



HAL
open science

Stable isotopic approach on mollusk shells to paleoenvironmental reconstitution: Study of an urban site: Lyon (France)

Laurence Le callonnec, Stéphane Gaillot, Juliette Belavoine, Fabien Pons

► To cite this version:

Laurence Le callonnec, Stéphane Gaillot, Juliette Belavoine, Fabien Pons. Stable isotopic approach on mollusk shells to paleoenvironmental reconstitution: Study of an urban site: Lyon (France). *Archeosciences, revue d'Archéométrie*, 2019, 43, pp.7-26. 10.4000/archeosciences.6084 . insu-03665723

HAL Id: insu-03665723

<https://insu.hal.science/insu-03665723>

Submitted on 12 May 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



ArcheoSciences
Revue d'archéométrie

43-1 | 2019
Varia

Apports de la géochimie isotopique de bivalves dulcicoles à la reconstitution paléoenvironnementale en milieu urbain : le cas de la ville de Lyon

*Stable isotopic approach on mollusk shells to paleoenvironmental reconstitution:
Study of an urban site: Lyon (France)*

**Laurence Le Callonnec, Stéphane Gaillot, Juliette Belavoine et Fabien
Pons**



Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/archeosciences/6084>

DOI : [10.4000/archeosciences.6084](https://doi.org/10.4000/archeosciences.6084)

ISSN : 2104-3728

Éditeur

Presses universitaires de Rennes

Édition imprimée

Date de publication : 30 décembre 2019

Pagination : 7-26

ISBN : 978-2-7535-8016-9

ISSN : 1960-1360

Référence électronique

Laurence Le Callonnec, Stéphane Gaillot, Juliette Belavoine et Fabien Pons, « Apports de la géochimie isotopique de bivalves dulcicoles à la reconstitution paléoenvironnementale en milieu urbain : le cas de la ville de Lyon », *ArcheoSciences* [En ligne], 43-1 | 2019, mis en ligne le 01 janvier 2022, consulté le 01 mars 2022. URL : <http://journals.openedition.org/archeosciences/6084> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/archeosciences.6084>

Apports de la géochimie isotopique de bivalves dulcicoles à la reconstitution paléoenvironnementale en milieu urbain : le cas de la ville de Lyon

Stable Isotopic Approach on Mollusk Shells to Paleoenvironmental Reconstitution: Study of an Urban Site, Lyon (France)

Laurence LE CALLONNEC^a, Stéphane GAILLOT^b,
Juliette BELAVOINE^a et Fabien PONS^a

Résumé : L'installation et le développement de la ville de Lyon depuis l'Antiquité ont été en partie influencés par le fonctionnement des deux cours d'eau qui encadrent la presqu'île : la Saône et le Rhône. Des coquilles de lamellibranches et de gastéropodes dulçaquicoles ont été récoltées dans des niveaux archéologiques afin d'étudier l'enregistrement isotopique ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{18}\text{O}$) de ces biominéralisations. En effet, la malacofaune enregistre plus ou moins directement les changements hydrologiques et climatiques. L'étude s'est focalisée sur deux périodes climatiques extrêmes : l'Optimum Climatique Médiéval et le Petit Âge Glaciaire. Une troisième période moins documentée correspond au Haut-Empire Romain (Antiquité). Les sites étudiés sont localisés sur la presqu'île : près de la rive gauche de la Saône, à proximité de l'ancienne zone de confluence et près de la rive droite du Rhône, en contrebas de la colline de Fourvière à proximité de la rive droite de la Saône.

Toutes les coquilles ont une signature isotopique caractéristique de la Saône. Cela semble indiquer une utilisation privilégiée des alluvions de cette rivière par l'Homme. Des paléotempératures de l'eau de la Saône ont été estimées entre 17,2 et 18,5 °C. Elles montrent un écart moyen de près de 1,3 °C entre l'OCM et le PAG. Les coquilles du Haut-Empire enregistrent des températures intermédiaires (18,1 °C). Au Moyen Âge, autour de l'an mil, le $\delta^{13}\text{C}$ très négatif des coquilles correspondrait à des épisodes de tourbification et de paludification des berges dû à une accalmie du régime hydrologique de la rivière et à un réchauffement climatique. Cette étude montre l'intérêt de l'enregistrement géochimique des coquilles de mollusques comme archive climatique à haute résolution temporelle (année), en domaine continental et notamment en milieu urbain. Ce milieu peut en effet être marqué par une variabilité rapide et fréquente et par la disparition de nombreux autres marqueurs du fait de l'activité humaine.

Abstract: *The human settlement and development of the city of Lyon since Antiquity have been partly controlled by the topography of the site, particularly by the presence of the Saone and the Rhône rivers, which enclosed the peninsula. Bivalves and few gastropods shells have been collected from archaeological levels, to conduct an extensive $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ study. In fact, malacofauna shells potentially record, during the growth period, the impact of the major hydrological and climatic changes on the aquatic ecosystem. The study is focused on two extreme climatic periods: the Medieval Climate Optimum and the Little Ice Age. A third, less documented period, corresponds to the High Roman Empire (Antiquity). The shells were collected from several sites on the peninsula: both near the left bank of the Saone river, close to the old confluence area and near the right bank of the Rhône river; on the Fourvière hill near the right bank of the Saone.*

The isotopic data are close to those of the modern Saone water and modern mollusk shells from the river. This seems to indicate a privileged use of the alluvial deposits of the Saône river for human activity. Temperatures of the water were estimated between 17.2°C and 18.5°C. An average paleotemperature difference of nearly 1.3°C is observed between the MCO and the LIA. The shells of the High Empire record intermediate temperatures (18.1°C). The $\delta^{13}\text{C}$ of Middle Age shells suggest more favorable climatic period (warming and decreasing flows) and episodes of swirling and paludification of the banks. This study shows the importance of the geochemical record from the mollusk shells as a climate archive with high temporal resolution (year), on the continent and particularly in urban areas. This latter can be indeed characterized by rapid and frequent variabilities and the disappearance of many markers due to human activity.

^a Sorbonne Université, CNRS-INSU, Institut des Sciences de la Terre Paris, IStEP UMR 7193, 75005 Paris, France. (laurence.le_callonnec@sorbonne-universite.fr) (juliette.bellavoine@etu.upmc.fr) (fabien.pons@etu.upmc.fr)

^b Service archéologique de la ville de Lyon 10, rue Neyret, 69001 Lyon. (stephane.gaillot@mairie-lyon.fr)

Mots clés: Antiquité, bivalves, isotopes stables, Lyon, Optimum Climatique Médiéval, petit Âge Glaciaire.

Keywords: *Antiquity, bivalves, Lyon, Little Ice Age, Medieval Climate Optimum, stable isotopes.*

1. INTRODUCTION

Les variations climatiques au cours des deux derniers millénaires, dans l'hémisphère nord et plus particulièrement en Europe, ont impacté le fonctionnement des systèmes fluviaux et l'activité anthropique. Elles ont pu ainsi favoriser des phases de développement, de constructions, ou de migrations importantes (Büntgen *et al.*, 2011).

À l'échelle de l'Europe, la période comprise entre ± 200 av. J.-C. et ± 200 apr. J.-C. appelée aussi « Optimum Climatique Romain » aurait été caractérisée par un climat relativement stable avec des étés humides et chauds. À l'échelle régionale, les lacs enregistrent des hauts niveaux et les glaciers alpins étaient peu étendus (Figure 1 ; Brochier *et al.*, 2007 ; Büntgen *et al.*, 2011 ; Desmet, 2006 ; Hass, 1996 ; Holzhauser *et al.*, 2005 ; Le Roy Ladurie, 2009).

Au Moyen Âge, la période de l'an mil, datable régionalement entre 890/895 apr. J.-C. et 1040 apr. J.-C. (Brochier *et al.*, 2007), qualifiée « d'Optimum Climatique Médiéval (OCM) » est mieux connue. Un climat globalement plus chaud (par rapport à la fin de l'Antiquité) marqué par des étés plus secs et chauds et des hivers doux et humides la caractériserait (Arnaud *et al.*, 2005 et 2008 ; Bradley, 2003 ; Brochier *et al.*, 2007 ; Grove et Switsur, 1994 ; Khodri *et al.*, 2015 ; Le Roy Ladurie, 2009 ; Magny, 1993 ; Magny *et al.*, 2008 ; Versteegh *et al.*, 2009).

Au petit Âge Glaciaire (PAG, environ 1400 à 1880 apr. J.-C. dans la région de Lyon), une instabilité climatique serait à nouveau enregistrée ainsi qu'un refroidissement à l'échelle de l'hémisphère nord (Büntgen *et al.*, 2011 ; Deline et Leroy, 2008 ; Foucault, 2009 ; Garnier, 2012 ; Magny *et al.*, 2008 ; Masson-Delmotte *et al.*, 2013 ; Matthews et Briffa, 2005 ; Nussbaumer *et al.*, 2007 ; Vanario, 1990 ; figure 1).

Pour comprendre et contraindre ces changements climatiques ainsi que leurs conséquences, il est nécessaire de disposer d'un enregistrement précis et offrant une résolution temporelle très fine. La malacofaune enregistre les changements hydrologiques et climatiques à l'échelle régionale parce qu'ils impactent leur milieu de vie (Bourgeault, 2010 ; Dettman *et al.*, 2004 ; Kelemen *et al.*, 2017 ; Versteegh *et al.*, 2009). Des coquilles de mollusques peuvent avoir été apportées naturellement sur les sites

archéologiques lors de périodes de crues ou par l'Homme parce qu'il a toujours prélevé des matériaux fluviaux dans le cadre de ses activités. La géochimie isotopique fait partie des approches permettant de reconstituer les environnements continentaux passés (Couchoud, 2008 ; Miskovsky et Rangin, 2002). De nombreux travaux ont déjà démontré la potentialité des bivalves dulcicoles dans les reconstitutions paléoenvironnementales (Anthony *et al.*, 2001 ; Bucci *et al.*, 2009 ; Carroll *et al.*, 2006 ; Dettman *et al.*, 1999 ; Ricken *et al.*, 2003), notamment en archéologie (Leng et Lewis, 2016 ; Patterson *et al.*, 2010). En effet, la synthèse des coquilles est à l'équilibre avec l'environnement ambiant vis-à-vis de l'incorporation des isotopes de l'oxygène (Carrilho *et al.*, 2008 ; Corsi *et al.*, 2007 ; Epstein *et al.*, 1953 ; Kelemen *et al.*, 2017 ; Lartaud *et al.*, 2010a et b ; Schöne *et al.*, 2004 ; Wanamaker *et al.*, 2007). Les isotopes du carbone sont plus délicats à exploiter pour un enregistrement fiable. L'organisme peut en effet utiliser deux sources de carbone (*via* la respiration, *via* l'alimentation) lors de la synthèse de la coquille (Gillikin *et al.*, 2009 ; Lorrain *et al.*, 2004 ; McConaughy et Gillikin, 2008). La croissance des lamellibranches se fait en continu par empilement de stries (sclérochronologie) lorsque la température de l'eau est supérieure à 10/12 °C (Mouthon, 1982) ; ce qui permet un enregistrement sur une partie de l'année (printemps à automne), relativement complet durant la vie des organismes (quelques années : *Theodoxus*, *Corbicula*, *Sphaeriidae*, *Prosobranchia* voire centaines d'années pour certains organismes tels que *A. islandica* ; Daufresne *et al.*, 2003 ; Killam et Clapham, 2018 ; Mouthon, 2001, 2004, 2007 ; Mouthon et Daufresne, 2008).

L'originalité de ce travail est de tester le potentiel de l'enregistrement des coquilles de mollusques dans les reconstitutions des changements environnementaux (climatiques, hydrologiques et/ou anthropiques) *in situ* en contexte urbain.

Située à la transition entre la moyenne et la haute vallée du Rhône (figure 2), la ville de Lyon est constituée de plusieurs entités géographiques dont le quartier de la Presqu'île, à la confluence du Rhône et de la Saône (Bravard *et al.*, 2008). Ce secteur a été choisi parce qu'il est occupé dès le 1^{er} s. (Desbat *et al.*, 2012 ; Franc, 2016 ; Salvador *et al.*, 2002), que les sites archéologiques y sont nombreux, et qu'ils

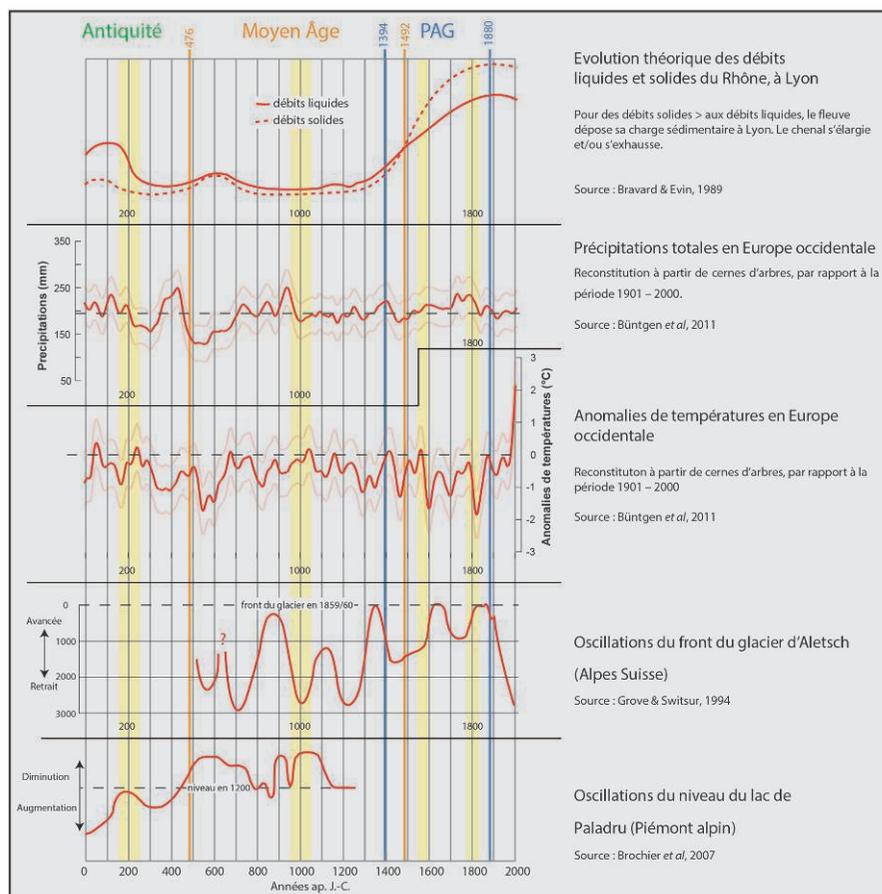


Figure 1 : (Voir planche couleur I) Reconstitution hydrosédimentaire du Rhône (a) et données climatiques (b : précipitations ; c : températures ; d : extensions des glaciers alpins et e : oscillation du niveau des lacs alpins depuis l'an 0). Les périodes étudiées sont surlignées en jaune.

