Chapitre 3.3
Identifier des ressources alimentaires archéologiques pertinentes pour restituer l'alimentation des populations humaines

Estelle HERRSCHER

Aix Marseille Univ, CNRS, Minist Culture, LAMPEA, Aix-en-Provence

→ Nous invitons le lecteur à lire au préalable le chapitre 4 « Statistiques descriptives uni-variées ».

A partir de l'analyse des isotopes stables de l'azote et du carbone contenus dans la fraction protéique des ossements humains (collagène) (Hedges et al 2007), il est possible de restituer les tendances des régimes alimentaires[1] des populations humaines passées, afin de comprendre les rapports qu'entretiennent les hommes avec leur environnement et les choix préférentiels de certaines ressources (Herrscher & Goude, 2015).

Les teneurs isotopiques de l'azote (δ^{15}N) et du carbone (δ^{13}C) sont corrélées à la nature du régime alimentaire et aux conditions environnementales du milieu dans lequel ont vécu les organismes. En d'autres termes, les tissus des consommateurs enregistrent[2] les caractéristiques isotopiques des ressources alimentaires. Si la variabilité isotopique des grands types de ressources est connue en raison de l'écologie des organismes (Figure 1), des variations locales de l'environnement (géologie climat, …) tout comme certaines pratiques agricoles (utilisation d'engrais, l'irrigation) peuvent provoquer des modifications du couvert végétal et des plantes cultivées entrainant des

[1] Le régime alimentaire est la façon dont un organisme se nourrit. En bioarchéologie, l'approche isotopique permet de caractériser la nature des protéines consommées

[2] Les tissus lors de leur construction intègrent dans leurs fractions les caractéristiques chimiques de l'alimentation

signatures isotopiques[3] différentes qui se répercuteront dans les tissus de l'ensemble des acteurs de la chaine alimentaire, comme par exemple, ceux des herbivores et des omnivores et consécutivement dans les tissus humains (van der Merwe & Medina 1991, Rodière et al 1996, Herrscher & Le Bras-Goude 2010, Goude & Fontugne 2016). Dans un tel contexte, se baser sur la variabilité théorique ou attendue de potentielles ressources alimentaires peut entrainer des interprétations erronées des pratiques de subsistance humaine. C'est pourquoi, il est indispensable, pour chaque population archéologique considérée, de mesurer la variabilité isotopique des ressources alimentaires disponibles dans son environnement.

Ce chapitre propose à partir de l'exemple, d'un jeu de données* issues d'une recherche réalisée dans le Sud Caucase sur des séries datées du début de l'âge du Bronze, d'illustrer l'intérêt des outils statistiques et des tests de comparaison pour décrire et caractériser isotopiquement les ressources alimentaires archéologiques.

