taux d'excrétion de l'azote protéique de 68,4 et 61,2 % pour des bouvillons à l'engraisement à base de maïs-grain humide et de maïs-épi humide respectivement.

Azote ammoniacal et rapport N-NH₄/N total

Les régimes B, D et F produisent les plus fortes teneurs en N-NH₄ des fumiers avec un contenu de 0,27 à 0,35 % N-NH₄ (Tableau 1.7). Ces régimes ont reçu un supplément protéique de tourteau de soya et, pour le régime F, de l'urée en plus. Les régimes sans supplément protéique sont plus faibles avec 0,18 à 0,22 % N-NH₄ (Figure 1.1). La proportion N-NH₄/N total tend également à être plus élevée pour les régimes avec supplément protéique (14,3 à 18,8 % contre 11,5 à 14,8 % pour les régimes sans supplément). Le supplément protéique affecte donc la valeur fertilisante des fumiers de deux façons; il accroît la teneur en N total et N-NH₄ des fumiers et il augmente la proportion N-NH₄/N total. Ce rapport est relié au coefficient d'efficacité de l'azote des fumiers.

Tableau 1.8. Quantité de fumier produit par les bovins de boucherie selon les régimes alimentaires.

Quantité (M.S.) (kg/bovin)	RÉGIMES					
	A	B	C	D	F	G
Quantité de fèces + urine excrétés	c*	471	459	401	367	456
	f	292	284	277	232	279
	t	763	743	678	599	735
Quantité de bran de scie	c	747	733	759	758	775
	f	393	398	407	413	424
	t	1140	1131	1166	1171	1199
Quantité totale de fumier avec bran de scie	c	1218	1142	1160	1126	1231
	f	685	632	683	545	703
	t	1902	1874	1844	1771	1934
						1681

* Pour chaque régime, «c» correspond à la période de croissance (0-24 semaines), «f» à trait à la période de finition (25 semaines à la fin) et «t» au total des deux périodes.

** Les résultats sont exprimés sur une base de matière sèche.

Tableau 1.9. Quantité d'éléments nutritifs excrétés par les bovins de boucherie selon les régimes alimentaires.

Quantité excrétée (kg/bovin)	RÉGIMES					
	A	B	C	D	F	G
Quantité de N excrété	c*	20,78	20,29	17,09	20,38	24,55
	f	12,65	12,33	10,15	8,96	14,91
	t	33,43	32,62	27,24	29,34	39,44
Quantité de P excrété	c	6,38	6,77	5,21	4,96	4,65
	f	3,99	5,40	3,68	3,24	3,71
	t	10,37	12,17	8,88	8,20	8,36
Quantité de K excrété	c	15,36	15,39	13,93	13,37	12,96
	f	10,12	12,02	7,60	7,72	7,06
	t	25,48	27,41	21,53	21,09	20,02
Quantité de Ca excrété	c	5,79	5,07	6,01	5,75	5,17
	f	3,40	3,04	4,01	3,10	4,41
	t	9,19	8,11	10,02	8,85	9,58
Quantité de Mg excrété	c	4,20	4,22	2,86	2,96	3,01
	f	2,75	3,05	1,98	1,79	1,79
	t	6,95	7,27	4,84	4,75	4,80
Quantité de cendres excrétées	c	93,20	98,05	89,65	74,12	78,10
	f	55,57	58,27	42,60	39,07	48,06
	t	148,78	156,32	132,25	113,19	126,16
						110,50

* Pour chaque régime, «c» correspond à la période de croissance (0-24 semaines), «f» à trait à la période de finition (25 semaines à la fin) et «t» au total des deux périodes.

** Les quantités présentées n'incluent pas les éléments contenus dans le bran de scie.

Rapport C/N

Le régime alimentaire G, à base de drèche de brasserie sans supplément protéique, a produit un fumier avec un rapport C/N de 36,6, plus élevé que les autres régimes (Tableau 1.7). À l'opposé, les régimes B et F ont produit des fumiers avec les rapports C/N les plus bas, soit respectivement 24,0 et 22,3. La variabilité entre les régimes est considérable. Elle peut s'expliquer en grande partie par le contenu en azote total des fumiers, lui-même en relation principalement avec la supplémentation protéique et uréique et la digestibilité de l'azote des produits. Les valeurs les plus faibles devraient être compensées par un apport supplémentaire de bran de scie pour accroître le rapport à au moins 25.

P total, P ortho et P ortho/P total

Les régimes A et B, à base de gros gluten de maïs, se distinguent des autres régimes quant à leur teneur plus élevée en P total et P ortho dans les fumiers (Tableau 1.7). Sur le plan agronomique, ces deux régimes produisent un fumier plus riche et de plus grande valeur fertilisante pour le phosphore. Toutefois, dans l'optique environnementale de réduction des rejets phosphatés et de la réduction des apports de P aux sols, ces deux régimes, avec respectivement 0,54 et 0,66 % P total comparé à 0,30 à 0,42 % P total pour les autres régimes, sont plus problématiques. Les régimes C et G, à base de drèche de distillerie et de brasserie, produisent les teneurs en P les plus faibles dans les fumiers avec 0,30 % P total (Figure 1.1).

L'analyse du P des rations est nettement plus élevée pour les régimes A et B à base de gros gluten de maïs (Tableau 1.3). Les quantités de P ingéré pour ces deux régimes sont également nettement plus élevées, soit environ 3 à 5 kg de P de plus que pour les autres régimes (Tableau 1.9). En ce qui concerne le rapport P ortho/P total, les régimes alimentaires A et B à base de gros gluten montrent une proportion plus grande de phosphore minéral que les autres régimes. Le coefficient d'efficacité du phosphore pour la fertilisation sera donc plus élevé pour ces deux régimes. Ces faits démontrent que les régimes alimentaires peuvent affecter l'efficacité fertilisante et qu'à elle seule, l'analyse du P total ne suffit pas pour caractériser cette efficacité; une mesure du P ortho est également nécessaire pour préciser le coefficient d'efficacité du P. Cette étude démontre aussi que les régimes alimentaires peuvent faire varier du simple au double la teneur en P total et P ortho des fumiers de bovins (Figure 1.1). L'usage du gros gluten de maïs dans l'alimentation des bovins de boucherie a comme conséquence d'augmenter fortement la teneur en P total et P ortho des fumiers.

La quantité de phosphore rejeté dans les fumiers pendant la période de croissance a varié de 4,65 à 6,77 kg par bovin, selon les régimes et de 2,97 à 5,40 kg pendant la période de finition pour un

total de 7,69 à 12,17 kg, selon les régimes. La proportion de phosphore total rejeté par rapport au phosphore total ingéré a varié de 65,43 à 87,66 %, selon les régimes (Figure 1.2). Cette proportion ressemble à celle rapportée par le CPAQ (1998) avec 81,6 %. Les quantités de P ingéré et excrété sont présentées aux tableaux 1.5 et 1.9.

Potassium

Les effets des régimes alimentaires sur la teneur en K des fumiers sont très similaires à ceux de P. Les régimes A et B, à base de gros gluten de maïs, se distinguent des autres régimes (Tableau 1.7, Figure 1.1). La teneur en K est respectivement de 1,31 à 1,48 % K pour ces deux régimes comparé à des valeurs de 0,83 à 1,07 % K pour les autres régimes. Les régimes C et G avec drèche de distillerie et de brasserie respectivement sont ceux qui fournissent le moins de K dans les fumiers. L'analyse du K des rations et les quantités ingérées permettent d'expliquer ces résultats (Tableaux 1.3 et 1.5). Les drèches de brasserie sont particulièrement faibles en K avec seulement 0,05 % K (Tableau 1.2).

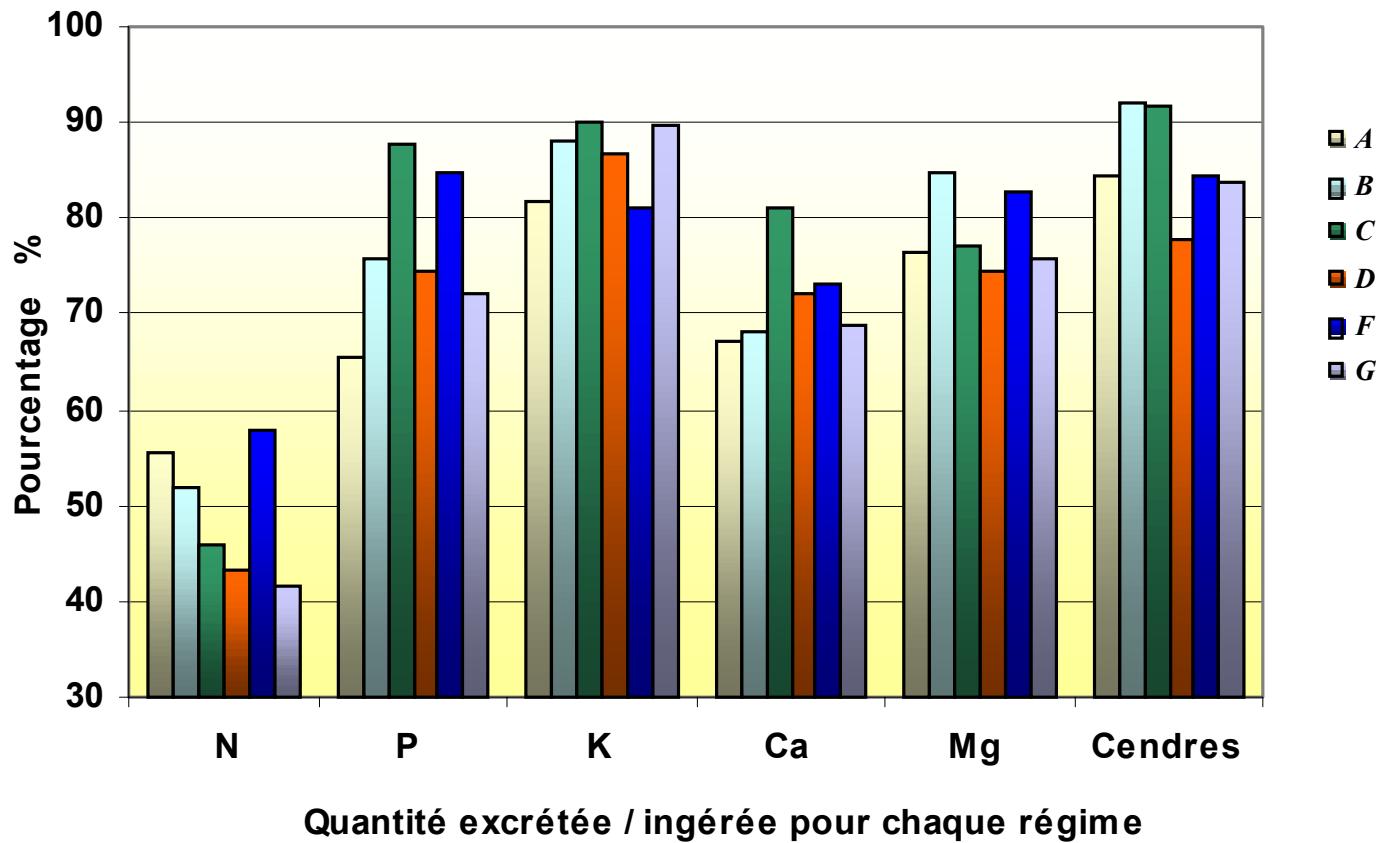
La quantité de potassium rejeté dans les fumiers pendant la période de croissance a varié de 12,96 à 15,39 kg par bovin, selon les régimes et de 7,60 à 12,02 kg pendant la période de finition pour un total de 20,02 à 27,41 kg selon les régimes (Tableau 1.9). La proportion de potassium rejeté par rapport au potassium ingéré a varié de 80,95 à 90,00 % selon les régimes (Figure 1.2).

