

Potentiel d'authentification des jambons de Bayonne à l'aide des éléments traces et des rapports isotopiques du Strontium

Julien P.G. BARRE (1), Ekaterina EPOVA (1), Olivier F.X. DONARD (1), Nathalie ROBERT (2), Sylvain BERAIL (1)

(1) Advanced Isotopic Analysis, 2 av du Pdt Pierre Angot, Technopole Hélioparc, 64000 Pau, France

(2) PYRAGENA, Route de Samadet, 64410 Arzacq, France

sylvain.berail@ai-analysis.com

Potentiel d'authentification des jambons de Bayonne à l'aide des éléments traces et des rapports isotopiques du Strontium

Face à la demande croissante de produits carnés de haute qualité dont l'origine géographique est connue, des techniques d'analyse de pointe sont nécessaires pour réaliser un contrôle qualité approprié. Dans le cas des porcs certifiés, l'alimentation des animaux et les techniques de salage sont généralement strictement réglementés. L'objectif de cette étude est d'évaluer le potentiel des éléments traces et des isotopes du strontium afin de différencier l'origine géographique de jambons secs de différentes origines. Les éléments traces ainsi que le rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ont été déterminés dans neuf jambons secs de différentes origines (Bayonne/France, Serrano/Espagne, Parme/Italie), dans le sel gemme de Salies de Béarn et dans trois jambons salés avec d'autres sels gemme dans le but de différencier les jambons tant par leur origine que par leur salage. Les jambons salés avec les sels gemme présentent des gammes de concentrations différentes de celles des jambons salés au sel de mer. De même, le rapport isotopique du Sr présente de fortes différences entre les deux types de salage. Pour les jambons salés aux sels gemme, le rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ est compris entre 0,708315 et 0,708465 et pour les jambons au sel de mer entre 0,708760 et 0,709176. Dans le sel de Salies de Béarn, ce rapport est de 0,708408, identique à celui des jambons salés aux sels gemme. Les résultats indiquent que la composition multi-élémentaire et le rapport isotopique du Sr permettent de différencier les processus de préparation des jambons. En effet, les jambons de Bayonne, salés au sel gemme de Salies de Béarn, présentent des caractéristiques différentes de celles des jambons italiens et espagnols, tant par leur composition multi-élémentaire que par leur composition isotopique en Sr.

Authentication potential of Bayonne hams using trace elements and strontium isotopic ratios

Recently, growing demand for high-quality meat products with a clear geographical origin has been recognized. Suitable analytical techniques are needed to perform appropriate quality control. In the case of certified pigs, animal feeding and salting techniques are generally strictly regulated. The objective of this study was to evaluate the potential of trace elements and Sr isotopes to differentiate the geographical origin of dry hams from different origins. The trace elements and the ratio $^{87}\text{Sr}:\text{Sr}$ were determined in nine cured hams of different origins (Bayonne/France, Serrano/Spain, Parma/Italy), in the rock salt from Salies de Bearn and in three hams salted with other rock salts to distinguish hams by both their origin and salting. Rock-salted hams had different concentration ranges than sea-salted hams. Similarly, the isotopic ratio of Sr showed strong differences between the two types of salting. The $^{87}\text{Sr}:\text{Sr}$ ratio was 0.708315-0.708465 for rock-salted hams and 0.708760-0.709176 for sea-salted hams. In Salies de Bearn salt, the ratio was 0.708408, identical to that of rock-salted hams. The results indicate that the multi-elemental composition and isotopic ratio of Sr can distinguish the processes of ham preparation. The characteristics of Bayonne hams, salted with Salies de Bearn rock salt, differ from those of Italian and Spanish hams, both in their multi-elemental composition and their isotopic composition of Sr.

