



L'Institut National de la Recherche Agronomique

- Institut de recherche finalisée, dans 3 secteurs : Agriculture, Environnement et Alimentation
- 3 missions principales : **produire** et **diffuser** des connaissances scientifiques ; **développer** la culture scientifique et **former** à la recherche ; **éclairer**, par son expertise, les décisions des acteurs publics et privés de la société
- Institut leader de la recherche agronomique en Europe, 2^{ème} au niveau mondial (*nb publications*)
- 8 500 permanents dans 17 centres régionaux, 13 divisions scientifiques, 200 unités de recherche

.02
20 février 2014

Unité Mixte de Recherche sur les Herbivores (Inra – VetAgro Sup)



- Située en Auvergne (Centre de Theix)
- 150 permanents et 100 non permanents (*thésards, post-doctorants, CDD...*) dans 7 équipes de recherche
- Recherches sur les ruminants, de la génomique à l'économie (*les processus digestifs, l'efficacité de la production, la qualité du lait et de la viande, le bien-être animal, la durabilité des systèmes...*)
- Contribue au développement du système français d'alimentation des ruminants et à son évolution

.03
20 février 2014

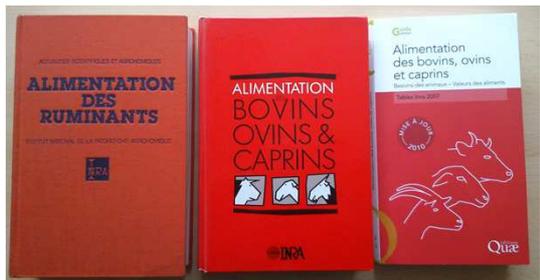
Introduction à l'alimentation des ruminants

- Historique et spécificités du système français INRA d'alimentation des ruminants
- Bref rappel de la « digestion » ruminale

Les spécificités du système français d'alimentation des ruminants

- Publié dès 1978, en constante évolution avec l'amélioration des connaissances
- Non pas un mais 4 systèmes : **UF** (énergie), **UE** (valeurs d'encombrement), **PDI** (azote), **Ca_{abs}-P_{abs}** (minéraux)
- 4 systèmes cohérents : besoins des animaux / valeurs des aliments → **rationnement**
- 4 systèmes universels : toutes espèces, toutes productions, tous types d'aliments

Le « Livre rouge » de l'INRA la référence sur le système français



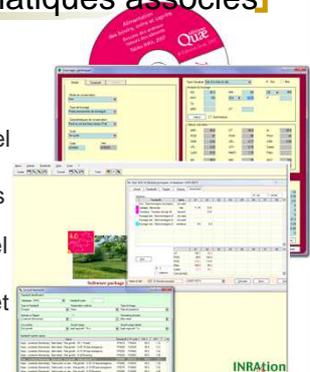
1978 / 1980 1988 2007 / 2010

Le « Livre rouge » de l'INRA un ouvrage à vocation internationale



Les outils informatiques associés

- **INRAlim** : base INRA des aliments
- **PrévAlim** : logiciel de prévision de la valeur des aliments
- **INRAtion** : logiciel de rationnement des bovins, ovins et caprins



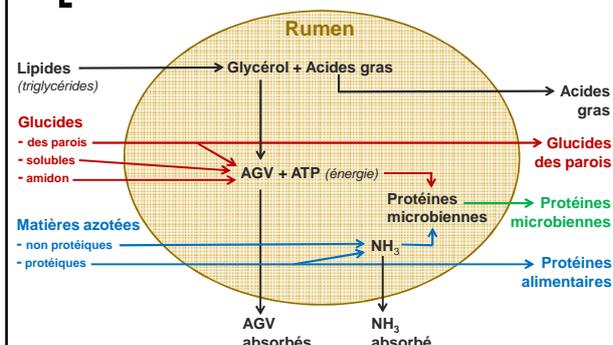
Les atouts du système INRA

- Un système varié, adapté à tous types de régions géographiques (*notamment les zones de moyenne montagne*)
- Un système qui maximise l'utilisation des fourrages (*ressource la plus économique et qui n'entre pas en compétition avec l'alimentation humaine*)
- Un système qui peut intégrer les valeurs réelles des fourrages et concentrés (*sous réserve d'un minimum d'analyses chimiques*)

Un système d'alimentation basé sur la physiologie des ruminants

- Valeur énergétique des aliments en énergie nette (*selon l'utilisation qu'en fait l'animal : entretien, lactation, engraissement...*)
- Prise en compte du volume des fourrages dans le rumen (*valeurs d'encombrement*)
- Valeur azotée des aliments qui prend en compte leur transformation dans le rumen (*notion d'azote microbien*)
- Absorptions de Ca et P différentes d'un aliment à l'autre (*à teneurs identiques*)

