

Comparaison de caractéristiques botaniques et chimiques d'herbages pâturés en plaine et en montagne

B. Jeangros¹, J. Scehovic¹, J. Troxler¹,
H.J. Bachmann², J.O. Bosset³

Dans les régions de montagne, l'avenir de l'agriculture repose en partie sur la production de fromages de haute qualité. Leurs caractéristiques sont influencées par de nombreux facteurs de la filière "herbe - lait - fromage", aujourd'hui encore mal connue. En particulier quel est le rôle des herbages, la matière première, dans les caractéristiques du fromage affiné, le produit final ?

RÉSUMÉ

Les compositions botaniques et chimiques d'herbages situés à des altitudes comprises entre 600 et 2 100 m ont été comparées. Dans les pâturages permanents de montagne, l'élévation d'altitude s'accompagne d'une nette diminution de l'abondance des graminées, au profit d'espèces appartenant surtout aux familles des composées, des rosacées et des plantaginacées. La valeur nutritive des herbages est peu influencée par l'altitude. L'herbe des pâturages de l'étage subalpin (au-dessus de 1 600 m) se distingue surtout par une teneur nettement plus élevée en composés phénoliques solubles et par une plus forte activité biologique des métabolites secondaires.

MOTS CLÉS

Composition chimique, digestibilité, éléments minéraux, facteur milieu, maïs, montagne, pâturage de montagne, plaine, prairie temporaire, production laitière, qualité du lait, qualité organoleptique, Suisse, valeur alimentaire, végétation.

KEY-WORDS

Chemical composition, dairying, digestibility, environmental factor, feeding value, forage maize, highland, ley, lowland, milk quality, mineral elements, organoleptic quality, Switzerland, upland grazing, vegetation.

AUTEURS

- 1 : Station fédérale de recherches en production végétale de Changins (RAC), CH-1260 Nyon 1 (Suisse).
- 2 : Station fédérale de recherches en agroécologie et agriculture, Institut de recherches en protection de l'environnement et en agriculture de Liebefeld (IUL), CH-3003 Berne (Suisse).
- 3 : Station fédérale de recherches laitières de Liebefeld (FAM), CH-3003 Berne (Suisse).

CORRESPONDANCE

B. JEANGROS, Station fédérale de recherches en production végétale de Changins (RAC), CH-1260 Nyon 1 (Suisse) ; e-mail: bernard.jeangros@rac.admin.ch.

En Suisse, les Stations fédérales de recherches de Changins (RAC) et de Liebefeld (FAM) ont mis sur pied une importante **étude pluridisciplinaire de la filière "herbe - lait - fromage"**. Une première série de publications a été consacrée à la présentation des objectifs, de la démarche, des lieux d'observation, du déroulement des travaux et des analyses prévues dans cette étude (JEANGROS *et al.*, 1997a et 1997b). Une partie des résultats obtenus à ce jour ont été publiés dans diverses revues spécialisées (MARIACA *et al.*, 1997 ; BOSSET *et al.*, 1997a, 1997b et 1998 ; SCEHOVIC *et al.*, 1998 ; COLLOMB *et al.*, 1999). Une synthèse des résultats intermédiaires est donnée par BOSSET *et al.* (1999). D'autres études consacrées à cette filière ont débuté depuis quelques années dans divers pays de l'Arc alpin, mais les résultats concernant le rôle des herbages sont encore rares (COULON, 1997).

L'objectif de ce travail est de décrire précisément les caractéristiques botaniques et chimiques des herbages qui ont été mis à la disposition des vaches. Nous nous intéressons aux différences entre 4 unités de production situées à des altitudes comprises entre 600 et 2 100 m. (L'ensemble des résultats a fait l'objet d'un rapport interne disponible auprès du 1^{er} auteur). Peu de travaux ont été consacrés aux **effets de l'altitude sur la composition chimique des herbages**. Lorsque seule l'altitude augmente (même espèce, même stade de développement, même exposition, etc.), quelques auteurs décrivent une légère amélioration de la valeur nutritive : un peu moins de constituants pariétaux, davantage de matières azotées, une meilleure digestibilité de la matière organique (NIQUEUX, 1978 ; SCEHOVIC, 1981 ; VOIGTLAENDER *et al.*, 1983). Dans notre cas, **d'autres facteurs que l'altitude ont simultanément varié**, tels que l'exposition, la roche-mère et la composition botanique.

1. Matériel et méthodes

■ Huit milieux naturels

Cette étude s'est déroulée en Suisse sur 4 unités de production situées dans les Préalpes vaudoises (unités 1 et 2), les Préalpes fribourgeoises (unité 3) et la plaine de la Sarine (unité 4), décrites en détail par JEANGROS *et al.* (1997a). Pendant la période d'observation, l'alimentation des vaches était assurée uniquement par des pâturages permanents dans les trois premières unités, par des prairies temporaires et des plantes entières de maïs dans l'unité de plaine (unité 4). Les conditions naturelles n'étaient pas toujours homogènes à l'intérieur d'une unité de production, en particulier à L'Etivaz (unités 1 et 2) où les troupeaux broutent sur plusieurs pâturages situés à des altitudes différentes (pratique du "remuage" ou des "remues"). Pour l'analyse des caractéristiques botaniques et chimiques des herbages permanents, nous avons donc distingué plusieurs milieux au sein d'une même unité de production (tableau 1).

Unité de production	1 : L'Étivaz 1		2 : L'Étivaz 2			3 : Montbovon		4 : Posieux
	1a	1b	2a	2b	2c	3a	3b	4h
Roche mère dominante	Flysch ⁽¹⁾		Flysch ⁽¹⁾ et calcaire			Flysch*calc.	calcaire	molasse ⁽²⁾
Altitude (m)	1 400-1 510	1 690-1 920	1 275-1 520	1 685-1 900	1 870-2 120	900-1 210	910-1 250	600-650
Exposition dominante	ouest	ouest	sud	est	est	nord-ouest, ouest	est, sud-est	± plat
Etage de végétation	montagnard	subalpin >	montagnard	subalpin <	subalpin >	montagnard	montagnard	collinéen
Type d'herbage dominant ⁽³⁾	<i>Alchemillo-cynosuretum</i>	<i>Prunello-poetum gentianetosum</i>	<i>Alchemillo-cynosuretum</i>	<i>Crapido-cynosuretum</i>	<i>Prunello-poetum typicum</i>	<i>Alchemillo-cynosuretum</i>	<i>Alchemillo-cynosuretum</i>	prairies temporaires
Nombre de relevés	7	19	11	12	6	17	14	16
Nombre d'espèces ⁽⁴⁾	49	49	56	61	46	53	55	6
Diversité spécifique ^(4, 5)	4,3	4,1	4,6	4,4	4,3	4,1	4,1	2,1
Nb. familles botaniqu. ⁽⁴⁾	14	18	18	21	18	18	18	2

1) Roche sédimentaire composée d'un mélange d'argile, de sable et de conglomérats plus grossiers et donnant ici naissance à des sols peu perméables
 2) Roche sédimentaire composée de particules de taille homogène et donnant ici naissance à des sols plutôt perméables
 3) Selon HAINARD *et al.* (1992)
 4) Par relevé, moyennes par milieu
 5) Indice de SHANNON : $H = - \sum [(CS_i/100) \times \log_2(CS_i/100)]$ où CS_i = contribution spécifique de l'espèce i

TABLEAU 1 : Principales caractéristiques des différents milieux dans les quatre unités de production.