Figure 1: (See colour plate I) Hydrosedimentary reconstitution of the Rhône River (a) and climatic data (b: precipitations; c: temperatures; d: Alpine glacier extensions and e: Alpine lake level oscillations since 0 A.D.). The studied periods are highlighted in yellow.

couvrent une période continue (Gauthiez, 1994; Le Mer et Chomer, 2007; Monin et Dessaint, 2015; Pelletier *et al.*, 2007; Rubellin, 2007; Tranoy et Ayala, 1994). Les cinq sites archéologiques retenus dans ce projet documentent deux périodes climatiques clés : l'Optimum Climatique Médiéval et l'Âge Glaciaire. Une troisième période, moins claire en terme climatique, hydrologique et hydrosédimentaire, a été choisie : le haut-Empire Romain.

2. ÉVOLUTION DES COURS D'EAU LYONNAIS

Hydrologie actuelle

Le Rhône et la Saône, bien qu'étant, à Lyon, de longueurs comparables, sont hydrologiquement très différents (figure 3, tableau 1). La rivière, qui draine majoritairement des formations détritiques, est caractérisée par une faible pente. En conséquence, la sédimentation, en plaine alluviale, est fine, majoritairement constituée de limons (Astrade, 2005). La Saône présente un régime pluvio-océanique à hautes eaux hivernales et étiages estivaux (Pardé, 1925a). Son module

est d'environ 410 m³/s. Les crues sont longues (maximum : 4 300 m³/s; Pardé, 1925b) tandis que les étiages peuvent devenir « faméliques » avec seulement 25 m³/s, voire moins. Les températures mensuelles moyennes montent à ± 23/24 °C en été et sont minimales (± 4,5 °C) en janvier. L'engèlement est fréquent (Tachet, 2002), débutant lorsque les températures de l'air sont inférieures à -5 °C (Valentin-Smith, 1852). La rivière a connu de multiples épisodes de ce type (de 1608 à 1666; Frécon, 1888; Guigue, 1902; Péricaud, 1835).

Le fleuve prend sa source dans les Alpes, à près de 2000 m d'altitude. Il est torrentiel et de pente générale de presque 4 m/km à 0,8 m/km à Lyon (Anonyme, 1910). Son régime est nivo-glaciaire, à minimum hivernal (Coutagne, 1936) et hautes eaux estivales (fonte du manteau glacio-neigeux). Il draine un bassin versant montagneux et ses dépôts sont essentiellement grossiers. Son module est de 634 m³/s (Bravard, 1997a, figure 3) et ses crues, souvent estivales, sont assez brusques (maximum 4 500 m³/s). L'étiage descend à 70 ou 80 m³/s (Bravard, 2001; Pardé, 1925b). Les températures mensuelles moyennes les plus élevées ne dépassent pas ± 21 °C en été et ne descendent pas sous ± 7 °C en hiver

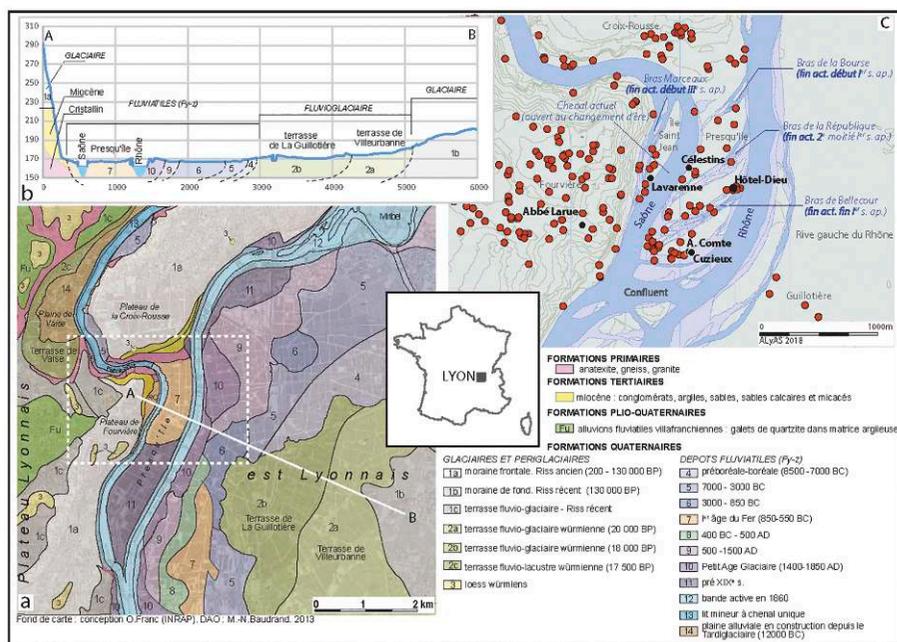


Figure 2 : (Voir planche couleur II) Localisation des sites étudiés à Lyon. a) Carte géologique et géomorphologique de l'agglomération lyonnaise. b) Coupe géologique à travers la presqu'île suivant le trait de coupe AB. c) Carte d'occupation antique (Haut-Empire, points rouges) et localisation des sites étudiés (points noirs). D'après le BRGM, Bravard et al., 2008a; Bravard, 1997a; Franc, 2016; Macé et al., 1991; Mandier, 1988.

Figure 2: (See colour plate II) Location of the studied sites in Lyon. (a) Geological and geomorphological map of the Lyon area; (b) geological section through the peninsula (cross section A-B); (c) Human occupation map (Antiquity, Early Roman Empire). From BRGM, Bravard et al., 2008; Bravard, 1997a; Franc, 2016; Macé et al., 1991; Mandier, 1988.

	Longueur km	Superficie du bassin versant km ² , avant Lyon	Pente moyenne m/km	Débit moyen m ³ /s	Régime	Hautes eaux	Plus grande crue connue m ³ /s	Basses eaux	Plus grand étiage connu m ³ /s
Saône	482	30 000	0,5	410	Pluvial océanique	Hivernales	± 4 300	Estivales	20 à 25
Rhône	520	12 300	3,9	634	Nivo-glacière	Estivales	± 4 500	Hivernales	70 à 80

Tableau 1 : Caractéristiques hydrologiques de la Saône et du Rhône, à Lyon (d'après Bravard, 1997a; Bravard et Clemens, 2008; Cholley, 1923; Lachiver, 1963; Pardé, 1925a et b, 1942).

Table 1: Hydrological conditions of the Saône and the Rhône Rivers, in Lyon (d'après Bravard, 1997a; Bravard & Clemens, 2008; Cholley, 1923; Lachiver, 1963; Pardé, 1925a & b, 1942).

(Poirel et al., 2008). L'amplitude thermique du fleuve est donc inférieure à celle de la rivière. L'engèlement du Rhône est d'ailleurs moins fréquent, la température de l'air devant descendre à -13 °C (Valentin-Smith, 1852).

Hydrologie passée

Dans l'Antiquité, et à l'échelle du haut bassin rhodanien, une phase d'hydrologie abondante et d'aggradation des lits fluviaux aurait eu lieu de la fin du I^{er} à la fin du III^e s. (Arnaud et al., 2008; Berger et al., 2008; Bertrand et al., 2011; Brochier et al., 2007). Dans la presqu'île, fréquentée dès la fin du I^{er} s. av. J.-C., les hommes investissent une plaine où persistent des dépressions résiduelles marécageuses ennoyées lors des crues et où l'eau stagne (Bravard, 1997b; Desbat et al., 2012; Macé et al., 1991; Salvador

et al., 2002). Les dépôts de crues semblent particulièrement fréquents au I^{er} s. apr. J.-C. (Arnaud et al., 2000; Bravard, 1997b; Desbat et al., 2012; Vérot-Bourrély et Franc, 2008; Vérot-Bourrély et al., 2010). Les fréquents vides sanitaires et niveaux d'assainissements traduisent la nécessité de drainer des sols encore bien humides (Le Mer et Chomer, 2007). Le chenal actuel de la rivière s'ouvre au début de notre ère tandis que son chenal primitif (bras Marceaux, fig. 2c) cesse de fonctionner au début du III^e siècle (Franc, 2016).

La période de l'an mil semble, au contraire, avoir été hydrologiquement calme (Arnaud et al., 2008, fig. 1). Les chroniques historiques (Paradin de Cuiseaux, 1573; De Ruby, 1604) ne mentionnent aucune crue entre 898 et 1109 AD. Des berges de la Saône sont caractérisées par des sédiments fins, riches en matière organique, datés des x^e-

Figure 3 : (Voir planche couleur II) Histogrammes des débits mensuels moyens de la Saône et du Rhône (moyennes sur la période 1877-1916, d'après Pardé, 1925a). Températures annuelles moyennes (courbes rouges) du Rhône et de la Saône, à Lyon (moyennes sur la période 1977-2006, Poirel *et al.*, 2008). Valeurs moyennes du rapport isotopique du carbone du DIC et de l'oxygène de l'eau en ‰ (Aucour *et al.*, 2003).

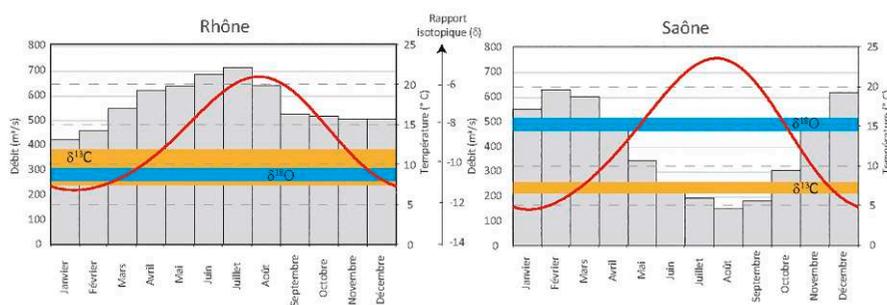


Figure 3: (See colour plate II) Monthly discharge histograms of the Saône and the Rhône Rivers (averages over the period 1877-1916, from Pardé, 1925a). Mean annual temperatures (red curve) of the Rhône and the Saône water, in Lyon (averages over the period 1977-2006, Poirel *et al.*, 2008). Mean values (‰) in the water of the DIC carbon isotopic ratio and the oxygen isotopic ratio (Aucour *et al.*, 2003).

xii^e s. (Bernot *et al.*, 2006) et des tourbes, datées du xii^e s. (Ayala, 2007). Le Rhône, quant à lui, adoptait, directement en amont de Lyon, un lit à méandres avec des signes d'incisions et une absence de crue entre l'an Mil et 1300 (Arnaud *et al.*, 2008; Belmont, 1989; Bravard *et al.*, 2008). Ces éléments morphologiques tradiraient une diminution durable du transit sédimentaire dans les lits fluviaux, de la puissance insuffisante des crues pour décaper la berge de ces résidus végétaux, voire à l'assèchement, par incision, des plaines alluviales (Berger *et al.*, 2008; Bravard et Salvador, 1999).

Àu Petit Âge Glaciaire, la seconde moitié du xvi^e s. semble caractérisée par un refroidissement brutal et des inondations (Garnier, 2012). En 1570, le Rhône et la Saône se rejoignent sur la Presqu'île (De Ruby, 1604). En 1591, la Saône est prise en glace (Garnier, 2012). Le Rhône passe du méandrage au tressage en amont de Lyon (Belmont, 1989). Son lit s'exhausse et s'élargit en conséquence d'un hydrodynamisme important (Bravard *et al.*, 2008). La période « fin xviii^e-milieu du xix^e s. » est très semblable (figure 1) et ce sont « Refroidissement, inondations, [et] hivers très sévères » (Garnier, 2012). En 1812, une crue du Rhône fait disparaître le quartier de la Guillotière sous 3,30 m d'eau (Cléménçon, 1982); et en 1840, la Saône ravage la plaine de Vaise (Combe, 2007). La forte activité hydrologique des deux grands cours d'eau est confirmée par celle de petites rivières des monts du Lyonnais (Delile *et al.*, 2016).

3. MATÉRIEL ET MÉTHODE

Matériel étudié

Le matériel archéologique étudié (Mollusques) provient essentiellement de la Presqu'île et de la rive droite de la Saône, en contrebas de la colline de Fourvière (figure 2). Onze

coquilles de mollusques dulcicoles, de l'ordre *Veneroida* et de la famille *Cyrenidae* (une seule coquille appartient à l'ordre des *Unionoida*, famille *Unionidae*), ont été sélectionnées en fonction de leur état de préservation et de la datation des niveaux anthropiques dans lesquels elles se trouvaient.

Les données obtenues sur les bivalves, ont été complétées par l'analyse de six coquilles archéologiques de gastéropode. Les individus ont été collectés à l'occasion de fouilles archéologiques dans des niveaux datés par le matériel anthropique qu'ils contiennent (D'Anna *et al.*, 2011). Les organismes sont supposés contemporains des niveaux archéologiques mais une marge d'incertitude existe. Il n'est pas exclu de trouver du matériel remanié plus ancien ou plus récent. Des processus interviennent en effet pour mélanger les terres. Ils sont naturels (bioturbation : Bertrand *et al.*, 1998, gels/dégels, circulation d'eau) ou artificiels (pratiques agricoles : Gaillot et Ducourthial, 2015, piétinement enfouissant des artefacts : Courtin et Villa, 1982, apports d'un matériel plus ancien).

Afin de les comparer avec la situation climatique et hydrologique actuelle à Lyon, 4 valves de lamellibranches (3 dans la Saône, 1 dans le Rhône) et 1 gastéropode (Saône) ont été récoltés sur les berges (cette étude) ou lors de plongées (Lavocat, 2011). Tous ces organismes sont naturellement présents dans le Rhône et la Saône (Germain, 1931; Mazenot, 1966; Mouthon, 1982 et 2004; Mouthon et Daufresne, 2008; Tachet *et al.*, 1988).