Calcium

En ce qui concerne la teneur en Ca des fumiers, un seul régime se distingue. Il s'agit du régime C à base de drèche de distillerie avec 0,60 % Ca comparé à 0,45 à 0,51 % Ca pour les autres régimes (Tableau 1.7). Cet effet ne semble pas en relation avec la teneur en Ca de ce régime, ni avec les quantités de calcium ingéré (Tableaux 1.3 et 1.5).

La quantité de calcium rejeté dans les fumiers pendant la période de croissance a varié de 5,07 à 6,73 kg par bovin, selon les régimes et de 3,04 à 4,41 kg pendant la période de finition pour un total de 8,11 à 10,54 kg selon les régimes (Tableau 1.9). La proportion de calcium rejeté par rapport au calcium ingéré a varié de 67,18 à 81,20 % selon les régimes (Figure 1.2).

Figure 1.2 Proportion des éléments nutritifs excrétés selon les régimes alimentaires.



Magnésium

La teneur en Mg des fumiers est affectée par les régimes alimentaires. Les régimes A et B fournissent une teneur de 0,36 et 0,40 plus élevée que les autres régimes avec 0,28 à 0,29 % Mg (Tableau 1.7). Comme pour P et K, le gros gluten de maïs dans l'alimentation favorise les rejets de Mg (Tableau 1.9). L'analyse de la ration en Mg explique ces effets (Tableaux 1.3 et 1.5).

La quantité de magnésium rejeté dans les fumiers pendant la période de croissance a varié de 2,86 à 4,22 kg par bovin, selon les régimes et de 1,79 à 3,05 kg pendant la période de finition pour un total de 4,72 à 7,27 kg selon les régimes. La proportion de magnésium rejeté par rapport au magnésium ingéré a varié de 74,29 à 84,73 % selon les régimes (Figure 1.2).

Densité et teneur en eau

Le régime alimentaire G, à base de drèche de brasserie, produit un fumier avec une densité de 0,76 kg/l, plus faible que celle de tous les autres régimes qui vont de 0,86 à 0,92. Sa teneur en eau plus faible (66,2 %) peut expliquer en bonne partie cette différence (Tableau 1.7). Le régime F, à base de drèche de distillerie supplémentée à la fois de tourteau de soya et d'urée, montre la plus forte densité (0,92 kg/l) et la plus forte teneur en eau (73,2 %) des fumiers. La présence d'urée dans la ration F pourrait augmenter la consommation d'eau des bovins, ce qui expliquerait ces résultats.

Les régimes alimentaires peuvent donc affecter la densité et la teneur en eau des fumiers. La proportion de bran de scie pourrait aussi être ajustée à la hausse dans le régime F avec urée et à la baisse dans le régime G avec drèche de brasserie sans supplément protéique.

Cendres

On peut distinguer les régimes alimentaires quant à leur contenu en cendres des fumiers. D'abord, les régimes C, D et G, à base de drèche de distillerie ou de brasserie, produisent le moins de cendres, avec respectivement 6,4, 7,1 et 6,2 % (Tableau 1.7). Il y a ensuite les régimes A et F, avec respectivement 8,0 et 8,3 % et finalement, le régime B avec 10,1 %. La teneur en cendres des fumiers est liée à la composition minérale des rations mais tient compte aussi de l'assimilabilité des éléments minéraux par l'animal (Tableau 1.5).

- CONCLUSION -

Les régimes alimentaires ont beaucoup d'effet sur la teneur en éléments nutritifs des fumiers. La supplémentation protéique et/ou l'addition d'urée (régimes B, D et F) accroissent de façon importante la teneur en N total et ammoniacal des fumiers. Les régimes A et B, renfermant du gros gluten de maïs, produisent également des fumiers plus riches en N, P, K et Mg. À l'opposé, les régimes C et G, avec drèche de distillerie ou de brasserie sans supplément protéique, montrent les plus faibles teneurs en éléments nutritifs. La quantité d'aliments ingérés, la concentration des régimes et l'assimilabilité des éléments sont les trois facteurs qui peuvent expliquer ces différences. Le régime G, avec drèche de brasserie, a produit le fumier le moins dense et le moins humide. À l'inverse, le régime F, avec supplément protéique et urée, a produit le plus dense et le plus humide. Les quantités d'éléments nutritifs rejetés sont directement reliées à celles ingérées et dépendent des régimes alimentaires. En moyenne 49,36 % N, 76,66 % P, 86,20 % K, 71,82 % Ca et 78,54 % Mg ingérés sont excrétés dans les fumiers, avec des variations importantes entre les régimes.

- VOLET 2 -

Effet de l'âge des animaux

Méthodologie

La méthodologie utilisée pour mesurer l'effet de l'âge des animaux sur la composition chimique des fumiers est décrite au volet 1. Une analyse du fumier frais, provenant des parquets d'engraissement des bovins alimentés avec chacun des régimes, a été réalisée à quatre moments correspondant à quatre âges différents des animaux. Tel que décrit au volet 1, les données ont été traitées selon un dispositif factoriel (6 régimes x 4 âges des animaux avec 2 répétitions). Les âges des animaux sont donnés à partir du début de la période de croissance en décembre :

A₁ : en décembre au début de la période de croissance

A₂ : 56 jours après le début

A₃ : 140 jours après le début, correspond à la fin de la période de croissance

A₄ : 168 jours après le début, correspond à la période de finition

Les résultats présentés correspondent à la valeur moyenne des six régimes alimentaires pour quatre âges différents des animaux, exprimés sur une base de matière sèche.

- VOLET 2 -

Âge des animaux

Résultats

Carbone

La teneur en C des fumiers est affectée par l'âge des animaux, moins cependant que les autres éléments. Entre A₁ et A₃, elle varie de 46,6 à 45,2 % et elle se stabilise à 45,5 % en A₄. Bien que significative, la différence entre A₁ et A₃ est relativement faible (Tableau 2.1). Elle peut s'expliquer par la quantité de fèces + urine qui s'accroît entre A₁ et A₃, alors que la quantité de bran de scie demeure constante à 4 kg M.S./tête. Les fèces sont moins riches en carbone que le bran de scie, de sorte que globalement, la teneur en C des fumiers diminue entre A₁ et A₃ (Figure 2.1).

Azote et rapport C/N

La teneur en azote total des fumiers s'accroît respectivement de 1,54 à 1,96 et 2,16 % pour A₁, A₂ et A₃ et diminue sensiblement à 1,96 % en A₄ (Tableau 2.1) Les relations relatives à l'assimilabilité des éléments qui diminue avec l'âge des animaux et les quantités ingérées qui augmentent, expliquent en bonne partie cet effet. En finition, les régimes sont plus riches en grains et moins riches en protéine, ce qui peut expliquer les rejets plus faibles en N. Cette variation du contenu en N des fumiers avec l'âge des animaux va affecter leur rapport C/N. Celui-ci passe de 30,8 à 24,2 et 21,3 en A₁, A₂ et A₃. En finition (A₄), le rapport C/N s'établit à 23,7 (Figure 2.1).

Ces faits suggèrent que l'apport de bran de scie devrait être ajusté avec l'âge de l'animal, d'une part parce que la teneur en N s'accroît avec l'âge et, d'autre part parce que la quantité de fèces + urine excrétée est également plus élevée à la fin de la période de croissance.

Azote ammoniacal et rapport N-NH₄/N total

La teneur en N-NH₄ des fumiers est plus faible au début de la période de croissance (A₁) avec 0,25 % N-NH₄. En A₂, elle s'accroît à 0,46 %, diminue légèrement en A₃ avec 0,37 % et diminue de façon très marquée en A₄, soit à la période de finition à 0,08 % N-NH₄. Cette période est caractérisée par un régime plus riche en grains et moins riche en protéine. Les rejets azotés ammoniacaux seraient donc moindres en période de finition. Il est possible qu'aux périodes A₃ et A₄, correspondant à la période estivale, la volatilisation ammoniacale soit plus élevée dans les parquets, cela expliquerait la diminution de la teneur en N-NH₄ à ces périodes (Figure 2.1).

Tableau 2.1 Effet de l'âge des animaux sur la composition des fumiers de bovins de boucherie

Âge des animaux	C	N total	N-NH ₄	$\frac{N-NH_4}{N \text{ total}}$	C/N	P total	P ortho	$\frac{P \text{ ortho}}{P \text{ total}}$	K	Ca	Mg	Densité	Cendres	TEE
	-----(%)-----	-----(%)-----	-----(%)-----		-----(%)-----	-----(%)-----	-----(%)-----		(kg/l)	-----(%)-----	-----(%)-----	-----(%)-----	-----(%)-----	-----(%)-----
A₁	46,6a	1,54b	0,25b	16,2b	30,8a	0,33c	0,25c	74,9a	0,94b	0,48ab	0,27b	0,86a	6,9c	68,8c
A₂	46,1ab	1,96a	0,46a	23,5a	24,2b	0,44b	0,35b	75,2a	1,04b	0,39c	0,29b	0,88a	7,7bc	74,1a
A₃	45,2c	2,16a	0,37a	17,1b	21,3b	0,61a	0,44a	70,7a	1,50a	0,48b	0,38a	0,88a	9,6a	72,7ab
A₄	45,5bc	1,96a	0,08c	4,1c	23,7b	0,59a	0,44a	73,4a	1,40a	0,54a	0,39a	0,90a	9,0ab	69,6bc

Test Duncan : Les données porteuses d'une même lettre ne diffèrent pas entre elles au seuil statistique P = 0,05.

Moyenne des deux répétitions et des six régimes alimentaires confondus.

Les résultats sont exprimés sur la base de la matière sèche des fumiers.