TABLE 1 : Main characteristics of the different environments in the four production units.

■ Composition botanique

Nous avons effectué 86 relevés linéaires (DAGET et POISSONET, 1969) sur les pâturages permanents des unités 1 à 3. Les relevés ont été réalisés peu avant le passage des vaches, sur des lignes de 50 m (un point par mètre) présentant une végétation aussi homogène que possible. Nous nous sommes concentrés sur les types de végétation les mieux broutés par les bovins, en nous basant sur des cartes de végétation déjà existantes (Anonyme, 1994 ; DOUTAZ, 1995). Lors de chaque relevé, nous avons recensé toutes les espèces présentes (nomenclature selon AESCHIMANN et HEITZ, 1996). Sur les pâturages permanents, nous avons trouvé au total 272 espèces différentes. Dans l'unité 4, où les herbages étaient de jeunes prairies temporaires semées depuis 1 à 2 années, composées uniquement de graminées (*Lolium perenne*, *L. hybridum*, *Dactylis glomerata*, *Festuca pratensis*, *Phleum pratense*) et de légumineuses (*Trifolium pratense*, *T. repens*), la proportion occupée par les différentes espèces a été estimée visuellement.

A partir du tableau de végétation (disponible sur demande) constitué des 86 relevés et des 167 espèces les plus fréquentes et les plus abondantes, nous avons mis en évidence les principaux types de végétation rencontrés sur les pâturages permanents des unités 1 à 3 et déterminé les groupes d'espèces correspondants en utilisant l'application 5 du logiciel Mulva-5 (WILDI et ORLOCI, 1996).

■ Analyses chimiques

Des **échantillons d'herbe ont été prélevés dans les pâturages** à l'aide d'une petite tondeuse électrique ou d'une cisaille à main, juste avant le passage des vaches. La surface à échantillonner a été parcourue le long de ses diagonales et une surface d'environ 15 cm² a été fauchée tous les 10 pas. Les plantes de grande taille non consommées par les bovins (*Cirsium spp.*, *Veratrum album*, *Rumex obtusifolius*, etc.) ont été évitées. Les prélèvements réalisés sur une même parcelle ont été

mélangés pour ne former qu'un seul échantillon pesant au moins 1 kg à l'état frais. Sur l'ensemble des 4 unités, nous avons prélevé au total 130 échantillons d'herbe entre le 2 juin et le 15 septembre 1995. A Posieux, nous avons également prélevé 5 échantillons de plantes entières de maïs entre le 11 août et le 15 septembre 1995.

Plusieurs espèces ont également été récoltées et analysées isolément de façon à déterminer les caractéristiques chimiques des principales familles botaniques. Une quarantaine d'échantillons ont ainsi été prélevés en 1995 dans les milieux 1a, 1b, 2b et 4 (MARIACA *et al.*, 1997). Ils ont été complétés par une cinquantaine d'échantillons prélevés en 1996 dans la région d'Arosa (Grisons, Suisse ; 1 830-2 100 m) et près de Giswil (Obwald, Suisse ; 1 570-1 750 m), dans le cadre d'une étude conduite par la Station fédérale de recherches en écologie et agriculture de Reckenholz (FAL) (SCHUBIGER *et al.*, 1998).

Tous les échantillons récoltés ont tout d'abord été hachés et soigneusement mélangés afin d'obtenir des parties aliquotes aussi homogènes et représentatives que possible. Après un séchage à 55-60°C, nous avons déterminé sur chaque échantillon les constituants pariétaux (SCEHOVIC, 1979), les matières azotées (méthode KJELDAHL), les glucides solubles (SCEHOVIC, 1976), les composés phénoliques (SCEHOVIC, 1979), les terpènes supérieurs non volatils (SCEHOVIC, 1998) et déterminé l'indice d'action négative potentielle (IANP, SCEHOVIC, 1995a). La **digestibilité de la matière organique** a été estimée à partir des teneurs en lignocellulose, cellulose vraie, lignine et acides phénoliques estérifiés, selon l'équation de SCEHOVIC (1991). Finalement, après une calcination à 540°C et une reprise des cendres avec de l'acide chlorhydrique, nous avons analysé les principaux composés minéraux par spectrométrie d'émission dans un plasma couplé par induction (ICP-AES).

2. Résultats

■ Composition botanique des herbages

Dans les prairies temporaires de plaine, le nombre d'espèces ($n=6$), la **diversité** spécifique ($H=2,1$) et le nombre de familles botaniques ($n=2$) sont faibles (tableau 1, milieu 4h). Dans les pâturages permanents en montagne, le nombre d'espèces ($46 \leq n \leq 61$), l'indice de diversité spécifique ($4,1 \leq H \leq 4,6$) et le nombre de familles botaniques ($14 \leq n \leq 21$) sont beaucoup plus élevés et peu influencés par les variations des conditions climatiques (altitude, exposition) et géologiques (roche-mère).

Les différences entre milieux sont en revanche importantes quant à l'abondance de plusieurs familles botaniques (figure 1). En moyenne, la somme des contributions spécifiques des graminées diminue de 66% dans le milieu 3b à 33% dans le milieu 2c (figure 1a). En fait, on observe **une baisse régulière de l'importance des graminées dans les pâturages permanents lorsque l'altitude augmente**. Les légumineuses sont surtout bien représentées dans les prairies de plaine (4h,