Lamellibranches

L'estimation de l'âge des coquilles anciennes (tableau 2) correspond aux périodes de la fin du ii^e-début iii^e s. apr. J.-C. (Antiquité gallo-romaine, n = 5), du x^e-xi^e s. (Moyen Âge central, n = 3), de la seconde moitié du xvi^e s. (Renaissance, n = 1) et de la fin xviii^e-mi xix^e s. (période Moderne, n = 2). Quatre des cinq sites archéologiques se situent sur la presqu'île (figure 2) : Théâtre des Célestins (n = 3, Monin

et al., 2004), 27 rue Auguste Comte (n = 1, Carrara *et al.*, 2015), Hôtel de Cuzieu-rue Sainte Hélène (n = 1, Carrara *et al.*, 2008), et Hôtel-Dieu (n = 1). La rue Monseigneur Lavarenne est en contrebas de la colline de Fourvière (n = 5, Bernot *et al.*, 2006). Le tableau 2 récapitule les caractéristiques des niveaux archéologiques dans lesquels les coquilles ont été prélevées.

À l'exception peut-être de 4 individus (Lavarenne 227 et site des Célestins), les coquilles ont toutes été trouvées en position secondaire, déplacées de leur environnement naturel, matérialisé par le sédiment fluvial. La majorité des coquilles se trouvaient dans des remblais ou des sols archéologiques. On entend par remblai, des dépôts mis en place par l'homme : remblais d'aménagement destiné à rehausser un

Période	Coquilles	Datation	Caractéristiques morphologiques du niveau
Antiquité, période du Haut-Empire : II ^e /III ^e s. apr. J.-C.)	Célestins 452 (Cél 452) et Célestins 454 (Cél 454)	Début III ^e s. apr. J.-C.	<i>Remblai d'usage</i> : remblai sédimentaire sombre qui comble un probable caniveau. Celui-ci semble avoir connu plusieurs phases de fonctionnement et des curages d'entretien. Son remplissage serait en partie naturel (écoulements lents car il n'y a pas de litages et/ou effondrements de berges), et artificiel (entretien du chemin). Sur le site immédiatement voisin de la place des Célestins des dépôts d'inondations de Saône sont interstratifiés dans des remblais d'assainissements de la première moitié du III ^e s. apr. J.-C. (Arlaud <i>et al.</i> , 2000).
	Célestins 495 (Cél 495)	Fin II ^e / début III ^e s. apr. J.-C.	<i>Remblai d'usage</i> : Couche hétérogène compacte, noirâtre, contenant des fragments de tuiles, briques, enduit, blocs non taillés, mortier, charbons de bois, cendres... Le niveau correspond vraisemblablement à la recharge volontaire d'un chemin. Sur le site immédiatement voisin de la place des Célestins des dépôts d'inondations de Saône sont interstratifiés dans des remblais d'assainissements de la première moitié du III ^e s. apr. J.-C. (Arlaud <i>et al.</i> , 2000).
	Comte 46	De 200 à 250 apr. J.-C.	<i>Remblai d'usage ou sol</i> : Couche limono-sableuse très charbonneuse, riche en mobilier archéologique. Sol de travail vraisemblablement lié à un artisanat métallurgique. Cette couche se trouve aussi en remplissage de petites dépressions ou de caniveau. Il n'y a pas d'indice de trace qui puisse faire penser à une mise en place naturelle de la coquille.
	Cuzieu 04 (Cuz 04)	De 120-140 à 220 apr. J.-C. La zone a peut-être été abandonnée après 140 (absence de mobilier céramique)	<i>Sol</i> : Sol en terre et fragments de briques, épais d'environ 10 cm, vraisemblablement associé à un espace à vocation commerciale (boutique ou entrepôts). Il n'y a pas d'indice de trace qui puisse faire penser à une mise en place naturelle de la coquille.
OCM : Transition X-XI ^e s.	Lavarenne 227 (Lav 227)	Autour de l'an mil (transition X ^e -XI ^e s.)	<i>Niveau alluvial ?</i> Argile graveleuse sombre. Le niveau, épais d'environ 10 cm, correspondrait à un ensemble de couches de sables et d'argiles qui semblent caractériser des phases d'inondation.
	Lavarenne 625 (Lav 625)	Autour de l'an mil (transition X ^e -XI ^e s.)	<i>Remblai d'usage</i> . Fin niveau de sable argileux brun, appartenant à un ensemble de terres noires. Celles-ci sont caractérisées par leur couleur brun-noir, leur richesse en restes organiques (charbons de bois et faune), et l'importance des céramiques antiques résiduelles (près de 40 %). La mise en place des terres noires fait appel à des processus naturels et anthropiques (Borderie, 2011) qu'il n'a pas été possible de détailler. Elles correspondent néanmoins à des espaces extérieurs.
	Lavarenne 1114 (Lav 1114)	Autour de l'an mil (transition X ^e -XI ^e s.)	<i>Sol de circulation extérieur</i> . Sol de graviers et de cailloux dans une matrice argileuse.
PAG : XVI ^e et début du XIX ^e s.	L'Hôtel-Dieu 1 (HD1)	Seconde moitié du XVI ^e s.	<i>Remblai d'usage</i> : remplissage de latrine.
	Lavarenne 186 (Lav 186)	Début XIX ^e s (au plus tôt à la fin du XVIII ^e s.)	<i>Remblai d'aménagement</i> : remblai d'installation d'une voie pavée. Niveau épais d'une quarantaine de centimètres, fait d'un « tout venant » sablo-graveleux.
	Lavarenne 848 (Lav 848)	Début XIX ^e s. (au plus tôt à la fin du XVIII ^e s.)	<i>Sol (chaussée)</i> : niveau de circulation en cailloutis.

Tableau 2 : Description des niveaux anthropiques et des coquilles étudiés. Toutes les coquilles appartiennent à l'ordre des *Veneroides* exceptée Comte 46 qui appartient aux *Unionidés*.

Table 2: Description of the studied anthropic levels and shells. All the shells belong to the *Veneroides* order except Comte 46 which is a *Unionidae*.

terrain, à combler une dépression, ou bien remblais d'usage progressivement édifié suite à des activités quotidiennes (terre de jardins, amas de destruction, comblement d'un caniveau) et dans lequel peuvent s'intercaler des niveaux naturels (alluvions ou colluvions). Les sols archéologiques sont des surfaces piétinées. Ils peuvent être de plusieurs types (sol en terre battue, surface pavée d'une cour, sol en terre d'un espace extérieur, sol en mosaïque).

Les coquilles étudiées sont supposées avoir une origine locale, pouvant ainsi refléter les paléoenvironnements de la ville. Contrairement aux huîtres, souvent trouvées à Lyon en contexte archéologique, il ne s'agit très probablement pas d'espèces importées pour être consommées. En effet, dans le cas de résidus de consommation, de véritables amas coquillés sont présents, et non des individus isolés. Il n'y a d'ailleurs pas de témoignage de consommation de lamelli-branches dulcicoles dans la région (Bonnemère, 1901). Il ne peut en revanche pas être exclu que les coquilles aient été déplacées, lors de crues importantes, sur de longues distances. Cela concernerait principalement les gastéropodes (Granier, 1961).

La présence des coquilles dans des niveaux archéologiques anthropiques peut ainsi s'expliquer de plusieurs manières. Elles peuvent avoir été amenées par des animaux. Il peut s'agir de collectes destinées à nourrir des volailles ou des porcs. Ce peut être des coquilles flottées par les crues, déposées puis incorporées au sol. Ces coquilles pouvaient enfin se trouver dans le granulat alluvionnaire (Cléménçon, 1982) utilisé pour édifier des remblais (Carrara *et al.*, 2008), fabriquer des briques d'adobe, des sols, des mortiers (Cailleux, 1939), des enduits (Carrara *et al.*, 2015), etc.

Gastéropodes

Les gastéropodes (*Bithynia tentaculata*, n = 4; *Valvata piscinalis*, n = 1; *Lymnaea radix*, n = 1), sont prélevés dans des niveaux archéologiques datés de l'Antiquité. Le tableau 3 donne le descriptif des espèces et des niveaux dans lesquels les coquilles ont été récoltées.

Les coquilles sont issues de sites archéologiques de la presqu'île de Lyon : la rue Auguste Comte (n=1), dont le niveau est d'origine anthropique; l'Hôtel-Dieu (n = 4) où les niveaux correspondent à des alluvions de débordement. Le site de la place Abbé Larue (n=1) sur la colline de Fourvière présente assurément un niveau d'origine anthropique (Figure 2).

Méthodes analytiques

Contrôle de la préservation des coquilles

Toutes les coquilles sont en aragonite. Ce polymorphe orthorhombique du carbonate de calcium (CaCO_3) est métastable en condition ambiante et à tendance à se transformer assez rapidement en calcite (Cassella *et al.*, 2017; Tucker et Wright, 1994). Cette transformation peut induire des échanges chimiques avec le milieu de sédimentation et perturber le signal géochimique originel (Tucker et Wright, 1994). Il convient donc, avant toutes analyses de la coquille, de contrôler son état de préservation. Une observation de la coquille au microscope optique couplé à une cathode froide (Catodine Opéa, 15 kV et 200 $\mu\text{A}/\text{mm}^2$ sous une pression de 0.1 Torr) permet de générer une luminescence et de mettre en évidence sa microstructure. L'analyse a été effectuée sur des lames minces réalisées dans l'épaisseur de la

Datation	Coquille	Famille – Espèce	Caractéristiques morphologiques du niveau
Début 1 ^{er} s. apr. J.-C.	US 4-1 (Hôtel-Dieu 2016 – tranche 9E)	<i>Bithyniidae</i> – <i>Bithynia tentaculata</i>	Inondite limono sableuse probablement du Rhône. Niveau recoupé par la base d'un mur daté, par analogie avec les structures les plus anciennes, de \pm 50 apr. J.-C.
	US 4 – 3a (Hôtel-Dieu 2016 – Tranche 9E)	<i>Valvatidae</i> – <i>Valvata piscinalis</i>	Inondite limono sableuse probablement du Rhône. Niveau recoupé par la base d'un mur daté, par analogie avec les structures les plus anciennes, de \pm 50 apr. J.-C.
Vers -15/+15 apr. J.-C.	US 494 (Larue 2015)	<i>Lymnaeidae</i> – <i>Lymnaea radix</i>	Sable grossier de Saône. Petit tas de sable lié à l'artisanat du marbre ou de la construction (Monin et Dessaint, 2015).
Vers 10 à 20 apr. J.-C.	US 54 (Comte 2015)	<i>Bithyniidae</i> – <i>Bithynia tentaculata</i>	Remblai gravelo-sableux fait d'alluvions de Saône. Destiné à rehausser le terrain pour se protéger des crues du Rhône (Carrara <i>et al.</i> , 2015).
Environ 400 apr. J.-C.	US 1014 et US 1014bis (Hôtel-Dieu 2015 – Tr. 1 et 2)	<i>Bithyniidae</i> – <i>Bithynia tentaculata</i>	Probable inondite du Rhône. Sable limoneux gris verdâtre en comblement d'un fossé. Le niveau contient de nombreux petits artefacts (Bertrand <i>et al.</i> , 2015).

Tableau 3 : Caractéristiques des niveaux archéologiques dont sont issues les coquilles de gastéropodes étudiées.

Table 3: Description of the archeological levels from which the studied gastropod shells are collected.

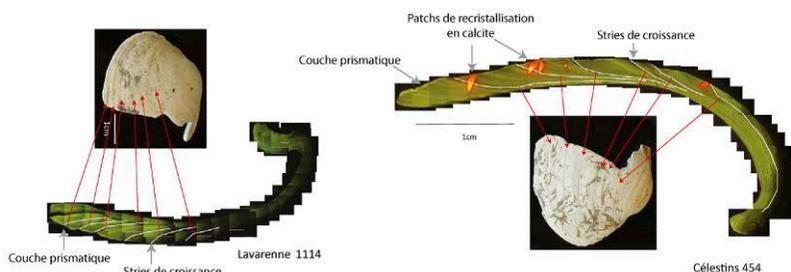


Figure 4 : (Voir planche couleur III) Observation des coquilles en macroscopie et en lame mince au microscope optique couplé à une analyse en cathodoluminescence.

Figure 4: (See colour plate III) Shell observations: macroscopic picture and cathodoluminescence micro-photograph of shell cross-section from the umbo along the maximum height of the shell.

coquille, le long de l'axe de croissance maximum du crochet au bord ventral (figure 4).

Analyses isotopiques (carbone et oxygène)

Les prélèvements ont été effectués sur la partie externe de la coquille des lamellibranches, en suivant les stries de croissance (figure 4). Pour les individus archéologiques, il n'a pas été nécessaire de décaper le périostacum, cette couche organique ayant déjà disparu. L'intervalle de prélèvement, le long de l'axe de croissance, est de 1 à 2 mm, sur une longueur d'environ 5 mm le long de la strie (foret de 0,3 mm de diamètre). La couche prismatique était prélevée lorsqu'elle était préservée et suffisamment épaisse, sinon le prélèvement s'effectuait dans la couche nacrée. Un double échantillonnage a été réalisé lorsque cela était possible (couche prismatique et couche nacrée sous-jacente). Des études isotopiques comparant l'enregistrement de la couche externe et interne des bivalves ont montré qu'il n'y a pas de fractionnement vis-à-vis de l'oxygène et un décalage possible vis-à-vis du carbone (Elliot *et al.*, 2009). Les deux couches, sur une même verticale, ne sont pas strictement synchrones (quelques jours à quelques semaines de décalage du fait de l'incrémentation). Le pas d'échantillonnage (tous les 1 à 2 mm) de ce travail n'étant pas adapté à une étude temporelle journalière ou mensuelle, le décalage ne devrait pas avoir d'incidence pour nos conclusions. En effet, bien que la durée de vie des organismes de la famille étudiée soit difficile à estimer, les études, dans la Saône actuelle, montrent que le taux de croissance peut atteindre 20 mm en un peu plus de 3 années pour *Corbicula fluminea* (Mouthon, 2001), environ 4 mm en 5 ou 6 mois pour *Musculium lacustre* (Mouthon, 2004). Par conséquent, la stratégie d'échantillonnage adoptée devrait intégrer quelques mois, c'est-à-dire une durée moyenne correspondant à la saison. Par la suite, les résultats des bivalves proviennent des données issues de l'analyse de détail de la coquille de chaque individu (figure 5). Les moyennes isotopiques présentées sur la figure 6 sont calculées à partir de ces données et les barres d'erreur représentent la variabilité observée.