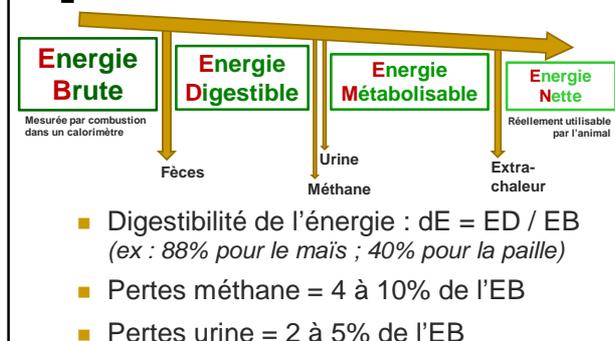
La « digestion » ruminale schéma simplifié



Système français d'alimentation et ses unités : UF, UE, PDI et minéraux

- La nutrition énergétique et le système des UF
- La valeur d'encombrement des fourrages et le système des UE
- La nutrition azotée et le système des PDI
- Les minéraux

Utilisation de l'énergie des aliments par les ruminants



De l'énergie métabolisable (EM) à l'énergie nette (EN)

- Le teneur en EM d'un aliment est constante (quelle que soit la fonction pour laquelle il est utilisé)
 - Une partie de l'EM (= EN) est utilisée pour les dépenses de l'animal et le reste est dégradé sous forme d'extra-chaaleur
 - L'extra-chaaleur (et donc l'EN) dépend de la nature des nutriments et de leur utilisation (entretien, croissance, production)
- On ne peut donc pas donner 1 seule valeur d'Énergie Nette à 1 aliment

Les rendements d'utilisation de l'EM en EN (km, kl, kf)

- EN d'entretien = EM x **km** (maintenance)
 - EN de lactation = EM x **kl** (lactation)
 - EN d'engraissement = EM x **kf** (fat)
-
- $k = EN / EM$
- $q = EM / EB$ (concentration en EM)
- foin ensilage maïs orge
- **km > kl > kf** (moins de perte d'énergie pour l'entretien et la lactation que pour la croissance)
- Système avec 2 valeurs d'énergie par aliment

Le systèmes UFL et UFV Unités Fourragères Lait et Viande

- Le système **UFL** basé sur l'EN de lactation → pour les femelles productrices de lait (toutes espèces, tous stades physiologiques) et les animaux à l'entretien ou à croissance modérée (velles, génisses laitières, animaux à viande en croissance lente <750 g/j)
- Le système **UFV** basé sur l'EN d'engraissement → pour les animaux ayant une forte croissance (taurillons, génisses à viande, bœufs, veaux d'élevage mâles, agneaux de boucherie...)

Les avantages du système UF

- Un même système pour toutes les espèces de ruminants
- Les mêmes unités pour la valeur énergétique des aliments et les besoins énergétiques des animaux
- Une additivité des valeurs (aliments et besoins) → rationnement simplifié
- Un repère clé : l'énergie d'un kilo d'orge
→ 1 UFL = EN de 1 kg d'orge à 86% MS (= 1730 kcal d'EN de lactation)

L'ingestion des fourrages

- La capacité d'ingestion d'un animal varie en fonction de :
 - ☑ sa vitesse d'ingestion (appétit)
 - ☑ la taille de son rumen
 - ☑ ses besoins énergétiques
 - ☑ ses réserves corporelles
- Pour une capacité d'ingestion donnée, un animal ne va pas pouvoir ingérer autant de paille que d'herbe fraîche !
→ notion d'encombrement des fourrages

La valeur d'encombrement d'un fourrage standard

- L'INRA a donc choisi un animal standard et un fourrage standard pour créer les **Unités d'Encombrement (UE)** :
 - ☑ bélier castré de 60 kg (*en fin de croissance*)
 - ☑ bonne herbe de pâturage (*15% azote, 25% cellulose*)
- Il en consomme 1,62 kg MS par jour
- Par définition, 1 kg MS de cette herbe a une valeur d'encombrement de 1 UEM (= *UE Mouton*)

La valeur d'encombrement des autres fourrages

- Les valeurs ont été calculées à partir des mesures d'ingestion faites sur le même animal standard :
 - ☑ herbe standard = 1,62 kg MS → 1,0 UEM
 - ☑ paille = 0,70 kg MS → 2,31 UEM (= $1,62 / 0,70$)
 - ☑ herbe plus jeune = 1,80 kg MS → 0,90 UEM
- Une valeur d'UEM a été attribuée à tous les fourrages des tables

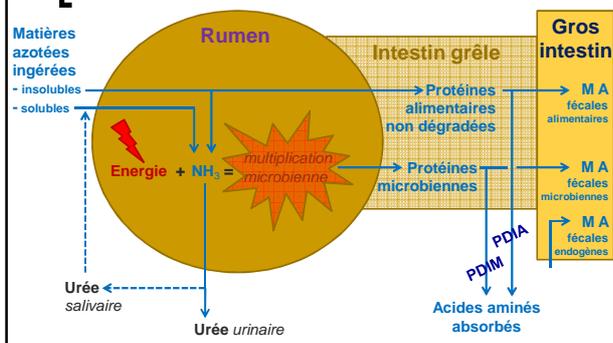
Les valeurs d'encombrement pour les autres espèces