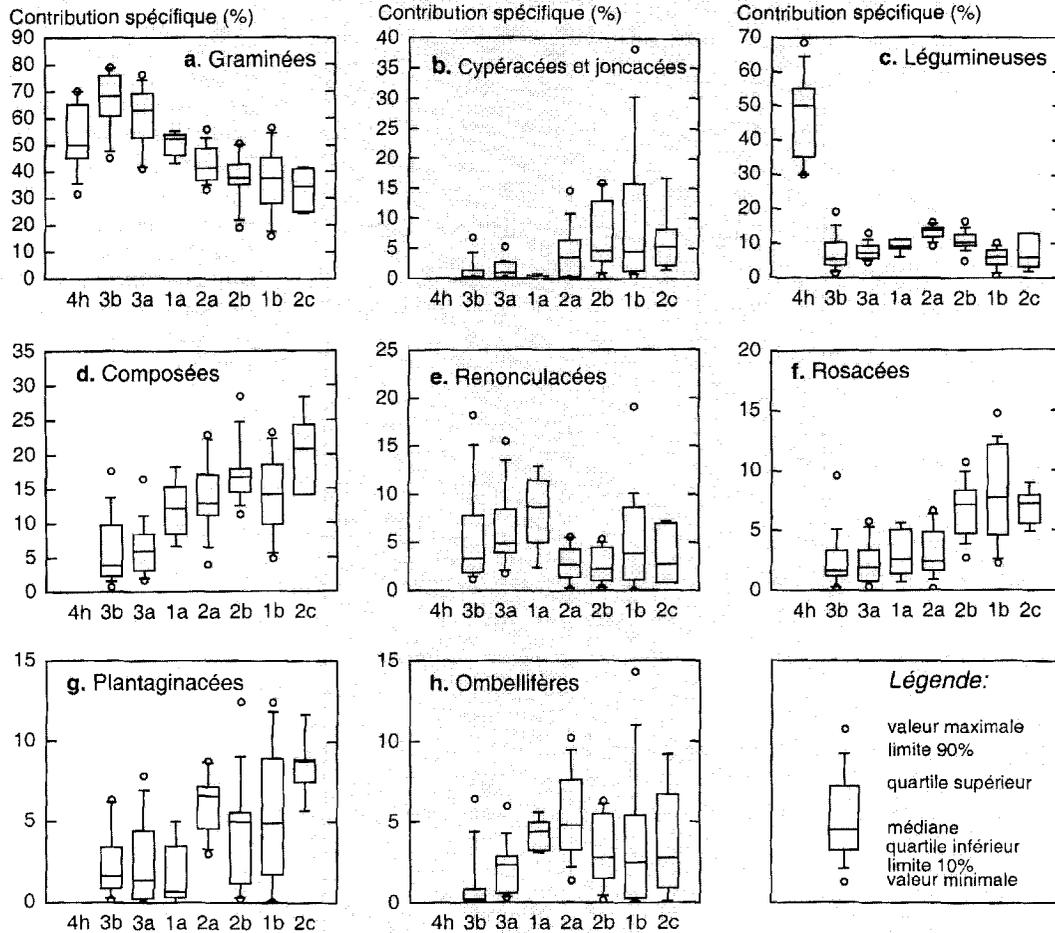


FIGURE 1 : Contributions spécifiques (%) des principales familles botaniques dans les herbages des différents milieux classés par ordre d'altitude croissante (voir tableau 1 pour la légende des milieux).

FIGURE 1 : Specific contributions (%) of the main botanical families in the swards of the various environments classified according to increasing altitude (cf. table 1 for the legend of environments).

figure 1c). Dans les pâturages permanents de haute altitude, l'augmentation de diverses familles de plantes herbacées dicotylédones, en particulier des composées, des rosacées et des plantaginacées (figures 1d, 1f et 1g) compense la diminution progressive des graminées. La représentation des résultats en box-plots met bien en évidence la **variabilité de l'abondance des familles à l'intérieur de chaque milieu**. Dans certains cas, les variations au sein d'un milieu sont plus importantes que les différences entre milieux.

La diagonalisation du tableau de végétation fait apparaître **6 groupes de relevés répartis le long d'un gradient d'altitude** (tableau 2). Le groupe 1 de relevés contient n=8 relevés effectués dans les milieux les plus rudes, à l'étage subalpin supérieur (milieux 1b et 2c). Ils se distinguent des autres relevés surtout par la présence régulière du liondent de Suisse (*Leontodon helveticus*) et de la benoîte des montagnes (*Geum montanum*). Les autres relevés de l'étage subalpin sont réunis dans les groupes 2 (n=16) et 3 (n=13), caractérisés par une vingtaine d'espèces que l'on ne rencontre pas à l'étage montagnard

Groupes d'espèces (A à H) noms latins	Groupes de relevés (1 à 6)						noms français
	1	2	3	4	5	6	
A. <i>Geum montanum</i> <i>Leontodon helveticus</i>	+						Benoîte des montagnes Liondent de Suisse
B. <i>Aposëris foetida</i> <i>Soldanella alpina</i> <i>Plantago atrata</i> <i>Bartsia alpina</i> <i>Carex sempervirens</i> (& <i>ferruginea</i>) <i>Ligusticum mutellina</i> <i>Aster bellidiastrum</i>	■	□	□				Aposëris fétide Soldanella des Alpes Plantain noirâtre Bartsie des Alpes Laiche toujours verte (& ferrugineuse) Ligustique mutelline Fausse pâquerette
C. <i>Veratrum album</i> <i>Leontodon autumnalis</i> <i>Deschampsia cespitosa</i> <i>Ranunculus montanus</i> <i>Homogyne alpina</i> <i>Poa alpina</i> <i>Luzula sylvatica</i> <i>Phleum alpinum</i> <i>Plantago alpina</i> <i>Potentilla aurea</i> <i>Nardus stricta</i> <i>Gentiana purpurea</i>	+	+	+				Vérâtre blanc Liondent d'automne Canche gazonnante Renoncule des montagnes Homogyne des Alpes Pâturin des Alpes Luzule des forêts Fléole des Alpes Plantain des Alpes Potentille dorée Nard raide Gentiane pourpre
D. <i>Rumex alpinus</i>			+				Rumex des Alpes
E. <i>Bromus erectus</i> <i>Ononis repens</i> (& <i>spinosa</i>) <i>Brachypodium pinnatum</i> <i>Trifolium montanum</i>				■	+		Brome dressé Bugrane rampante (& épineuse) Brachypode penné Trèfle des montagnes
F. <i>Lolium perenne</i> <i>Poa pratensis</i> <i>Phleum pratense</i> <i>Ranunculus repens</i> <i>Rumex obtusifolius</i> <i>Poa trivialis</i> <i>Lathyrus pratensis</i> <i>Heracleum sphondylium</i> <i>Holcus lanatus</i>					■	■	Ray-grass anglais Pâturin des prés Fléole des prés Renoncule rampante Rumex à feuilles obtuses Pâturin commun Gesse des prés Grande Berce Houlique laineuse
G. <i>Festuca pratensis</i> <i>Dactylis glomerata</i> <i>Achillea millefolium</i> <i>Veronica chamaedrys</i> <i>Cynosorus cristatus</i> <i>Plantago media</i> <i>Taraxacum officinale</i> <i>Plantago lanceolata</i> <i>Ranunculus acris friesianus</i> <i>Rumex acetosa</i> (& <i>alpestris</i>)		+	■	■	■	■	Fétuque des prés Dactyle aggloméré Achillée millefeuille Véronique petit-chêne Crétole à crête Plantain moyen Pissenlit Plantain lancéolé Renoncule de Fries Rumex oseille (& alpestre)
H. <i>Cirsium palustre</i> <i>Juncus effusus</i>						+	Cirsis des marais Jonc épars
Nombre total de relevés	8	16	13	10	20	19	
- provenant du milieu 1a					7		
- provenant du milieu 1b	4	10	5				
- provenant du milieu 2a				8	3		
- provenant du milieu 2b		4	8				
- provenant du milieu 2c	4	2					
- provenant du milieu 3a					3	14	
- provenant du milieu 3b				2	7	5	
- altitude minimale (m)	1800	1750	1710	980	950	950	
- altitude maximale (m)	2090	1970	1850	1420	1480	1220	

TABLEAU 2 : Tableau de végétation simplifié obtenu à partir des 86 relevés effectués sur les pâturages permanents des unités de production 1, 2 et 3.

TABLE 2 : Simplified vegetation table obtained from the 86 analyses carried out on the permanent pastures of production units 1, 2, and 3.

(groupes d'espèces B à D). Les relevés réalisés à l'étage montagnard (milieux 1a, 2a, 3a et 3b) se retrouvent dans les groupes de relevés 4 à 6. Le groupe 4 (n=10) contient surtout des relevés issus du milieu 2a, où l'on trouve des espèces caractéristiques des endroits secs et calcaires, comme le brome dressé (*Bromus erectus*) et le brachypode penné (*Brachypodium pinnatum*). Les relevés du groupe 5 (n=20) proviennent des milieux de l'étage montagnard et correspondent à des conditions d'humidité moyenne. Enfin, les relevés effectués dans des zones plus humides, principalement dans le milieu 3a, sont réunis

FIGURE 2 : Teneurs (g/kg MS) en composés primaires et en quelques groupes de métabolites secondaires du maïs (4m) et de l'herbe dans les différents milieux (voir tableau 1 pour la légende des milieux et figure 1 pour la légende des box-plots).

