Chapitre 3.5
Détection indirecte d'événements démographiques majeurs en l'absence de sources écrites (France - VI^{e} –X^{e} siècles)
Application de la méthode d'inférence bayésienne pour l'estimation de l'âge au décès des adultes

Isabelle SÉGUY(1), Daniel COURGEAU(2),
Henri CAUSSINUS(3), Luc BUCHET(4)

(1) Institut national d'études démographiques (Ined), Campus Condorcet, Aubervilliers/CEPAM UMR 7264, Université Côte d'Azur, CNRS, Nice
(2) INED, Campus Condorcet, Aubervilliers,
(3) Institut de Mathématiques, Université Paul Sabatier, Toulouse,
(4) CEPAM (UMR 7264), Université Côte d'Azur/CNRS, Nice

1 Est-il possible de détecter des événements démographiques majeurs à partir de données ostéo-archéologiques ?

1.1 Problématique

D'après les textes et les travaux historiques, le très haut Moyen Age (époque mérovingienne, fin V^{e}-VII^{e} s.) correspond à une période troublée. La déprise agricole atteint son maximum au VI^{e} siècle, elle s'accompagne d'un déclin de la population (Devroey, 2003, 2009) et d'un remodelage profond du peuplement et de l'occupation du sol entre le VI^{e} et la fin du VII^{e} siècle. Les (rares) sources de l'époque rapportent des événements catastrophiques, ainsi que l'enchaînement d'épidémies hautement létales, de raids guerriers et de famines. Dans le courant du VII^{e} siècle, apparaissent les premiers signes de reprise des défrichements et de croissance économique, en même temps que les atteintes épidémiques semblent se faire moins fréquentes (Depreux, 2002 ; Devroey, 2009).

Cette série d'événements dramatiques a dû marquer les structures démographiques des populations mérovingiennes, mais est-il possible d'en détecter l'impact sur les populations en l'absence de sources écrites démographiquement exploitables ?

1.2 Des séries de squelettes issus de nécropoles du haut Moyen Âge

Plusieurs nécropoles du haut Moyen Âge, situées en France septentrionale (Figure 1), ont livré des larges séries[1] de squelettes quantitativement et qualitativement exploitables, c'est-à-dire pour lesquels une détermination du sexe et une estimation de l'âge sont possibles[2].

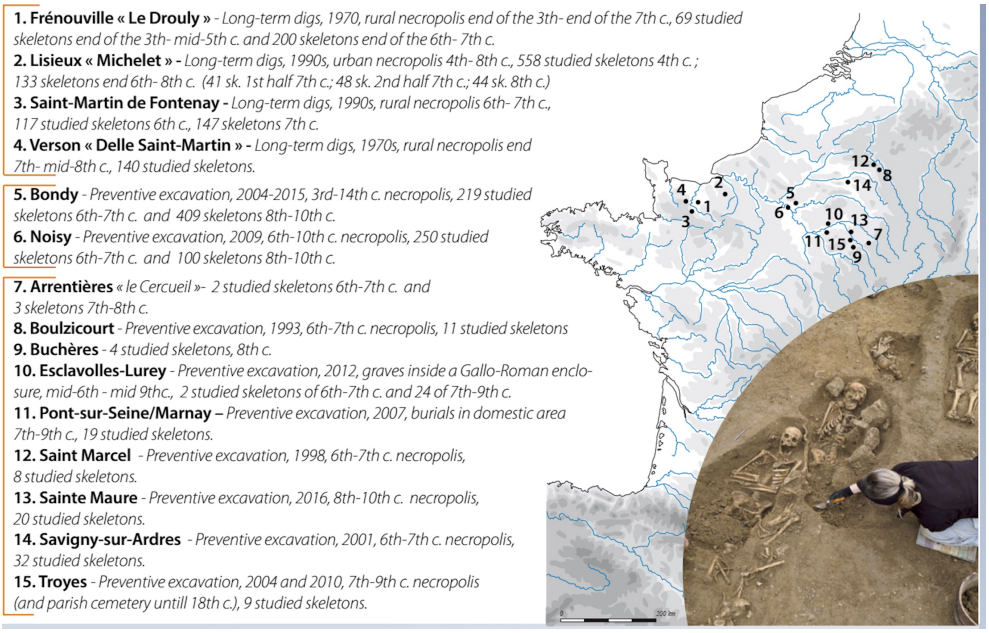


FIG. 1 : Localisation des sites archéologiques considérés dans cette étude et taille des échantillons*

[1] Dans ce contexte, le mot série est synonyme d'ensemble en cela qu'il n'implique pas un ordre naturel entre les différents squelettes.