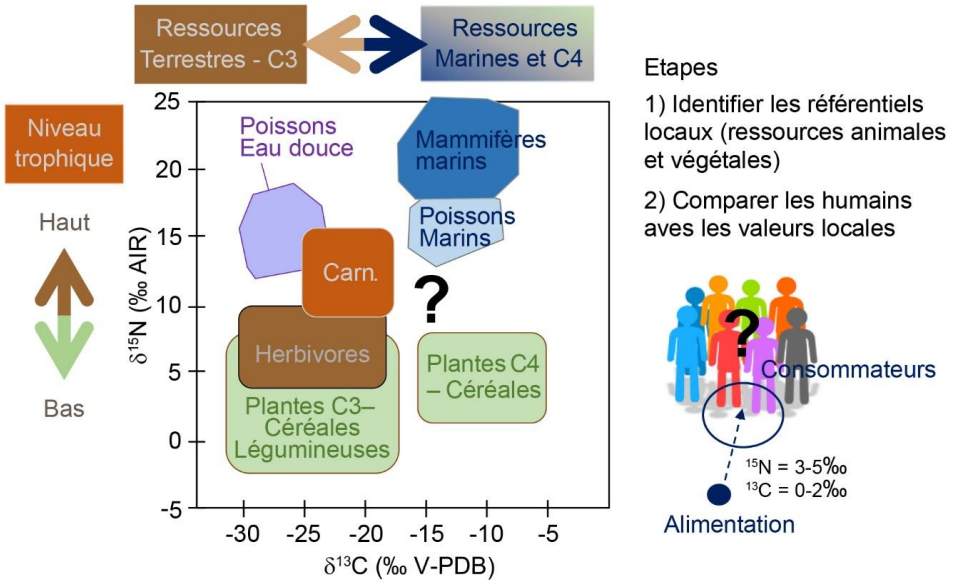


Fig. 1 : Distribution* théorique des valeurs isotopiques de différentes ressources alimentaires (d'après Schutkowski 2006 ; Katzenberg & Saunders 2008 ; Herrscher & Goude 2015)

1 Corpus de données

La réalisation de référentiels* isotopiques des ressources alimentaires constitue la première étape de l'approche isotopique[4]. Elle nécessite l'analyse d'échantillons* de restes animaux et carpologiques issus du même environnement et contemporains des sujets humains. Ces vestiges[5] sont généralement mis au jour sur le site* étudié ou dans des

[3] C'est la valeur du rapport isotopique de l'élément (C, N) mesuré par spectrométrie de masse isotopique

[4] Ensemble de données isotopiques mesurées pour un groupe donné (ressources alimentaires = bœuf, chèvre/mouton …). L'objectif est de vérifier si ces groupes sont isotopiquement identiques ou pas.

[5] Matériel archéologique, ici on fait référence à un fragment d'os ou de végétaux.

zones d'habitats* ou des latrines à proximité du site funéraire[6]. Dans le cadre de cette recherche, les vestiges animaux (n=72) et botaniques (n=20) issus de plusieurs sites archéologiques attribués à la culture Kuro-Araxe (âge du Bronze ancien, 4500-3500 BC) et mis au jour sur le territoire actuel de la Géorgie ont été analysés (Messager et al 2015 ; Herrscher et al 2018). Ces vestiges bio-archéologiques se répartissent en 6 ressources alimentaires[7] correspondant à 5 taxons[8] domestiques, animaux (bœuf, chèvre/mouton, porc) et végétaux (blé et orge), et 1 groupe d'herbivores sauvages (bisons et cerfs). Les sites archéologiques sont localisés dans deux milieux de vie différents, en vallée (n=49) et en montagne (n=43) (Tableau 1, Annexe 1).

L'analyse statistique des deux variables continues*, les rapports isotopiques du carbone (δ^{13}C) et de l'azote (δ^{15}N), a pour objectif de vérifier si les ressources de la vallée sont identiques à celles de la montagne. Si les ressources s'avèrent identiques entre les deux milieux, elles seront regroupées et il s'agira alors d'une exploration statistique entre les 6 différentes ressources alimentaires à l'échelle de la région Sud Caucase au début de l'âge du Bronze, sinon les différences entre les ressources seront explorées à l'échelle de chaque milieu.

2 Analyse statistique

En dépit d'un corpus composé de 92 individus*, leur distribution par type de ressources (n=6) et d'environnements (n=2) fait apparaître des disparités de nombre par groupe, compris entre 0 et 24 (Tableau 1). C'est pourquoi une analyse statistique pour petits échantillons a dû être mise en place. Chaque groupe a été décrit à partir des paramètres statistiques suivants : le minimum, le maximum, la moyenne* et l'écart-type pour les échantillons supérieurs ou égaux à 10 individus tout comme la dispersion* au niveau des groupes avec la médiane* et les intervalles interquartiles*, calculés à partir d'échantillons comprenant 6 individus (Tableau 2). Les quartiles sont des variables* qui permettent de partager l'effectif* en plusieurs ensembles. Le 1er quartile (Q1) donne la valeur minimale en dessous de laquelle au plus 25% de l'effectif se situe tandis que le 3^{e} quartile (Q3) donne la valeur maximale au-delà de laquelle au plus 25% de l'effectif se trouve.