- Des valeurs **UEL** (*vaches laitières*) ont été établies de la même manière :
 - ☑ herbe standard (*15% azote, 25% cellulose*)
 - ☑ Vache adulte (*600 kg en pleine lactation ; 25 kg/j de lait à 4% de MG*) → 17 kg MS/j (*140 g/kg P^{0.75}*)
- Des valeurs d'UEL ont été attribuées à tous les fourrages des tables
- Idem **UEB** (*bovins allaitant ou en croissance*)

Les avantages du système UE et ses inconvénients

- Les mêmes unités pour la valeur d'encombrement des fourrages et les capacités d'ingestion des animaux
- Une additivité des valeurs (*fourrages et ingestions*) → rationnement simplifié
- Les concentrés n'ont pas de valeur d'encombrement, mais leur ingestion réduit l'ingestion des fourrages (*relation non linéaire, complexe*) → **notion de taux de substitution** (voir plus loin)

Nutrition azotée des ruminants



Valeur azotée des aliments

- Valeur exprimée en **PDI** (*Protéines Digestibles au niveau de l'Intestin*)
- $PDI = PDIA + PDIM$ (*protéines d'origines alimentaire et microbienne*)
- Valeur exprimée en g/kg MS
- PDIA dépend de la digestibilité réelle (*dr*) des protéines alimentaires (*de 0,60 à 0,95*)
- PDIM dépend de l'azote fermentescible **et** de l'énergie fermentescible disponibles dans le rumen pour la synthèse microbienne

Les 2 valeurs PDI d'un aliment

- Chaque aliment apporte de l'**azote** fermentescible au niveau du rumen : il est donc caractérisé par une valeur **PDIMN**
- Chaque aliment apporte aussi de l'**énergie** fermentescible au niveau du rumen : il est donc caractérisé par une valeur **PDIME**
- Chaque aliment a donc 2 valeurs PDI :
PDIN = PDIMN + PDIA
PDIE = PDIME + PDIA
- La valeur PDI la plus faible est limitante

Les avantages du système PDI

- Un même système pour toutes les espèces de ruminants
- Les mêmes unités pour la valeur azotée des aliments et les besoins des animaux
- Une additivité des valeurs (*aliments et besoins*) permettant de compenser des aliments pauvres en PDIN ou PDIE en les associant à d'autres plus riches
 → ensilage de maïs = **52 g/kg PDIN** (72 g/kg PDIE)
 → foin de luzerne = (112 g/kg PDIN) **94 g/kg PDIE**
 → mélange 50/50 = **82 g/kg PDIN, 83 g/kg PDIE** (*équilibré*)

Les minéraux principaux calcium et phosphore

- Ca et P sont les 2 minéraux pour lesquels les besoins des animaux sont connus
- En moyenne $Ca_{abs} = 0,40 Ca$ et $P_{abs} = 0,65 P$
- Selon la nature de l'aliment, la fraction absorbable peut être très variable :

(en g/kg MS)	Ca	Ca_{abs}	P	P_{abs}
Foin de prairie permanente	5.1	1.8 35%	2.7	1.9 70%
Ensilage de maïs	2.0	0.8 40%	1.8	1.3 72%
Tourteau de tournesol	4.4	2.4 55%	11.3	7.4 65%
Pulpe de betterave	14.8	3.0 20%	1.0	0.9 90%

Ca, P et autres minéraux

- l'INRA est donc passé au système Ca_{abs} et P_{abs} pour la valeur des aliments et les besoins des animaux
- Pour les mélanges d'aliments ou de minéraux du commerce, les teneur sont encore en Ca et P → utiliser les coefficients moyens de 0,40 et 0,65
- Pour les autres minéraux (*Mg, K, Na, Zn, Se...*) recommandations dans INRAtion pour les besoins et possibilité de vérifier les apports alimentaires grâce aux tables

Analyse des aliments Morphologie des végétaux

- Les feuilles
 - Siège de la photosynthèse
 - Organes riches en protéines et substances nutritives
 - Organes pauvres en parois et constituants pariétaux
- Les tiges
 - Tissus de soutien et de conduction
 - Parois épaisses et lignifiées

Composition chimique

Fourrage	Eau			
	Matière sèche	Matières minérales	Macro-éléments	Ca, P, Mg, K, Na, Cl
			Oligo-éléments	Fe, Cu, Zn, Mn, Se...
	Matière organique	Glucides	du cytoplasme	glucose, fructose, saccharose, amidon...
des parois			lignine, cellulose, hémicelluloses...	
Matières grasses		Lipides	triglycérides...	
Matières azotées		protéiques	(poly)peptides, acides aminés, protéines	
	non protéiques	urée, ammoniac, bases azotées		

Détermination de la composition

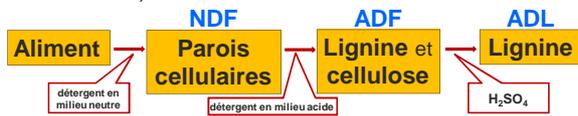
- Matière sèche (MS) : 4 h à 103 °C
- Matières minérales (MM) : 6 h à 550 °C
MS – MM = MO (matière organique)
- Matières azotées totales (MAT) :
minéralisation de l'azote organique par
la méthode de Kjeldahl (acide sulfurique)
MAT = N x 6.25 (par convention)
- Matières grasses brutes (MG) : hydrolyse
à chaud ou extrait étheré