[2] Détermination du sexe selon la méthode de Diagnose Sexuelle Probabiliste (DSP, Murail *et al.*, 2005) et estimation de l'âge à partir du degré d'oblitération des sutures crâniennes (Séguy & Buchet, 2011).

Nous considérons dans cette étude :

- Quatre nécropoles du haut Moyen Âge, situées en Normandie (Ouest de la France), qui ont été exhaustivement fouillées dans les années 1970 et 1990. Ces séries ont aussi l'avantage méthodologique d'avoir été étudiées par la même personne, ce qui élimine tous risques de différences dues à des erreurs inter-opérateurs lors des analyses comparatives.

- Deux ensembles régionaux du haut Moyen Age, issus de fouilles plus récentes en Ile-de-France et en Champagne, opérées en contexte préventif par l'INRAP. Les squelettes qui les composent proviennent de cimetières non exhaustivement fouillés ou de sépultures « isolées ». Ces séries présentent donc quelques limites : les observations ostéologiques ont été faites par différents opérateurs, leurs effectifs* sont faibles et le phasage chronologique reste imprécis tant que les études de sites* ne sont pas achevées.

2 Méthode statistique proposée

Estimer la distribution des âges au décès à partir des données* ostéo-archéologiques observées et des données de référence pose un problème statistique délicat, bien qu'il ait pu paraître relativement simple [3]. D'une part, la matrice de référence croisant les stades du marqueur biologique et l'âge calendaire d'un sujet montre une mauvaise corrélation*

$$C_z \sim \frac{K_Z.A^{z+a}}{\mu(E_0) + sin\theta.\mu(E_z)} \tag{3}$$

D'autre part, le petit nombre d'individus observés dans les collections de référence et, plus encore, le faible nombre de squelettes archéologiques étudiés exposent à de larges incertitudes* d'échantillonnage* (*cf* 3.2). Le paléodémographe dispose toutefois d'une information par la nature même de ce qu'il doit estimer : la structure par âges d'une population. C'est pour introduire cette information qu'une méthode bayésienne (*cf* 12) a été préconisée.

La méthode d'inférence bayésienne utilisée (Caussinus & Courgeau, 2010) [4] permet d'estimer efficacement cette distribution des âges au décès et toutes les fonctions de celle-ci (par exemple, l'âge moyen au décès), à partir de données ostéo-archéologiques prises sur la population adulte. Elle permet, en outre, d'évaluer de façon fiable la précision* des estimations obtenues. Elle part du principe que les probabilités qu'un individu*, pris au hasard dans la population étudiée, soit dans une classe d'âge donnée sont aléatoires, c'est-à-dire qu'elles sont susceptibles de prendre diverses valeurs,

[3] Nous invitons le lecteur à lire au préalable le chapitre 8 « Inférence statistique ».

[4] La méthode d'inférence bayésienne proposée par Henri Caussinus et Daniel Courgeau (2010) a été publiée sous sa forme initiale dans (Séguy et al., 2013 ; Séguy & Buchet, 2011), puis améliorée dans (Caussinus *et al.*, 2017) et appliquée sous cette dernière forme dans (Buchet *et al.*, 2017).

avec une certaine loi de probabilité, dite *a priori*. La loi *a priori** [5] exprime ce que l'on peut savoir -ou ignorer- sur les paramètres inconnus avant même que des données statistiques ne soient disponibles, qu'il s'agisse des données de référence ou des données chrono-biologiques recueillies sur les squelettes observés. Malgré leur caractère imprécis (aléatoire), ces données apportent une information que l'on utilise pour corriger la distribution *a priori* et aboutir à une distribution dite *a posteriori* puisqu'elle tient compte des observations faites pour le site étudié.