P total, P ortho et rapport P ortho/P total

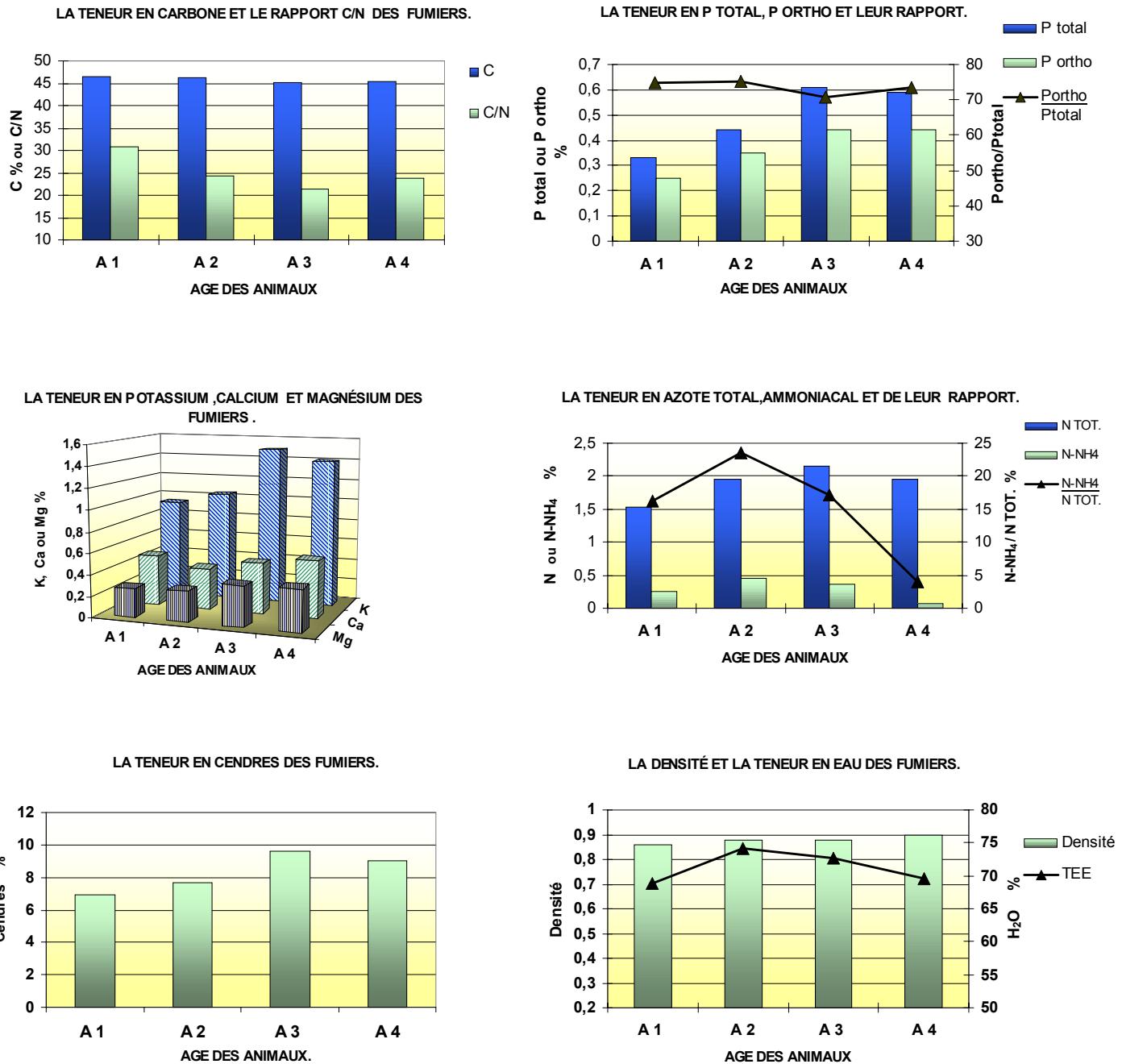
Il existe une différence très significative entre le P total des fumiers pour les périodes A₁, A₂ et A₃ avec respectivement 0,33, 0,44 et 0,61 % P. En finition, la teneur en P total se stabilise à 0,59 % P. Les quantités ingérées qui augmentent avec l'âge de l'animal expliquent les rejets croissants entre A₁ et A₃ (Tableau 2.1). Cette même tendance se manifeste aussi pour le P ortho qui s'accroît progressivement de 0,25 à 0,44 % P entre A₁ et A₃ pour se stabiliser à 0,44 en A₄ (Tableau 2.1).

La proportion de P ortho/P total ne diffère pas significativement avec l'âge de l'animal. Les fumiers frais des animaux plus âgés sont donc plus riches en P total et P ortho que ceux des animaux plus jeunes mais le rapport P ortho/P total, qui est relié au coefficient d'efficacité du P des fumiers, demeure constant (Figure 2.1).

Potassium

La teneur en potassium des fumiers s'accroît de 0,94 à 1,04 et 1,50 % K respectivement pour les périodes de croissance A₁, A₂ et A₃. En finition (A₄), elle diminue sensiblement à 1,40 % K (Tableau 2.1). La teneur en K augmente donc avec l'âge de l'animal, sauf pour la période de finition. L'assimilabilité du K est plus élevée pour les jeunes animaux. Les quantités ingérées s'accroissent avec l'âge de l'animal pendant la période de croissance. Ces deux facteurs conditionnent des rejets de K plus élevés avec l'âge des animaux à l'engraissement. À la finition, les régimes sont moins riches en K et les teneurs dans les fumiers diminuent (Figure 2.1).

Figure 2.1 Effet de l'âge des bovins de boucherie sur la composition des fumiers.



Calcium

Pour le calcium, l'influence de l'âge des animaux semble assez inconsistante pour la teneur en Ca des fumiers. En période de finition (A_4), on mesure les plus fortes teneurs dans les fumiers avec 0,54 % Ca (Figure 2.1).

Magnésium

La teneur en Mg des fumiers pour les jeunes animaux (A_1 et A_2) diffère significativement de celle des animaux plus âgés (A_3 et A_4) (Tableau 2.1). La teneur en Mg s'accroît donc dans les fumiers avec l'âge des animaux et se stabilise à la finition (Figure 2.1).

Densité

Il n'y a pas de différence significative entre la densité des fumiers frais produits aux différents âges des animaux. Celle-ci varie de 0,86 à 0,90 kg/l et change très peu pendant le développement de l'animal (Figure 2.1).

Cendres

La teneur en cendres des fumiers s'accroît avec l'âge des animaux avec respectivement 6,9, 7,7 et 9,6 % pour A_1 , A_2 et A_3 . En finition, la teneur moyenne des fumiers frais est de 9,0 %. Ceci reflète les observations faites pour la plupart des éléments nutritifs et s'explique surtout par la quantité de fèces + urine plus riche en cendres qui s'accroît avec l'âge (Figure 2.1).

Teneur en eau

La teneur en eau s'accroît significativement entre A_1 et A_2 . Elle est assez stable entre A_2 et A_3 et décroît entre A_3 et A_4 (Figure 2.1). La réduction de la teneur en eau en A_4 peut être liée à deux phénomènes. D'abord, en période de finition, les régimes sont moins riches en protéine et plus riches en grains et la consommation d'eau peut être plus réduite. D'autre part, l'échantillonnage des fumiers en période de finition s'est effectué 168 jours après le début de l'essai, soit au début de juin. La température dans l'étable est alors plus élevée et une évaporation de l'eau plus grande peut survenir dans les parquets, comparé aux conditions hivernales.

- CONCLUSION -

De manière générale, la concentration en éléments nutritifs des fumiers s'accroît avec l'âge des animaux pendant la période de croissance (A_1 , A_2 et A_3). Pendant la période de finition (A_4), les concentrations se stabilisent ou sont légèrement réduites par rapport à A_3 . L'âge des animaux est donc un facteur très important pour expliquer la variabilité de la valeur fertilisante des fumiers de bovins de boucherie. Les animaux les plus jeunes absorbent moins d'aliments, les assimilent mieux et ont un taux de croissance élevé. La concentration des éléments nutritifs dans les fumiers est alors plus faible. La quantité de fèces + urine excrétée s'accroît avec l'âge des animaux. Comme la quantité de bran de scie est demeurée fixe à 4 kg de bran de scie (base sèche) par animal par jour, ceci explique l'accroissement de la teneur en éléments nutritifs avec l'âge des animaux. En période de finition A_4 , les régimes sont plus riches en grains et moins riches en protéine de sorte que les rejets d'éléments nutritifs se stabilisent ou diminuent pour cette période. La densité des fumiers n'a pas été affectée par l'âge des animaux, mais leur teneur en eau l'a été.

- VOLET 3 -

Effet de la durée d'entreposage en andains au champ

Méthodologie

Après la mise en andains au champ des fumiers, plusieurs mécanismes peuvent modifier leur composition. L'activité biologique réduit la biomasse, décompose les matières organiques et concentre les éléments nutritifs. Une lixiviation de ces éléments peut survenir. Dans cette partie de l'étude nous suivrons l'évolution de la composition des fumiers mis en andains en fonction du temps. Les andains sont constitués d'environ 6 tonnes de fumier frais, en recueillant pendant 2 semaines l'ensemble du fumier produit dans chacun des parquets pour chacun des régimes. Ils ont à la base environ 3 mètres, 1,25 mètres en hauteur et 4 mètres de longueur. La mise en place des andains a eu lieu à la mi-décembre. Deux andains sont ainsi constitués pour chacun des régimes fournissant deux répétitions au champ.

La durée d'entreposage des fumiers en andains au champ a été de 40 semaines. Au cours de cette période, chacun des fumiers produits, provenant des 6 régimes alimentaires, a été mesuré à 5 reprises (à 0,8, 20, 24 et 40 semaines après la mise en andains, en décembre 1998 pour se terminer en septembre 1999). Les échantillons ont été prélevés en duplicita et analysés pour leur contenu en carbone, en azote total, N-NH₄, N-NH₄/N total, C/N, P total, P ortho, P ortho/P total, K, Ca, Mg, densité, cendres et teneur en eau. Une valeur moyenne est obtenue pour chacune des périodes en regroupant les divers régimes alimentaires. Ce dispositif est de type factoriel : 6 régimes alimentaires x 5 périodes d'entreposage en andains. Deux répétitions ont été utilisées. Le traitement statistique a été réalisé au moyen du logiciel statistique SAS avec une procédure GLM. Dans cette partie, nous traiterons donc de l'évolution de la composition des fumiers pendant l'entreposage en andains au champ selon les traitements correspondant à une durée (en semaines) d'entreposage, soit S₀, S₈, S₂₀, S₂₄ et S₄₀ du fumier mis en andains en décembre.

Les périodes S₀ et S₈ correspondent à la période hivernale.

La période S₂₀ correspond à la période printanière.

Les périodes S₂₄ et S₄₀ correspondent à la période estivale.

Tous les andains sont recouverts d'une toile géotextile semi-perméable de la compagnie Texel. Les résultats d'analyse des fumiers sont exprimés sur une base de matière sèche.

- VOLET 3 -

Effet de la durée d'entreposage en andains au champ

Résultats

De façon générale, la teneur en éléments nutritifs s'accroît avec la durée de l'entreposage suite à l'activité biologique qui réduit considérablement la biomasse de plus de 50 % pour la durée complète de l'essai de 40 semaines (Tableaux 3.1 et 3.2). Les changements sont plus modérés pendant la période hivernale S_0 à S_8 et plus rapides pendant la période estivale S_{24} à S_{40} .

Carbone et rapport C/N

Contrairement aux autres éléments, la teneur en carbone diminue progressivement de 46,5 % au début de l'essai (S_0) et à 42,5 % à la fin (S_{40}) (Tableau 3.2). La minéralisation du carbone et les pertes en CO₂, particulièrement importantes entre S_{20} et S_{40} , expliquent ces changements (Figure 3.1). Ces phénomènes sont tout à fait conformes à ce qui est généralement observé pendant le compostage des matières organiques. Pour la durée de l'essai de 40 semaines, le rapport C/N diminue progressivement de 30,8 à 16,4 (Figure 3.1).