Les coquilles de gastéropodes étaient de très petite taille (5 à 7 mm de l'apex à l'ouverture) et très fines ne permettant pas un prélèvement en suivant les stries de croissance. Une seule analyse correspondant à la totalité de la coquille a donc été réalisée.

Les prélèvements ont été analysés au spectromètre de masse dual inlet system Delta V Advantage couplé au Kiel V Carbonate Device, après une attaque à l'acide ortho-phosphorique, à 70°C. Les standards utilisés sont le NBS 19 (standard international) et un standard interne au laboratoire (marbre de carrare). Ils sont étalonnés par rapport au PDB (rostre de Bélemnite de la formation sédimentaire Pee-Dee en Californie et d'âge crétacé). L'erreur analytique est de 0,05 ‰ pour le carbone, et de 0,1 ‰ pour l'oxygène. Les rapports isotopiques sont exprimés par rapport au standard (std) et en ‰ selon les équations suivantes :

$$\delta^{18}\text{O} = \left[\frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{ech}} - (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{std}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{std}}} \right] * 1000$$

$$\delta^{13}\text{C} = \left[\frac{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{ech}} - (^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{std}}}{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{std}}} \right] * 1000$$

4. RÉSULTATS

Préservation de la coquille et croissance

Les coquilles archéologiques sont rarement entières. Les fragments étudiés ont été choisis en fonction de leur taille, de la présence de la couche prismatique et de leur préservation (figure 4). Les coquilles sont en aragonite. Le minéral présente une luminescence verte en cathodoluminescence (figure 4). La surface externe de la coquille montre généralement une fine couche prismatique relativement bien préservée. La couche interne, plus épaisse, est caractérisée par des stries de croissances recoupant en biais la couche externe. L'observation de tous les organismes au microscope optique et en cathodoluminescence montre une très bonne préservation du matériel aragonitique, des stries de croissance et de la couche prismatique. Trois coquilles présentent des points de recristallisation en calcite (luminescence orange). Les recristallisations se manifestent principalement dans la couche nacrée sous forme de poinçon. Elles sont très localisées, peu fréquentes et non continues. La première coquille concernée est datée de l'Antiquité (Cél 454) et montre 3 points de calcite (figure 4). Les deux autres coquilles sont datées du Petit Âge Glaciaire (Lav 848 et Lav 186) et présentent deux points pour la première et un point pour la seconde. La position de ces recristallisations est reportée sur les trois

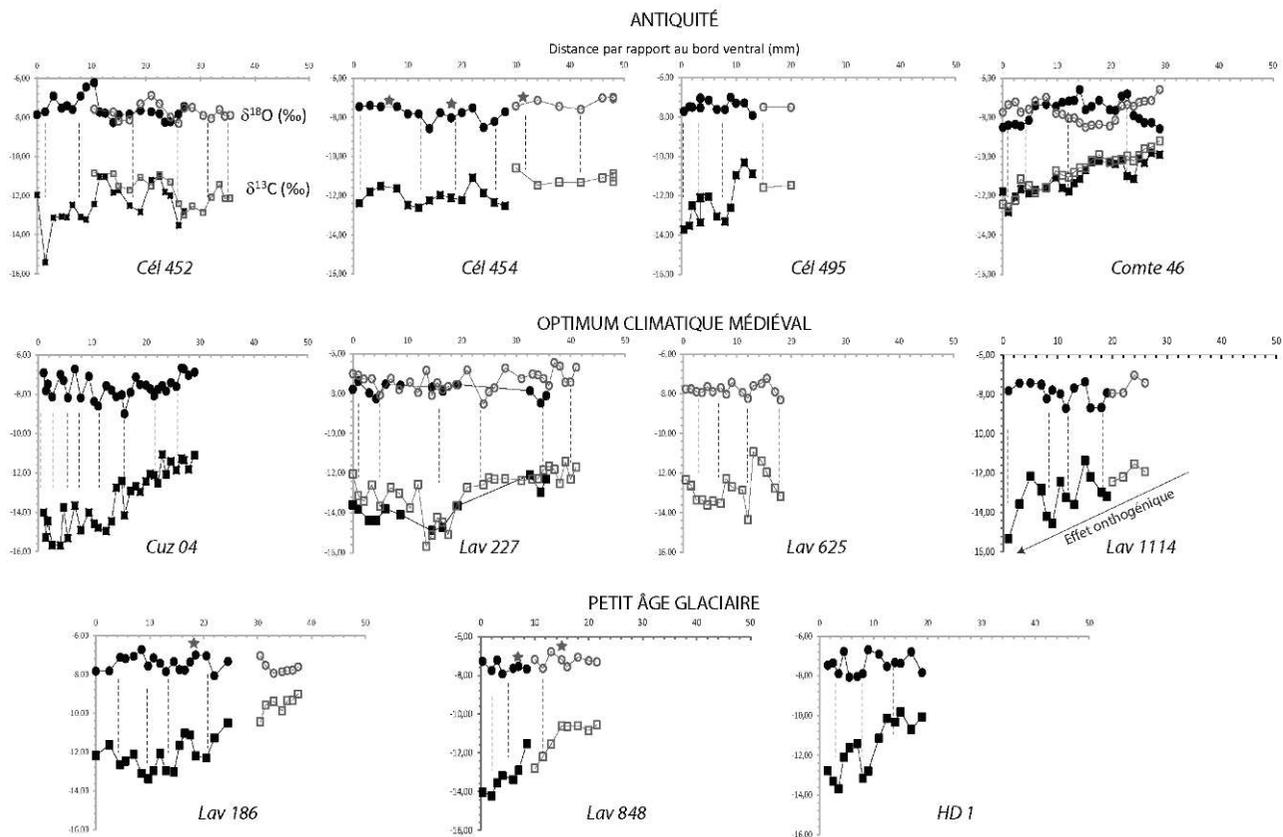


Figure 5 : Variabilité de l'enregistrement isotopique du carbone et de l'oxygène au cours de la croissance du lamellibranche (de sa mort : bord ventral à sa naissance : crochet). Les prélèvements ont été réalisés sur le dessus de la coquille dans la couche prismatique (symboles pleins), dans la couche nacréée (symboles ouverts). Les barres verticales indiquent les périodes estivales. Les étoiles donnent la position des points calcitiques observés sur les trois coquilles.

Figure 5: Carbon and oxygen isotopic ratio trend during the lamellibranch growth from the death (ventral edge) to the birth (umbo). The sampling have been perform on the external part of the shell in the prismatic layer (solid symbols) and in the nacreous layer (open symbols). The vertical bars indicate the summer periods. The stars give the position of the calcitic recrystallisation observed on the three shells.

profils isotopiques (figure 5). Elles ne semblent pas perturber les enregistrements isotopiques, n'étant pas caractérisées par des décrochements isotopiques dans les profils.

Données isotopiques de l'ensemble des coquilles

La figure 5 présente les profils isotopiques obtenus à partir des prélèvements réalisés sur la surface externe des coquilles de lamellibranches. Les données isotopiques issues de la couche nacréée sont très proches de celles provenant de la couche prismatique. Deux coquilles peuvent montrer un décalage plus important pouvant atteindre un écart maximum de 1,5 à 2 ‰ (Comte 46 et Lav 227). Cette variabilité est prise en compte par la suite, au niveau des barres d'erreur.

La moyenne des données isotopiques obtenues, pour chaque lamellibranche, à partir des prélèvements réalisés

au niveau des stries, montre une grande homogénéité des valeurs du rapport isotopique de l'oxygène (figure 6). Le $\delta^{18}\text{O}$ est compris entre -7,4‰ et -7,8‰ (écart type compris, suivant les individus, entre 0,2 et 0,6). Par contre, le rapport isotopique du carbone est plus variable, entre -13,3 ‰ et -10,9 ‰ (avec une variabilité comprise entre 0,5 et 1,5). Les coquilles issues des niveaux datés de l'OCM enregistrent les valeurs les plus négatives en $\delta^{18}\text{O}$ (-7,5 à -7,8 ‰) et en $\delta^{13}\text{C}$ (-13,1 à -12,8 ‰). Celles datées du PAG sont au contraire plus élevées ($\delta^{18}\text{O}$: -7,5 à -7,4 ‰ et $\delta^{13}\text{C}$: -12,2 à -11,5 ‰). Les coquilles de l'Antiquité présentent des valeurs intermédiaires et une grande variabilité avec deux points extrêmes : Comte 46 ($\delta^{18}\text{O}$: -7,7 ‰ et $\delta^{13}\text{C}$: -10,9 ‰) et Cuzieu 04 ($\delta^{18}\text{O}$: -7,6 ‰ et $\delta^{13}\text{C}$: -13,3 ‰). Le spécimen prélevé à Cuzieu est très proche des coquilles de l'OCM. Il est probable qu'il soit issu de remaniements des niveaux médiévaux. En effet, le sol, dans

lequel la coquille a été récoltée, se situe 10 cm seulement sous des dépôts du Moyen Âge. Pour la suite, la coquille sera considérée d'âge médiéval.

La coquille prélevée sur le site d'Auguste Comte n'est pas du même Ordre animal que les autres. Elle appartient aux *Unionidés* tandis que toutes les autres sont des *Vénéroïdes*. Un fractionnement biologique vis-à-vis des isotopes du carbone pourrait expliquer cette valeur plus élevée. Cependant, il n'est pas exclu une signification environnementale, le site étant situé à proximité de la zone de confluence caractérisée par des brotteaux et îlons.

Les coquilles de gastéropodes de l'Antiquité montrent une dispersion plus importante que celles des lamelli-branches (figure 6). Cette variabilité peut être liée, d'une part à un fractionnement isotopique biologique (trois taxons définis par un système respiratoire différent: prosobranche, hétérobranche et pulmoné), d'autre part au milieu de vie des organismes.

Les coquilles actuelles prélevées dans la Saône, à Lyon, montrent des résultats proches des coquilles anciennes (figure 6). Le spécimen prélevé dans le Rhône est défini par des valeurs isotopiques très négatives en oxygène (-11,5 ‰) et élevées en carbone (-9,8 ‰).

Enregistrement d'une saisonnalité?

L'échantillonnage complet et continu sur le dessus de la coquille le long des bourrelets de croissance, du crochet au bord ventral, montre des cycles isotopiques (figure 5). Les pics plus négatifs du $\delta^{18}\text{O}$ coïncident avec les pics négatifs du $\delta^{13}\text{C}$; l'amplitude des variations est de 1 à 2 ‰, soit beaucoup plus importante que la variation de la signature isotopique moyenne de toutes les coquilles et de la marge d'erreur analytique (figure 6).

Un effet ontogénique (décroissance du $\delta^{13}\text{C}$ avec l'augmentation de l'âge de l'organisme) est visible pour toutes les coquilles anciennes (figure 5), exceptées Lav 625 (fragment incomplet), Lav 227 et Cél 454.

5. DISCUSSION

Signature isotopique du Rhône et de la Saône

La figure 6 compare les données issues des coquilles actuelles et passées avec les rapports isotopiques en carbone et en oxygène qu'enregistreraient des calcites précipitant à l'équilibre avec l'eau des deux systèmes fluviaux (Aucour

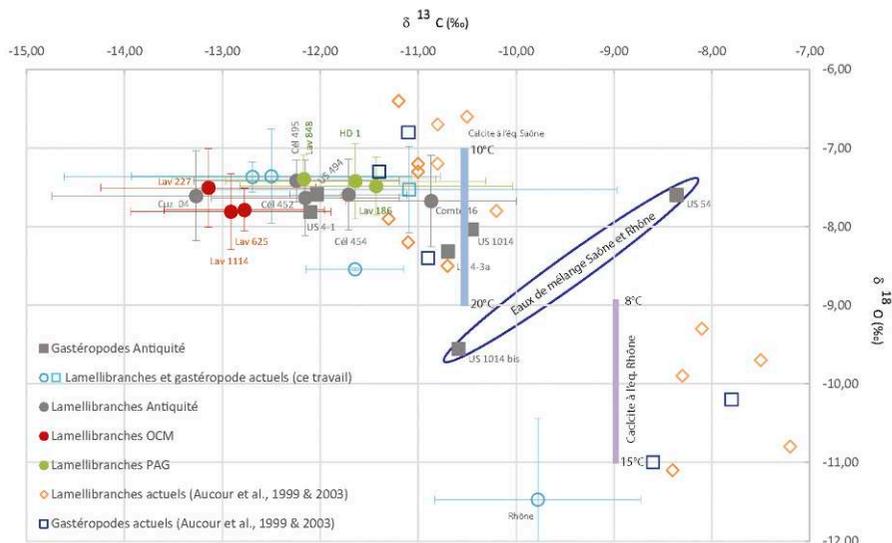


Figure 6 : (Voir planche couleur III) Données isotopiques carbone et oxygène obtenues à partir de l'analyse des coquilles archéologiques de lamelli-branches (cercles pleins) et de gastéropodes (carrés pleins). Chaque donnée correspond à la moyenne de toutes les analyses effectuées sur la coquille de l'individu et les barres d'erreurs représentent la variabilité des mesures. Trois espèces de gastéropodes sont analysées (coquille entière): *Bithynia tentaculata* (US 4-1, Us 54, US 1014 et US 1014 bis), *Valvata piscinalis* (US 4-3a) et *Lymnaea radix* (US 494). Les données issues des coquilles actuelles sont représentées par des symboles ouverts identiques (pour celles issues de ce travail) et différents pour les données d'Aucour et al., 1999 et 2003. Les compositions isotopiques

d'une calcite inorganique qui précipiterait à l'équilibre avec l'eau de la Saône (pour des températures comprises entre 10 et 20 °C), et avec le Rhône (températures comprises entre 8 et 15 °C, Aucour et al., 1999 et 2003) sont reportées sur le graphique (barres verticales).
 Figure 6 : (See colour plate III) Carbon and oxygen isotopic data obtained from the analysis of the archaeological shells of bivalves (solid circles) and gastropods (solid squares). Each data is the average of all analyses performed on the individual's shell and the error bars represent the variability of the measurements. Three species of gastropods are analyzed (whole shell): *Bithynia tentaculata* (US 4-1, Us 54, US 1014 and US 1014 bis), *Valvata piscinalis* (US 4-3a) and *Lymnaea radix* (US 494). The data from the current shells are represented by identical open symbols (for those from this work) and different for the data from Aucour et al., 1999 & 2003. The isotopic compositions of an inorganic calcite that would precipitate in equilibrium with the water of the Saône (for temperatures between 10 and 20°C), and with the Rhône (temperatures between 8 and 15°C, Aucour et al., 1999 & 2003) are reported on the graph (vertical bars).