Cette distribution *a posteriori* donne une idée des probabilités pour chaque classe d'âge. Pour chacune, on peut prendre sa moyenne comme estimation ponctuelle (semblable au concept classique d'estimation) mais, au-delà, on peut prendre en compte sa dispersion, qui indique la précision de cette estimation. On obtient alors des intervalles de crédibilité*, analogues bayésiens des intervalles de confiance* classiques. De la loi *a posteriori* des probabilités de classes d'âge, on peut déduire la loi *a posteriori* de toute fonction de celles-ci, comme les probabilités de survie ou l'âge moyen au décès.

3 Informations obtenues et interprétations

3.1 Une situation de crise dès le très haut Moyen Âge en Normandie[6]

La restitution de la structure par âges au décès dans la série de nécropoles normandes laisse apparaitre les traces d'une ou plusieurs crises impactant fortement les populations entre la fin du VI^{e} s. et la fin du VII^{e} s, comparativement à la période précédente (IV^{e}-V^{e} s.), comme le met en évidence la figure 2a pour le site de Frénouville.

L'âge moyen au décès, estimé pour la population ayant atteint l'âge adulte, est en net recul aux VI^{e}-VII^{e} siècles par rapport à la période précédente, il est respectivement de 42,34 et de 52,78 ans. Ce recul est significatif comme le montrent les densités* *a posteriori* (figure 2b) ; la probabilité *a posteriori* que cet âge soit inférieur dans la seconde période s'élève à 0,997.

Cela confirme les difficultés relatées par les chroniqueurs et les historiens. L'impact des crises subies par ces populations se traduit par une surmortalité des jeunes adultes, dont il est intéressant de voir si elle dépend du sexe. La figure 2c montre les estimations par sexe pour l'ensemble des quatre sites normands. On voit une légère surmortalité des hommes entre 18 et 54 ans. Les densités *a posteriori* de l'âge moyen au décès sont fournies par la figure 2d qui confirme cette tendance.

[5] Le choix de la loi *a priori* des probabilités des diverses classes d'âges a été fait ici de la façon suivante :
– Comme il s'agit de la liste des probabilités de chaque classe d'âges, on est parti de la préconisation de nature mathématique qui retient une loi dite de Dirichlet.
– Cette loi a été centrée sur le « standard préindustriel », moyenne* des diverses structures possibles, et son indice* de dispersion* a été fixé sur deux bases : une (plus théorique) exprime la proximité de la distribution avec la répartition uniforme (pas d'information de ce point de vue), une (plus pratique, par simulation) montrant que le choix retenu est efficace pour un certain nombre de cas pratiques (Caussinus & Courgeau, 2010).
– Finalement, on a cherché à exprimer que, si la mortalité peut être plus ou moins forte selon l'âge, elle n'évolue pas néanmoins trop rapidement d'un âge à l'autre, ce qui a conduit en (Caussinus *et al.*, 2017) à un lissage de la loi obtenue ci-dessus (cf. 12.6).

[6] Buchet *et al.*, 2017.

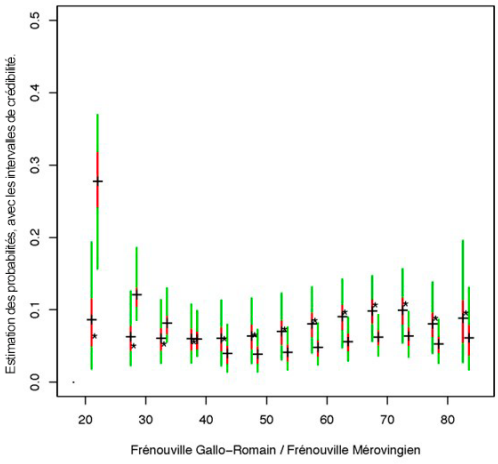


Figure 2 a)