INTRODUCTION

Le jambon sec est un produit carné traditionnel des pays de l'Europe du Sud, obtenu après salage et séchage des jambons frais. Différents types de jambons secs sont présents sur le marché différant par l'origine de la matière première et/ou les techniques de préparation. L'Espagne, l'Italie et la France sont les principaux producteurs de jambons secs. La qualité des produits carnés est actuellement un sujet de grande importance au niveau mondial qui va devenir crucial ces prochaines années. Les informations sur la provenance et l'authenticité des produits alimentaires sont considérées par les consommateurs comme une garantie supplémentaire de la qualité des produits. En Europe, l'indication géographique protégée (IGP) identifie un produit agricole dont la qualité, la réputation ou d'autres caractéristiques sont liées à son origine géographique. Ce label protège la qualité des jambons sur le marché et permet d'assurer leur authenticité (Carcea et Melini, 2013). Pour prétendre à l'obtention de ce signe officiel lié à l'origine et à la qualité, une étape au moins dans la production, la transformation ou l'élaboration du produit (selon les exigences du cahier des charges) doit avoir lieu dans l'aire géographique délimitée. Ainsi, les jambons sont étroitement associés à leur provenance géographique et aux procédés de fabrication qui leur sont spécifiques. Toutefois, la qualité des jambons reste vulnérable et peut devenir un objet de falsification, ce qui rend nécessaire le contrôle de l'authenticité des allégations (de plus en plus de produits de qualité reconnue sont victimes de falsifications).

Pour obtenir des informations sur l'authenticité et accéder à des données sur la traçabilité, différentes techniques analytiques reconnues par les autorités de régulation sont disponibles. Leur performance est souvent basée sur la mesure de nombreux paramètres chimiques et une interprétation fiable des données nécessite au minimum un traitement statistique (Danezis *et al.*, 2016). Cependant, l'authenticité des produits et la détermination de leur origine géographique peuvent également être validées par un nombre plus limité de critères spécifiques qui peuvent être plus facilement reliés à l'origine et/ou au procédé de production.

Dans ce contexte, les méthodes analytiques permettant de mesurer des rapports isotopiques deviennent incontournables. Cela concerne des méthodes discriminantes traditionnelles dont l'approche est basée sur la mesure des isotopes d'éléments dits légers comme les isotopes de l'hydrogène, l'azote, l'oxygène, le carbone et le soufre. Le développement récent de la spectrométrie de masse à plasma inductif à multi-collection (MC-ICP-MS) a élargi le potentiel de l'analyse isotopique en permettant d'accéder à de nouveaux éléments comme le strontium (Sr) (Balcaen *et al.*, 2010) : les isotopes du strontium, présents naturellement dans la lithosphère, sont assimilés par les plantes et intégrés dans la chaîne alimentaire. Ces dernières années, la détermination des isotopes du Sr a connu un grand intérêt en raison de leur sensibilité en tant que traceurs géochimiques dans le domaine de l'agroalimentaire (Balcaen *et al.*, 2010). Bien que les premières études aient été publiées dans les années 90, les applications pratiques de la mesure des isotopes du Sr pour accéder à la provenance des produits agroalimentaires sont relativement récentes. Elles sont liées à l'introduction du MC-ICP-MS qui permet une détection simultanée de plusieurs isotopes avec d'excellentes

qualités de justesse et de précision et offre ainsi une information compétitive avec celle obtenue par le TIMS, technique considérée comme la référence dans le domaine de l'analyse isotopique (Walczyk, 2004). Dans cette étude, le potentiel d'utilisation des éléments traces et du rapport isotopique du Sr afin de discriminer le jambon de Bayonne de deux autres jambons européens (Serrano/Espagne et Parme/Italie) a été évalué.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Echantillons

Pour cette étude, trois jambons de Bayonne (provenant de 3 salaisoniers), trois jambons de Parme et trois jambons Serrano (achetés en libre-service en GSM) ont été analysés. Selon les spécifications de production, les jambons Serrano et de Parme sont salés avec des sels de mer humides et / ou secs (Ordóñez et De La Noz, 2007 ; Consorzio del Prosciutto di Parma ; El Consorcio del Jamón Serrano). Un échantillon de sel de Salies-de-Béarn (IGP, sel gemme), seul sel pouvant être utilisé dans la fabrication du jambon de Bayonne a également été étudié (Consortium du Jambon de Bayonne). Enfin, trois jambons secs dits « Bayonne Autres » ont été fabriqués par Pyragena (station expérimentale du Consortium du jambon de Bayonne) en utilisant des sels gemme européens (autres que celui de Salies de Béarn) afin de tracer les produits contrefaits.