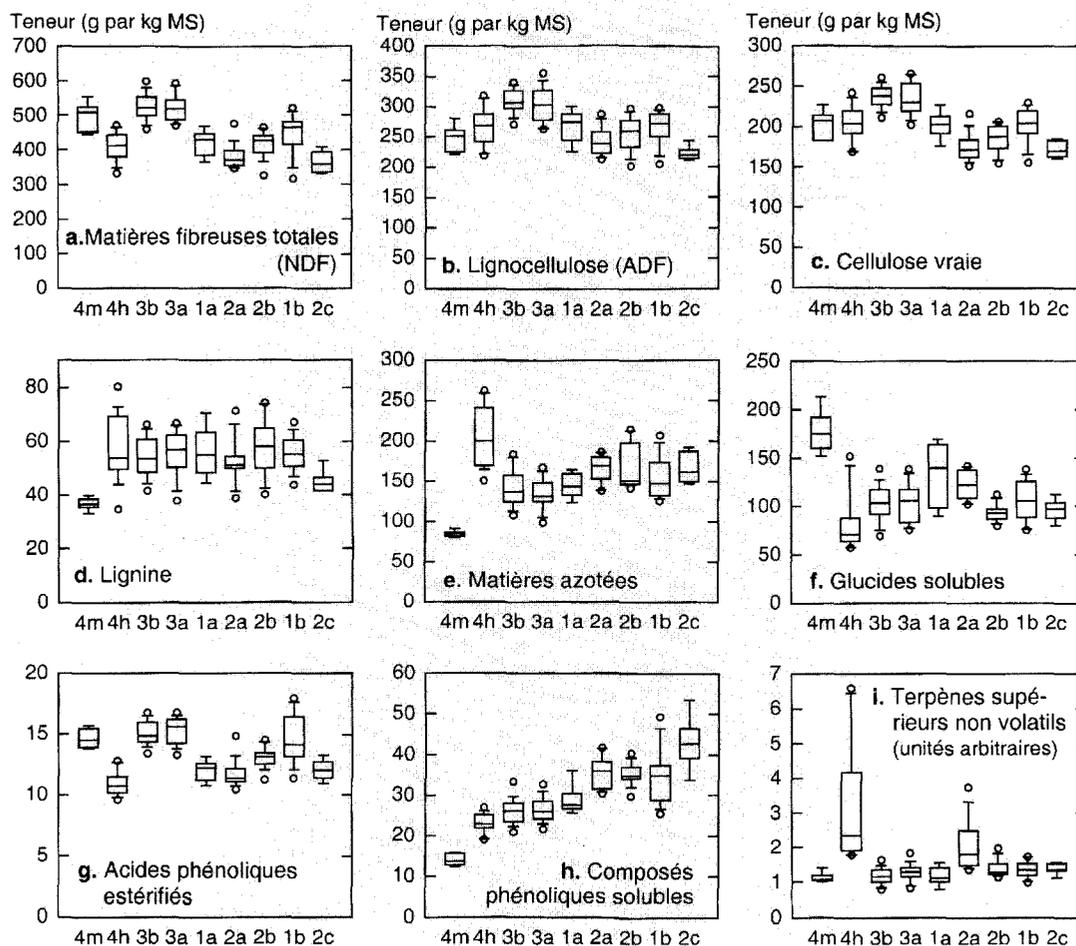
FIGURE 2 : Contents (g/kg DM) of primary components and of some secondary metabolites of maize (4m) and of grass in the various environments (cf. table 1 for the legend of environments and figure 1 for the legend of box-plots).

dans le groupe 6 (n=19), avec le cirse des marais (*Cirsium palustre*) et le jonc épars (*Juncus effusus*) comme espèces particulières. Les espèces spécifiques des pâturages de l'étage montagnard appartiennent aux groupes E à H, celles du groupe G étant parfois aussi présentes à l'étage subalpin inférieur (groupe 3 de relevés).

Composition chimique des herbages

Les herbages des milieux 3a et 3b ainsi que le maïs (4m) se distinguent de ceux prélevés dans les autres milieux par des teneurs un peu plus élevées en constituants pariétaux (figures 2a, 2b et 2c). Pour la lignine, les teneurs sont comparables dans les différents milieux, sauf pour l'herbe prélevée à très haute altitude (milieu 2c) et le maïs (4m) qui en contiennent moins (figure 2d).

Les herbages temporaires de plaine (4h) sont particulièrement riches en matières azotées et pauvres en glucides solubles (figures 3e et 3f).



et 3f). La situation est inverse pour le maïs (4m) qui contient très peu de matières azotées, mais beaucoup de sucres. **Les herbages permanents de l'étage montagnard sont un peu moins riches en matières azotées que ceux de l'étage subalpin, mais contiennent un peu plus de glucides solubles.**

Les teneurs en **acides phénoliques** estérifiés (figure 2g) varient de la même façon que les teneurs en constituants pariétaux. Les composés phénoliques solubles sont les composés qui varient le plus d'un milieu à l'autre (figure 2h). Ils augmentent très nettement avec l'altitude. Quant aux terpènes supérieurs non volatils, les herbages temporaires (4h) et, dans une moindre mesure, ceux du milieu 2a se distinguent par des valeurs un peu plus élevées (figure 2i).

Plusieurs **composés minéraux** sont plus abondants dans l'herbe que dans le maïs (4m), comme le potassium, le calcium, le magnésium, le zinc et le manganèse (figures 3b, 3c, 3d, 3g, 3h). L'herbe des prairies temporaires (4h) contient davantage de phosphore (figure 3a), de potassium et surtout de sodium (figure 3e) que les autres herbages ou

FIGURE 3 : Teneurs en composés minéraux du maïs (4m) et de l'herbe dans les différents milieux (voir tableau 1 et figure 1 pour les légendes).

FIGURE 3 : Mineral contents of maize (4m) and of grass in the various environments (cf. table 1 and figure 1 for the legends).