Exemples de composition

	parois	MAT	MG	amidon	sucres
Fourrage de graminées	40-80	6-15	<3	0-3	4-25
Maïs fourrage	40-60	6-11	3-4	15-30	10-20
Fourrage de légumineuses	35-75	15-20	<3	0-3	4-25
Pailles	70-90	2-6	<2	0	0
Racines et tubercules	20-50	5-15	<3	0-70	2-65
Graines de céréales	15-45	8-16	<4	45-85	1-6
Graines de protéagineux	15-25	20-30	<10	1-50	1-6
Graines d'oléagineux	15-25	15-25	15-40	<1	1-6
Tourteaux	15-80	20-60	2-8	5-25	1-10
Co-produits de céréales	40-90	5-20	2-6	0-60	1-5

Composition des parois

- Cellulose brute (CB) : méthode de
Weende (double hydrolyse, acide → basique)
CB = cellulose + fraction de la lignine + petite
partie des hémicelluloses (rapport constant pour
un même aliment)
- Fractionnement des parois (NDF, ADF,
ADL) : méthode de Van Soest



Analyses complémentaires

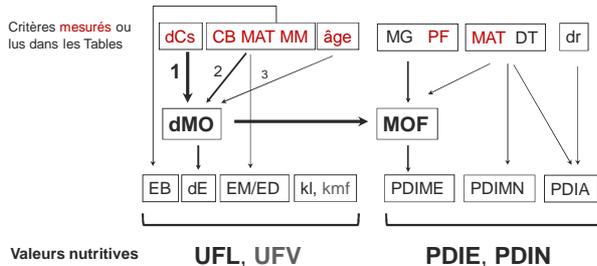
microbiologiques et enzymatiques

→ Visent à reproduire la digestion des aliments dans le rumen

- Digestibilité de la MO (dMO) : digestibilité
en sachets nylon
(nécessite des animaux canulés du rumen)
- Dégradabilité enzymatique (MS = dCs ou
MO = dCo) : par la pepsine-cellulase
(améliore la précision des analyses chimiques)

Prévision de la valeur alimentaire des fourrages

Critères mesurés ou lus dans les Tables



Valeurs nutritives

UFL, UFV

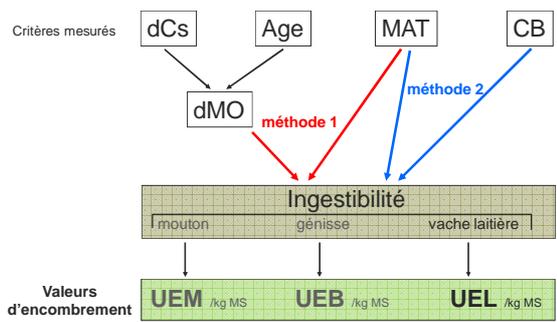
PF : produits de fermentation
DT : dégradabilité des MAT dans le rumen
dr : digestibilité intestinale des protéines

1, 2, 3 : ordre de priorité pour estimer la dMO

PDIE, PDIN

Prévision de la valeur d'encombrement des fourrages

Critères mesurés



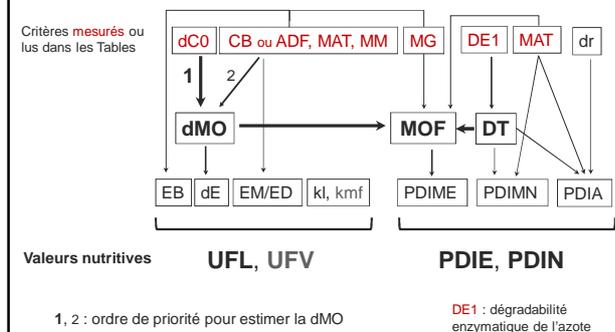
Valeurs d'encombrement

UEM /kg MS

UEB /kg MS

UEL /kg MS

Prévision de la valeur nutritive des concentrés simples



Alimentation des ruminants

Connaissances de base permettant le rationnement

- Besoins des animaux
- Valeur des aliments

Dominique Pomiès – Inra – Unité Mixte de Recherches sur les Herbivores

Introduction

- Bien alimenter un ruminant consiste à nourrir correctement sa flore ruminale
- Bactéries ($10^{10}/mL$) et protozoaires ($10^6/mL$) baignent dans un milieu tampon et dégradent en continu les aliments
- C'est l'équilibre des apports (*quantité, qualité, régularité, disponibilité...*) qui va favoriser le bon fonctionnement de ce fermenteur

Les besoins des ruminants

- Entretien + Croissance + Gestation + Production (*laitière*)
- Energétiques
Glucides (*amidon, cellulose*), lipides
- Azotés
Protéines (+ *qqs acides aminés limitants : lys. et met.*), azote non protéique (*urée*)
- Minéraux, oligo-éléments et vitamines
Principalement Ca et P (*absorbables*)