Azote total

La teneur en N total s'accroît de 1,54 % à 2,61 % progressivement entre S_0 et S_{40} (Figure 3.1). La durée d'entreposage modifie donc substantiellement la teneur en N et la valeur fertilisante des fumiers. Après 40 semaines, le fumier a composté, il est plus riche en substance humique et en azote total et son volume a réduit de plus de la moitié. Même si la teneur en N total des fumiers augmente, ceci ne signifie pas qu'aucune perte ne survient.

Ces pertes seront quantifiées dans une section ultérieure par un bilan de masse. La réduction de masse, particulièrement importante dans les andains, produit globalement un accroissement de la teneur en éléments nutritifs dont l'azote total.

Azote ammoniacal et rapport N-NH₄/N total

La teneur en N-NH₄ évolue à la baisse de façon très marquée pendant la période d'entreposage, particulièrement entre S_{20} et S_{40} (Tableau 3.2). Entre S_0 et S_8 , correspondant à la période hivernale, la teneur se maintient à 0,25 % N-NH₄. Entre S_{20} et S_{40} , elle chute de 0,21 à 0,01 %. Deux phénomènes peuvent expliquer cette baisse. D'une part, la réorganisation de l'azote ammoniacal,

suite à l'activité biologique, peut faire diminuer la teneur en N-NH₄ et d'autre part, le lessivage et la volatilisation ammoniacale peuvent aussi entraîner une réduction importante du N-NH₄. La teneur en N-NH₄ des fumiers diminue donc pendant la période d'entreposage. La proportion N-NH₄/N total suit la même tendance. Elle passe de 16,2 % au début de la mise en andains en décembre à 0,4 % 40 semaines plus tard. Presque tout l'azote est alors sous forme organique (Figure 3.1). La durée d'entreposage entraîne donc un accroissement de l'azote total et organique mais une réduction de l'azote ammoniacal.

P total, P ortho et P ortho/P total

La teneur en P total s'accroît progressivement de 0,33 % à 0,66 % P entre S₀ et S₄₀. Le compostage accroît donc le P total du fumier (Tableau 3.2). Ces observations sont également vraies pour le P ortho qui s'accroît de 0,25 à 0,40 % P pendant la même période (Figure 3.1). La valeur fertilisante du fumier s'accroît donc en P total et P ortho, avec la durée d'entreposage. Pour les producteurs soucieux de contrôler les charges de P appliquées sur les sols, il faudra tenir compte de ce facteur.

D'autre part, la proportion P ortho/P total diminue entre S₀ et S₂₄ de 74,9 à 55,0 %. Le coefficient d'efficacité du P serait donc affecté lors de l'entreposage dû à une réorganisation du phosphore suite au compostage. La teneur en P total s'accroît mais le rapport P ortho/P total diminue après la mise en andains.

Potassium

La teneur en K s'accroît de 0,94 à 1,18 % K entre S₀ et S₄₀ (Figure 3.1). Les teneurs en K sont plus élevées à S₂₄ avec 1,44 % K. Le taux d'enrichissement de la teneur en K, plus modéré que celui des autres éléments, suit un comportement plutôt erratique. Ces faits suggèrent des pertes potentielles pour cet élément, particulièrement au cours de la période printanière S₂₀ et estivale S₂₄ et S₄₀. Un bilan de récupération du K sera fait pour mesurer ces pertes.

Calcium

La teneur en calcium s'accroît de 0,48 à 0,70 % Ca entre S₀ et S₄₀ (Figure 3.1). Toutefois, entre S₂₄ et S₄₀ (période estivale), la teneur demeure stable. Compte tenu de la réduction importante de la biomasse pendant cette période, il est possible que des pertes de Ca surviennent. Un bilan de récupération du Ca sera réalisé.

Tableau 3.1 Analyse de variance de l'effet de la durée d'entreposage en andains et des régimes alimentaires sur la composition des fumiers de bovins de boucherie.

Traitement	C	N total	N-NH ₄	N-NH ₄ N total	C/N	P total	P ortho	P ortho P total	K	Ca	Mg	Densi té	Cendr es	Teneur en eau
Valeur F														
Régimes alimentaires	5,8**	3,0*	**	**	4,0**	11,4**	10,1**	5,6**	8,7**	NS	7,1**	4,2**	5,8**	2,7*
Durée d'entreposage	42,4**	31,3**	**	**	37,0**	34,2**	5,1**	20,6**	13,5**	24,0**	14,7**	NS	42,4**	42,3**
Régime x durée	2,3*	2,1*	**	**	2,5*	NS	NS	NS	NS	2,2*	2,7*	NS	2,3*	NS
Coefficient de variation	1,7	12,5	53,3	47,1	12,3	15,2	22,9	9,9	15,3	12,8	12,9	8,1	14,2	3,04

* : significatif à P = 0,05

** : significatif à P = 0,01

NS : non significatif à P = 0,05

Tableau 3.2 Effet de la durée d'entreposage en andains sur la composition des fumiers de bovins de boucherie

Durée d'entreposage S (en semaines)	C	N total	N-NH ₄	N-NH ₄ N total	C/N	P total	P ortho	P ortho P total	K	Ca	Mg	Densité	Cendres	TEE
	-----(%-----)	-----(%-----)	-----(%-----)	-----(%-----)		-----(%-----)	-----(%-----)	-----(%-----)		-----(%-----)	-----(%-----)	(kg/l)	-----(%-----)	-----(%-----)
S ₀	46,5a	1,54d	0,25a	16,2a	30,8a	0,33d	0,25c	74,9a	0,94c	0,48c	0,27c	0,86a	6,9e	68,8d
S ₈	45,6b	1,71cd	0,25a	14,6ab	26,9b	0,41c	0,30bc	72,0a	1,08bc	0,51c	0,30c	0,87a	8,8d	72,5c
S ₂₀	44,6c	1,91c	0,21a	11,0b	24,3b	0,51b	0,32bc	60,9b	1,10b	0,61b	0,34b	0,85a	10,8c	76,8b
S ₂₄	43,6d	2,34b	0,04b	1,7c	19,3c	0,63a	0,35ab	55,0b	1,44a	0,73a	0,38a	0,86a	12,6b	76,8b
S ₄₀	42,5e	2,61a	0,01b	0,4c	16,4d	0,66a	0,40a	60,4b	1,18b	0,70a	0,35a	0,79b	14,9a	80,7a

Test Duncan : Les données porteuses d'une même lettre ne diffèrent pas entre elles au seuil statistique P = 0,05.

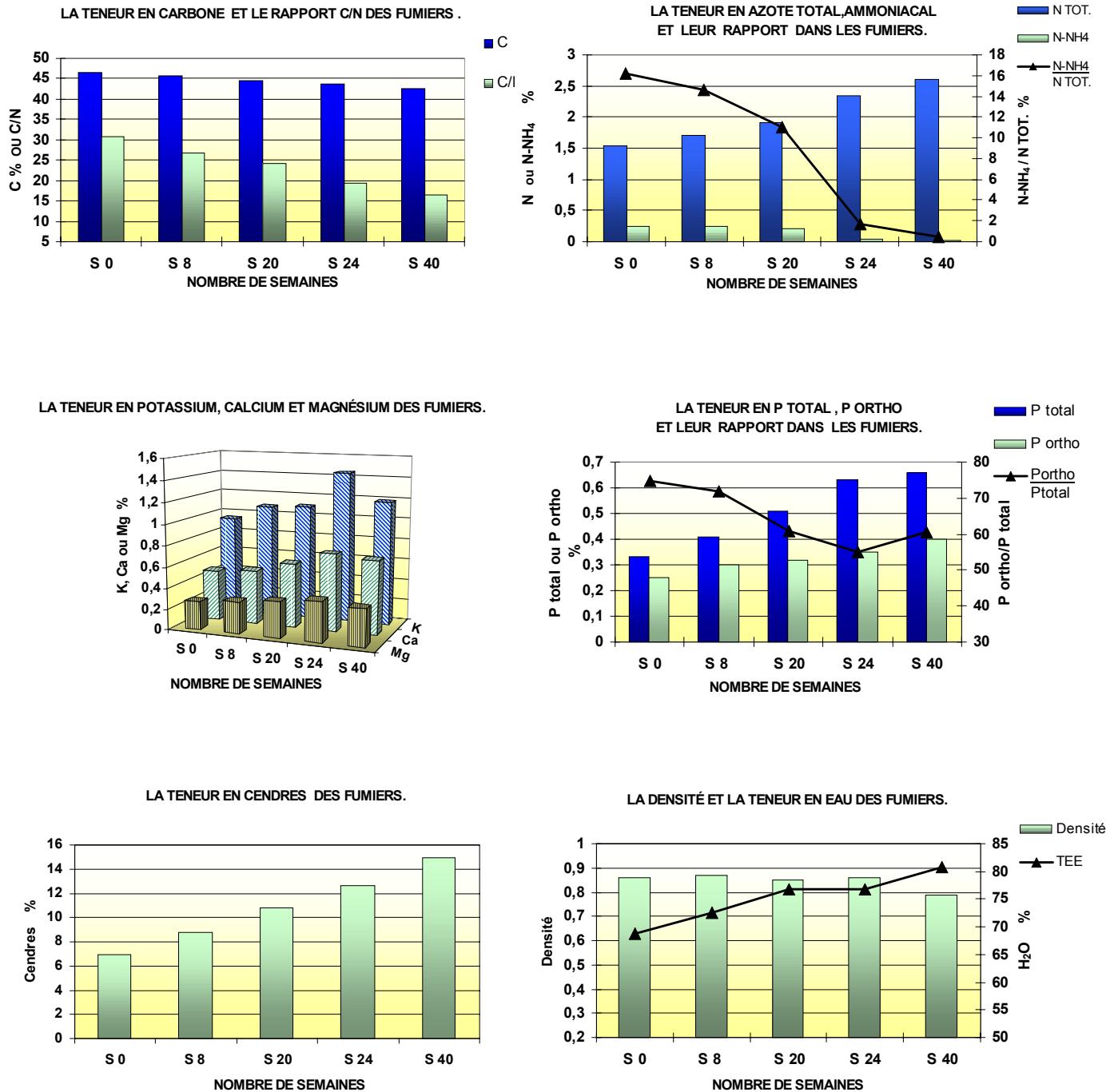
Moyenne des deux répétitions et des six régimes alimentaires confondus.

Les résultats sont exprimés sur la base de la matière sèche des fumiers.

Magnésium

La teneur en magnésium s'accroît de 0,27 à 0,35 % Mg entre S₀ et S₄₀ (Figure 3.1). Tout comme pour Ca, la teneur en Mg entre S₂₄ et S₄₀ change peu malgré une réduction de la biomasse. Ceci signifie que des pertes de Mg pourraient survenir pendant cette période. Le calcium et le magnésium peuvent se lessiver avec la matière organique soluble ou comme ions dissous dans le lixiviat. La teneur en eau, qui s'accroît entre S₂₄ et S₄₀ de 76,8 à 80,8 %, renforce l'idée de lixiviation estivale.

Figure 3.1 Effet de la période d'entreposage sur la composition des fumiers de bovins de boucherie



Densité

La densité des fumiers mis en andains demeure stable entre 0,85 et 0,87 kg/l entre les périodes S₀ et S₂₄, et cela, malgré un accroissement de la teneur en eau. La perte de matière organique accroît la porosité du fumier, de sorte que même une teneur en eau accrue n'augmente pas la densité. Au contraire, à la période S₄₀ on note une diminution de la densité à 0,79 kg/l, et ce, malgré une augmentation de la teneur en eau à 80,8 % (Figure 3.1).