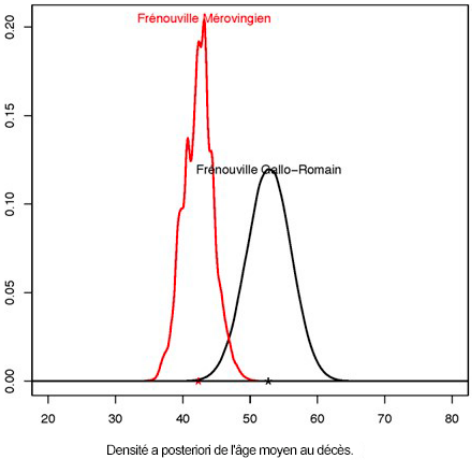


Figure 2 b)

FIG. 2 : Paramètres de la mortalité par âges observée sur différents sites normands (Calvados, époques gallo-romaine et mérovingienne).
Légende 2a. Estimation de la structure par âges pour le site de Frénouville, époques gallo-romaine (à gauche) et mérovingienne (à droite), avec des intervalles de crédibilité de 50% (rouge) et de 95% (vert). Les astérisques rappellent le standard préindustriel.
Légende 2b. Densités a posteriori de l'âge moyen au décès à Frénouville pour la période gallo-romaine (noir) et la période mérovingienne (rouge). Les étoiles désignent la valeur centrale (moyenne) de chaque distribution.

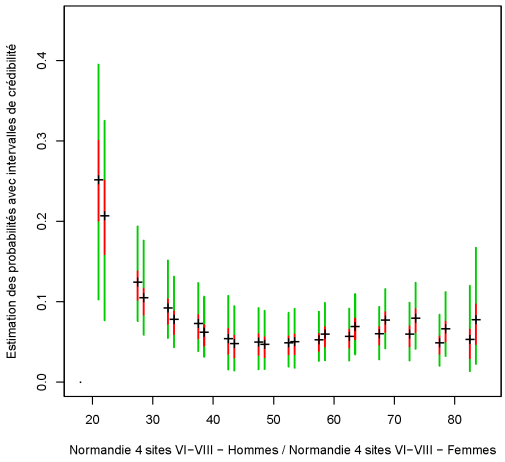


Figure 2 c)

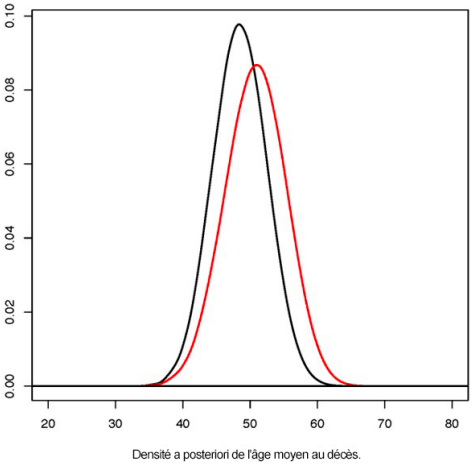


Figure 2 d)

FIG. 3 : *Légende 2c.* Estimation de la structure par âges des quatre sites normands (VIe-VIIe s.), à gauche pour la population masculine ; à droite la population féminine, avec des intervalles de crédibilité de 50% (rouge) et de 95% (vert). Les astérisques rappellent le standard préindustriel.
- On note une certaine surmortalité des jeunes par rapport au standard de mortalité des populations préindustrielles (Séguy & Buchet, 2011), légèrement plus marquée chez les hommes que chez les femmes. La différence entre les deux sexes est cependant faible ; elle peut mieux se voir sur un paramètre plus synthétique, comme l'âge moyen au décès.
Légende 2d. Densités a posteriori de l'âge moyen au décès pour les hommes (noir) et les femmes (rouge) dans les quatre sites normands. Une éventuelle différence Hommes/Femmes est maintenant plus sensible. Cependant la probabilité a posteriori que l'âge moyen au décès soit plus faible pour les hommes que pour les femmes est seulement de 0,648 ; ce qui donne une indication sans toutefois permettre d'affirmer la matérialité de ce fait.