1.2. Minéralisation des échantillons

Pour les analyses multi-élémentaires, les échantillons de jambons ont été minéralisés selon le protocole établi par Epova *et al.* (2018). En bref, environ 0,2 g de jambon ont été minéralisés sur Hotblock (85°C) dans un mélange comportant 5 mL d'acide nitrique (HNO₃, Instra, J.T. Baker) et 1 mL de peroxyde d'hydrogène (H₂O₂, Optima, Fisher) après prédigestion à température ambiante pendant plus de 12 heures. Le sel a été dissous dans une solution de 2% HNO₃ afin d'atteindre une concentration proche de celle de l'eau de mer (environ 35 g/L) et dilué avant analyse.

L'analyse isotopique nécessite d'isoler l'élément d'intérêt (Sr) du reste de la matrice en utilisant des résines échangeuses d'ions. Une minéralisation plus « dure » est donc nécessaire pour dégrader au maximum la matière organique afin que la récupération du Sr soit totale après passage sur la résine. Les échantillons de jambons ont donc été minéralisés selon le protocole établi par Epova *et al.* (2018). En bref, environ 0,3-0,4 g de jambon ont été minéralisés au micro-ondes (TOPWave, Analytik Jena) dans un mélange comportant 7 mL d'acide nitrique (HNO₃, Instra, J.T. Baker) et 1 mL de peroxyde d'hydrogène (H₂O₂, Optima, Fisher) après prédigestion à température ambiante pendant plus de 12 heures. Pour le sel, un aliquot de la solution préparée pour les analyses multi-élémentaire a été utilisé.

1.3. Détermination de la composition multi-élémentaire

Les concentrations multi-élémentaires (Li, Al, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Sr, Rb, Cd, Cs, Ba, Tl, Pb et U) ont été déterminées par ICP-MS quadripolaire (Agilent 7700). Le matériel de référence certifié NIST RM 8414 (muscle bovin) a été analysé afin de valider la qualité des analyses. Les recouvrements pour les éléments certifiés étaient d'environ 100 ± 11% selon les éléments.

1.4. Détermination de la composition isotopique en Sr

Les analyses isotopiques du Sr ont été réalisées par ICP-MS multi-collecteur (Nu Plasma, Nu Instrument, Wrexham) après isolation du Sr sur résine échangeuse d'ions (Sr-spec, Eichrom). Le standard isotopiquement certifié en Sr NIST SRM 987 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,710255 \pm 0,00023$, Waight *et al.*, 2002) a également été analysé après séparation sur colonne afin de valider la qualité des préparations. La précision externe des mesures des rapports isotopiques du Sr est de 55 ppm pour le rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$.

1.5. Analyses des données

La base de données obtenue à partir des analyses multi-élémentaire et isotopiques a été analysée à l'aide du logiciel R. Une analyse en composante principale (ACP) a été réalisée avec le module FactoMineR du logiciel R (Lê *et al.*, 2008) dont les variables ont été centrées et réduites. Seuls les jambons ont été conservés afin de tester la possibilité de discriminer l'origine des jambons sans connaître le type de sel utilisé lors du salage.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Traçage du processus de salage

2.1.1. Composition multi-élémentaire

Tableau 1 – Concentrations (minimales, maximales, moyennes et écart-types) des éléments sélectionnés (Li, Mn, Fe Ni, Cu, Zn, Sr, Rb, Cd, Tl, Pb) en mg/kg dans les échantillons de jambon « Bayonne Autres », Bayonne, Parme et Serrano.