Les facteurs de variations de ces besoins

- Les caractéristiques de l'animal
Espèce (*bovin, ovin, caprin*), race (*laitière, allaitante*), sexe
Age (\rightarrow *croissance*)
Poids
Etat corporel d' "engraissement" (*NEC de 0 à 5*)
- Le stade de lactation (*et/ou de gestation*)
- La quantité de lait produite
- La composition du lait (*TB et TP*)
- Le gain de poids (*et sa composition*)

Exemple de la vache laitière

Le cas le plus complexe



L'expression et le calcul des besoins énergétiques

■ **Energie** en unités fourragères (lait) [UFL]

$$\text{BesUFL} = [(0,041 \times \text{PV}^{0,75}) \times \text{I}_{\text{act}}] + (0,44 \times \text{PL}_{4\%}) + (0,00072 \times \text{PV}_{\text{nais}} \times e^{0,116 \times \text{semG}}) + (3,25 - 0,08 \times \text{âge})$$

- ✓ $\text{PV}^{0,75}$ = poids métabolique (ex : $600^{0,75} = 121$ kg) ; I_{act} = indice d'activité (entravée = 1 ; libre = 1,1 ; pâturage = 1,2)
- ✓ $\text{PL}_{4\%}$ = lait standard en kg/j (40 g/kg de TB et 31 de TP) = $\text{PL} \times [0,4 + (0,015 \times \text{TB})]$
- ✓ PV_{nais} = poids du veau à la naissance en kg ; $e = 2,718$; semG = semaine de gestation
- ✓ âge en mois (jq 40 mois)

Les interactions digestives

■ **Interactions digestives énergétiques** : elles réduisent la digestibilité des rations riches en concentré → terme correctif

$$E = (0,00063 \times \text{C}\%) - (0,017 \times \text{UFL}_j) + (0,02 \times \text{UFL}_j^2)$$

avec :

C% = pourcentage de concentré dans la ration (50 maxi)

UFL_j = apports énergétiques journaliers de la ration

E est à soustraire des apports énergétiques (varie de 0 à 2 UFL/j)

Mobilisation en début de lactation

■ **Mobilisation après vêlage** : remise en circulation des lipides accumulés durant la fin de gestation → terme correctif (Mobilisation Potentielle des Réserves)

$$\text{MPR} = -1 + [1,33 \times (a + (0,47 \times \text{PL}_{\text{MaxPot}}) + (1,89 \times \text{NEC}_{\text{Vel}})) \times (e^{-0,25 \times \text{SemL}} - e^{-\text{SemL}})]$$

avec a = -9,5 (primipares) ou -13,2 (multipares)

MPR est donc à rajouter comme apport énergétique (si négatif = 0)

Idem pour les protéines (+ 40 g de PDI par UFL mobilisé)

L'expression et le calcul des besoins azotés

■ **Protéines** en g de protéines digestibles au niveau de l'intestin [PDI (PDIN et PDIE)]

$$\text{BesPDI} = (3,25 \times \text{PV}^{0,75}) + (\text{PL} \times \text{TP} / 0,64) + (0,07 \times \text{PV}_{\text{nais}} \times e^{0,111 \times \text{semG}}) + (422 - 10,4 \times \text{âge}) \pm 48 \text{ g}$$

■ **Lys_{dig}** et **Met_{dig}** : 7,3 et 2,5% des PDIE

■ **Equilibre PDIN PDIE** ($R_{\text{mic}} = \text{PDIN} - \text{PDIE} / \text{UF}$) pour le bon fonctionnement du rumen

$R_{\text{mic}} \gg 0$ → fuite d'azote urinaire

$R_{\text{mic}} \leq 0$ → ok avec recyclage de l'urée salivaire

$R_{\text{mic}} \ll 0$ → modifier la ration : urée, concentré...

L'expression et le calcul des besoins en minéraux (Ca et P)

■ **Calcium** absorbable (en g/j)

$$\text{BesCa}_{\text{abs}} = (0,663 \times \text{QI}) + (0,008 \times \text{PV}) + (1,5 \times \text{PL}) + 2,35 / (1 + e^{(18,8 - 5,03 \times \text{Log}(\text{semG}))})$$

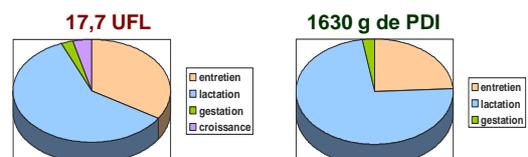
- ✓ QI = quantités ingérées totales en kg MS par jour
- ✓ PL et PV en kg
- ✓ $\text{Log}(\text{semG})$ = log népérien de la semaine de gestation

■ **Phosphore** absorbable (en g/j)

$$\text{BesP}_{\text{abs}} = (0,83 \times \text{QI}) + (0,02 \times \text{PV}) + (0,9 \times \text{PL}) + 7,38 / (1 + e^{(19,1 - 5,46 \times \text{Log}(\text{semG}))})$$