Cendres

La teneur en cendres s'accroît progressivement de 6,9 à 14,9 % entre S₀ et S₄₀ (Figure 3.1). Suite à la minéralisation du carbone en CO₂, les minéraux se concentrent dans la biomasse. Les cendres révèlent bien cette réduction de la biomasse et peuvent même servir de traceur pour déterminer les pertes de matière organique pendant le compostage. Entre S₀ et S₄₀, les cendres ont plus que doublé avec un facteur d'enrichissement de 2,16. Cela signifie une réduction de masse du fumier dans les andains de 53,7 %.

Teneur en eau

La teneur en eau s'accroît de 68,8 à 80,7 % entre S₀ et S₄₀ même si les andains sont recouverts d'une toile géotextile semi-perméable à l'eau (Figure 3.1). L'infiltration d'eau dans les andains et la remontée à partir du sol ne peuvent expliquer cet accroissement. Il semble que la réduction importante de la biomasse a comme effet d'accroître non seulement la teneur en éléments nutritifs des fumiers mais aussi leur teneur en eau. L'activité biologique génère également de la vapeur d'eau. Ces résultats montrent également qu'il faut des conditions initiales d'humidité d'environ 70 % si on veut maintenir des conditions d'humidité inférieures à 80 % pendant l'entreposage.

- CONCLUSION -

La teneur en éléments nutritifs s'accroît proportionnellement avec la durée d'entreposage en andains. L'activité biologique réduit progressivement la masse des andains, ce qui concentre les éléments. Le carbone subit l'effet inverse. L'activité biologique produit du CO₂ et accroît les cendres, ce qui diminue la teneur en C des fumiers selon la durée d'entreposage. Les plus forts changements surviennent pendant la période estivale, au moment où les températures sont plus élevées. Le rapport C/N des fumiers diminue également avec la période d'entreposage. La densité des fumiers demeure stable pendant la durée de l'entreposage. Par contre, la teneur en eau s'accroît, même si les andains étaient couverts d'une toile géotextile semi-perméable.

- VOLET 4 -

Couverture des andains et bilan de récupération des éléments nutritifs

Méthodologie

Dans le but d'établir un bilan de récupération des éléments selon la couverture ou non des andains, nous avons pesé le fumier frais produit provenant de deux régimes alimentaires C et G, mesuré leurs concentrations en éléments nutritifs et leur teneur en eau. Ceci nous permet de connaître la quantité d'éléments nutritifs présents au début de la mise en andains. Un des andains est couvert d'une toile géotextile Texel, l'autre est non couvert. La mise en place du dispositif s'est fait en décembre 1998.

En juin 1999, après 26 semaines, nous avons repris le poids et l'humidité de chacun des andains couverts et non couverts et mesuré leur teneur en éléments nutritifs. Ceci nous permet de connaître la quantité d'éléments nutritifs résiduels des andains couverts et non couverts après une période de 26 semaines. Le pourcentage de récupération des éléments nutritifs est établi selon la formule :

$$\frac{\text{Quantité de l'élément à la fin de l'essai}}{\text{Quantité de l'élément au début de l'essai}} \times 100 = \text{Récupération (\%)}$$

L'incidence de la toile géotextile sur la récupération des éléments nutritifs a été établie en comparant le pourcentage de récupération des éléments nutritifs dans les andains couverts et non couverts. De plus, une analyse de variance de la teneur en éléments nutritifs des fumiers couverts et non couverts a été réalisée à l'aide du logiciel de traitement statistique SAS, selon une procédure GLM, entre le début et la fin de l'entreposage en andains de 26 semaines. Les résultats d'analyse des fumiers sont exprimés sur une base sèche.

- VOLET 4 -

Couverture des andains et bilan de récupération des éléments nutritifs

Résultats

Carbone

Il n'y a pas de différence significative dans la teneur en carbone des fumiers couverts et non couverts à la fin de la période d'entreposage de 26 semaines (Tableau 4.1). La baisse de la teneur en carbone entre le début (46,9 % C) et la fin de la période d'entreposage (42,6 % C) est par contre très significative (Tableau 4.2), (Figure 4.1a). La récupération de la matière organique a été de 39 % après la période d'entreposage. Elle n'est pas affectée par la couverture des andains (Tableau 4.3).

Azote total, N-NH₄ et N-NH₄/N total

Lors de l'entreposage en andains, des pertes d'azote peuvent se produire, soit par volatilisation ammoniacale ou par lessivage. Dans les andains couverts, la récupération de l'azote total est de 77,8 % (Tableau 4.3, Figure 4.2). Il n'est pas possible dans cette étude de préciser les pertes d'azote en fonction du lessivage ou de la volatilisation. La teneur en N à la fin de l'essai est de 2,50 % dans les andains couverts, contre 2,04 % dans les andains non couverts (Figure 4.1a).

Dans les andains non couverts, la récupération de l'azote total est de 59,1 %, soit 18,7 % plus faible que pour les andains couverts. La composition des fumiers selon les proportions de bran de scie utilisées (4 kg de bran de scie sec/animal/jour) n'assure pas la totalité de la rétention de l'azote. Côté et Grégoire (2000) ont noté un accroissement appréciable de plusieurs éléments nutritifs dont l'azote ammoniacal dans les sols sous les andains de fumiers de bovins de boucherie non couverts (Tableau 4.4). La teneur en N-NH₄ diminue beaucoup avec la durée d'entreposage. À la fin de l'essai, elle est semblable dans les andains couverts et non couverts. Il en va de même pour le rapport N-NH₄/N total (Figure 4.1 a).

P total

Le phosphore dans les fumiers se trouve sous diverses formes que l'on peut regrouper en formes organiques et minérales. Certaines formes de P organique sont solubles et donc lessivables. De même, les formes minérales, principalement constituées de P orthophosphates, peuvent être solubles en présence d'ammonium et de potassium et donc lessivables.

Tableau 4.1 Analyse de variance de l'effet de la couverture des andains par une toile géotextile sur la composition des fumiers de bovins de boucherie après une période d'entreposage en andains de 26 semaines.

Traitement	C	N total	N-NH ₄	N-NH ₄ N total	C/N	P total	K	Ca	Mg	Cendres	Teneur en eau
-----(%-----)											
Couvert vs non couvert	NS	49,5**	NS	NS	56,6**	18,9**	24,3**	7,8*	12,0**	NS	7,3*
Coefficient de variation (%)	2,5	4,1	120	136	3,6	5,4	5,0	8,6	5,4	15,1	3,9

* : significatif à P = 0,05

** : significatif à P = 0,01

NS : non significatif à P = 0,05

Tableau 4.2 Évolution de la composition des fumiers de bovins de boucherie en fonction de la période d'entreposage et de la couverture des andains.

Traitement	C	N total	N-NH ₄	N-NH ₄ N total	C/N	P total	K	Ca	Mg	Cendres
-----(%-----)										
Début couvert	46,9a	1,35c	0,18a	13,3a	34,8a	0,30c	0,86c	0,49c	0,27c	6,17b
Début non couvert	46,8a	1,50c	0,19a	12,7a	31,2a	0,31c	0,89c	0,51c	0,30c	6,43b
Fin couvert	43,0b	2,50a	0,066b	2,6b	17,2c	0,59a	1,77a	1,11a	0,54a	13,9a
Fin non couvert	42,6b	2,04b	0,069b	3,4b	20,6b	0,50b	1,49b	0,94b	0,48b	14,8a

Test Duncan : Les données porteuses d'une même lettre ne diffèrent pas entre elles au seuil statistique P = 0,05.
Les résultats sont exprimés sur la base de la matière sèche des fumiers.

Dans les andains couverts, la récupération de P total est de 82,6 %. Même si le P est globalement assez peu mobile, des pertes modérées surviennent même dans des andains couverts (Tableau 4.3). Dans les andains non-couverts, la récupération de P est de 70 %, soit 12,6 % plus bas que pour les andains couverts. Ceci confirme le fait qu'une certaine proportion du P est soluble et lessivable. La teneur en P total des fumiers à la fin de l'essai (26 semaines) est de 0,59 % dans les andains couverts, contre 0,50 % dans les andains non couverts (Figure 4.1 b).

Tableau 4.3 Récupération des éléments nutritifs à la fin de la période d'entreposage des fumiers en andains couverts et non couverts.

Éléments nutritifs	Condition initiale						Condition finale						Récupération des éléments	
	Couvert			Non couvert			Couvert			Non couvert			Couvert	Non couvert
	Qte fumier (kg) (M.S.)	% élément (M.S.)	Qte élément (kg)	Qte fumier (kg) (M.S.)	% élément (M.S.)	Qte élément (kg)	Qte fumier (kg) (M.S.)	% élément (M.S.)	Qte élément (kg)	Qte fumier (kg) (M.S.)	% élément (M.S.)	Qte élément (kg)	%	%
N total	1933	1,35	26,1	1792	1,50	26,9	812	2,50	20,3	778	2,04	15,9	77,8	59,1
P total	1933	0,30	5,80	1792	0,31	5,56	812	0,59	4,79	778	0,50	3,89	82,6	70,0
K	1933	0,86	16,6	1792	0,89	15,9	812	1,77	14,4	778	1,49	11,6	86,7	73,0
Ca	1933	0,49	9,47	1792	0,51	9,14	812	1,11	9,01	778	0,94	7,31	95,1	80,0
Mg	1933	0,27	5,21	1792	0,30	5,38	812	0,54	4,38	778	0,48	3,73	83,9	69,3
M.O.	1933	93,8	1813	1792	93,6	1677	812	86,1	699	778	84,0	654	38,6	39,0
C/N	1933	34,8	---	1792	31,2	---	812	17,2	---	778	20,6	---	---	---
Cendres	1933	6,17	119	1792	6,43	115	812	13,9	113	778	14,8	115	95,0	100

Tableau 4.4 Teneur en éléments nutritifs dans les sols sous les andains avant et après la période d'entreposage au champ du fumier de bovins de boucherie.

Prélèvement du sol	N total	N-NH ₄	N-NO ₃	P	K	Ca	Mg
	----(%)----	-----	-----	(mg/kg)	-----	-----	-----
Avant	0,26	3,8	6,6	52	116	540	33
Après	0,27	288	5,1	75	864	824	86

Source : Côté, D. et R. Grégoire. Communication personnelle.

Potassium

Le potassium est considéré comme un élément particulièrement lessivable dans les fumiers. Il est peu retenu par la matière organique et se retrouve principalement dans la phase liquide des fumiers. Dans les andains couverts, la récupération de K est de 86,7 %, ce qui est très élevé compte tenu de la mobilité de cet élément. Pour les andains non couverts, la récupération de K est de 73,0 % (Tableau 4.3). La différence est de 13,7 % de K plus élevée dans les andains couverts. D'après Côté et Grégoire (2000), la teneur en K dans les sols sous les andains est augmentée (Tableau 4.4). Ceci crée une hétérogénéité de la fertilité des sols qui rendra plus difficile la gestion du plan de fertilisation dans les champs qui ont reçu des andains de fumier. La teneur en K des fumiers à la fin de l'essai est de 1,77 % dans les andains couverts, contre 1,49 % dans les andains non couverts (Figure 4.1 b).