		Li (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Sr (mg/kg)	Rb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Tl (mg/kg)	Pb (mg/kg)
"Bayonne Autres" n=3	Min.	0,059	0,31	22	0,012	1,7	54	0,95	8,5	0,002	0,002	0,010
	Max.	0,075	0,70	34	0,025	2,1	71	3,4	15	0,002	0,003	0,085
	Moy ¹	0,067	0,48	27	0,018	1,9	60	2,3	12	0,002	0,002	0,037
	ET ²	0,008	0,20	6	0,007	0,2	10	1,3	3	0,0002	0,0002	0,042
Bayonne n=3	Min.	0,047	1,2	21	0,020	1,7	47	3,6	11	0,002	0,002	0,014
	Max.	0,27	2,4	31	0,041	2,3	80	8,1	19	0,005	0,009	0,021
	Moy ¹	0,14	1,6	25	0,030	2,0	59	5,5	13	0,004	0,005	0,018
	ET ²	0,11	0,7	6	0,011	0,3	18	2,3	5	0,002	0,004	0,004
Parme n=3	Min.	0,008	0,33	33	0,011	2,0	84	0,54	12	0,001	0,0001	0,005
	Max.	0,021	0,83	63	0,049	5,3	110	2,0	22	0,002	0,002	0,010
	Moy ¹	0,013	0,57	44	0,028	3,2	95	1,1	16	0,002	0,001	0,007
	ET ²	0,007	0,25	16	0,020	1,8	14	0,8	5	0,001	0,001	0,003
Serrano n=3	Min.	0,017	0,25	18	0,011	1,5	54	1,4	13	0,001	0,0002	0,008
	Max.	0,067	0,33	35	0,017	1,9	72	2,0	19	0,002	0,003	0,017
	Moy ¹	0,035	0,29	26	0,014	1,7	60	1,8	16	0,002	0,001	0,011
	ET ²	0,028	0,04	8	0,003	0,2	10	0,4	3	0,001	0,002	0,005

¹Moy : moyenne ; ²ET : Ecart-type

2.1.2. Isotopes du Sr

Les rapports isotopiques du Sr ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) obtenus pour les jambons et le sel de Salies de Béarn sont présentés dans la figure 1. Les jambons de Bayonne et le sel de Salies-de-Béarn présentent des compositions isotopiques en Sr identiques et sont en accord avec les valeurs précédemment mesurées pour le même type d'échantillons, respectivement $0,708380 \pm 0,000090$ (jambon de Bayonne, n = 3) ; et $0,708305 \pm 0,000082$ (sel, n = 4) (Epova *et al.*, 2018).

Les concentrations élémentaires de 20 éléments ont été mesurées dans les jambons et le sel et sont représentées dans le tableau 1. Elles sont relativement homogènes quelle que soit l'origine du jambon étudié à l'exception du jambon de Parme qui présente des concentrations supérieures au reste des autres jambons pour Fe, Cu et Zn. De même, les concentrations en Li, Mn, Sr, Pb et Tl sont sensiblement plus fortes dans les jambons de Bayonne comparativement aux autres jambons.

En effet, elles présentent des gammes de variation différentes selon que le jambon est salé au sel gemme (Salies-de-Béarn et autres sels gemme) ou au sel de mer (Parme et Serrano). Les concentrations observées pour Li, Sr, Tl et Pb sont supérieures dans les jambons salés aux sels gemme à ceux salés au sel de mer. Or, les sels gemme sont généralement plus concentrés en ces éléments que les sels de mer (Epova *et al.*, 2018). La composition multi-élémentaire des jambons permet donc dans un premier temps de distinguer les jambons salés au sel de mer (Parme et Serrano) de ceux salés au sel gemme (Bayonne et jambons salés dans la station Pyragena avec d'autres sels gemme, dits « Bayonne Autres »). Toutefois, d'autres facteurs que le salage pourraient expliquer les différences dans ces concentrations (conditions d'élevage...). Pour compléter l'information quant à l'authenticité des jambons, un traceur plus discriminant tel que les isotopes du Sr est nécessaire.