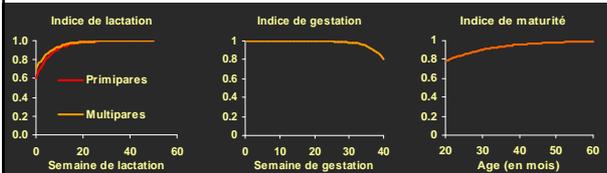
La répartition de ces besoins

- Exemple d'une vache laitière de 600 kg, âgée de 32 mois, en 24^{ème} semaine de gestation et produisant au pâturage 24 kg/jour de lait (à 40 g/kg de TB et 32 g/kg de TP)



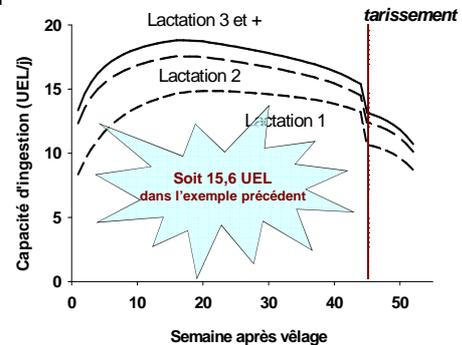
La capacité d'ingestion de la vache laitière

- CI en unité d'encombrement (*lait*) [UEL]
- $CI = (9,4 + 0,015 PV - 1,5 NEC + 0,15 PL_{Pot}) \times IL \times IG \times IM$



en début de lactation la CI peut être réduite de plus de 30%

Evolution de la capacité d'ingestion au cours de la lactation



Quelques chiffres clés

- 5 UFL pour 600 kg PV ($\pm 0,6 / 100$ kg) et 0,44 UFL par kg de lait
- 400 g PDI pour 600 kg PV ($\pm 50 / 100$ kg) et 48 g de PDI par kg de lait
- Ration équilibrée à ± 100 g PDI par UFL
- CI de 17,5 UEL pour 600 kg PV ($\pm 1,5 / 100$ kg) et 20 kg/j de lait ($\pm 1,5 / 10$ kg/j)

La valeur des aliments à partir des tables Inra

- Les fourrages, les concentrés et les minéraux
- Fourrages
Pâturage, herbe conservée (*foin, ensilage*), graminées et légumineuses fourragères, paille...
- Concentrés
Produits simples (*céréales, graines...*), co-produits (*tourteaux, drèches...*) et mélanges du commerce
- Minéraux

L'herbe, sous diverses formes

- Le pâturage
Le plus économique !
Pâturage rationné (*fil avant, fil arrière*), tournant, continu
- L'ensilage
N'a pas bonne presse
Ensilage direct, ressuyé, préfané, balles rondes enrubannées (= *mi-fané*)...
- Le foin
1^{ère} coupe, 2^{ème} coupe (*regain*)...
Séché au sol (*météo, temps de séjour*), ventilé

La qualité de l'herbe : nature et facteurs de variation

- Valeur énergétique : **UF** (UFL)
- Valeur protéique : **PDI** (PDIN et PDIE)
- VE_F ou valeur d'encombrement : **UE** (UEL)
- L'espèce fourragère
- Le cycle de pousse
- Le stade de végétation
- Les conditions de récolte (*foin*), de conservation (*ensilage*)

L'espèce fourragère

Premier cycle, début épiaison

Espèce	UFL /kg MS	PDIN g/kg MS	PDIE g/kg MS	UEL /kg MS	MAT (%)	CB (%)	MM (%)
Fléole	0,77	59	75	1,12	9,2	34,6	7,8
Dactyle	0,87	102	88	1,00	15,9	25,6	12,2
Prairie perm. (Auvergne)	0,89	99	95	1,05	14,9	26,2	8,3
Trèfle blanc (début floraison)	1,03	147	102	0,92	22,9	21,4	11,3
Maïs ensilé (>35% MS grain vitreux)	0,92	44	70	0,91	7,1	20,3	4,2

Le cycle de pousse

Dactyle, 1^{er} cycle (début épiaison) + repousses 5 semaines

Cycle	UFL /kg MS	PDIN g/kg MS	PDIE g/kg MS	UEL /kg MS	MAT (%)	CB (%)	MM (%)
1 ^{er}	0,87	102	88	1,00	15,9	25,6	12,2
2 ^{ème}	0,80	108	90	1,00	16,6	29,0	10,8
3 ^{ème}	0,83	121	94	0,98	18,6	27,4	11,6
4 ^{ème}	0,86	138	99	0,91	21,2	29,9	11,4

A savoir

Le stade (au cours d'un même cycle)

Fourrage vert, prairie permanente (Auvergne), 1^{er} cycle

Stade	UFL /kg MS	PDIN g/kg MS	PDIE g/kg MS	UEL /kg MS	MAT (%)	CB (%)	MM (%)
Déprimage (10/05)	1,04	139	108	0,92	21,0	18,0	10,8
Pâturage (25/05)	0,99	110	101	0,96	16,6	22,4	9,5
Début épiaison (10/06)	0,89	99	95	1,05	14,9	26,2	8,3
Épiaison (25/06)	0,79	74	83	1,08	11,1	30,4	7,2
Floraison (10/07)	0,67	61	73	1,14	9,2	32,3	8,3

Très important !