et al., 1999 et 2003). Ces auteurs ont déterminé qu'une calcite inorganique de la Saône enregistrerait un $\delta^{13}\text{C}$ moyen de -10,5 ‰ et un $\delta^{18}\text{O}$ compris entre -7 ‰ et -9 ‰ pour une température de 10 °C à 20 °C. Pour le Rhône, le $\delta^{13}\text{C}$ moyen serait de -9 ‰ et le $\delta^{18}\text{O}$ serait compris entre -9 ‰ et -11 ‰ pour une température de 8 °C à 15 °C. La composition isotopique des eaux du Rhône est plus négative (-10,7 ‰ en mars 1996 à -10,9 ‰ en septembre 1996) celle de la Saône (-8,5 ‰ en mars à -7,8 ‰ en septembre; Aucour et al., 1999 et 2003). Cette différence s'explique par le régime hydrologique des deux cours d'eau. Le Rhône est alimenté en été par des eaux issues de la fonte des glaciers et des neiges, dont la signature isotopique est très appauvrie en oxygène. Les valeurs du rapport isotopique du carbone sont également très distinctes. Elles sont plus élevées pour le Rhône ($\delta^{13}\text{C}$ du DIC compris entre -11,7 ‰ et -9,2 ‰) et plus faibles pour la Saône (-12,3 ‰ à -11,1 ‰). Ceci est dû à une contribution plus élevée du carbone inorganique dissous provenant de l'altération des carbonates du bassin versant de la Saône et d'une composante plus importante de CO_2 d'origine organique (Aucour et al., 1999).

L'enregistrement des coquilles de mollusques actuels se répartit en deux ensembles proches des valeurs isotopiques en oxygène des calcites inorganiques. Celles prélevées dans la Saône se répartissent entre -8,5 et -6,2 ‰ ce qui correspond bien à la signature d'une calcite précipitant à l'équilibre dans la rivière. Celles venant du Rhône montre un rapport de -11,5 ‰ à -9,2 ‰ ce qui est caractéristique de la seconde calcite. La synthèse des coquilles se réalise donc à l'équilibre avec l'eau des deux systèmes fluviaux vis-à-vis du rapport isotopique de l'oxygène. De nombreuses études sur les bivalves ont déjà montré cette relation (Carroll et al., 2006; Dettman et al., 1999). Le $\delta^{18}\text{O}$ du minéral est principalement contrôlé par la température et la composition isotopique de l'eau dans laquelle se fait la précipitation. Cette dernière dépend des fluctuations du bilan évaporation/précipitation, et des apports d'eau de composition isotopique différente, par exemple, provenant de la fonte de glaciers d'altitude (Davis et Muehlenbachs, 2001; Fricke et O'Neil, 1999).

Les coquilles de la Saône montrent des $\delta^{13}\text{C}$ systématiquement plus négatifs que ceux des calcites inorganiques. Une aragonite inorganique enregistrerait un enrichissement en ^{13}C et donc un rapport isotopique plus élevé, d'environ 1 ‰ par rapport à celui de la calcite (Rubinson et Clayton, 1969; Turner, 1982). De plus, les organismes intègrent deux sources de carbone : inorganique dissous respiré (DIC pour *Dissolved Inorganic Carbon*) et organique alimentaire (Aucour et al., 2003; Dettman et al., 1999; Geist et al., 2005; Goewert et al., 2007; Ricken et al., 2003).

L'incorporation par les organismes du carbone métabolique expliquerait un enrichissement en ^{12}C dans la coquille et donc une valeur plus faible. Quoiqu'il en soit, malgré le décalage observé, les organismes enregistrent dans leur coquille une signature en carbone typique de leur milieu de vie. Il est donc possible d'utiliser le $\delta^{13}\text{C}$ des coquilles comme marqueur global du système fluvial, les deux cours d'eau étant caractérisés par des rapports très distincts. Des auteurs ont aussi montré que le $\delta^{13}\text{C}$ des biominéralisations aragonitiques de bivalves actuels peuvent être à l'équilibre avec le $\delta^{13}\text{C}$ du DIC du cours d'eau (Aucour et al., 2003; Fritz et Poplawski, 1974).

La Saône : rivière d'origine des spécimens anciens

Les coquilles des sites archéologiques sélectionnés, de par leur position géographique, sont supposées apporter des informations concernant le Rhône pour les sites à proximité du fleuve, au sud de la presqu'île (Cuzieu, Auguste Comte et Hôtel-Dieu, figure 2), et de la Saône pour ceux proches de la rivière (Célestins, Lavarenne et Abbé Larue).

Le rapport isotopique de l'oxygène des coquilles de lamellibranches de l'Antiquité, de l'OCM et du PAG, est similaire aux valeurs obtenues sur les coquilles actuelles de la Saône (respectivement moyenne : -7,6 ‰, avec une dispersion des points comprise entre -7,4 et -7,8 ‰ et moyenne de -7,7 ‰ pour l'actuel : cette étude et -7,5 ‰ pour les coquilles étudiées par Aucour et al., 1999 et 2003). Les résultats en carbone sont également assez proches.

Les coquilles sont, par contre, très nettement éloignées de celles provenant du Rhône dont le $\delta^{18}\text{O}$ est plus négatif (-11,47 ‰ pour l'individu étudié et moyenne -10,3 ‰ pour Aucour et al., 1999 et 2003) et le $\delta^{13}\text{C}$ plus positif (-9,8 ‰ cette étude et moyenne -8 ‰ pour Aucour et al., 1999 et 2003).

Les lamellibranches analysés seraient donc tous originaires de la Saône. La rivière est d'ailleurs un environnement plus propice à la prolifération des mollusques, par rapport au Rhône, du fait de la moindre vitesse de ses écoulements (Dessaint et al., 2017; Mouthon, communication personnelle). Les coquilles prélevées à Cuzieu, Auguste Comte et Hôtel-Dieu n'ont pas vécu dans le Rhône (*sensu stricto*). Elles se sont retrouvées dans les niveaux archéologiques soit qu'elles y aient été déposées naturellement, soit qu'elles aient été apportées par l'Homme. Contrairement au site des Célestins, aucune évidence d'intercalation d'alluvion de la Saône n'est observée pour ces trois secteurs, bien que l'on sache que des crues de la rivière ont traversé la Presqu'île pour se jeter dans le Rhône (Terme, 1841). Par conséquent, on suggère que ces coquilles ont été prélevées en même

temps que du matériel alluvionnaire destiné par exemple à un usage artisanal (mortier, adobe, pisé...). Les sédiments de la rivière ont été privilégiés à ceux du Rhône peut-être parce que ce cours d'eau était plus accessible. Les caractéristiques des alluvions de la Saône (granulométrie, couleur...) étaient peut-être aussi recherchées. Des études morphoscopiques ont montré qu'à l'Antiquité, les sables de la rivière ont été utilisés à Fourvière, lors de la construction du théâtre (Cailleux, 1939), voire pour scier du marbre (Monin *et al.*, 2015). Ils ont aussi été utilisés sur le site d'Auguste Comte, pourtant voisin du fleuve, dans la réalisation de mortiers (Carrara *et al.*, 2015).

Les coquilles archéologiques de gastéropodes montrent une signature isotopique moins tranchée. L'enregistrement isotopique des gastéropodes est très proche de celui des lamellibranches étudiés pour les périodes anciennes et de ceux prélevés dans la Saône en 2009 et 2017. Les coquilles provenant des sites Auguste Comte et Hôtel Dieu montrent par contre des valeurs des rapports isotopiques intermédiaires aux deux pôles fluviaux, notamment les points US 1014bis et US54. Le spécimen US 494 prélevé rue Abbé Larue est le seul à présenter des valeurs isotopiques attendues, c'est-à-dire, similaires à celles de la Saône et des lamellibranches de même âge provenant également de la rivière. Par contre, les coquilles de Hôtel Dieu (US 4-1, US 4-3a, US 1014 et US 1014bis) ont été collectées dans des sables de faciès rhodanien et auraient dû enregistrer une signature isotopique proche de celle d'une calcite qui précipiterait à l'équilibre dans le fleuve (figure 6). Hors, elles présentent soit une signature caractéristique de celle de la rivière (US 4-1, US 1014 ou US 4-3a) soit intermédiaire aux deux cours d'eau (US 1014 bis rapport isotopique en oxygène proche de celui du Rhône, et en carbone proche de celui de la Saône). Elles ont pu être apportées par flottaison à l'occasion d'une crue traversante de la rivière. Le spécimen US 54 provenant du site Auguste Comte présente également une signature de mélange des eaux de la Saône et du Rhône. Ceci n'est pas étonnant compte tenu de la proximité du site avec la confluence.

Enregistrement des changements climatiques par les coquilles : OCM *versus* PAG

Les deux périodes climatiques les mieux documentées, d'un point de vue historique, sont l'Optimum Climatique Médiéval et le Petit Âge Glaciaire. Les coquilles correspondant à ces deux périodes montrent une signature isotopique assez distincte. Les coquilles de lamellibranche médiévale sont caractérisées par les valeurs en carbone et en oxygène les plus faibles, à l'inverse du PAG (figure 6). Il est possible

d'estimer des températures du milieu de vie à partir du rapport isotopique en oxygène mesuré dans les coquilles et de la composition isotopique de l'eau de la rivière. Grossman et Ku (1986) ont déterminé une équation de fractionnement isotopique pour l'aragonite biogène des mollusques. L'équation reliant la température du milieu de cristallisation, le $\delta^{18}\text{O}$ de l'eau (*versus* SMOW) et celui de la coquille (*versus* PDB) est :

$$T^{\circ}\text{C} = 21,8 - 4,69 (\delta^{18}\text{O}_{\text{ar}} - [(1,03086 * (\delta^{18}\text{O}_{\text{eau}} - 30,91) / 1.03091) + 30,86] - 0,2])$$

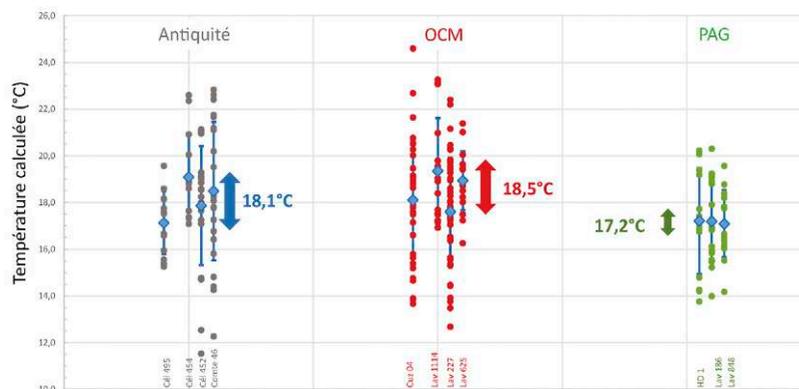
Il est difficile d'estimer la composition isotopique de la Saône ($\delta^{18}\text{O}_{\text{eau}}$) pour le passé. Les mesures réalisées en mars, juillet et septembre 1996 par Aucour *et al.* (2003) montrent une variabilité de 0,7 ‰ entre le printemps (-8,5 ‰) et le début de l'automne (-7,8 ‰). Les lamellibranches dulcicoles ne synthétisent leur coquille que lorsque la température de leur milieu de vie est supérieure à 10/12 °C, soit du printemps à l'automne. On peut donc estimer raisonnablement une variabilité saisonnière du $\delta^{18}\text{O}_{\text{eau}}$ de cet ordre de grandeur. De plus, du fait du régime hydrologique de la rivière essentiellement pluvial océanique, les effets températures (une hausse qui s'accompagne d'une baisse du $\delta^{18}\text{O}_{\text{ar}}$) et évaporation/baisse des précipitations estivales (augmentation du $\delta^{18}\text{O}_{\text{eau}}$) peuvent se compenser dans la coquille.

Ainsi entre l'OCM qui peut être marqué par une baisse du taux de précipitation et une hausse des températures (figure 1) et le PAG durant lequel de fortes précipitations et de faibles températures seraient enregistrés, les changements de la composition isotopique de l'eau de la Saône peuvent être compensés par les changements de température. L'enregistrement des coquilles de ces deux périodes peuvent lisser ces variations climatiques. On propose une estimation des paléotempératures en supposant une composition isotopique moyenne de l'eau de la Saône déterminée à partir des valeurs actuelles (soit -8,15 ‰, figure 7). La variabilité de cette estimation due à une potentielle erreur de la valeur absolue du $\delta^{18}\text{O}_{\text{eau}}$ entre une période de fort étiage (telle que l'été; $\delta^{18}\text{O}_{\text{eau}}$ de -7,8 ‰) et une période à fort débit (telle que la fin de l'hiver; $\delta^{18}\text{O}_{\text{eau}}$ de -8,5 ‰) peut également être déterminée afin de tenir compte du biais entre l'OCM et le PAG. L'erreur est de +/- 1,65 °C sur les estimations des paléotempératures.

Les données isotopiques sur l'ensemble de la coquille (du crochet au bord ventral) permettent d'obtenir un enregistrement quasi en continu sur quelques années (durée de vie de l'animal). A l'OCM, une forte amplitude de variation des températures (de 12,7 °C à 24,6 °C) est observée. La dispersion des données reflète les contrastes saisonniers (figure 5 et 7). La température moyenne de la Saône aurait été de 18,5 °C ($\pm 1,8$ °C). Les coquilles du PAG montrent au

Figure 7 : (Voir planche couleur IV) Calcul des paléotempératures de la Saône à partir de l'enregistrement isotopique en oxygène des coquilles de lamellibranches étudiées et de la composition isotopique en oxygène de la Saône actuelle (Aucourt *et al.*, 1999).