Les jambons de Bayonne (B1, B2, B3) et de Parme (P1, P2, P3) présentent chacun une composition isotopique en Sr distincte alors que les valeurs $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ mesurées dans les jambons Serrano sont proches de celles obtenues pour le jambon de Parme : le rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de l'échantillon S3 étant plus élevé que celui mesuré pour S1 et S2. Il est difficile ici de déterminer la raison de cette variabilité en l'absence d'information détaillée sur l'origine des porcs, car ces jambons secs ont été achetés en grande surface et proviennent de fabricants et/ou

de lots différents. Les jambons « Bayonne Autres » (BA1, BA2, BA3) salés avec d'autres sels gemme ont une composition isotopique en Sr similaire à celle du jambon de Bayonne.

La similarité des rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ entre les jambons de Bayonne et le sel de Salies-de-Béarn est évidente, ce qui correspond à la tendance observée précédemment pour la même matrice (Epova *et al.*, 2018).

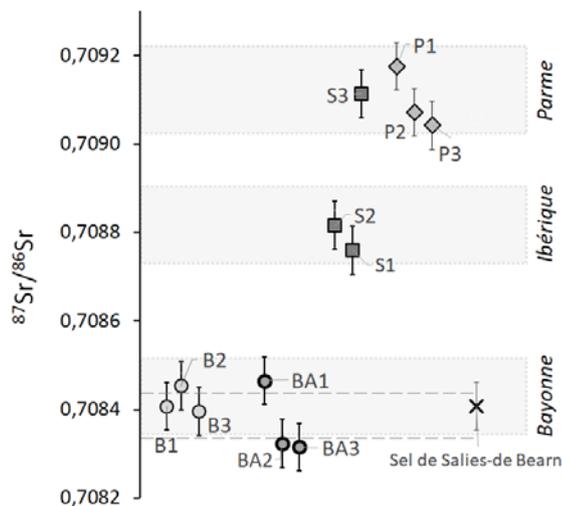


Figure 1 – Rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ dans les échantillons de jambon de Bayonne (B1, B2, B3), « Bayonne Autres » (BA1, BA2, BA3), Parme (P1, P2, P3), Serrano (S1, S2, S3) et dans le sel de Salies de Béarn

Les zones grisées Bayonne, Ibérique et Parme représentent les gammes de variations issues des données de Epova *et al.* (2018) pour le jambon de Bayonne, le jambon ibérique et le jambon de Parme

Malgré une certaine hétérogénéité pour certains groupes de jambons (Serrano et « Bayonne Autres »), le rapport isotopique du Sr seul permet de distinguer les jambons salés avec des sels gemme (Bayonne et « Bayonne Autres ») des jambons salés avec du sel de mer (Parme et Serrano) (Figure 1).

2.1.3. Variabilité des apports en Sr

Le rapport isotopique du Sr mesuré dans un jambon est composé de la signature conjointe du matériau de base (la viande crue) et du sel, ingrédient principal ajouté lors de la fabrication du jambon (Jiménez-Colmenero *et al.*, 2010). Les caractéristiques de la viande crue utilisée dans la production de jambons secs varient selon les races, l'alimentation et les conditions d'élevage des porcs (Ordóñez et De La Noz, 2007). Ainsi, les porcs ibériques se nourrissent de glands, tandis que les porcs blancs utilisés pour la production des jambons de Bayonne sont nourris à partir de maïs denté produit dans le Sud-Ouest de la France.

Le rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ dans la viande bovine crue d'origine diverse est très variable. Pour la région Limousin (France), le rapport mesuré était compris entre 0,71043 et 0,71347, pour la région de Trente (Italie) entre 0,70628 et 0,71042, en Toscane entre 0,70877 et 0,71572 et dans la région de Barcelone (Espagne) entre 0,70897 et 0,71399 (Rummel *et al.*, 2012). Cette forte dispersion du rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ des muscles d'animaux reflète une variation de la signature isotopique du Sr dans leur habitat d'élevage, leur alimentation, l'utilisation de compléments alimentaires et l'eau. Tous ces facteurs sont essentiels pour définir le rapport isotopique individuel du Sr

dans chaque matière première (Franke *et al.*, 2008 ; Rummel *et al.*, 2012). Toutes ces différences affectent certainement les concentrations et la composition isotopique des éléments, dont le Sr, dans les jambons salés (Tableau 1 et Figure 1). Cependant après salaison, les compositions isotopiques en Sr dans le sel et les jambons sont identiques indiquant que le Sr issu du sel semble prépondérant dans le jambon (Figure 2).