[6] Site archéologique ayant livré des squelettes humains dont l'organisation résulte d'une intentionnalité des dépôts réalisés par la communauté des vivants envers leurs morts.

[7] "Ressources alimentaires " correspond ici à une première catégorie/groupe qui s'exprime selon 6 modalités* :
4 taxons animaux = viande de …
2 taxons végétaux = céréales
Et à la deuxième catégorie, le "milieu ", qui s'exprime selon 2 modalités = vallée et montagne.

[8] Un taxon est un groupe d'organismes, désigné par un nom propre (ici vache, mouton/chèvre, porc, blé, orge, bison, cerf). Ici les taxons sont aussi des espèces et 1 groupe « chèvre et mouton » (car c'est très difficile de les distinguer morphologiquement).

Tableau 1 : Distribution des données individuelles par ressources alimentaires et lieux de vie et statistiques descriptives et comparatives associées pour chaque groupe

Ressources alimentaires	Montagne n-1	Vallée n-2	Total n-1+n-2	Stat. Desc. Moy ± 1 σ	Stat. Desc. Med [Q1;Q3]	Test Mann-Whitney Vallée-Montagne	Corr. Post-Hoc
1 Bœuf	15	11	26	Calculé si n≥10	Calculé si n≥6	Calculé si n-1≥4 et n-2≥4	Correction FDR appliquée selon le nombre de groupes comparés
2 Chèvre/mouton	24	12	36				
3 Herb. sauvages	2	6	8				
4 Porc		5	5				
5 Blé	7	5	12				
6 Orge	1	4	5				
TOTAL			**92**				
Test Kuskal-Wallis (si n≥4)			6 groupes				

Moy = moyenne ; σ = écart-type ; Med= médiane ; Q1 = 1er Intervalle interquartile ; Q3 = 3e Intervalle interquartile ; Corr. Post-Hoc = correction FDR de la p-valeur.

Tableau 2 : Statistiques descriptives des rapports isotopiques du carbone et de l'azote pour chaque ressource alimentaire, selon le milieu de vie, selon le taxon

		$\delta^{13}C$ (en ‰)				$\delta^{15}N$ (en ‰)			
	n	Min	Max	Moy. ± 1 σ	Med.[Q1;Q3]	Min	Max	Moy. ± 1 σ	Med.[Q1;Q3]
TOTAL									
Bœuf	26	-21,5	-12,3	-19,0 ± 2,0	-19,4[-19,9;-18,9]	4,6	8,1	6,2 ± 1,0	6,0[5,5;6,5]
Chèvre/mouton	36	-20,3	-13,7	-19,0± 1,4	-19,5[-19,7;-18,9]	3,3	8,7	5,3 ± 1,2	5,1[4,4;6,1]
Cervidés	8	-21,1	-18,5		-20,2[-20,5;-19,2]	3,1	8,9		4,6[3,5;5,8]
Porc (vallée)	5	-20,4	-14,7			5,3	8,2		
Blé	12	-22,4	-20,5	-21,6 ± 0,5	-21,6[-21,9;-21,4]	3,9	11,1	6,1 ± 1,8	6[5,2;6,3]
Orge	5	-25,1	-22,8			5,1	8,6		
TOTAL									
Vallée	43	-25,1	-14,7	-19,9 ± 2,1	-19,7[-20,9;-18,9]	3,1	8,9	6,1 ± 1,3	6,0[5,3;6,8]
Montagne	49	-22,8	-12,3	-19,34 ± 2,0	-19,6[-20,0;-19,2]	3,3	11,1	5,5 ± 1,4	5,3[4,5;6,1]
BŒUF									
Vallée	11	-21,5	-18,0	-19,4 ± 0,9	-19,3[-19,6;-19,0]	5,0	7,6	6,3 ± 0,9	6,2[5,8;6,8]
Montagne	15	-20,5	-12,3	-18,7 ± 2,6	-19,6[-20,1;-19,1]	4,6	8,1	6,1 ± 1,1	5,9[5,4;6,3]
CHEVRE/MOUTON									
Vallée	12	-20,3	-16,4	-19,0 ± 1,0	-19,3[-19,7;-18,6]	4,5	8,7	6,4 ± 1,2	6,1[5,8;6,8]
Montagne	24	-20,0	-13,7	-19,0 ± 1,6	-19,6[-19,7;-19,1]	3,3	6,7	4,9 ± 0,9	4,5[4,3;5,3]
HERB. SAUVAGES									
Vallée	6	-21,1	-18,9		-20,3[-20,7;-20,2]	3,1	8,9		4,6[3,7;5,4]
Montagne	2	-19,3	-18,5			3,3	7,1		
BLE									
Vallée	5	-22,4	-21,5			4,4	6,3		
Montagne	7	-22,3	-20,5		-21,4[-21,8;-21,0]	3,9	11,1		6[5,4;6,3]
ORGE									
Vallée	4	-25,1	-23,4			5,1	8,6		
Montagne	1	-22,8	-22,8			6,8	6,8		