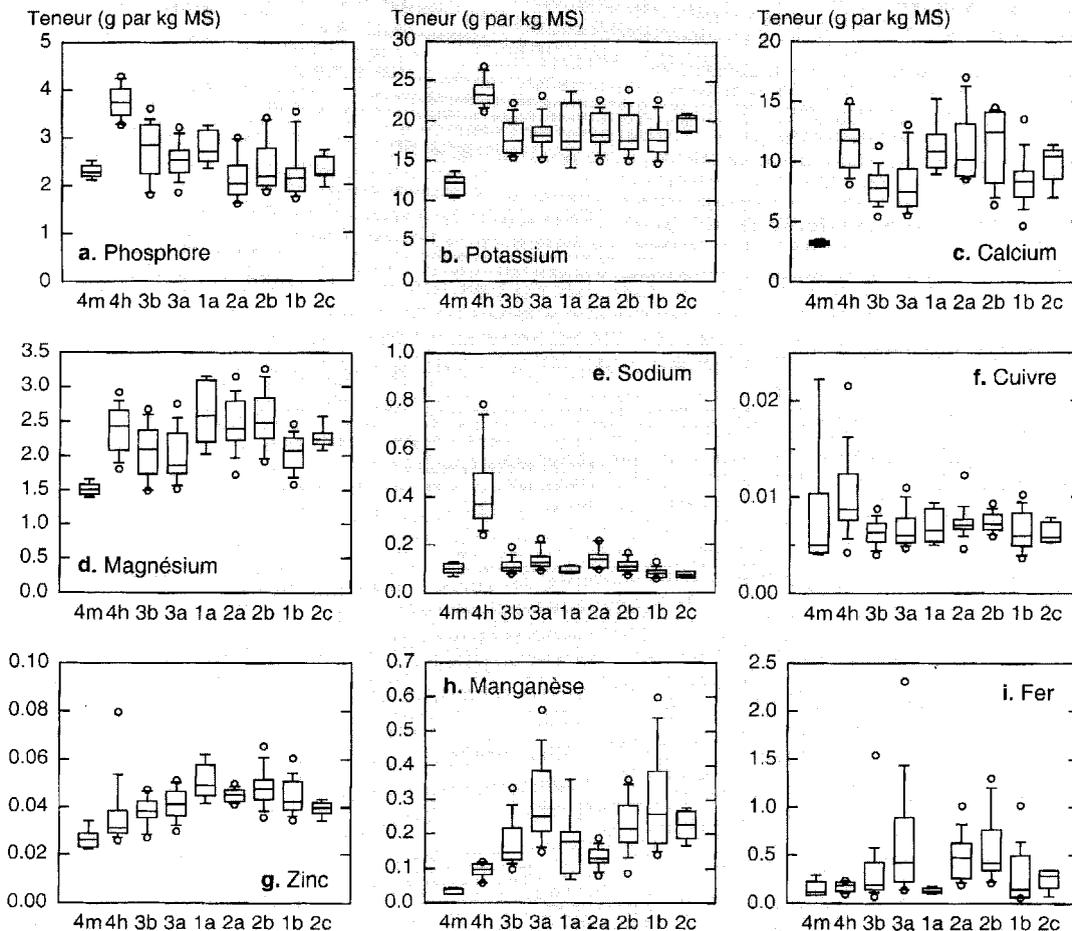
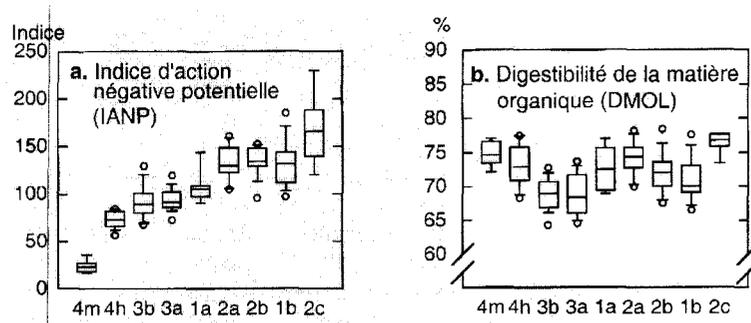


FIGURE 4 : Indice d'action négative potentielle (IANP, selon SCEHOVIC, 1995a) et digestibilité de la matière organique (selon SCEHOVIC, 1991) du maïs (4m) et de l'herbe dans les différents milieux (voir tableau 1 et figure 1 pour les légendes).

FIGURE 4 : Index of potential negative action (IANP, after SCEHOVIC, 1995a) and organic matter digestibility (after SCEHOVIC, 1991) of maize (4m) and of grass in the various environments (cf. table 1 and figure 1 for the legends).



le maïs. Dans l'herbe, les fluctuations de teneurs au sein d'un même milieu sont parfois importantes. On relèvera toutefois que **les teneurs en zinc et en manganèse ont tendance à augmenter avec l'altitude, alors que la tendance est inverse pour le phosphore.**

L'indice d'action négative potentielle (IANP) est très faible pour le maïs ; dans l'herbe, il augmente fortement avec l'altitude (figure 4a). Son évolution avec l'altitude est comparable à celle observée au niveau des composés phénoliques solubles (voir figure 2h). La digestibilité de la matière organique dépasse en moyenne 70% (figure 4b), sauf pour les herbages des milieux 3a et 3b (69%). **L'herbe des pâturages les plus élevés (2c) a la meilleure digestibilité (76%).**

■ Composition chimique des principales familles botaniques

Les graminées, comme les cypéracées et les joncacées, contiennent beaucoup de constituants pariétaux (sauf la lignine) et d'acides phénoliques estérifiés, mais peu de matières azotées (tableau 3). Les légumineuses sont surtout riches en matières azotées et pauvres en glucides solubles. Leur richesse en terpènes supérieurs non volatils est en moyenne faible, même si certains échantillons de trèfle violet (*Trifolium pratense*) en contiennent relativement beaucoup. Les composées (comme par exemple la marguerite, *Leucanthemum vulgare*) et les plantains (surtout le plantain des Alpes, *Plantago alpina*) contiennent en moyenne plus de terpènes supérieurs non volatils que les autres familles analysées. Les renonculacées sont particulièrement riches en glucides solubles et pauvres en acides phénoliques estérifiés. Les rosacées (les alchémilles, *Alchemilla spp.*, et la potentille dressée, *Potentilla erecta*) sont pauvres en constituants pariétaux, mais très riches en composés phénoliques solubles. Les plantaginacées sont assez riches en constituants pariétaux, y compris en lignine. Enfin, les ombellifères sont pauvres en constituants pariétaux et très riches en matières azotées, autant que les légumineuses.

Les valeurs IANP sont particulièrement faibles chez les graminées ainsi que chez les cypéracées et joncacées ; elles sont en revanche élevées pour les rosacées, les plantaginacées et les composées. La digestibilité de la matière organique est moyenne (<70%) chez les graminées, les cypéracées et les joncacées ainsi que chez les plantaginacées. Elle