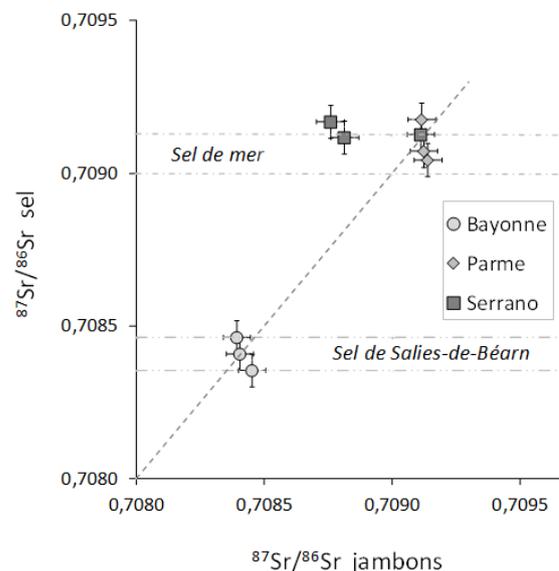


Figure 2 – Rapport isotopique $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ dans les échantillons de jambon de Bayonne, Parme et Serrano comparé au rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ du sel utilisé lors de l'opération de salage (issu de Epova *et al.*, 2018)

2.2. Potentiel de discrimination des jambons de Bayonne

2.2.1. Influence du type de sel sur les caractéristiques du jambon

Le jambon sec salé au sel gemme autre que le sel de Salies-de-Béarn (« Bayonne Autres ») présente un rapport isotopique du Sr identique (BA1) ou très proche (BA2 et BA3) de celui du jambon de Bayonne salé au sel de Salies-de Béarn (Figure 1). Les sels gemme d'origines différentes peuvent avoir la même signature $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ si le gisement a été formé durant la même période géologique. En effet, la valeur $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ dans le sel gemme de Wieliczka (Pologne) ou encore celle du sel gemme d'Andalousie (Espagne) sont identiques à celle du sel de Salies-de-Béarn (Epova *et al.*, 2018). Du fait de ces similarités, la discrimination des jambons de Bayonne avec les isotopes du Sr est imparfaite. Il est donc nécessaire de compléter cette information avec les compositions multi-élémentaires. Trois éléments semblent fournir une information intéressante pour différencier les jambons de Bayonne des jambons salés avec d'autres sels gemme : Li, Mn et Sr. En effet, les jambons de Bayonne présentent des concentrations sensiblement plus élevées en ces trois éléments (pour Li, Mn et Sr respectivement $0,14 \pm 0,11$, $1,6 \pm 0,7$ et $5,5 \pm 2,3$ mg/kg) que les jambons salés aux sels gemme (pour Li, Mn et Sr respectivement $0,07 \pm 0,01$, $0,48 \pm 0,20$ et $2,3 \pm 1,3$ mg/kg). Or, le sel de Salies-de-Béarn utilisé pour le salage des jambons de Bayonne a la particularité d'être riche en Li et Mn (Epova *et al.*, 2018), tout comme celui de la mine de Wieliczka en Pologne, comparé à d'autres sels gemme.

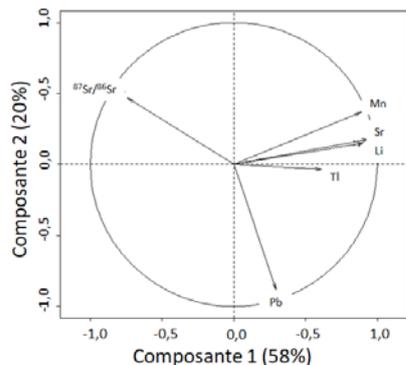
Les caractéristiques du sel utilisé lors du salage se retrouvent donc dans la composition élémentaire finale du jambon. Elles pourraient donc aider à authentifier la provenance d'un

jambon en fonction de sa composition isotopique et de sa composition multi-élémentaire.