Moy = moyenne et σ = écart-type ; Med= médiane ; Q1 = 1er Intervalle interquartile ; Q3 = 3e Intervalle interquartile

La normalité de la distribution statistique des données au sein de groupes de petite taille (<30) n'étant pas vérifiable, les comparaisons entre groupes ont été analysées à partir de tests non-paramétriques : le test de Mann-Whitney pour comparer 2 échantillons et le test de Kruskal-Wallis pour comparer plusieurs échantillons entre eux. Si la p-valeur du test, qui quantifie la significativité statistique, est inférieure à 0,05, alors l'hypothèse H0 d'égalité entre les groupes est rejetée, les groupes sont considérés comme statistiquement différents. Si la p-valeur est supérieure à 0,05 alors l'hypothèse H0 est acceptée, les groupes seront considérés comme isotopiquement similaires.

Une fois les paramètres statistiques descriptifs obtenus pour les deux variables (δ^{13}C, δ^{15}N), plusieurs tests de comparaisons ont été réalisés :

- une première série de tests de Mann-Whitney (comparaison 2 à 2) pour identifier des différences entre les ressources de vallée et de montagne,
- puis un test de Kruskal-Wallis entre les 6 ressources (milieux regroupés)
- et une deuxième série de tests de Mann-Whitney pour identifier les ressources isotopiquement différentes. Ici des corrections *a posteriori* des p-valeurs ont été calculées sur la base du nombre de groupes considérés (n=6). Il s'agit de la correction FDR qui signifie « False Discovery Rate » ou « taux de fausses découvertes » proposée par Benjamini et Hochberg, 1995. Cette correction est d'autant plus forte que le nombre de tests effectués est important.

3 Résultats

Sur les 6 ressources alimentaires recensées dans le matériel bio-archéologique, seules 3 d'entre elles (bœuf, chèvre/mouton et blé, n>4)) peuvent être comparées entre la vallée et la montagne (Tableau 3). Une seule différence est identifiée entre les deux environnements, il s'agit des valeurs de δ^{15}N des chèvres/moutons. Bien que l'on note une superposition importante de la distribution des valeurs de δ^{15}N (vallée = 4,5-8,7 ‰ ; montagne = 3,3-6,7 ‰), la moyenne est significativement plus élevée pour les spécimens de la vallée (6,4 ± 1,2 ‰) comparativement à ceux de la montagne (4,9 ± 0,9 ‰, p-valeur(δ^{15}N) = 0,000). Cette différence est probablement imputable à des pratiques agricoles différentes entre les deux environnements. Les valeurs les plus hautes des animaux de la vallée pourraient évoquer une fréquentation et une consommation de végétaux plus enrichis en δ^{15}N, en raison soit d'une aridité plus importante du milieu, soit d'une fertilisation des sols plus importante dans la vallée qu'en altitude (Boggard et al 2007). En revanche, le bœuf et le blé, qu'il s'agisse des valeurs de δ^{13}C et de δ^{15}N, ne montrent aucune différence significative selon l'altitude des sites. Ces premiers résultats, associés au fractionnement isotopique attendu entre alimentation-consommateur (Bocherens, Drucker, 2003), ne renvoient pas une différence suffisamment importante des ressources entre les deux milieux. C'est pourquoi les 6 ressources alimentaires ont été considérées indépendamment de leur localisation géographique dans la suite de l'analyse.