Figure 4.1 a Évolution de la composition des fumiers de bovins de boucherie en fonction de la période d'entreposage et de la couverture de andains

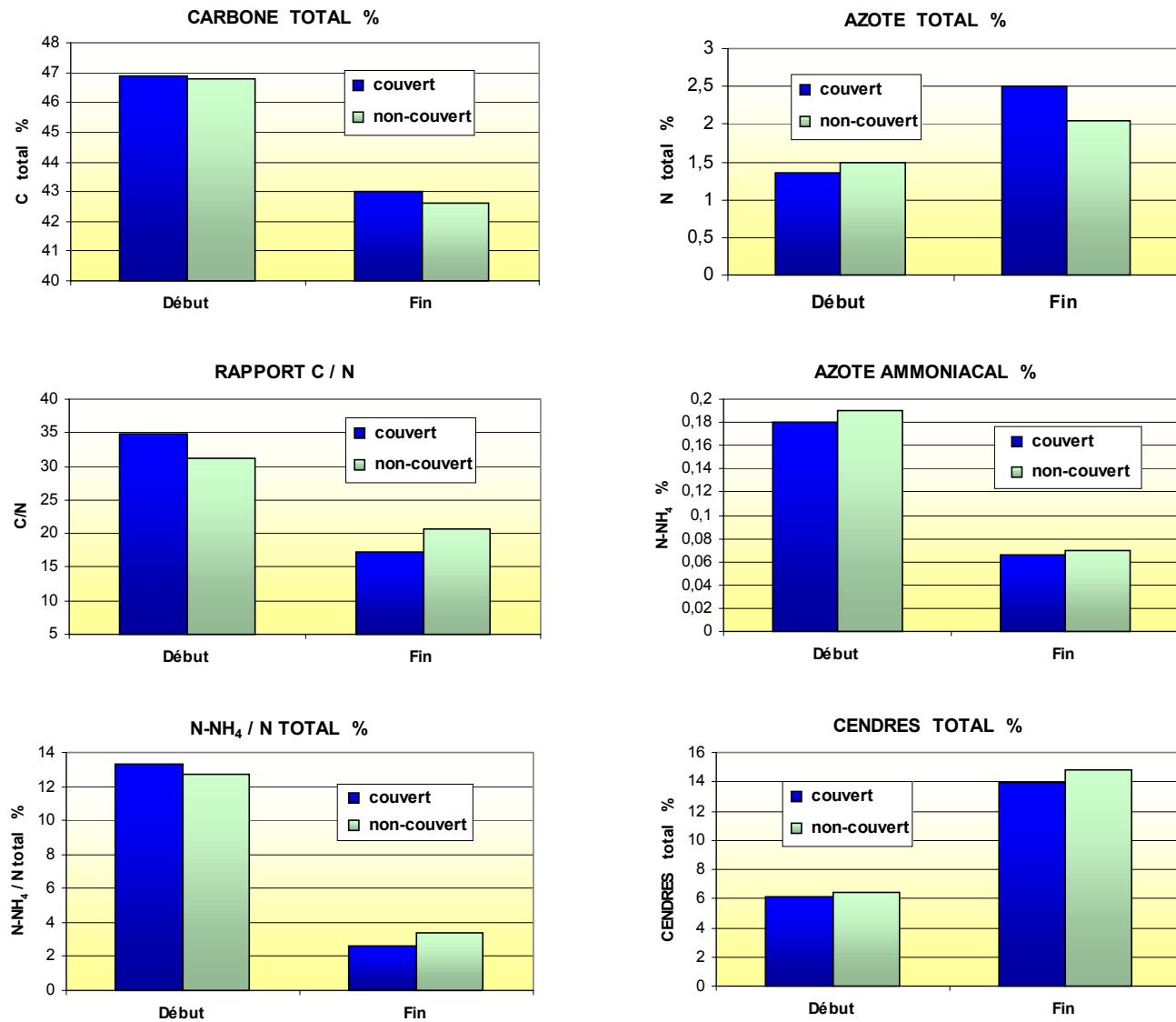


Figure 4.1 b Évolution de la composition des fumiers de bovins de boucherie en fonction de la période d'entreposage et de la couverture de andains

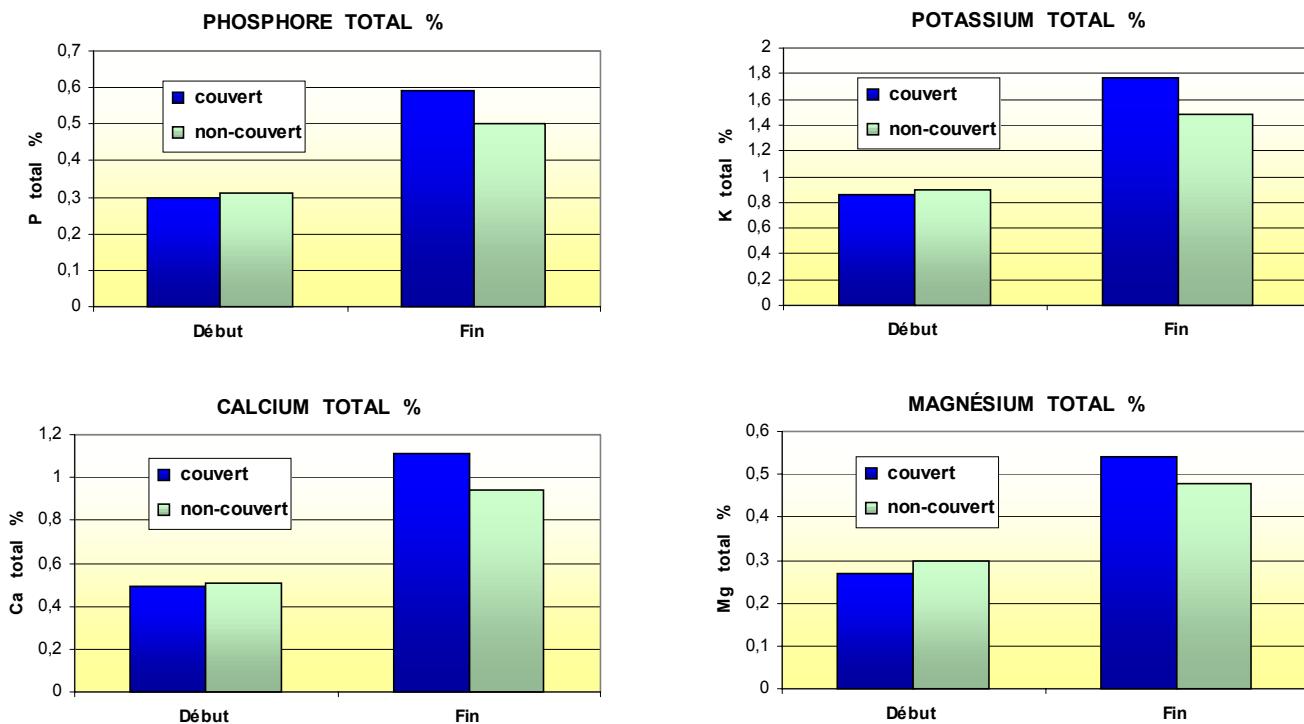
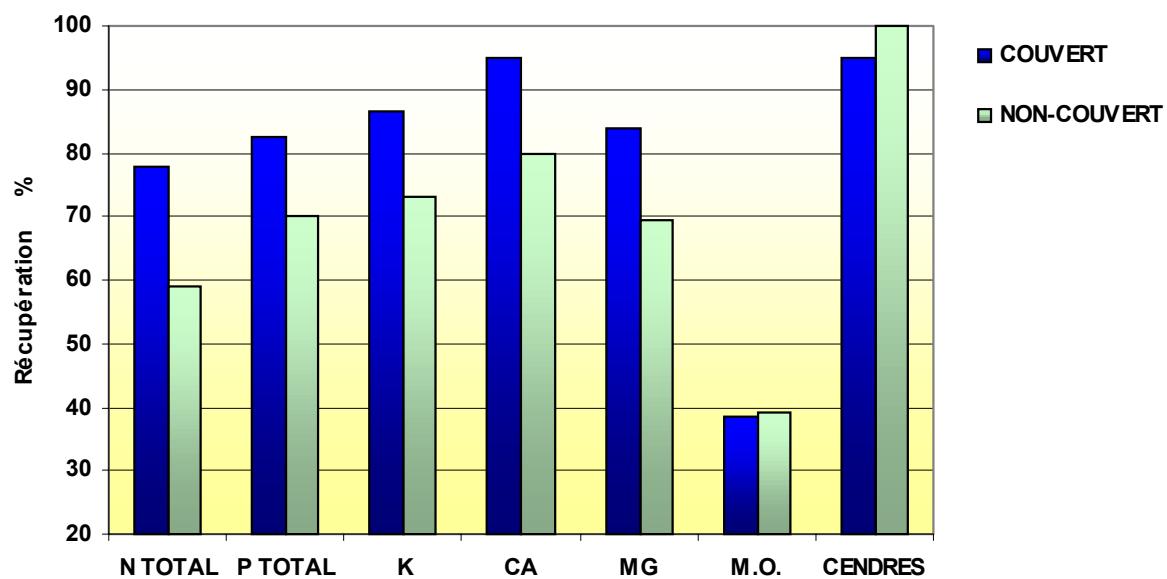


Figure 4.2 Récupération des éléments nutritifs dans les andains couverts et non-couverts



Calcium

Le calcium, contrairement au potassium, montre une plus grande rétention par les matières organiques. Il peut cependant se lessiver lié à la matière organique soluble ou comme ion dissous dans le lixiviat.

Dans les andains couverts, la récupération du calcium est très élevée avec 95,1 %, soit moins de 5 % de pertes. Pour les andains non couverts, la récupération du Ca est de 80,0 %, soit près de 15 % inférieure aux andains couverts (Tableau 4.3, Figure 4.2).

Des pertes de calcium peuvent donc survenir dans les andains non couverts bien que le taux de récupération de Ca soit plus élevé que celui de N, P, K et Mg; ces pertes n'entraînent pas d'impacts agronomiques ou environnementaux importants. La teneur en Ca des fumiers à la fin de l'essai est de 1,11 % dans les andains couverts, contre 0,94 % dans les andains non couverts (Figure 4.1 b).

Magnésium

La récupération du magnésium dans les andains couverts est de 83,9 %. Pour les andains non couverts, la récupération de Mg est de 69,3 % (Tableau 4.3). La différence entre les pertes des andains couverts et non couverts atteint 14,6 %. Le pourcentage de récupération du magnésium se compare à celui de P et K mais est plus faible que celui de Ca. La teneur en Mg des fumiers est de 0,54 % à la fin de l'essai dans les andains couverts, contre 0,48 % dans les andains non couverts (Figure 4.1 b).

Cendres

La récupération des cendres sous les andains couverts est de 95,0 %. Pour les andains non couverts, elle est de 100 % (Tableau 4.3, Figure 4.2). Vu le taux de récupération élevé, tant pour les andains couverts que non couverts, l'analyse des cendres permet très bien d'estimer la réduction de masse qui survient pendant la période d'entreposage des fumiers en andains. En effet, l'accroissement en cendres des fumiers est inversement relié à la réduction de masse des andains.