2.2.2. Discrimination statistique des jambons de Bayonne

Afin d'évaluer la possibilité de discriminer les jambons de Bayonne par rapport à des jambons d'origines différentes, plusieurs variables sont nécessaires. Une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée en utilisant la composition isotopique en Sr et les cinq éléments (Li, Mn, Sr, Tl et Pb) marqueurs précédents.

a)



b)

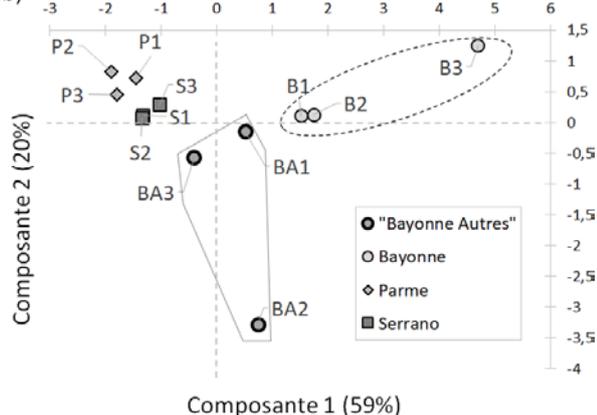


Figure 4 – Répartition des variables (a) et des échantillons de jambons (b) selon leur origine de production par analyse en composantes principales

Les résultats de l'ACP sont représentés dans la figure 4. Les jambons sont principalement distribués en fonction de leur composition isotopique en Sr et leurs teneurs en Li, Mn, Sr et Tl (composante 1, Figures 4a et 4b) mais également par leurs teneurs en Pb (composante 2, Figures 4a et 4b). Les jambons sont principalement séparés en fonction du type de sel utilisé (sel de mer ou sel gemme) confirmant les résultats obtenus avec le rapport isotopique du Sr et la composition multi-élémentaire.

Les jambons de Parme et les jambons Serrano sont regroupés entre eux contrairement aux observations faites avec l'isotopie du Sr, où un échantillon de jambon Serrano avait la même composition isotopique (S3) que les jambons de Parme. De même, il semble possible de différencier les jambons de Bayonne salés au sel de Salies-de-Béarn des jambons salés avec d'autres sels gemme « Bayonne Autres » (Figure 4b). Le point BA2 semble très éloigné de son nuage de par sa forte teneur en Pb comparé aux autres jambons. De même, l'échantillon de jambon de Bayonne B3 est différent des deux autres du fait de sa forte concentration en Li.

L'analyse en composantes principales des échantillons de jambon permettrait dans ce cas de discriminer les échantillons selon leur origine ou le sel utilisé et ainsi d'authentifier les jambons de Bayonne. Cependant, la composition élémentaire des sels joue un rôle prépondérant dans la composition multi-élémentaire. Les sels utilisés pour le salage des jambons « Bayonne Autres » sont certainement différents du sel de Salies-de-Béarn. Dans le cas où les caractéristiques de ces sels seraient plus proches, l'analyse statistique pourrait ne pas être suffisante pour discriminer clairement les jambons authentiques des imitations.

CONCLUSION

L'utilisation du rapport isotopique du Sr et de la composition multi-élémentaire dans les jambons de différentes origines et dans le sel ont démontré leur potentiel pour l'authentification du jambon de Bayonne. La signature isotopique du Sr montre que le sel est la principale source de Sr dans les jambons et que seul le type de sel (sel gemme/sel de mer) peut être identifié. De plus, l'utilisation des éléments caractéristiques du sel comme Li, Mn ou Sr peut apporter une information supplémentaire quant à l'origine du jambon, notamment par l'utilisation d'outils statistiques (ACP).

Cependant, certains sels peuvent avoir une composition élémentaire et une signature isotopique en Sr similaires limitant leur utilisation pour l'authentification des jambons.