Figure 7: (See colour plate IV) Palaeotemperatures estimations of the Saône water from the oxygen isotopic record of the archeological studied lamellibranch shells and using the current Saône water $\delta^{18}\text{O}$ water (Aucourt *et al.*, 1999).



contraire une plus faible variabilité (de 13,8 °C à 20,3 °C) et une température moyenne de 17,2 °C ($\pm 1,5$ °C). Un écart moyen de température est estimé à 1,3 °C entre ces deux périodes climatiques. Une correction peut-être proposée en tenant compte de la variabilité du $\delta^{18}\text{O}_{\text{eau}}$ moyen qui devrait être plus élevé à l'OCM du fait de conditions hydriques plus sèches et qui devrait être plus faible au PAG du fait de fortes précipitations. L'amplitude thermique maximale serait alors de 4,6 °C.

La température de l'air influence directement celle des cours d'eau, et une relation linéaire positive relie très souvent ces deux paramètres (Daufresne *et al.*, 2003). Il est possible de relier cet écart thermique de 1,3 °C à celui de l'air. Entre 1000 et 1100 AD, les températures moyennes estivales seraient de 10 °C et en 1800 AD elles seraient de 9,2 °C. Büntgen *et al.* (2006) indiquent également un écart de température de -2 °C entre l'OCM et le PAG. Les données de cette étude sont cohérentes avec les reconstitutions des paléo-températures obtenues pour le lac d'Anterne, Alpes du Nord (Magny *et al.*, 2008) et en Islande (Patterson *et al.*, 2010).

Enregistrement de la saisonnalité

Dans le détail, de nombreux spécimens enregistrent une variabilité pouvant s'apparenter à des fluctuations cycliques de type saisonnier (figure 5). Les baisses significatives de près de 2 ‰ d'amplitude du $\delta^{18}\text{O}$ se corréleraient avec des baisses du $\delta^{13}\text{C}$ d'amplitude similaire. Les travaux d'Aucourt *et al.* (1999) et les équations de déterminations des paléotempératures montrent qu'une calcite précipitant à l'équilibre avec l'eau de la Saône présente un $\delta^{18}\text{O}$ plus faible lorsque la température est plus élevée. Les baisses des rapports isotopiques coïncideraient avec des périodes estivales tandis que les augmentations aux périodes plus fraîches telles que le printemps et/ou l'automne. Lorsque la température de l'eau augmente, du printemps à l'été, l'organisme, qui précipite sa

coquille à l'équilibre avec l'eau du milieu de vie, enregistre une diminution du $\delta^{18}\text{O}$.

Les points bas en $\delta^{18}\text{O}$ coïncident avec des valeurs faibles du $\delta^{13}\text{C}$. La décroissance en carbone précède souvent celle en oxygène. L'organisme utilise deux sources de carbone, celle *in situ* provenant du phytoplancton *via* l'alimentation et celle du DIC *via* la respiration. Les cycles observés dans l'enregistrement du $\delta^{13}\text{C}$ peuvent être reliés aux périodes de production *in situ* de matière organique et de croissance importante de la coquille (bloom printanier et du début de l'été par exemple). Elles se marquent par une consommation importante de ^{12}C par la photosynthèse et se traduit dans le milieu par une augmentation du $\delta^{13}\text{C}$ du DIC dans la rivière. Les cycles peuvent aussi correspondre aux périodes de dégradation de la matière organique *in situ* et/ou provenant du bassin versant. Celle-ci est apportée par les eaux de ruissellement notamment en hiver et au début du printemps (Buhl *et al.*, 1991). Le $\delta^{13}\text{C}$ du DIC baisse dans la rivière. Enfin, un fractionnement isotopique thermodépendant a été démontré lors des échanges de CO_2 entre l'atmosphère et le cours d'eau ($\delta^{13}\text{C}$ du DIC d'environ 2,5 ‰ à 10 °C et de 0,2 ‰ à 28 °C, Dettman *et al.*, 1999). Mais, Mook et Tan (1991) ont montré une faible contribution de ces échanges sur les variations du rapport isotopique du DIC dans les rivières.

La croissance des lamellibranches est modérée au début du printemps et augmente de façon importante avec l'abondance de carbone organique disponible dans la rivière *via* le phytoplancton. Elle peut atteindre ainsi des taux jusqu'à 5 fois supérieurs à ceux observés au début du printemps (Versteegh *et al.*, 2009). La coquille enregistre ainsi un $\delta^{13}\text{C}$ plus négatif à la fin du printemps et début de l'été du fait de son alimentation et du carbone respiré. La fin de l'été et le début de l'automne sont marqués par des débits relativement faibles et une augmentation du $\delta^{13}\text{C}$ du DIC de l'eau. La coquille enregistre alors des valeurs plus importantes. Les données actuelles obtenues par Aucourt *et al.*,

2003, montrent effectivement une augmentation du $\delta^{13}\text{C}$ du DIC de -12,3 ‰ en février 1999 à -11,5/-11,9 ‰ en mars 1996/2000, à -11,1 ‰ en septembre 1996.

L'amplitude des variations du rapport isotopique (corrigées de l'effet onthogénique) sur l'ensemble de la coquille pour l'OCM s'expliquerait par des contrastes saisonniers plus importants (figure 5). À l'inverse, au PAG, les saisons seraient moins contrastées.

Enregistrement du flux de carbone organique : OCM *versus* PAG

L'enregistrement du $\delta^{13}\text{C}$ des coquilles semble être assez proche de l'équilibre avec le milieu de vie compte tenu de la forte similitude entre les données isotopiques actuelles obtenues sur l'eau et diverses espèces de mollusques (figure 6). Les coquilles de l'OCM montrent des rapports isotopiques du carbone très négatifs (de -13,3 ‰ à -12,8 ‰, figure 6). La période du premier Moyen Âge est caractérisée dans les agglomérations du nord-ouest de l'Europe par la présence de dépôt très riches en carbone organique appelées « terres noires » (Cammass *et al.*, 2011). La couleur sombre de ces niveaux est principalement due à l'abondance, dans la fraction fine, de matière organique et de charbons fragmentés (Cammass *et al.*, 2011). La présence d'un niveau tourbeux homogène et régulier, riche en macro-restes divers a été attestée lors de fouilles archéologiques le long de la rive droite de la Saône (Ayala, 2007). Le développement d'une forte végétation sur les berges a également été mis en évidence (Astrade, 2005). Les sols alluviaux du haut bassin rhodanien étaient généralement riches en matières organiques, voire tourbifiés, en raison d'une longue pédogénèse (Berger *et al.*, 2008 ; Lamb, 1965). La « ruralisation » de l'espace urbain (Fondrillon, 2007) pourrait se traduire par un apport plus important de matière organique dans la rivière, et sa dégradation permettrait ainsi de libérer du carbone inorganique dissous plus léger. Les organismes enregistreraient cette baisse du $\delta^{13}\text{C}$ du DIC.

Les coquilles du PAG montrent au contraire une variabilité et un $\delta^{13}\text{C}$ plus élevé (-12,2 ‰ à -11,4 ‰). Cette période est marquée par des conditions climatiques très instables et humides (figure 1). Elle était peut-être moins propice au développement de la végétation sur les berges qui localement commençaient à être endiguées et déconnectées de la rivière (Astrade, 2005). Par conséquent, les flux de matière organique venant du bassin versant auraient été plus faibles qu'à l'OCM. On constate à ce propos, à Lyon même, que les rejets organiques associés à la très forte urbanisation, au PAG, n'ont pas impacté le DIC de la rivière et donc les coquilles. Ceci devrait s'enregistrer un peu plus loin en aval, le temps que la matière organique s'oxyde.

Caractérisation de l'Antiquité

La période du Haut Empire est moins bien connue d'un point de vue climatique et hydrologique. Les mollusques étudiés montrent une grande dispersion du $\delta^{13}\text{C}$ (de -12,2 ‰ à -10,9 ‰, lamellibranches et jusqu'à -8,4 ‰ pour les gastéropodes) et du $\delta^{18}\text{O}$ (gastéropodes principalement -7,6 ‰ à -9,5 ‰, figure 6). Les données issues de l'analyse isotopique de l'oxygène des lamellibranches sont intermédiaires à celles obtenues pour l'OCM et le PAG (figure 6). La détermination des paléotempératures montre aussi une moyenne de 18,1 °C (avec un écart type de 1,4 ; figure 7). Les coquilles enregistrent des contrastes saisonniers importants proches de ceux de l'OCM. Les conditions environnementales auraient été ainsi intermédiaires aux deux extrema climatiques (OCM et PAG) et seraient caractérisées par une variabilité assez élevée. La fluctuation des données isotopiques en carbone refléterait des organismes ayant vécu dans des environnements assez confinés de types marécageux ($\delta^{13}\text{C}$ plus élevé) ou à l'inverse des milieux plus ouverts ($\delta^{13}\text{C}$ plus faible). Une forte instabilité hydrologique de la Saône avait été proposée par Ayala (2007) et Vérot-Bourrely *et al.* (2010). Elle serait une conséquence de la variabilité climatique de cette période. La rivière devait, au III^e s. apr. J.-C., dans sa traversée de Lyon, présenter un lit caractérisé par des zones de libre circulation des eaux et d'autres plus fermées (annexes fluviales). On trouve, encore aujourd'hui, en amont de Lyon, des îles boisées et des îlons riveraines.

6. CONCLUSION

Cette étude, nouvelle et originale, montre la grande potentialité de l'enregistrement isotopique (carbone et oxygène) des coquilles de mollusques dulcicoles, prélevées dans des niveaux archéologiques, pour les reconstitutions du milieu d'origine des organismes et historiques. Ces mollusques synthétisent leur coquille proche de l'équilibre avec le milieu de vie vis-à-vis des isotopes de l'oxygène mais également pour le carbone avec néanmoins une variabilité plus importante pour ce dernier.

Contrairement à ce qui était supposé, compte tenu de la situation géographique des sites, toutes les coquilles archéologiques étudiées proviennent de la Saône. On suggère aussi que la réalisation des remblais et des sols anthropiques privilégiaient l'utilisation des sédiments de la Saône.

Les trois périodes historiques, sélectionnées à cause de conditions climatiques bien spécifiques notamment pour l'OCM et le PAG, ne présentent pas de signature isotopique

de l'oxygène très tranchée contrairement à ce qu'on pouvait espérer. Le régime hydrologique de la Saône est en cause parce qu'il a tendance à lisser les variations dans l'enregistrement des coquilles.

Cependant, dans le détail, chacune des trois périodes historiques à une signature globale spécifique. L'O.C.M. est la période qui s'individualise le mieux du point de vue isotopique. Les rapports isotopiques de l'oxygène des coquilles, montrent des températures globalement plus élevées de 1,3 °C par rapport au PAG. Les $\delta^{13}\text{C}$ très négatifs reflètent un flux important de carbone organique dans la rivière. Il s'expliquerait par une importante végétalisation des berges (ripisylve) voire par des défrichements dans le bassin versant. Des rejets urbains provenant de l'amont peuvent avoir aussi joué. La période de l'Antiquité est intermédiaire à ces deux extrema climatiques et environnementaux. Les contrastes saisonniers sont très marqués pour l'Antiquité et l'OCM. Ils sont relativement faibles pour le PAG.

Enfin, l'outil isotopique peut aussi permettre de préciser des calages temporels et mettre en évidence des remaniements potentiels de coquilles.

Remerciements

Nous remercions le rapporteur de notre travail pour la relecture, les conseils et suggestions. Ce travail n'aurait pu aboutir sans le soutien technique de Nathalie Labourdette ni l'aide amicale de Katia Laval et Janine Riveline. Nous les en remercions.

Bibliographie

- D'ANNA A., DESBAT A., GARCIA D., SCHMITT A., VERHAEGHE F., 2011. *La céramique. La poterie du Néolithique aux Temps Modernes*. Collection archéologie, Errance ed.
- ANONYME, 1910, Monographie du Rhône de la frontière Suisse à la mer. Service spécial du Rhône, Ministère des travaux publics, Lyon : 17-18.
- ANTHONY, J., KESLER D., DOWNING W., DOWNING J., 2001. Length-specific growth rates in freshwater mussels (*Bivalvia: Unionidae*): Extreme longevity or generalized growth cessation? *Freshwater Biology*, 46, (10) : 1349-1359.
- ARLAUD C., LUROL J.-M., SAVAY-GUERRAZ S., VÉROT-BOURRELY A., 2000. Lyon, les dessous de la Presqu'île. Bourse - République - Célestins - Terreaux. Lyon. *SRA Rhône-Alpes, DARA*, 20, Série lyonnaise, (8).
- ARNAUD F., REVEL M., CHAPRON E., DESMET M., TRIBOVILLARD N., 2005. 7200 years of Rhone river flooding activity in Lake Le Bourget, France: a high-resolution sediment record of NW Alps hydrology. *The Holocene*, 15, (3) : 420-428.
- ARNAUD F., WESSELS M., CHAPRON E., REVEL-ROLLAND M., DESMET M., 2008. Signaux terrigènes dans les grands lacs subalpins, un marqueur régional à haute résolution des conditions paléohydrologiques ? In DESMET M. (dir.), *Dynamique holocène de l'environnement dans le Jura et les Alpes*, actes du Colloque GDR JURALP, Aix en Provence, 5-16 novembre 2007, collection Edytem : 77-88.
- ASTRADE L., 2005. *La Saône en crue. Dynamique d'un hydrosystème anthropisé*. Presses Universitaires de Lyon.
- AUCOUR A.-M., SHEPPARD S., GUYOMAR O., WATTELET J., 1999. Use of ^{13}C to trace origin and cycling of inorganic carbon in the Rhône river system. *Chemical Geology*, 159, (1) : 87-105.
- AUCOUR A.-M., SHEPPARD S., SAVOYE R., 2003. $\delta^{13}\text{C}$ of fluvial mollusk shells (Rhône River): A proxy for dissolved inorganic carbon? *Limnology and oceanography*, 48, (6) : 2186-2193.
- AYALA G., 2007. Lyon, Evolution d'un bord de Saône de l'Antiquité jusqu'à nos jours : la fouille du parc Saint-Georges, bilan préliminaire. *Revue Archéologique de l'Est*, 56 : 153-185.
- BELMONT A., 1989. Etude historique de la dynamique fluviale dans la plaine de Miribel-Jonage (Haut-Rhône) à la fin du Moyen Âge. *Revue de géographie de Lyon*, 64, (4) : 191-196.
- BERGER J.-F., SALVADOR P.-G., FRANC O., VÉROT-BOURRELY A., BRAVARD J.-P., 2008. La chronologie fluviale postglaciaire du haut bassin rhodanien. *Collection EDYTEM, Cahiers de Géographie*, 6 : 117-143.
- BERNOT (dir.), 2006. Rue Monseigneur Lavarenne, avenue Adolphe Max, Lyon 5^e. Document final de synthèse de fouille archéologique, Rapport déposé au Service Régional de l'Archéologie Rhône-Alpes, Lyon.
- BERTRAND E. (dir.), 2011. 16 rue Bourgelat (Institut Saint-Vincent de Paul), Lyon 2^e. Rapport de fouille d'archéologie préventive, SAVL, Rapport déposé au Service Régional de l'Archéologie Rhône-Alpes, Lyon.
- BERTRAND E. (dir.), 2015. Reconversion du site de l'Hôtel-Dieu, Lyon 2^e, Tranches 1 et 2. Rapport de fouille d'archéologie préventive, SAVL, Rapport déposé au Service Régional de l'Archéologie Rhône-Alpes, Lyon
- BERTRAND P., NOURISSAT S., BEST C., FRANC O., 1998. Rôle des processus naturels dans la constitution du site épipaléolithique, mésolithique et néolithique de la Duchère à Vaise (Rhône), *Paléo*, 10 : 211-232.
- BONNEMÈRE L., 1901. *Les mollusques des eaux douces de France et leurs perles*. Institut International de Bibliographie Scientifique, Paris.
- BORDERIE Q., 2011. L'espace urbain entre Antiquité et Moyen Âge, analyse géoarchéologique des terres noires : études de cas. Université de Paris 1 – Panthéon – Sorbonne, Thèse de doctorat d'Archéologie.
- BOURGEAULT A., 2010. Bioaccumulation par *Dreissena polymorpha* : quel reflet de la contamination chimique du milieu ?