Par exemple, si on considère les andains couverts, la masse initiale est de 1933 kg et la masse finale de 812 kg. La masse résiduelle est de 42,0 % de la masse initiale. La teneur en cendres correspondante est de 6,17 % au début de l'essai contre 13,9 % à la fin de l'essai, soit 2,25 fois plus de cendres à la fin de la période de 26 semaines. Si on prend l'inverse de 2,25, on obtient 44,4 %, ce qui correspond à la masse résiduelle théorique calculée contre 42,0 % pour la masse résiduelle mesurée. L'analyse des cendres peut donc permettre de connaître la réduction de masse

des andains de fumiers par une simple analyse chimique. Certains auteurs suggèrent plutôt d'utiliser les cendres insolubles au lieu des cendres totales pour effectuer ces calculs. Dans l'essai qui nous concerne, les cendres totales ont fourni de bons résultats étant donné le taux de récupération de près de 100 % de celles-ci.

En considérant une récupération de 100 % des cendres dans les andains, il est également possible de calculer les pertes théoriques des éléments nutritifs survenues pendant la période d'entreposage. Prenons le cas du potassium dans les andains non couverts. Si aucune perte de K ne survenait, le facteur d'accroissement de la teneur en K des fumiers serait le même que celui des cendres, soit : $14,8\% / 6,43\% = 2,30$. Le K final sans perte serait dans le même rapport, soit $K \text{ initial} \times 2,30 \rightarrow 0,89 \times 2,30 = 2,05\% \text{ K}$. Or l'analyse de K final est de 1,49 %. La récupération théorique de K est donc de $1,49/2,05 \times 100 = 72,7\%$. La récupération mesurée par pesée a été de 73,0 %. Cet exemple illustre bien le fait que si on dispose d'un traceur adéquat, comme dans ce cas-ci les cendres, on peut adéquatement et facilement mesurer les pertes d'éléments nutritifs et la réduction de masse des andains.

La mise au point de tels indicateurs fiables nécessite encore de la recherche mais les cendres totales semblent intéressantes sous cet aspect.

- CONCLUSION -

La récupération des éléments nutritifs est plus élevée dans les andains couverts que non couverts. Dans les andains couverts, elle dépasse généralement 80 % alors qu'elle varie de 60 à 80 % dans les andains non couverts. Même si le bran de scie est un des meilleurs absorbants disponibles, il ne peut assurer la totale rétention des éléments. Il semble que d'autres mesures devraient être prises pour compléter son action et limiter encore davantage le lessivage des éléments. La couverture des andains peut être un scénario possible, mais il n'élimine pas entièrement le lessivage des éléments N, P, K et Mg. Des mesures complémentaires, comme par exemple la présence de matériel absorbant sous les andains, devraient être étudiées. L'aménagement d'aires appropriées permettant de gérer les lixiviats serait une mesure sans doute plus coûteuse mais plus efficace sur le plan environnemental. De plus, la lixiviation des éléments sous les andains crée des conditions d'hétérogénéité dans la fertilité des sols qui vont compliquer la réalisation des plans de fertilisation et créer des situations potentiellement à risque pour le lessivage des éléments, notamment N-NH₄, K et P.

- VOLET 5 -

Effet de la proportion de bran de scie utilisée

Méthodologie

Contrairement aux volets 1 à 4 réalisés en parquets, le volet 5 est réalisé en laboratoire. Une quantité de fèces + urine est récoltée chez divers animaux pour établir sa teneur en eau, son rapport C/N et sa teneur en éléments nutritifs. Les mêmes analyses sont effectuées sur le bran de scie. Ce volet a pour but de mesurer l'effet des proportions de bran de scie et de fèces + urine sur la composition des fumiers de bovins en vue d'établir les proportions économiquement, agronomiquement et environnementalement acceptables. Pour ce faire, nous utiliserons deux modèles théoriques de calculs qui permettent de prédire la composition des fumiers si on connaît les caractéristiques du bran de scie et celles des fèces + urine. À partir de ces résultats, nous chercherons à établir les proportions de bran de scie permettant de satisfaire à certaines considérations de teneur en eau et de rapport C/N. Les teneurs en éléments nutritifs des fumiers de bovins de boucherie ont été établies selon diverses proportions de bran de scie. Une validation des modèles utilisés a été faite pour trois proportions de bran de scie mélangées en laboratoire et exprimées sur base sèche, soit

20 % bran de scie - 80 % fèces + urine

40 % bran de scie - 60 % fèces + urine

60 % bran de scie - 40 % fèces + urine

Le premier modèle théorique utilisé est celui proposé par Gaudette (1998) servant à établir les proportions des intrants dans les mélanges pour compostage (mélange pour deux ingrédients). La quantité requise d'amendements «a» par kg de résidu «b», basée sur la teneur en eau ciblée pour le mélange, sera calculée comme suit :

$$a = \frac{M_b - M}{M - M_a}$$

On peut supposer que l'amendement «a» représente le bran de scie et que le résidu «b» représente les fèces + urine. Si la proportion des intrants est basée sur un rapport C/N ciblé pour le mélange, on utilisera la formule suivante :

$$a = \frac{\% N_b \times (R - R_b) \times (1 - M_b)}{\% N_a \times (R_a - R) \times (1 - M_a)}$$

a = kg d'amendement «a» par kg de résidu «b» (base fraîche)

M = teneur en eau ciblée pour le mélange

M_a = teneur en eau de l'amendement «a»

M_b = teneur en eau de l'amendement «b»

R = rapport C/N ciblé pour le mélange

R_a = rapport C/N de l'amendement «a»

R_b = rapport C/N de l'amendement «b»

N_a = % N de l'amendement «a»

N_b = % N de l'amendement «b»

Il existe un logiciel pour simplifier ces calculs. Il a été développé par le Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ) pour faciliter les recettes de compostage. Ce logiciel se nomme FORCE 3[®] (version 2.0). Il a été utilisé pour établir les proportions de bran de scie et de fèces + urine dans les fumiers correspondant à divers rapports C/N, teneur en eau et en éléments nutritifs.

VOLET 5

Modélisation de la proportion de bran de scie dans les fèces

Résultats

Le tableau 5.1 et la figure 5.1 présentent les résultats de la modélisation qui permettent de connaître, à partir de calculs, la composition des fumiers selon les deux modèles théoriques utilisés.

Le rapport C/N et la teneur en eau sont les deux principaux critères qui vont guider le choix des proportions de bran de scie. En ce qui concerne la teneur en eau, les essais d'entreposage ont démontré que la teneur en eau s'accroît significativement pendant la période d'entreposage d'environ 5 à 10 %. Si on veut respecter la limite maximale de 80 % de teneur en eau (TEE) dans les andains entreposés pour une longue période, il faudrait viser des conditions initiales d'humidité de 70 %. Cette valeur représente également une valeur limite pour obtenir des conditions propices pour l'activité biologique acceptable lors du compostage des andains.

Par ailleurs, une perte d'eau par évaporation survient dans les parquets, de sorte qu'après une semaine, la teneur en eau des fumiers est plus faible que celle initialement prévue d'environ 5 %. Si on tient compte de cette perte d'humidité des fumiers dans les parquets, une teneur en eau initiale maximale de 75 % devrait être visée. C'est le point qui minimise les coûts économiques d'utilisation du bran de scie tout en permettant l'atteinte de conditions acceptables pour le compostage et le respect de la teneur en eau maximale de 80 % dans les andains.

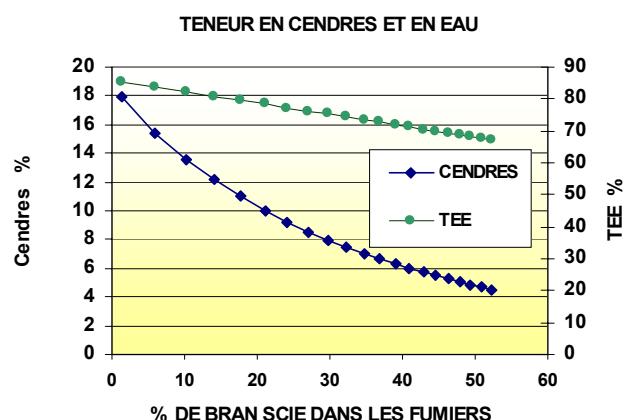
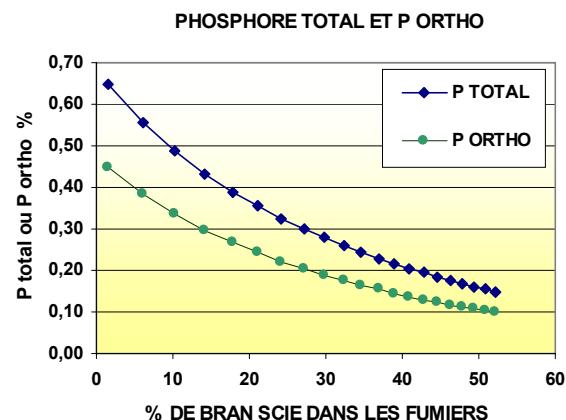
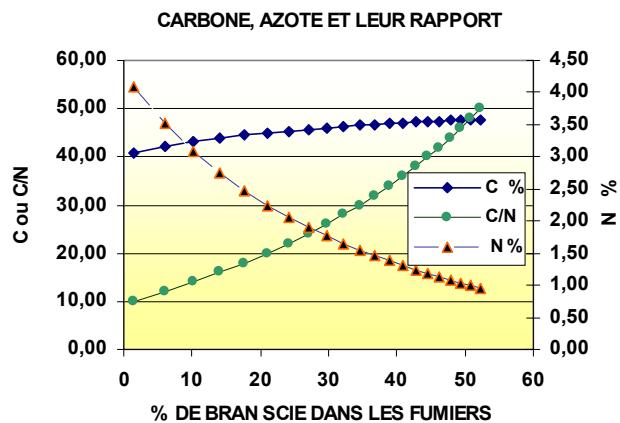
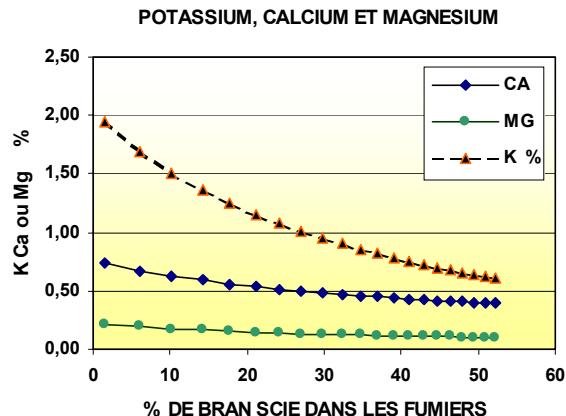
Une proportion de bran de scie de 0,42 kg de bran de scie par kilo de fèces + urine, soit 30 % de bran de scie frais et 70 % de fèces + urine dans le fumier, permet d'atteindre l'humidité visée de 75 % (Tableau 5.1). Le rapport C/N des fumiers correspondant à cette proportion de bran de scie est de 26.