Des études complémentaires sur 1) la viande crue afin de comprendre l'impact du salage sur la composition isotopique et élémentaire, 2) le processus de préparation des jambons (salage, affinage et notamment l'effet du temps de maturation), afin de prendre en compte toutes les variables entrant dans la fabrication des jambons et 3) l'utilisation d'un autre système isotopique (éléments légers (hydrogène, carbone, oxygène et soufre) ou autre, pourraient augmenter le pouvoir discriminant de l'analyse élémentaire et isotopique appliquée à l'authenticité et au traçage de l'origine géographique des jambons secs.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Balcaen L., Moens L., Vanhaecke F., 2010. Determination of isotope ratios of metals (and metalloids) by means of inductively coupled plasma-mass spectrometry for provenancing purposes — A review. *Spectrochim. Acta B*, 65, 769-786.
- Carcea M., Melini, F., 2013. Legal aspects of food protected designations. In M. De La Guardia & A. González (Eds.), *Food protected designation of origin, 1st ed., Methodologies and Applications. Compr. Anal. Chem., Volume 60 (1st ed.)*, 3-30. Elsevier. Consortium du Jambon de Bayonne. https://www.qualireg.org/content/download/13478/189116/version/1/file/obj_7081_file_FR_0005_0031_SPE_FR_O.pdf . (Accessed 24 October 2017).
- Consorzio del Prosciutto di Parma. https://www.prosciuttodiparma.com/pdf/en_UK/Parma_Ham_Specifications_Disciplinare_Consolidato_Nov_13.pdf (Accessed 24 October 2017).
- Curnelle R., 1983. Evolution structuro-sédimentaire du Trias et de l'Infra-Lias d'Aquitaine. *Bulletin des centres de recherches Exploration-production Elf-Aquitaine*, 7, 69-99.
- Danezis G. P., Tsagkaris A. S., Camin F., Brusica V., Georgiou C. A., 2016. Food authentication: techniques, trends & emerging approaches. *Trend. Anal. Chem.*, 85, 123–132.
- El Consorcio del Jamón Serrano. http://www.jamonserrano.com.es/Jambon_Serrano.html. (Accessed 24 Septembre 2019).
- Epova E.N., Bérail S., Zuliani T., Malherbe J., Sarthou S., Valiente M., Donard O.F.X., 2018. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotope ratio and multielemental signatures as indicators of origin of European cured hams: the role of salt. *Food. Chem.*, 246, 313-322.
- Franke B.M., Koslitz S., Micaux F., Piantini U., Maury V., Pfammatter E., Wunderli S., Gremaud G., Bosset J.-O., Hadorn R., Kreuzer M., 2008. Tracing the geographic origin of poultry meat and dried beef with oxygen and strontium isotope ratios. *Eur. Food. Res. and Technol.*, 226, 761–769.
- Jiménez-Colmenero F., Ventanas J., Toldrá F., 2010. Nutritional composition of dry-cured ham and its role in a healthy diet. *Meat Sci.*, 84, 585–593.
- Lê S., Josse J., Husson F., 2008. FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *J. Stat. Soft.*, 25, 1-18.
- Ordóñez J.A., De La Noz L., 2007. Mediterranean products. In Toldrá, F. (Ed.), *Handbook of fermented meat and poultry*, 333-347. Wiley-Blackwell.
- Rummel S., Dekant C.H., Hölzl S., Kelly S.D., Baxter M., Marigheto N., Quetel C.R., Larcher R., Nicolini G., Fröschl H., Ueckermann H., Hoogewerff J., 2012. Sr isotope measurements in beef—analytical challenge and first results. *Anal. Bioanal. Chem.*, 402, 2837–2848.
- Waight T., Baker J., Peate D., 2002. Sr isotope ratio measurements by double-focusing MC-ICPMS: techniques, observations and pitfalls. *Int. J. Mass Spectrom.*, 221, 229–244.
- Walczyk T., 2004. TIMS versus multicollector-ICP-MS: coexistence or struggle for survival? *Anal. Bioanal. Chem.*, 378, 229–231.