3.2 Une situation qui se dégrade au VIII^{e}-XI^{e} siècle en Ile-de France et en Champagne-Ardenne, et des difficultés qui perdurent tout au long du haut Moyen Âge en Normandie

Rien de comparable n'est observé dans les nécropoles franciliennes et champenoises des VI^{e}-VII^{e} siècles (figure 3). L'âge moyen au décès calculé pour les trois ensembles régionaux montre que la mortalité est nettement plus élevée en Normandie qu'en Île de-France et en Champagne-Ardenne aux VI^{e}-VII^{e} siècles. Ce n'est que plus tard, à l'époque carolingienne, que l'âge moyen au décès recule en Île de-France et en Champagne-Ardenne, suggérant que les crises démographiques, engendrées par des famines, des instabilités politiques et des épidémies, ont pu y survenir avec un décalage chronologique de près d'un siècle. En revanche, la situation est très différente en Normandie, où les âges moyens au décès sont quasiment égaux dans les deux périodes (du même ordre que ceux des deux autres régions dans la seconde période), traduisant sans doute la persistance de difficultés impactant la démographie.

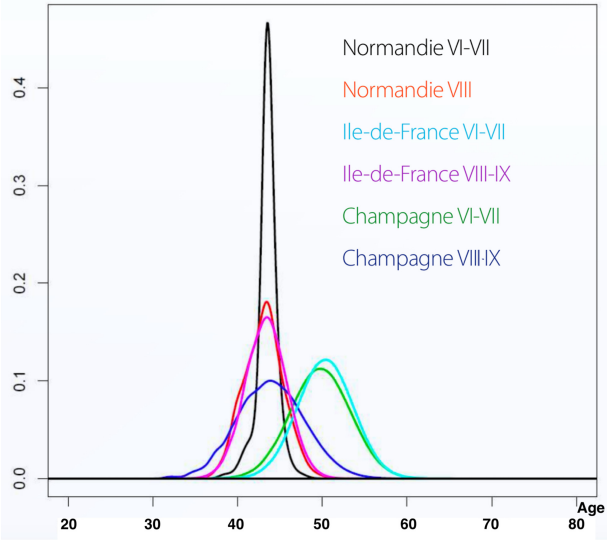


FIG. 4 : Densités *a posteriori* de l'âge moyen au décès, sexes réunis, dans les trois régions (Normandie, Ile de France, Champagne-Ardenne) et pour les deux périodes chronologiques considérées (VIe-VIIe et VIIe-IXe siècles).
Légende : Le caractère plus ou moins pointu des diverses densités est lié à la taille des échantillons dont on dispose, qui conditionne la précision de l'estimation. Cela posé, les âges moyens sont très voisins en Champagne-Ardenne et en Ile-de-France pour une même période, alors qu'ils diffèrent sensiblement d'une période à l'autre sur chacun de ces deux ensembles régionaux ; la situation apparaissant nettement plus difficile à la période carolingienne (fin VII^{e}/début VIII^{e} au X^{e} siècle). Il est d'ailleurs possible de quantifier ces différences :
- la probabilité *a posteriori* que l'âge moyen au décès soit plus élevé à l'époque carolingienne qu'il ne l'est à l'époque mérovingienne est de 0,96 en Île de France et de 0,86 en Champagne ;
- alors que la probabilité *a posteriori* que ce paramètre soit plus élevé en Île-de-France qu'en Champagne est de 0,548 pour le VI^{e}-VII^{e} et de 0,452 pour le VIII^{e}-IX^{e}. Rappelons qu'a priori ces probabilités sont égales à 0,5 ; les valeurs observées en diffèrent donc très peu.

3.3 Un essai de vérification sur des événements ponctuels, plus récents et bien documentés

À la question de savoir si un abaissement significatif de l'âge moyen au décès des adultes peut être relié à une forte péjoration des conditions de vie, il est possible d'apporter une réponse très parlante en analysant des données de l'histoire récente, avec les mêmes paramètres que ci-dessus. À partir des données issues de la statistique des décès en France (Vallin & Meslé, 2001), nous avons calculé la structure par âges au décès et l'âge moyen au décès de la population française à deux moments forts de son histoire : avant et durant les deux guerres mondiales.