Si les caractéristiques du bran de scie et des fèces + urine diffèrent de celles utilisées, les résultats seront différents et il faut refaire les calculs pour ajuster les proportions. Plus la TEE du bran de scie augmente, plus il faudra en utiliser pour atteindre une TEE acceptable dans les fumiers et inversement si la TEE du bran de scie diminue. Un bran de scie plus sec requis en moindre quantité, produira un fumier avec un rapport C/N plus faible.

Tableau 5.1 Résultat de la modélisation de la composition chimique des fumiers de bovins de boucherie selon diverses proportions de bran de scie et de fèces + urine.

Valeur a												
kg bran de scie	Proportion dans les fumiers		C/N	TEE	N total	C	P total	P ortho	K	Ca	Mg	Cendres
kg fèces + urine (base fraîche)	Bran de scie (base fraîche) (%)	Fèces + urine (base fraîche) (%)	-----(%----- (base sèche)									
1,09	52,2	47,8	50	67,2	0,96	47,9	0,149	0,098	0,605	0,394	0,101	4,49
1,03	50,8	49,2	48	67,7	0,99	47,8	0,155	0,103	0,621	0,398	0,102	4,66
0,98	49,4	50,6	46	68,2	1,04	47,7	0,162	0,107	0,639	0,403	0,103	4,83
0,92	47,9	52,1	44	68,8	1,08	47,6	0,169	0,112	0,658	0,407	0,105	5,03
0,86	46,3	53,7	42	69,3	1,13	47,5	0,177	0,117	0,679	0,413	0,107	5,24
0,81	44,6	55,4	40	69,9	1,18	47,4	0,185	0,123	0,702	0,419	0,109	5,46
0,75	42,8	57,2	38	70,6	1,24	47,2	0,194	0,130	0,727	0,425	0,111	5,72
0,69	41,0	59,0	36	71,2	1,31	47,1	0,205	0,137	0,755	0,432	0,113	5,99
0,64	39,0	61,0	34	72,0	1,38	46,9	0,216	0,145	0,785	0,440	0,116	6,30
0,58	36,9	63,1	32	72,7	1,46	46,7	0,229	0,154	0,820	0,449	0,119	6,65
0,53	34,7	65,3	30	73,5	1,55	46,5	0,243	0,164	0,858	0,459	0,122	7,03
0,47	32,3	67,7	28	74,4	1,66	46,3	0,260	0,176	0,902	0,470	0,126	7,48
0,42	29,8	70,2	26	75,3	1,77	46,1	0,278	0,188	0,952	0,483	0,130	7,98
0,37	27,1	72,9	24	76,3	1,91	45,8	0,300	0,204	1,010	0,498	0,135	8,56
0,32	24,2	75,8	22	77,3	2,06	45,4	0,325	0,221	1,077	0,515	0,140	9,23
0,27	21,1	78,9	20	78,4	2,25	45,0	0,354	0,242	1,156	0,535	0,147	10,03
0,22	17,7	82,3	18	79,6	2,47	44,5	0,390	0,267	1,251	0,560	0,155	10,98
0,16	14,1	85,9	16	80,9	2,74	43,9	0,433	0,297	1,367	0,590	0,164	12,14
0,11	10,2	89,8	14	82,3	3,08	43,1	0,487	0,335	1,512	0,627	0,177	13,60
0,06	6,0	94,0	12	83,8	3,52	42,2	0,556	0,383	1,697	0,674	0,192	15,45
0,01	1,4	98,6	10	85,5	4,10	41,0	0,648	0,447	1,943	0,738	0,213	17,92
Base sèche		<u>Analyse du bran de scie</u>		<u>Analyse des fèces + urine</u>								
M.O. (%)		99,4		81								
C (%)		49,7		40,5								
N total (%)		0,10		4,3								
C/N		497		9,42								
P total		0,013		0,68								
K (%)		0,24		2,03								
Ca (%)		0,30		0,76								
Mg (%)		0,07		0,22								
Cendres (%)		0,83		18,8								
TEE (%)		50		86								

Figure 5.1 Effet de la proportion de bran de scie dans les fumiers de bovins de boucherie sur leur composition chimique



Validation de la modélisation

Le tableau 5.2 présente les résultats analytiques des fumiers de bovins de boucherie correspondant à trois proportions de bran de scie et de fèces. Il permet de comparer les résultats obtenus avec ceux prédis par la modélisation. En général, les résultats analytiques mesurés se rapprochent de ceux prédis avec cependant des écarts appréciables dans certains cas. Ces écarts sont vraisemblablement dus à l'hétérogénéité des échantillons et ne concernent en rien la validité des modèles théoriques. Les résultats mesurés confirment également la proportion de 30 kg de bran de scie frais pour 70 kg de fèces + urine afin d'obtenir une TEE de 75 %. Cette proportion va varier si l'humidité du bran de scie ou celle des fèces + urine diffère de celle mesurée.

Évolution de la composition des fumiers selon la proportion de bran de scie

Tous les paramètres mesurés sont fortement influencés par la proportion de bran de scie et de fèces + urine (Tableau 5.1). Les valeurs modélisées nous montrent l'évolution de certains paramètres physiques et chimiques avec la proportion de bran de scie (Figure 5.1). L'effet est non linéaire et les valeurs tendent vers la composition des fèces pour les faibles proportions de bran de scie et vers la composition du bran de scie pour les fortes proportions de bran de scie.

Tableau 5.2 Valeur théorique et mesurée des fumiers de bovins de boucherie correspondant à diverses proportions de bran de scie et de fèces + urine.

Proportion				TEE ¹ (%)	TEE ² (%)	C/N ¹	C/N ²	N total ¹ (%)	N total ² (%)	P total ¹ (%)	P total ² (%)	K ¹ (%)	K ² (%)	Ca ¹ (%)	Ca ² (%)	Mg ¹ (%)	Mg ² (%)
Bran de scie	Fèces + urine	Bran de scie	Fèces + urine														
(base sèche)				(base fraîche)												(base sèche)	
20	80	6,5	93,5	83,5	83,3	12	11,78	3,52	3,59	0,56	0,60	1,70	1,93	0,67	0,77	0,19	0,230
40	60	15,7	84,3	80,5	80,9	17	16,72	2,74	2,63	0,43	0,47	1,37	1,58	0,59	0,73	0,16	0,215
60	40	29,6	70,4	75,3	76,6	26	22,66	1,77	2,03	0,28	0,38	0,95	1,37	0,48	0,67	0,13	0,206

1 : théorique

2 : mesuré

- CONCLUSION -

Des modèles mathématiques et des logiciels existent et peuvent être très utiles pour définir les proportions de bran de scie à utiliser pour atteindre une humidité et un rapport C/N désirés. Ces mêmes outils permettent de connaître la composition chimique du fumier qui va résulter du mélange de bran de scie avec les fèces + urine.

Des considérations pratiques nous ont amenés à établir les besoins en bran de scie à 0,42 kg/kg fèces + urine, soit 30 % de bran de scie et 70 % de fèces + urine dans le fumier. Cette proportion permet d'atteindre 75 % de teneur en eau dans le fumier et un rapport C/N de 26. Cette proportion représente le compromis entre les contraintes agronomiques, économiques et environnementales permettant de respecter la teneur en eau maximale de 80 % dans les andains et fournissant un rapport C/N et une humidité acceptable pour le compostage.

Ces proportions de bran de scie et de fèces + urine dépendent fortement de la teneur en eau du bran de scie et de celle des fèces + urine. Il en va de même du rapport C/N et des analyses chimiques des fumiers qui vont varier selon les caractéristiques chimiques du bran de scie et celles des fèces + urine. Il est donc souhaitable et même nécessaire de connaître ces caractéristiques pour obtenir les résultats escomptés. Les modèles et les logiciels utilisés tiennent compte de cette variabilité.

- REMERCIEMENTS -

Nous tenons à remercier le personnel ouvrier du CRSAD impliqué dans ce projet pour le support apporté, particulièrement pour l'alimentation des bovins et la manipulation des fumiers. Des remerciements vont également au personnel technique de l'IRDA de Deschambault et de Sainte-Foy pour la prise des échantillons des aliments du bétail et des fumiers et pour les analyses en laboratoire. Merci aussi au personnel en arts graphiques de l'IRDA pour la préparation des rapports de recherche. Nous tenons aussi à remercier M. Laurent Côté du Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ) pour ses conseils et pour nous avoir permis d'utiliser le logiciel «FORCE 3[©]» pour la modélisation de l'effet de la proportion du bran de scie dans les fumiers. Merci aussi à M. Vincent Girard de l'IRDA à Deschambault pour la révision du texte. Merci finalement à la Fédération des producteurs de bovins du Québec pour son soutien financier.

- BIBLIOGRAPHIE -

ACSI-Biorex. 1993. Le compostage du fumier à la ferme : Étude de faisabilité technico-économique et évaluation des impacts agronomiques et environnementaux. Rapport final préparé pour le ministère de l'Environnement du Québec. 275 p.

Côté, D., M. L'Heureux et D. Potvin. 1998. Le compostage en silo-couloir, a-t-il sa place dans la chaîne de gestion optimale du fumier de bovins laitiers? Agrosol 10 (1) : 28-34.

CPAQ. 1998. Estimation des rejets d'azote et de phosphore par les animaux d'élevage. Comité ad hoc sur l'agroenvironnement. 31 p.

CRIQ. 1995. Recherche de techniques de compostage adaptées à une gestion optimale des fumiers. Rapport final préparé pour le ministère de l'Environnement et de la Faune. 334 p.

Écotech. 1997. Projet de démonstration technologique d'un système de compostage en continu des fumiers à la ferme. Singamel inc. Projet Plan Vert. Rapport final. 32 p.

Gaudette, N. 1998. La caractérisation des résidus organiques en fonction des exigences du procédé de compostage. Agrosol 10 (1) : 17-27.

Grégoire, R. 2000. Bouvillons d'abattage : sous-produits mis à l'essai. Bovins du Québec. Juin-juillet 2000 38-39.

Grégoire, R., D. Rony et V. Girard. 1992. Performance des bouvillons recevant du maïs-épi humide et du maïs-grain humide dans les RTM avec ADF et PB constant. Journées de recherche en zootechnie. CPAQ. Sommaire des conférences.

Owen, F.N. et R. Zinn. 1988. Protein metabolism of ruminant animals. Dans The ruminant animal digestive physiology and nutrition. D.C. Church ed. Prentice. Hall. N.J. p. 227-250.

Soltner, D. 1979. La production de viande bovine. 8^e éd. Coll. Sciences et Techniques agricoles. Le Clos Lorette. Angers, France. 321 p.

- ANNEXE 1 -

Conversion des résultats

Dans cette étude, toutes les teneurs en éléments nutritifs des fumiers sont exprimées sur une base de matière sèche, en pourcentage des éléments N, P, K, Ca et Mg. Pour convertir les résultats sur une base fraîche en kg/tonne, tel qu'habituellement exprimé dans les rapports d'analyse aux agriculteurs, on peut utiliser la formule suivante :

$$\text{Élément (kg/t)} = \text{Élément (\%)} \times \underline{(100 - \text{TEE})}$$

Pour P : kg/t P x 2,29 = kg/t P₂O₅
 Pour K : kg/t K x 1,2 = kg/t K₂O
 TEE = teneur en eau des fumiers en %