Famille	Graminées	Cypéracées Joncacées	Légumi- neuses	Compo- sées	Renoncu- lacées	Rosacées	Plantagi- nacées	Ombel- lifères
Stade de développement ⁽¹⁾	3 à 5	4 à 6	4 à 6	4 à 6	5 à 7	4 à 6	5 à 6	3 à 5
Nombre d'échantillons (n)	18	5	22	14	4	7	9	7
Constituants pariétaux (g/kg MS)								
- matières fibreuses totales (NDF)	592 ± 18	611 ± 18	314 ± 12	328 ± 22	316 ± 16	271 ± 21	388 ± 16	263 ± 16
- lignocellulose (ADF)	318 ± 7	300 ± 10	243 ± 7	259 ± 12	255 ± 13	228 ± 15	298 ± 9	227 ± 11
- cellulose	260 ± 6	239 ± 7	178 ± 5	179 ± 8	174 ± 6	153 ± 8	207 ± 5	163 ± 8
- lignine	49 ± 2	54 ± 3	65 ± 3	76 ± 5	82 ± 6	74 ± 7	87 ± 4	65 ± 4
Matières azotées (g/kg MS)	98 ± 12	98 ± 15	165 ± 6	119 ± 7	112 ± 13	125 ± 15	125 ± 9	163 ± 11
Glucides solubles (g/kg MS)	143 ± 17	101 ± 12	95 ± 5	138 ± 11	188 ± 20	117 ± 10	96 ± 5	116 ± 5
Composés phénoliques (g/kg MS)								
- acides phénoliques estérifiés	17,1 ± 1,1	19,7 ± 0,2	7,4 ± 0,3	6,9 ± 0,3	5,0 ± 0,1	7,7 ± 0,4	8,9 ± 0,3	6,4 ± 0,4
- solubles	20,2 ± 0,9	29,0 ± 2,8	40,5 ± 2,4	32,6 ± 2,2	24,4 ± 3,0	94,6 ± 7,3	28,3 ± 1,6	34,7 ± 2,4
Terpènes supérieurs non volatils⁽²⁾	0,8 ± 0,09	0,8 ± 0,09	1,2 ± 0,13	6,6 ± 4,8	0,6 ± 0,13	0,8 ± 0,06	4,9 ± 1,1	0,9 ± 0,07
IANP⁽³⁾	53 ± 3	75 ± 10	101 ± 6	148 ± 8	104 ± 7	249 ± 10	155 ± 5	109 ± 13
DMOL⁽³⁾ (%)	68,2 ± 1,2	66,7 ± 1,0	75,5 ± 1,0	73,3 ± 1,4	73,9 ± 1,5	74,5 ± 1,7	68,4 ± 1,2	76,8 ± 1,0
<small>(1) Graminées, cypéracées et joncacées : 3 : début épiaison, 4 : pleine épiaison, 5 : fin épiaison, 6 : floraison Autres familles : 3 : montaison, 4 : début floraison, 5 : pleine floraison, 6 : fin floraison, 7 : fructification</small>								
<small>2) Somme des densités optiques entre 220 et 340 nm, unités arbitraires</small>								
<small>3) IANP : indice d'action négative potentielle mesuré (SCEHOVIC, 1995a) et DMOL : digestibilité de la matière organique (SCEHOVIC, 1991)</small>								

est meilleure (environ 75%) chez les autres familles de dicotylédones analysées.

En complément à l'analyse chimique de plantes prélevées séparément, nous avons calculé le coefficient de corrélation linéaire entre l'abondance des principales familles botaniques et les caractéristiques chimiques de l'herbe sur 53 observations issues des pâturages de L'Étivaz (unités 1 et 2). Parmi les relations significatives, on peut relever que **la teneur en composés phénoliques solubles et l'indice IANP sont corrélés positivement avec la part des composés** (respectivement $r = + 0,31$, $P < 0,05$, et $r = + 0,48$, $P < 0,01$) **et des rosacées** ($r = + 0,32$, $P < 0,05$, et $r = + 0,30$, $P < 0,05$), **négativement avec la part des graminées** ($r = - 0,41$, $P < 0,01$, et $r = - 0,38$, $P < 0,01$).

3. Discussion

■ Une composition botanique qui varie avec l'altitude

La composition botanique peu diversifiée des prairies de plaine de cette étude est représentative de nombreuses situations où les prairies temporaires assurent une bonne partie de l'alimentation des vaches laitières. Ces prairies sont dominées par des graminées et des légumineuses et ne contiennent guère de représentants d'autres familles pendant les premières années qui suivent le semis.

En ce qui concerne les pâturages permanents, nous n'avons pas cherché à situer leur végétation par rapport à des types phytosociologiques déjà décrits. Nous nous intéressons surtout aux différences

TABLEAU 3 : **Caractéristiques chimiques des principales familles botaniques** (moyennes et erreur standard ; plusieurs espèces par famille).

TABLE 3 : **Chemical characteristics of the main botanical families** (means and standard deviation ; several species per family).

botaniques entre les milieux qui pourraient expliquer les variations de la composition chimique de l'herbe. Nos observations botaniques, concentrées sur deux régions seulement, ne couvrent de toute façon pas la diversité des situations que l'on peut rencontrer dans les étages montagnard et subalpin des Alpes septentrionales (DIETL *et al.*, 1998).

Il faut tout d'abord souligner **la grande diversité botanique de la plupart des pâturages permanents observés**, indépendamment de l'altitude. A défaut de permettre une séparation parfaite des milieux, nos analyses montrent que la composition botanique varie en fonction de l'altitude. Nous avons pu montrer que **la famille des graminées est nettement moins bien représentée dans les pâturages de haute altitude** et pu préciser que cette diminution des graminées est surtout **bénéfique à trois familles de dicotylédones herbacées : les composées, les rosacées et les plantaginacées**. Des analyses plus fines mettent en évidence **des groupes d'espèces spécifiques aux relevés de l'étage subalpin** (groupes A à D), **d'autres propres aux relevés de l'étage montagnard** (groupes E à H). Ainsi, **si des différences d'origine végétale apparaissent entre les fromages fabriqués à ces deux étages, ces différences pourraient provenir de représentants de ces familles botaniques ou de ces groupes d'espèces**.

■ Des différences de composition chimique

Nos analyses montrent que l'importance des différences entre milieux varie d'un composé chimique à l'autre. **Un effet marqué de l'altitude n'est perceptible que pour les composés phénoliques solubles et l'IANP**. Cet indice permet d'estimer l'activité globale des métabolites secondaires contenus dans la fraction soluble des cellules végétales (SCEHOVIC, 1995a). Il reflète plus précisément leur pouvoir potentiel d'inhibition de l'activité des enzymes cellulolytiques dans la panse. Les valeurs observées à l'étage subalpin, en partie aussi à l'étage montagnard (milieu 2a), indiquent une forte activité des métabolites secondaires. On sait qu'une telle activité réduit la digestibilité de la matière organique et l'appétibilité de l'herbage à l'état vert (SCEHOVIC, 1995b). En revanche, pour la plupart des très nombreux métabolites secondaires contenus dans les plantes, on ignore encore ce qu'ils deviennent dans l'organisme animal et si ils influencent la composition du lait. Nos analyses de quelques groupes de métabolites secondaires permettent de préciser que les composés phénoliques solubles, et particulièrement la fraction polymérisée, sont les principaux responsables de l'augmentation de IANP. Des analyses spécifiques ont par ailleurs permis de montrer que les terpènes volatils étaient plus répandus dans les plantes récoltées en montagne que dans celles prélevées en plaine (MARIACA *et al.*, 1997).

Les différences entre milieux sont relativement peu importantes pour les composés organiques primaires (constituants pariétaux, matières azotées, etc.). Globalement, la digestibilité des herbages de haute altitude analysés dans cette étude est assez proche de celle des herbages de plus basse altitude. Ces digestibilités peuvent être qualifiées de satisfaisantes dans la plupart des cas, compte tenu du niveau de production laitière des vaches.

Parmi les composés minéraux, certains ont tendance à augmenter avec l'altitude (zinc et manganèse), **alors que le phosphore diminue**. Ces évolutions s'expliquent probablement par une disponibilité variable de ces éléments dans les sols et, dans le cas du phosphore, par des apports d'engrais plus importants en plaine. Par rapport aux besoins d'une vache laitière en phase de production (JANS et KESSLER, 1994), les teneurs en composés minéraux observées dans les pâturages permanents sont insuffisantes pour le phosphore, le sodium, le cuivre et parfois le zinc. Avec les prairies temporaires de plaine, des apports complémentaires seraient recommandés pour le sodium et le zinc.

Dans l'ensemble, nos résultats divergent de ceux de GRUBER *et al.* (1998) qui ont observé en Autriche une augmentation des teneurs en constituants pariétaux et une diminution de la digestibilité de la matière organique sur quatre pâturages situés le long d'un gradient d'altitude (1 100, 1 300, 1 500 et 1 700 m). Cette divergence s'explique probablement par des différences dans la composition botanique des pâturages et/ou dans le stade de développement des plantes au moment des observations. Ces auteurs signalent également une diminution des teneurs en composés minéraux.