- Expérimentation – Observation – Modélisation. Université Pierre et Marie Curie – Paris VI, Thèse de doctorat.
- BRADLEY R., 2003. Climate of the Last Millenium, Holocene working group workshop. *Bjerknes Centre for Climate research* : 1-5.
- BRAVARD J.-P., 1997a. Tectonique et dynamique fluviale du Würm à l'Holocène à la confluence Saône-Rhône (France). *Géographie physique et Quaternaire*, 51, (3) : 315-326.
- BRAVARD J.-P., 1997b. La topographie de la Saône aval : un héritage complexe au croisement de la néotectonique et de la dynamique fluviale. In BRAVARD J.-P., COMBIER J., COMMERCON N. (éd.), *La Saône axe de civilisation*. Lyon : 89-98.
- BRAVARD J.-P., 2001. La Saône. *Les cahiers Millénaires*, 25 : 15-16.
- BRAVARD J.-P., CLEMENS A., 2008. *Le Rhône en 100 Questions*. ZABR, GRAIE, Villeurbanne.
- BRAVARD J.-P., EVIN J., 1989. Datation du remblaiement holocène dans un secteur de la plaine alluviale du Rhône à Villeurbanne (69). *Bulletin Laboratoire Rhodanien de Géomorphologie*, 23-24, 2-10.
- BRAVARD J.-P., SALVADOR P.-G., 1999. Géomorphologie et sédimentologie des plaines alluviales. In A. Ferdière (ed.), *La géologie, les sciences de la terre*. Paris, Errance (« Archéologiques ») : 57-92.
- BRAVARD J.-P., PROVANSAL M., ARNAUD-FASSETTA G., CHABBERT S., GAYDOU P., DUFOUR S., RICHARD F., VALLETEAU S., MELUN G., PASSY P., 2008. Un atlas du paléo-environnement de la plaine alluviale du Rhône de la frontière Suisse à la mer. In : DESMET M. (dir.), *Dynamique holocène de l'environnement dans le Jura et les Alpes*, actes du Colloque GDR JURALP, Aix en Provence, 5-16 novembre 2007, collection Edytem : 101-116
- BROCHIER J.-L., BOREL J.-L., DRUART J.-C., 2007. Les variations paléoenvironnementales de 1000 avant à 1000 après JC et la question des « optima » climatiques de l'Antiquité tardive et du Moyen Âge sur le piémont des Alpes du nord à Colletière, lac de Paladru, France. *Quaternaire. Revue de l'Association française pour l'étude du Quaternaire*, 18, (3) : 253-270.
- BUCCI J., SHOWERS W., GENNA B., LEVINE J., 2009. Stable oxygen and carbon isotope profiles in an invasive bivalve (*Corbicula fluminea*) in North Carolina watersheds. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 73, (11) : 3234-3247.
- BUHL P., NEUSER R., RICHTER D., RIEDEL D., ROBERTS B., STRAUSS H., VEIZER J., 1991. Nature and Nurture : environmental isotope story of the river Rhine. *Naturwissenschaften*, 78 : 337-346.
- BÜNTGEN U., FRANK D. C., NIEVERGE D., ESPER J., 2006. Summer temperature variations in the European Alps, AD 755-2004. *Journal of Climate*, 19 : 5606-5623.
- BÜNTGEN U., TEGEL W., NICOLUSSI K., MCCORMICK M., FRANCK D., TROUET V., KAPLAN J., HERZIG F., HEUSSNER K., WANNER H., LUTERBACHER J., ESPER J., 2011. 2500 years of European climate variability a Human susceptibility. *Science*, 331 : 578-582.
- CAILLEUX A., 1939. Sur quelques sables des environs de Lyon. Essai d'expertise. *Bulletin mensuel de la société linnéenne de Lyon*, 6 : 166-169
- CAMMAS C., BORDERIE Q., AUGRY S., DESACHY B., 2011. L'approche géoarchéologique de l'urbain. Développement du concept, méthodologie et application aux opérations archéologiques. *Archéopages*, 31 : 80-93.
- CARRARA S. (dir.), 2008. 30 rue Sainte-Hélène Hôtel de Cuzieu 69002 Lyon. Rapport final d'opération d'archéologie préventive.
- CARRARA S. (dir.), 2015. 27 rue Auguste Comte, Lyon 2^e. Document final de synthèse de fouille archéologique. Rapport déposé au Service Régional de l'Archéologie Rhône-Alpes, Lyon.
- CARRILHO J., LEITAO A., VICENTE C., MALHEIRO I., 2008. Cytogenetics of *Anodonta cygnea* (Mollusca: Bivalvia) as possible indicator of environmental adversity. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 80 : 303-306.
- CARROLL M., ROMANEK C., PADDOCK L., 2006. The relationship between the hydrogen and oxygen isotopes of freshwater bivalve shells and their home streams. *Chemical biology*, 234 : 211-222.
- CASSELLA L., GRISSHABER E., YIN X., ZIEGLER A., MAVROMATIS V., MÜLLER D., RITTER A., HIPPLER D., HARPER E., DIETZEL M., IMMENHAUSER A., SCHÖNE B., ANGIOLINI L., SCHMAHL W., 2017. Experimental diagenesis: insights into aragonite to calcite transformation of *Arctica islandica* shells. *Biogeosciences*, 14, 1461-1492.
- CHOLLEY A., 1923. Essai d'histoire topographique du quartier de la Guillotière. *Revue du Lyonnais* : 139-174.
- CLÉMENÇON A.-S., 1982. Le fleuve à l'assaut des terres. In *Lyon au fil des fleuves*, catalogue d'exposition Elac, Établissement lyonnais d'art contemporain : 165-175.
- COMBE C., 2007. La ville endormie, le risque d'inondation à Lyon. Approche géohistorique et systémique du risque d'inondation à Lyon. Thèse de doctorat de géographie, Université Lumière Lyon 2.
- COURTIN J., VILLA P., 1982. Une expérience de piétinement. *Bulletin de la Société préhistorique française*, 79, (4) : 117-123.
- CORSI I., PASTORE A., LODDE A., PALMERINI E., CASTAGNOLO L., FOCARDI S., 2007. Potential role of cholinesterases in the invasive capacity of the freshwater bivalve, *Anodonta woodiana* (Bivalvia: Unionacea): A comparative study with the indigenous species of the genus, *Anodonta* sp. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 145, (3) : 413-419.
- COUCHOU D., 2008. Les isotopes stables de l'oxygène et du carbone dans les spéléothèmes : des archives paléoenvironnementales. *Quaternaire*, 19, (4) : 275-291.

- COUTAGNE A., 1936. L'évolution du régime du Rhône de sa source à la mer. *Les Études rhodaniennes*, 12, (1) : 93-96.
- DAVIS L.G., MUEHLENBACHS K., 2001. A Late Pleistocene to Holocene Record of Precipitation Reflected in *Margaritifera falcata* Shell $\delta^{18}\text{O}$ from three archaeological sites in the Lower Salmon River Canyon, Idaho. *Journal of Archaeological Science*, 28 : 291-303.
- DAUFRESNE M., ROGER M.-C., CAPRA H., LAMOUREUX N., 2003. Long-term changes within the invertebrate and fish communities of the Upper Rhône River: effects of climatic factors. *Global Change Biology*, 10 : 124-140.
- DELLE H., SCHMITT L., JACOB-ROUSSEAU N., GROSPRÊTRE L., PRIVOLT G., PREUSSER F., 2016. Headwater valley response to climate and land use changes during the Little Ice Age in the Massif Central (Yzeron basin, France). *Geomorphology*, 257 : 179-197.
- DELINÉ Ph., LEROY M., 2008. Glacier fluctuations in the Western Alps over the last 5000 years: State of the knowledge. In : DESMET (dir.), Dynamique holocène de l'environnement dans le Jura et les Alpes, actes du Colloque GDR JURALP, Aix en Provence, 5-16 novembre 2007, collection Edytem : 13 – 28.
- DESBAT A., BRAVARD J.-P., PARIENTE A., SAVAY-GUERRAZ H., 2012. Lyon antique, Guides archéologiques de la France. In : DESBAT A., SAVAY-GUERRAZ H. (dir.), Centre des monuments nationaux, Editions du patrimoine.
- DESMET M., 2006. Les sédiments des lacs alpins, archives du climat et des activités humaines depuis 15000 ans. Habilitation à Diriger des Recherches, spécialité Sciences de la Terre et de l'Environnement, Université de Savoie.
- DESSAINT Ph. (dir.), 2017. Ancienne Faculté Catholique, 31 place Bellecour, 25 rue du Plat, Rapport de diagnostic d'archéologie préventive, SAVL, DRAC-SRA Auvergne Rhône-Alpes, 204 p.
- DETTMAN D.L., FLESSA K.W., ROOPNARINE P., SCHÖNE B., GOODWIN D., 2004. The use of oxygen isotope variation in shells of estuarine mollusks as a quantitative record of seasonal and annual Colorado River discharge. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 68, 6 : 1253-1263.
- DETTMAN D. L., REISCHE A. K., LOHMANN K. C., 1999. Controls on the stable isotope composition of seasonal growth bands in aragonitic fresh-water bivalves (*unionidae*). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63, (7/8) : 1049-1057.
- ELLIOT M., WELSH K., CHILCOTT C., MC CULLOCH M., CHAPPELL J., AYLING B., 2009. Profiles of trace elements and stable isotopes derived from giant long-lived *Tridacna gigas* bivalves: Potential applications in paleoclimate studies. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 280, 132-142.
- EPSTEIN S., BUCHSBAUM R., LOWENSTAM H.A., UREY H.C., 1953. Revised carbonate-water isotopic temperature scale. *Geological Society of America Bulletin*, 64 : 1315-1326.
- FONDRILLON M., 2007. La formation du sol urbain : étude archéologique des terres noires à Tours (4^e-12^e siècle). Thèse d'archéologie, Université de Tours.
- FOUCAULT A., 2009. *Climatologie et paléoclimatologie*. Dunod.
- FRANC O., 2016. Histoire des paysages et des sociétés en bord de Saône depuis la dernière glaciation. Lyon – Vaise. *Alpara Maison de l'Orient et de la Méditerranée, DARA*, 44.
- FRÉCON F., 1888. *Récits de Messire P. Millet, curé de Notre-Dame de la Platière, 1629-1651*. Lyon, Pitrat.
- FRICKE H. C., O'NEIL J., 1999. The correlation between $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ratios of meteoric water and surface temperature: its use in investigating terrestrial climate change over geologic time. *Earth and Planetary Science Letters*, 170 : 181-196.
- FRITZ P., POPLAWSKI S., 1974. ^{18}O and ^{13}C in shells of fresh-water molluscs and their environments. *Earth and Planetary Science Letters*, 24 : 91-98.
- GAILLOT S., DUCOURTHIAL C., 2015. Regards croisés sur les sols archéologiques de l'impasse des Chartreux à Lyon. *Revue du Nord*, 23 : 119-132.
- GARNIER E., 2012. *Climat, à nos risques et périls : les Lyonnais face aux caprices du climat, depuis le Moyen Âge*. Archives municipales de Lyon, Collection Mémoire Vive.
- GAUTHIEZ B., 1994. La topographie de Lyon au Moyen Âge. *Archéologie du Midi médiéval*, 12 : 3-38.
- GERMAIN L., 1931. *Faune de France, 22 Mollusques terrestres et fluviatiles*. Paris.
- GEIST, J., AUERSWALD K., BOOM A., 2005. Stable carbon isotopes in freshwater mussel shells: Environmental record or marker for metabolic activity? *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 69, (14) : 3545-3554.
- GILLIKIN D., HUTCHINSON K., KUMAI Y., 2009. Ontogenic increase of metabolic carbon in freshwater mussel shells (*Pyganodon cataracta*). *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 114, G01007.
- GOEWERT A., SURGE D., CARPENTER S., DOWNING J., 2007. Oxygen and carbon isotope ratios of *Lampsilis cardium* (*Unionidae*) from two streams in agricultural watersheds of Iowa, USA. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 252, (3-4): 637-648.
- GRANIER J., 1961. Faune malacologique apportée par les crues du Rhône sur l'île de la Barthelasse, en Avignon (Mars 1960). *Bulletin de la société linnéenne de Lyon*, 5 : 114-125.
- GROSSMAN E., KU T., 1986. Oxygen and carbon isotope fractionation in biogenic aragonite: Temperature effects. *Chemical Geology*, 59 : 59-74.
- GROVE J.M., SWITSUR R., 1994. Glacial geological evidence for the medieval warm period. *Climatic Change*, 26 : 143-169.
- GUIGUE G., 1902. Inventaire sommaire des Archives départementales antérieures à 1790: Rhône. Série et supplément, Archives anciennes des communes, Lyon Librairie générale Henri Georg, 1.