Les conditions de récolte (du foin)

Prairie permanente (Auvergne), 1^{er} cycle, (début) épiaison

Conditions	UFL /kg MS	PDIN g/kg MS	PDIE g/kg MS	UEL /kg MS	MAT (%)	CB (%)	MM (%)
Ventilé (10/06)	0,82	96	97	0,98	14,2	28,5	8,4
Beau temps (25/06)	0,73	71	83	1,04	10,6	32,4	7,2
Pluie, <10 j au sol (25/06)	0,70	67	80	1,10	10,1	34,4	7,3
Pluie, >10 j au sol (25/06)	0,66	63	76	1,16	9,6	35,6	6,8

Le type d'ensilage

Prairie permanente (Auvergne), 1^{er} cycle, début épiaison

Type	UFL /kg MS	PDIN g/kg MS	PDIE g/kg MS	UEL /kg MS	MAT (%)	CB (%)	MM (%)
Direct, coupe fine (18% MS, sans conservateur)	0,92	88	65	1,15	14,6	29,1	7,5
Ressuyé, coupe fine (21% MS, avec conservateur)	0,91	90	75	1,11	14,6	29,1	7,5
Préfané, coupe fine (33,5% MS)	0,85	96	75	1,02	15,4	27,6	9,4
Balle ronde enrubannée (55% MS)	0,82	96	88	1,03	14,9	29,3	8,3
Maïs plante entière (>35% MS, grain vitreux)	0,92	44	70	0,91	7,1	20,3	4,2

Illustration (1) : prairie permanente (Auvergne)

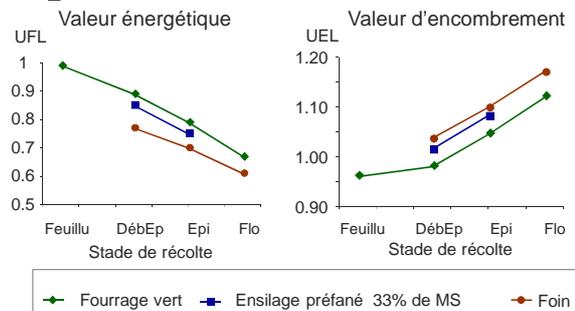
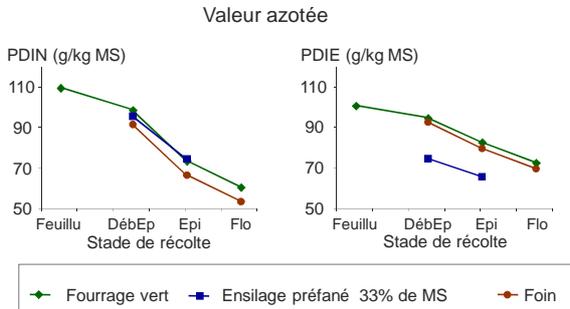


Illustration (2) : prairie permanente (Auvergne)



Aliments concentrés les graines

Céréales, protéagineux et oléagineux

Concentré	UFL /kg MS	PDIN g/kg MS	PDIE g/kg MS	MAT (%)	CB (%)	MM (%)	MG (%)
Orge (60% amidon)	1,09	79	101	11,6	5,2	2,6	2,1
Blé (70% amidon)	1,18	81	102	12,1	2,6	1,8	1,7
Maïs (74% amidon)	1,22	74	97	9,4	2,5	1,4	4,3
Riz (87% amidon)	1,24	62	75	9,2	0,5	1,2	1,3
Pois (52% amidon)	1,21	150	97	23,9	6,0	3,5	1,2
Graine de colza	1,82	130	66	20,7	8,9	4,3	45,5

pas de valeur d'encombrement propre (VE_c) pour les concentrés !

Aliments concentrés les co-produits et aliments du commerce

Amidonnerie, meunerie, brasserie, huilerie, fabricant d'aliments

Concentré	UFL /kg MS	PDIN g/kg MS	PDIE g/kg MS	MAT (%)	CB (%)	MM (%)	MG (%)
Corn gluten feed	1,06	144	115	21,9	8,5	7,0	3,1
Son de blé	0,92	107	87	16,9	11,7	5,6	5,1
Drèches d'orge	0,82	194	171	26,2	16,7	4,2	7,3
Tourteau de colza	0,96	247	155	38,0	13,9	7,9	2,6
Tourteau soja 48	1,21	377	261	51,6	6,8	7,3	2,1
« VL18 »	1,00	110	110	18,0	15,0	10,0	3,0

Minéraux et matières premières diverses

Minéraux	P (%)	P _{abs} (%)	Ca (%)	Ca _{abs} (%)	Mg (%)
Carbonate de Ca (origine marine)			33,0	13,2	3,0
Phosphate bicalcique anhydre	21,0	13,7	28,0	14,0	
Phosphate de Mg	14,0	9,1			24,0
MP diverses	UFL /kg MS	PDIN g/kg MS	PDIE g/kg MS	MAT (%)	MG (%)
Huile de colza	2,73				100
Urée		1472	0	287,5	