■ Relations entre composition chimique et composition botanique

Les variations de composition chimique entre les herbages des différents milieux s'expliquent en partie par des différences de composition botanique. Ainsi, les particularités chimiques de l'herbe récoltée dans les milieux 3a et 3b, notamment sa richesse en constituants pariétaux, résultent en bonne partie d'une proportion élevée de graminées. Celles des herbages temporaires de plaine (4h) proviennent d'une forte proportion de légumineuses, en particulier de trèfle violet pour ce qui concerne leur relative richesse en terpènes supérieurs non volatils. L'augmentation avec l'altitude des dicotylédones herbacées, en particulier des rosacées, des plantaginacées et des composées, explique bien l'élévation des valeurs IANP et des teneurs en composés phénoliques.

Il est évident que **les variations de la composition chimique de l'herbe ne s'expliquent pas uniquement par des différences de composition botanique**. Parmi les autres facteurs susceptibles d'intervenir, le stade de développement phénologique des plantes au moment du prélèvement joue certainement aussi un rôle. Dans les milieux où des échantillons ont été prélevés pendant plusieurs semaines, nous avons observé quelques évolutions des teneurs en constituants pariétaux et en matières azotées qui peuvent être attribuées à des modifications du stade de développement phénologique. En début de saison, les herbages des milieux 3a et 3b ont été pâturés à un stade un peu plus tardif que ceux des autres milieux. Cela peut expliquer aussi en partie qu'ils contiennent davantage de constituants pariétaux et un peu moins de matières azotées que les autres herbages permanents. Enfin, la composition chimique d'une même espèce peut varier en fonction des conditions de croissance, en particulier selon l'altitude.

■ Caractéristiques des herbages et composition des fromages

Nous avons choisi d'étudier la filière "herbe - lait - fromage" dans les conditions de la pratique avec, sur les alpages, la pâture comme unique mode d'affouragement. Les vaches pouvant brouter de façon sélective, la composition de l'herbe qu'elles consomment peut s'écarter en partie de celle que nous avons récoltée. Dans la plupart des cas toutefois, la quantité d'herbe à disposition des vaches était trop limitée pour qu'elles aient pu brouter de façon très sélective.

Confrontés aux résultats obtenus sur les laits et les fromages, ceux mesurés sur les herbages devraient nous permettre de mieux comprendre leur rôle dans cette filière, et de préciser si certains composés présents dans les produits laitiers sont d'origine végétale et peuvent être considérés comme des "traceurs botaniques". Indépendamment de leur influence organoleptique ou nutritionnelle, de telles substances pourraient contribuer à caractériser l'origine d'un fromage, par exemple dans le cadre d'une appellation d'origine contrôlée (AOC) ou d'origine protégée (AOP). La mise en valeur de tous les résultats n'est pas terminée, mais il apparaît déjà que **certains terpènes** (BOSSET *et al.*, 1999 ; VIALON *et al.*, 1999) **et aldéhydes supérieurs** (SCEHOVIC *et al.*, 1998) **observés dans les fromages ont une origine végétale**. D'autre part, la composition des herbages joue également un rôle dans la composition chimique de la matière grasse du lait (COLLOMB *et al.*, 1999).

Conclusions

- La diversité botanique des prairies temporaires de plaine observées dans cette étude est faible. Elles contiennent moins de 10 espèces appartenant aux seules familles des graminées et des légumineuses.

- La richesse floristique des pâturages permanents situés entre 900 et 2 100 m est élevée (près de 50 espèces différentes appartenant à une quinzaine de familles botaniques) et peu influencée par l'altitude.

- L'élévation d'altitude s'accompagne d'une nette augmentation de la part des dicotylédones herbacées dans les pâturages permanents, en particulier des composées, des rosacées et des plantaginacées, au détriment des graminées surtout.

- Dans les pâturages permanents étudiés, 6 types de végétation, répartis le long d'un gradient d'altitude, ont pu être identifiés. Une vingtaine de plantes sont spécifiques aux pâturages de l'étage subalpin (au-dessus de 1 600 m).

- Les prairies temporaires de plaine sont riches en matières azotées, en terpènes supérieurs non volatils, en phosphore, en potassium et en sodium, mais pauvres en glucides solubles et en composés phénoliques solubles.

- Par rapport à l'herbe, le maïs contient beaucoup de glucides solubles, mais peu de lignine, de matières azotées, de composés phénoliques solubles et de minéraux.

- Les herbages permanents de l'étage montagnard sont dans l'ensemble assez pauvres en matières azotées et plutôt riches en glucides solubles. Les pâturages avec les plus fortes proportions de graminées fournissent une herbe riche en constituants pariétaux et de moindre digestibilité.

- La valeur nutritive des herbages permanents de l'étage subalpin n'est pas inférieure à celle des herbages de plus basse altitude. Les premiers se distinguent surtout par des teneurs élevées en composés phénoliques solubles et, plus globalement, par une forte activité biologique des métabolites secondaires. Ils contiennent généralement un peu plus de zinc et de manganèse que les herbages de basse et moyenne altitude.

- L'évolution de la composition chimique de l'herbe en fonction de l'altitude s'explique en partie par les modifications de la composition botanique, plus précisément dans l'abondance des principales familles botaniques.

Accepté pour publication, le 20 août 1999.

Remerciements

Nous remercions toutes les personnes qui ont apporté leur contribution à la réalisation de cette étude, en particulier E. MOSIMANN (RAC-Changins), Karine MEYSTRE (RAC), D. CONOD (RAC), P. ROGNON (RAC), N. DOUTAZ (IAG-Grangeneuve) et W. DIETL (FAL-Reckenholz) pour les relevés de végétation et les prélèvements d'herbe ainsi que Simone DICK (RAC) et F. SCHUBIGER (FAL) pour diverses analyses de laboratoire.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AESCHIMANN D., HEITZ C. (1996) : *Index synonymique de la Flore de Suisse*, Centre du réseau Suisse de Floristique, Documenta floristicae helvetiae 1, Genève, 318 p.
- Anonyme (1994) : *Inventaire et gestion de 27 alpages du Pays d'Enhaut*, SVVA, Secteur "Gestion de l'espace rural", Yverdon, 43 p.
- BOSSET J.O., BERGER T., BUEHLER-MOOR U., BUETIKOFER U., COLLOMB M., DAFFLON O., GAUCH R., JEANGROS B., LAVANCHY P., MARIACA R., SCEHOVIC J., SIEBER R., TROXLER J. (1997a) : "Comparison of some highland and lowland Gruyere-type cheese of Switzerland : a study of their potential PDO/AOC/AOP characteristics", Authenticity and Adulteration of Food - the Analytical approach, *Proc. Euro Food Chem. IX*, Vol 2, FECS-Event n° 220, 395-400.
- BOSSET J.O., BUETIKOFER U., SIEBER R., DAFFLON O., KOCH H., SCHEURER L. (1997b) : "Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe in Käse", *Agrarforschung*, 4 (10), 411-414.
- BOSSET J.O., BUETIKOFER U., DAFFLON O., KOCH H., SCHEURER L., SIEBER R. (1998) : "Teneur en hydrocarbures aromatiques polycycliques de fromages avec et sans flaveur de fumée", *Sci. Aliments*, sous presse.