Tableau 3 : Résultats de significativité des tests de comparaison non-paramétriques entre les ressources alimentaires de montagne et de vallée (Test de Mann-Whitney)

VALLEE/MONTAGNE	δ^{15}N	δ^{13}C
Bœuf	0,551	0,516
Chèvre/Mouton	0,000	0,42
Blé	1,000	0,14

Ainsi, avec des effectifs compris entre 5 et 36, des tests statistiques ont été réalisés. Le test de Kruskal-Wallis a révélé des différences significatives entre les 6 ressources (Tableau 4). Afin d'identifier précisément les ressources alimentaires qui se distinguent les unes des autres, une deuxième série de tests de Mann-Whitney, comparant les ressources 2 à 2, a été réalisée (Tableau 4). Les résultats montrent des différences significatives (δ^{13}C) pour les deux ressources végétales comparées aux ressources animales et entre les deux ressources végétales elles-mêmes. En revanche, en dépit d'une représentation graphique des médianes et quartiles (Q1, Q3) faisant apparaitre une distinction entre les herbivores domestiques et sauvages et les porcs, les comparaisons 2 à 2, n'attestent pas de différences significatives (Figure 2).

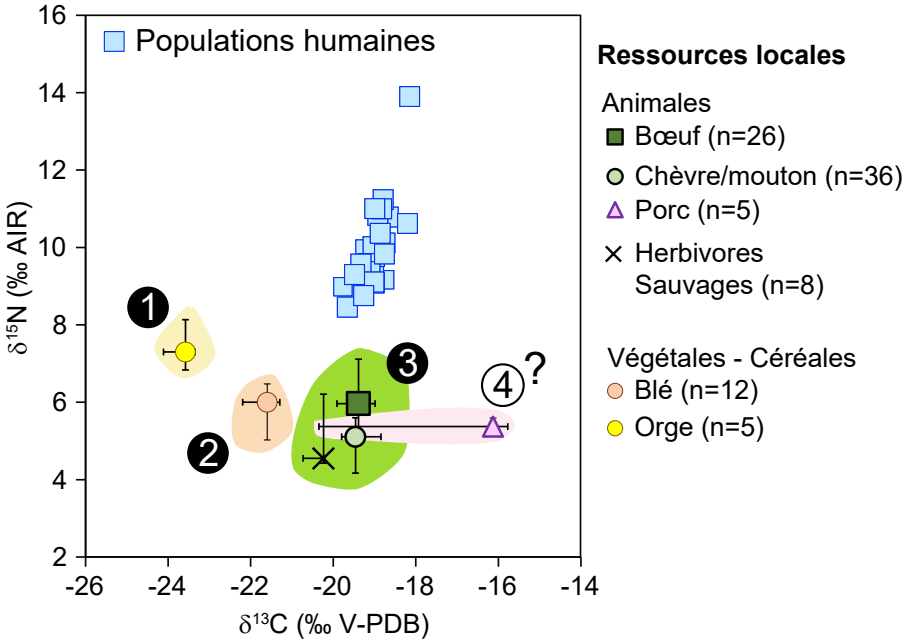


FIG. 2 : Distribution des rapports isotopiques ((δ^{13}C), (δ^{15}N)) des ressources alimentaires, milieux confondus et identification des ressources statistiquement différentes