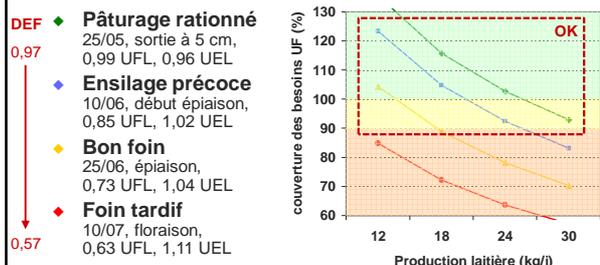
Azote non protéique

La notion de « rationnement »

- Calculer les quantités de fourrages, concentrés et minéraux à distribuer à un animal pour assurer au mieux la couverture des besoins **UF**, **PDI**, **Ca** et **P** (associés à un objectif de production)
- Prendre en compte la capacité d'ingestion de l'animal et la valeur d'encombrement des fourrages (**UE**)
- Notion de densité énergétique de la ration ($DER_m = \text{besoin } E / CI = 17,7 / 15,6 = 1,13$) à comparer avec la DEF (UF/UE)

Production laitière permise par l'herbe seule à volonté (UF)

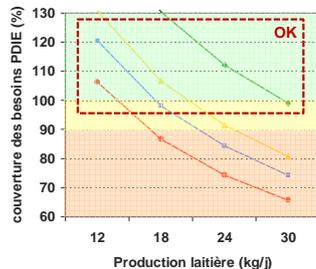
Exemple d'une vache laitière (600 kg, 40 g/kg TB, 32 g/kg TP) nourrie avec une prairie permanente (Auvergne, 1^{er} cycle)



Production laitière permise par l'herbe seule à volonté (PDI)

Exemple d'une vache laitière (600 kg, 40 g/kg TB, 32 g/kg TP) nourrie avec une prairie permanente (Auvergne, 1^{er} cycle)

- ◆ **Pâturage rationné**
25/05, sortie à 5 cm,
101g PDIE, 110g PDIN
- ◆ **Bon foin**
25/06, épiaison,
83g PDIE, 71g PDIN
- ◆ **Ensilage précoce**
10/06, début épiaison,
75g PDIE, 96g PDIN
- ◆ **Foin tardif**
10/07, floraison,
72g PDIE, 58g PDIN



Complémentation de l'herbe par des aliments « concentrés »

- Pour l'herbe, il s'agit essentiellement de complémentation énergétique (UF et PDIE)
- Apports en quantités fixes : individuels (DAC, salle de traite), en lots (parcs, cornadis) ou constants (auge, pâturage)
- Apports en proportion du fourrage : ration complète (ou semi-complète)
- Vise à augmenter la DER_m

La substitution du fourrage par le concentré

- La distribution de concentré entraîne une diminution de la quantité de fourrage consommée : il y a substitution entre l'aliment concentré et le fourrage
- Notion de taux de substitution ($0,2 < Sg < 0,7$)

$$Sg = \frac{\text{quantité de fourrage ingérée en moins}}{\text{quantité de concentré ingérée en plus}}$$

Ex : 18 kg foin → 4 kg blé + 17 kg foin : $Sg = 0,25$
- Sg varie comme la VE_F , le % de concentré et la couverture des besoins (calcul itératif)

Illustration du rationnement (correcteur énergétique + concentré de production)

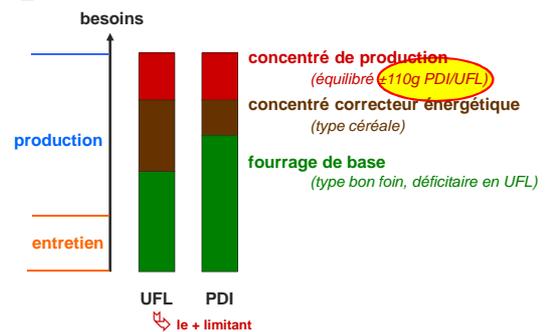
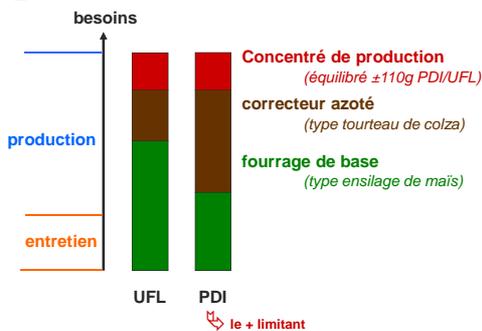


Illustration du rationnement (correcteur azoté + concentré de production)



Conclusion

- Les notions de base du rationnement des ruminants sont simples
- Leur mise en œuvre est possible à partir des équations et d'un tableur Excel mais
 - nombreuses productions, espèces, cas particuliers
 - calculs itératifs et systèmes d'équations complexes
- Il existe des outils développés par l'Inra
 - logiciel INRAtion (pour le calculs à partir d'aliments connus)
 - logiciel PrévAlim (pour « ajuster » les valeurs des aliments)