- HAAS J.N., 1996. Pollen and plant macrofossil evidence of vegetation change at Wallisellen Langachermoos (Switzerland) during the Mesolithic-Neolithic transition 8500 to 6500 years ago. *Dissertationes Botanicae*, 267 : 1-67.
- HOLZHAUSER H., MAGNY M., ZUMBÜHL H., 2005. Glacier and lake-level variations in west-central Europe over the last 3500 years. *The Holocene*, 15, 6 : 789-801.
- KELEMEN Z., GILLIKIN D., GRANIERO L., HAVEL H., DARCHAMBEAU F., BORGES A., YAMBÉLÉ A., BASSIROU A., BOUILLON S., 2017. Calibration of hydroclimate proxies in freshwater bivalve shells from Central and West Africa. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 208, 41-62.
- KHODRI M., SWINGEDOUW D., MIGNOT J., SICRE M.-A., GARNIER E., MASSON-DELMOTTE V., RIBES A., TERRAY L., 2015. Le climat du dernier Millénaire. *La Météorologie*, 88 : 36-47.
- KILLAM D., CLAPHAM M., 2018. Identifying the ticks of bivalve shell clocks: Seasonal growth in relation to temperature and food supply. *Palaios*, 33, 228-236.
- LACHIVER M., 1963. Les régimes fluviaux. In ARPI G. (dir.), *L'information géographique*, 27, (4) : 170-179.
- LAMB H., 1965. The Early Medieval warm epoch and its sequel. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1 : 13-37.
- LARTAUD F., DE RAFELIS M., ROBERT M., EMMANUEL L., GEAIRON P., RENARD M., 2010a. Mn labelling of living oysters: artificial and natural cathodoluminescence analysis as a tool for age and growth rate determination of *C. gigas* (Thunberg, 1793) shells. *Aquaculture*, 300 : 206-217.
- LARTAUD F., EMMANUEL L., DE RAFELIS M., ROBERT M., LABOURDETTE N., RICHARDSON C.A., RENARD M., 2010b. A latitudinal gradient of seasonal temperature variation recorded in oyster shells from the coastal waters of France and The Netherlands. *Facies*, 56 : 13-25.
- LAVOCAT A., 2011. Rapport-Prospection inventaire de la Saône dans Lyon. GRAAL, Lyon.
- LE MER A.-C., CHOMER C., 2007. Lyon, 69/2, Carte Archéologique de la Gaule, Préinventaire archéologique. In : PROVOST M. (dir.), Académie des Inscriptions et Belles-Lettres, Ministère de l'Éducation Nationale, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, Ministère de la Culture et de la Communication, Maison des Sciences de l'Homme, Ville de Lyon, Paris.
- LE ROY LADURIE E., 2009. Considérations sur le climat. *Responsabilité & Environnement*, 56 : 9-13.
- LENG M.J., LEWIS J.P., 2016. Oxygen isotopes in Molluscan shell: Applications in environmental archaeology. *Environmental archaeology*, 21, 3, 295-306.
- LORRAIN A., PAULET Y. M., CHAUVAUD L., DUNBAR R., MUCCIARONE D., FONTUGNE M., 2004. $\delta^{13}\text{C}$ variation in scallop shells: Increasing metabolic carbon contribution with body size? *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 68, 3509-3519.
- MACÉ S., VÉROT-BOURRELY A., BRAVARD J.-P., 1991. Genèse et fonctionnement holocène de la plaine alluviale à Lyon. In 116^e Congrès national des sociétés savantes, Chambéry, Préprotohistoire : 17-31.
- MAGNY M., 1993. Les fluctuations des lacs jurassiens et subalpins au Moyen Âge. *Histoire & Mesure*, 8, (1-2) : 5-17.
- MAGNY M., MILLET L., ARNAUD F., DESMET M., GAUTHIER E., HEIRI O., VANNIÈRE B., VERNEAUX V., 2008. Variations du climat au cours des deux derniers millénaires, deux cas d'étude dans le Jura et les Alpes du Nord. In : DESMET M. (dir.), Dynamique holocène de l'environnement dans le Jura et les Alpes, actes du Colloque GDR JURALP, Aix en Provence, collection Edytem : 51-64.
- MANDIER P., 1988. Le relief de la moyenne vallée du Rhône au Tertiaire et au Quaternaire, essai de paléogéographie. *Documents du BRGM*, 151, (1, 2, 3).
- MATTHEWS J., BRIFFA K., 2005. The "Little Ice Age": re-evaluation of an evolving concept. *Geografiska Annaler*, 87, (1) : 17-36.
- MASSON-DELMOTTE V., SCHULZ M., ABE-OUCHI A., BEER J., GANOPOLSKI A., GONZÁLEZ ROUCO J.-F., JANSEN E., LAMBECK K., LUTERBACHER J., NAISH T., OSBORN T., OTTO-BLIESNER B., QUINN T., RAMESH R., ROJAS M., SHAO X., TIMMERMANN A., 2013. Information from Paleoclimate Archives. In STOCKER T.F. et al., (eds.). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA : 383-464.
- MAZENOT G., 1966. La faune malacologique des couches archéologiques de l'École Vétérinaire de Lyon. Bulletin mensuel de la Société linnéenne de Lyon, 35, (3) : 122-128.
- MCCONNAUGHEY T., GILLIKIN D., 2008. Carbon isotopes in mollusk shell carbonates. *Geo-Marine Letters*, 28, 287-299.
- MISKOVSKY J.-C., RANGIN C., 2002. Le cadre de vie de l'homme conditionné par les phénomènes géologiques. *Géologie de la préhistoire* : 79-92.
- MONIN M., DESSAINT P., 2015. Le rempart de Lugdunum, *Abécédaire pour un archéologue lyonnais, Mélanges offerts à Armand Desbat* : 277-281.
- MONIN M. (dir.), 2004. Théâtre des Célestins, place des Célestins, Lyon 2^e, Document final de synthèse, Rapport déposé au Service Régional de l'Archéologie Rhône-Alpes, Lyon.
- MONIN M. (dir.), 2015. 1 place Abbé-Larue, Lyon 5^e, Rapport de fouille d'archéologie préventive, SAVL, DRAC-SRA Auvergne-Rhône-Alpes, Lyon, 2015, 3 volumes.
- MOOK W.G., TAN F.C., 1991. Stable carbon isotopes in rivers and estuaries. In DEGENS, E. T., KEMPE, S., RICHIE, J. E., eds., *Biogeochemistry of Major World Rivers*. SCOPE Report 42. New York, John Wiley & Sons : 245-264.

- MOUTHON J., 1982. Les mollusques dulcicoles-Données biologiques et écologiques-Clés de détermination des principaux genres de bivalves et de gastéropodes de France. *Bulletin Français de Pisciculture* : 1-27.
- MOUTHON J., 2001. Life cycle and population dynamics of the Asiatic clam *Corbicula fluminea* (Bivalvia: *Corbiculidae*) in Saône River at Lyon (France). *Hydrobiologia*, 452, 109-119.
- MOUTHON J., 2004. Life cycle of *Musculium lacustre* (Bivalvia : *Sphaeriidae*) in the Saône river at Lyon (France) : a curious life strategy. *Annales de Limnologie – International Journal of Limnology*, 40, (4) : 279-284.
- MOUTHON J. 2007. *Lithoglyphus naticoides* (Pfeiffer) (Gastropoda: *Prosobranchia*): distribution in France, population dynamics and life cycle in the Saône river at Lyon (France). *Annales de Limnologie – International Journal of Limnology*, 43, 53-59.
- MOUTHON J., DAUFRESNE M., 2008. Population dynamics and life cycle of *Pisidium amnicum* (Müller) (Bivalvia : *Sphaeriidae*) and *Valvata piscinalis* (Müller) (Gastropoda : *Prosobranchia*) in the Saône river, a nine-year study. *Annales de Limnologie – International Journal of Limnology*, 44, (4) : 241-251.
- NUSSBAUMER S.U., ZUMBÜHL H.J., STEINER D., 2007. Fluctuations of the Mer de Glace (Mont Blanc area, France) AD 1500-2050. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, 40 : 5-175.
- PARADIN DE CUISEUX G., 1573. Mémoires de l'histoire de Lyon. Lyon, Antoine Gryphius (eds).
- PARDÉ M., 1925a. Le régime du Rhône. *Revue de géographie alpine*, 13, (3) : 459-547.
- PARDÉ M., 1925 b. Le régime du Rhône, *Etude hydrologique*, Université de Lyon, Institut des Etudes Rhodaniennes.
- PARDÉ M., 1942. Quelques nouveautés sur le régime du Rhône (erratum et addendum à un gros ouvrage), *Mémoires et documents de l'Institut des Etudes Rhodaniennes de l'Université de Lyon*, 1, (8).
- PATTERSON W.P., DIETRICH K., HOLMDEN C., ANDREWS J., 2010. Two millennia of North Atlantic seasonality and implications for Norse colonies. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107, 12, 5306-5310.
- PELLETIER A., ROSSIAUD J., BAYARD F., CAYEZ P., 2007. *Histoire de Lyon : des origines à nos jours*, Lyon, Éditions lyonnaises d'art et d'histoire.
- PÉRICAUD A., 1835. Un procès au sujet d'une Débâcle des Glaces de la Saône en 1608. *Revue du Lyonnais*, 1, (1) : 15-19.
- POIREL A., LAUTERS F., DESAINT B., 2008. 1977-2006 : Trente années de mesures des températures de l'eau dans le Bassin du Rhône. *Hydroécologie Appliquée*, 16 : 191-213.
- REYNAUD J.-F., GAILLOT, S., TRONCHÈRE H., 2017. Le premier pont sur la Saône à Lyon du III^e au VI^e siècle, *Revue Archéologique de l'Est*, 66 : 403-408.
- RICKEN, W. STEUBER T., FREITAG H., HIRSCHFELD M., NIEDENZU B., 2003. Recent and historical discharge of a large European river system—Oxygen isotopic composition of river water and skeletal aragonite of *Unionidae* in the Rhine. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 193, (1) : 73-86.
- RUBELLIN M., 2007. Lyon au temps carolingiens. In PELLETIER (dir.). *Histoire de Lyon : des origines à nos jours*, Lyon, Éditions lyonnaises d'art et d'histoire : 148-163.
- RUBINSON, M., CLAYTON R.N., 1969. Carbon-13 fractionations between aragonite and calcite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 33 : 997-1002.
- DE RUBY C., 1604. *Histoire véritable de la ville de Lyon*. Lyon, Bonaventura eds.
- SALVADOR P.-G., VÉROT-BOURRÉLY A., BRAVARD J.-P., FRANC O., MACÉ S., 2002. Les crues du Rhône à l'époque gallo-romaine dans la région Lyonnaise. In BRAVARD J.-P., MAGNY M. (dir.), *Histoire des rivières et des lacs de Lascaux à nos jours*, Paris, Errance : 215-221.
- SCHÖNE B. R., DUNCA E., MUTVEI H., NORLUND U., 2004. A 217- year record of summer air temperature reconstructed from freshwater pearl mussels (*M. margaritifera*, Sweden). *Quaternary Science Reviews*, 23 : 1803-1816.
- TACHET H., 2002. La Saône : les invertébrés témoins de leur environnement. In BRAVARD J.-P., COMBIER J., COMMERÇON N., *La Saône, axe de civilisation*. Presses Universitaires de Lyon : 295-300.
- TACHET H., GASCHIGNARD-FOSSATI O., CELLOT B., BERLY A., 1988. Le macrobenthos de la Saône. *Annales de Limnologie*, 24, (1) : 83-100
- TERME J.-F., 1841. Rapport sur l'inondation de 1840 présenté par le maire de la ville de Lyon à M. le préfet du Rhône, Lyon, imp. Charvin et Nigon.
- TRANOY L., AYALA G., 1994. Les pentes de la Croix-Rousse à Lyon dans l'Antiquité. État des connaissances. *Gallia*, 51 : 171-189.
- TUCKER M., WRIGHT V., 1994. *Carbonate sedimentology*. Blackwell Scientific Publications.
- TURNER C., 1982. Kinetic fractionation of carbon-13 during calcium carbonate precipitation. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 46 : 1183-1191.
- VALENTIN-SMITH M., 1852. Monographie de la Saône. In *La Revue du Lyonnais*, Lyon, Imp. Léon Boitel.
- VANARIO M., 1990. *Les rues de Lyon à travers les siècles (XIV^e au XXI^e siècle)*. Lyon, Eds Lyonnaises d'art et d'histoire.
- VÉROT-BOURRÉLY A., FRANC O., 2008. Maîtrise du Rhône et de la Saône à Lugdunum au début de l'Antiquité, La conquête des terres basses inondables. *Archéopages*, 23, Rives et riverains : 28-33
- VÉROT-BOURRÉLY A., ARGANT J., BOUBY L., LATOUR-ARGANT C., MARTIN S., 2010. Évolution d'un paysage de confluence de la Protohistoire à l'époque gallo-romaine : géomorphologie

- et paléoenvironnement du site Parc Saint-Georges à Lyon (Rhône, France). *Quaternaire*, 21, (4) : 413-423.
- VERSTEEGH, E., TROELSTRA S., VONHOF H., KROON D., 2009. Oxygen isotopic composition of bivalve seasonal growth increments and ambient water in the rivers Rhine and Meuse. *Palaios*, 24, (8) : 497-504.
- WANAMAKER A.D., KREUTZ K.J., BORNS H.W., INTRONE D.S., FEINDEL S., FUNDER S., RAWSON P.D., BARBER B.J., 2007. Experimental determination of salinity, temperature, growth, and metabolic effects on shell isotope chemistry of *Mytilus edulis* collected from Maine and Greenland. *Paleoceanography*, 22 : 1-12.