Tableau 4 : Résultats de significativité des tests de comparaison non-paramétriques entre les ressources alimentaires et pour les environnements regroupés (Test de Kruskal-Wallis pour les comparaisons multi-groupes et Test de Mann-Whitney pour les comparaisons 2 à 2, avec correction FDR)

	$\delta^{13}C\backslash\delta^{15}N$						
TOTAL	**Bœuf**	**Chèvre/ Mouton**	**Cervidés**	**Porc**	**Blé**	**Orge**	
Bœuf		0,052	0,307	0,517	0,635	0,308	
Chèvre/Mouton	0,827		0,517	0,517	0,413	0,052	KW :
Herbivores sauvages	0,192	0,097		0,517	0,329	0,319	χ^2 = 13,796
Porc	0,674	0,703	0,355		0,635	0,517	df = 5
Blé	0,000	0,000	0,001	0,001		0,307	p-value = 0,017
Orge	0,000	0,000	0,003	0,013	0.001		
	KW : χ^2 = 42,955, df = 5, p-value = 0,000						

4 Conclusion

L'analyse statistique descriptive d'un corpus isotopique de 92 spécimens animaux et végétaux couplée à des tests non-paramétriques appliqués à des échantillons de petite taille (n<30) a permis de proposer un référentiel archéologique avec 3 ressources alimentaires distinctes (blé, orge, herbivores domestiques et sauvages) pour la région du Sud Caucase. Considérant le fractionnement isotopique attendu entre l'alimentation et les consommateurs et l'identification de ces 3 ressources, la prochaine étape de cette recherche visera à estimer la contribution différentielle de ces trois ressources à l'alimentation des groupes humains ayant vécu en Géorgie, en vallée et en altitude au début de l'âge du Bronze.

En résumé :

- Exemple de l'intérêt des outils statistiques et des tests de comparaison pour décrire et caractériser isotopiquement les ressources alimentaires archéologiques.
- L'objectif est de vérifier si des groupes sont isotopiquement identiques ou pas.
- Le corpus analysé est composé de restes osseux humains et de ressources alimentaires (vestiges bio-archéologiques), classées selon le milieu (montagne ou vallée).
- Chaque groupe (ressource et milieu) a été décrit à partir d'indicateurs statistiques. Des comparaisons entre groupes ont été réalisées à partir de tests non-paramétriques tels que le test de Mann-Whitney et le test de Kruskal-Wallis.

Annexe

Corpus des 6 ressources alimentaires en fonction de la localisation des échantillons en vallée et en montagne

Milieu	Group	$\delta^{13}C$	$\delta^{15}N$
Montagne	Blé	-21,4	6,0
Montagne	Blé	-20,5	6,6
Montagne	Blé	-20,8	6,0
Montagne	Blé	-21,2	3,9
Montagne	Blé	-21,7	11,1
Montagne	Blé	-22,3	4,8
Montagne	Blé	-21,9	5,8
Montagne	Bœuf	-19,9	6,0
Montagne	Bœuf	-18,9	5,5
Montagne	Bœuf	-20,2	8,1
Montagne	Bœuf	-20,0	6,1
Montagne	Bœuf	-19,2	5,1
Montagne	Bœuf	-19,2	7,9
Montagne	Bœuf	-19,6	4,6
Montagne	Bœuf	-20,5	5,3
Montagne	Bœuf	-19,4	7,9
Montagne	Bœuf	-18,1	6,4
Montagne	Bœuf	-20,1	6,1
Montagne	Bœuf	-19,6	5,8
Montagne	Bœuf	-20,2	5,9
Montagne	Chèvre/Mouton	-18,4	3,3
Montagne	Chèvre/Mouton	-19,6	5,0
Montagne	Chèvre/Mouton	-19,4	4,9
Montagne	Chèvre/Mouton	-19,0	4,5
Montagne	Chèvre/Mouton	-19,5	5,9
Montagne	Chèvre/Mouton	-19,5	4,3
Montagne	Chèvre/Mouton	-19,9	6,3
Montagne	Chèvre/Mouton	-19,1	5,7
Montagne	Chèvre/Mouton	-19,5	4,1
Montagne	Chèvre/Mouton	-19,3	5,2
Montagne	Chèvre/Mouton	-20,0	5,9
Montagne	Chèvre/Mouton	-19,8	4,0
Montagne	Chèvre/Mouton	-20,0	4,3
Montagne	Chèvre/Mouton	-19,0	4,0
Montagne	Chèvre/Mouton	-19,9	4,5
Montagne	Chèvre/Mouton	-19,7	4,2
Montagne	Chèvre/Mouton	-19,4	4,3
Montagne	Chèvre/Mouton	-19,6	4,5
Montagne	Chèvre/Mouton	-19,6	4,0
Montagne	Herb. Sauvage	-18,5	7,1
Montagne	Herb. Sauvage	-19,3	3,3
Montagne	Orge	-22,8	6,8