- BOSSET J.O., JEANGROS B., BERGER T., BUETIKOFER U., COLLOMB M., GAUCH R., LAVANCHY P., SCEHOVIC J., TROXLER J., SIEBER R. (1999) : "Comparaison de fromages à pâte dure de type Gruyère produits en région de montagne et de plaine", *Revue suisse Agric.*, 31 (1), 17-22.
- COLLOMB M., BUETIKOFER U., SPAHNI M., JEANGROS B., BOSSET J.O. (1999) : "Composition en acides gras et en glycérides de la matière grasse du lait de vache en zones de montagne et de plaine", *Sci. Aliments*, 19, 97-110.
- COULON J.B. (1997) : "Effets de la nature des fourrages sur les caractéristiques physico-chimiques et organoleptiques du fromage", *Fourrages*, 152, 429-436.
- DAGET P., POISSONET J. (1969) : *Analyse phytologique des prairies, applications agronomiques*, Document 48, CNRS-CEPE, Montpellier, 67 p.
- DIETL W., JEANGROS B., TROXLER J. (1998) : "Principales communautés et espèces végétales des pâturages des Alpes", *Revue suisse Agric.*, 30 (4), I-VIII.
- DOUTAZ N. (1995) : *Carte de la végétation des pâturages des Allières*, communication personnelle.
- GRUBER L., GUGGENBERGER T., STEINWIDDER A., SCHAUER A., HÄUSLER J., STEINWENDER R., SOBOTIK M. (1998) : "Ertrag und Futterqualität von Almfutter des Höhenprofils Johnsbach in Abhängigkeit von den Standortfaktoren", 4. *Alpenländisches Expertenforum*, 24.-25. März 1998, BAL-Gumpenstein, A-8952 Irdning, 63-93.
- HAINARD P., MICHEL C., CLOT F. (1992) : *Carte de la végétation du Pays d'Enhaut et de la place de tir du Petit-Hongrin, 1:25'000*, Division Protection de la Nature, Palais de Rumine, CH-1000 Lausanne 17.
- JANS F., KESSLER J. (1994) : "Apports alimentaires recommandés pour la vache laitière", Station fédérale de recherches en production animale de Posieux, Suisse (Ed.), *Apports alimentaires recommandés et tables de la valeur nutritive des aliments pour les ruminants* (3e éd.), Zollikofen, Centrale des moyens d'enseignement agricole, 113-122.
- JEANGROS B., TROXLER J., CONOD D., SCEHOVIC J., BOSSET J.O., BUETIKOFER U., GAUCH R., MARIACA R., PAUCHARD J.-P., SIEBER R. (1997a) : "Etude des relations entre les caractéristiques des herbages et celles du lait, de la crème et du fromage de type l'Etivaz ou Gruyère. I. Présentation du projet", *Revue suisse Agric.*, 29 (1), 23-34.
- JEANGROS B., TROXLER J., CONOD D., SCEHOVIC J., BOSSET J.O., BUETIKOFER U., GAUCH R., MARIACA R., PAUCHARD J.P., SIEBER R. (1997b) : "Relation entre les caractéristiques de l'herbe et celles du fromage. Présentation et premiers résultats d'une étude pluridisciplinaire", *Fourrages*, 152, 437-443.
- MARIACA R.G., BERGER T.F.H., GAUCH R., IMHOF M.I., JEANGROS B., BOSSET J.O. (1997) : "Occurrence of Volatile Mono- and Sesquiterpenoids in Highland and Lowland Plant Species as Possible Precursors for Flavor in Milk and Dairy Products", *J. Agric. Food Chem.*, 45 (11), 4423-4434.
- NIQUEUX M. (1978) : "Différences dans le rythme de végétation, la production et la valeur alimentaire de graminées fourragères cultivées en plaine et en montagne", *Fourrages*, 76, 47-61.
- SCEHOVIC J. (1976) : "Prévision de la quantité de matière sèche ingérée des fourrages sur la base de leur composition chimique", *Recherche Agron. en Suisse*, 15 (1/2), 113-127.
- SCEHOVIC J. (1979) : "Prévision de la digestibilité de la matière organique et de la quantité de matière sèche ingérée des graminées, sur la base de leur composition chimique", *Fourrages*, 79, 57-78.

- SCEHOVIC J. (1981) : "Influence du biotope sur la qualité des graminées", *Recherche Agron. en Suisse*, 20, 49-76.
- SCEHOVIC J. (1991) : "Considérations sur la composition chimique dans l'évaluation de la qualité des fourrages des prairies naturelles", *Revue suisse Agric.*, 23 (5), 305-310.
- SCEHOVIC J. (1995a) : "Etude de l'effet de diverses espèces de plantes des prairies permanentes sur l'hydrolyse enzymatique des constituants pariétaux", *Ann. Zootech.*, 44, 87-96.
- SCEHOVIC J. (1995b) : "Pourquoi et comment tenir compte des métabolites secondaires dans l'évaluation de la qualité des fourrages", *Revue suisse Agric.*, 27 (5), 297-301.
- SCEHOVIC J., JEANGROS B., TROXLER J., BOSSET J.O. (1998) : "Effets de la composition botanique des herbages pâturés sur quelques composants des fromages de type L'Etivaz ou Gruyère", *Revue suisse Agric.*, 30 (4), 167-171.
- SCHUBIGER F.X., BOSSHARD H.R., DIETL W. (1998) : "Nährwert von Alpweidepflanzen", *Agrarforschung*, 5 (6), 285-288.
- VIALLON C., VERDIER-METZ I., DENOYER C., PRADEL P., COULON J.B., BERDAGUE J.L. (1999) : "Desorbed terpenes and sesquiterpenes from forages and cheeses", *J. Dairy Research*, 66, 319-326.
- VOIGTLAENDER G., MAEDEL F., POPP T. (1983) : "Zur Eignung von Grasarten und -Sorten für Nach- und Neuansaat in Berglagen", *Der Tierzüchter*, 35, 69-71.
- WILDI O., ORLOCI L. (1996) : *Numerical exploration of community patterns. A guide to the use of MULVA-5*, SPB Academic Publishing, 2nd edition, Amsterdam, 171 p.

SUMMARY

Comparison of the botanical and chemical characteristics of grazed pastures, in lowlands and in the mountains

The botanical and chemical compositions of herbage from grazed pastures situated at various altitudes (from 600 to 2 100 m a.s.l.) were compared, as part of a study of the relationships between the characteristics of grass and those of cheese of the Gruyère type. The botanical diversity of the lowland leys is distinctly smaller than that of the permanent pastures of the mountains. In the latter, a higher altitude does not affect the floristic diversity, but is accompanied by a marked reduction in the proportion of grasses, and an increase of other species, especially Compositae, Rosaceae, and Plantaginaceae. The nutritive value of the herbage is little influenced by altitude ; a number of differences in chemical composition have however been observed between lowland pastures and upland grazings. The former have mainly higher nitrogen contents. In the sub-alpine storey (above 1 600 m), the herbage has higher contents of soluble phenolic compounds and of certain minerals (zinc, manganese) ; they also have a greater biological activity of the secondary metabolites. The differences in chemical composition with altitude can partly be explained by differences in abundance between the main botanical families.