Milieu	Group	$\delta^{13}C$	$\delta^{15}N$
Vallée	Blé	-21,8	5,4
Vallée	Blé	-21,7	6,3
Vallée	Blé	-21,5	4,4
Vallée	Blé	-21,5	6,2
Vallée	Blé	-22,4	6,1
Vallée	Bœuf	-13,1	5,6
Vallée	Bœuf	-12,3	5,1
Vallée	Bœuf	-19,3	7,6
Vallée	Bœuf	-18,0	5,8
Vallée	Bœuf	-18,9	6,5
Vallée	Bœuf	-19,2	6,2
Vallée	Bœuf	-19,4	5,7
Vallée	Bœuf	-19,4	6,2
Vallée	Bœuf	-19,9	7,4
Vallée	Bœuf	-19,7	7,1
Vallée	Bœuf	-21,5	5,0
Vallée	Bœuf	-19,0	5,3
Vallée	Bœuf	-18,7	5,8
Vallée	Chèvre/Mouton	-13,7	6,3
Vallée	Chèvre/Mouton	-14,4	6,7
Vallée	Chèvre/Mouton	-18,8	4,4
Vallée	Chèvre/Mouton	-19,7	5,2
Vallée	Chèvre/Mouton	-20,0	4,9
Vallée	Chèvre/Mouton	-19,7	6,1
Vallée	Chèvre/Mouton	-18,3	6,9
Vallée	Chèvre/Mouton	-19,4	4,5
Vallée	Chèvre/Mouton	-18,5	6,7
Vallée	Chèvre/Mouton	-19,2	6,2
Vallée	Chèvre/Mouton	-16,4	5,8
Vallée	Chèvre/Mouton	-18,8	5,8
Vallée	Chèvre/Mouton	-18,6	6,0
Vallée	Chèvre/Mouton	-19,3	6,5
Vallée	Chèvre/Mouton	-20,2	8,7
Vallée	Chèvre/Mouton	-20,3	4,8
Vallée	Chèvre/Mouton	-19,7	7,8
Vallée	Herb. Sauvage	-18,9	5,3
Vallée	Herb. Sauvage	-20,2	3,1
Vallée	Herb. Sauvage	-20,8	3,8
Vallée	Herb. Sauvage	-21,1	3,6
Vallée	Herb. Sauvage	-20,3	5,4
Vallée	Herb. Sauvage	-20,3	8,9
Vallée	Orge	-24,0	7,9
Vallée	Orge	-23,6	5,1
Vallée	Orge	-25,1	7,3
Vallée	Orge	-23,4	8,6
Vallée	Porc	-16,1	5,4
Vallée	Porc	-14,7	5,6
Vallée	Porc	-20,3	5,3
Vallée	Porc	-15,8	8,2
Vallée	Porc	-20,4	5,3