Les effets des deux guerres mondiales et de l'épidémie de grippe espagnole (1918-1919) sont clairement visibles dans la mortalité des jeunes hommes -surtout entre 18 et 39 ans- au cours de la période 1914-1945 (figure 4), et dans l'âge moyen au décès de la population masculine, qui diminue de manière significative au cours de la deuxième période (tableau 1).

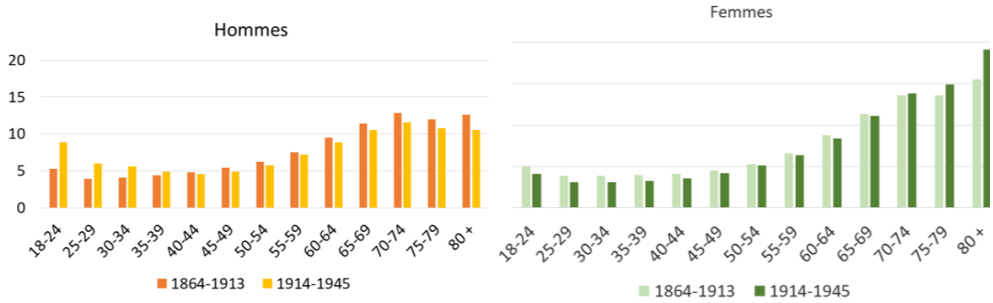


Fig. 5 : Distribution* des décès par âge sur deux périodes d'un demi-siècle environ, calculée à partir des statistiques des décès annuels produits par l'INSEE et des données fournies par Vallin, Meslé (Vallin & Meslé, 2001).

Tab. 1 : Âges moyens au décès des hommes et des femmes avant et durant les deux guerres mondiales.

Age moyen au décès	1864-1913	1914-1945
Hommes	60.47	57.06
Femmes	61.19	64.45

Considérer de tels événements démographiques majeurs, encore présents dans la mémoire collective, sous le même angle d'approche que les populations archéologiques inhumées, permet de mieux réaliser combien les guerres et les épidémies peuvent affecter les structures et les comportements démographiques apparents des populations, et d'en mesurer l'impact jusque sur un paramètre aussi synthétique de la mortalité que constitue l'âge moyen au décès. Cette approche a aussi le mérite d'offrir des modèles explicatifs plausibles quant aux phénomènes observés dans ces séries ostéologiques.

4 Conclusions et perspectives

Cette étude révèle[7], d'une part, que la basse Normandie a subi une série de crises démographiques à fort impact à la fin de l'époque mérovingienne, perdurant vraisemblablement à l'époque carolingienne, qui se traduisent sous la forme d'une surmortalité chez les hommes jeunes. Et, d'autre part, que les régions plus orientales, Ile-de-France et Champagne-Ardenne, ne semblent pas connaitre les mêmes difficultés avant la fin VII^{e}-début VIII^{e} siècle. Toutefois ces résultats demeurent provisoires car intrinsèquement dépendants de la qualité des échantillons étudiés. Le décalage chronologique apparent peut résulter d'une temporalité des événements réellement différente, ou bien des limites des échantillons régionaux, précédemment signalées.

Améliorer la qualité de l'information ostéo-archéologique des sites d'Ile-de-France et de Champagne-Ardenne et élargir l'observation à d'autres régions de France permettra de confirmer ou de nuancer ces premières conclusions.

La méthode d'inférence bayésienne permet, entre autres, de rendre compte d'événements démographiques survenus dans des populations n'ayant pas ou peu laissé de témoignages écrits. Les larges corpus fournis par l'archéologie funéraire sont autant de sources pour explorer la démographie de ces populations, dans le temps long.

Ce texte a été réalisé avec la collaboration de ***Cyrille Le Forestier*** *INRAP, Centre-Ile-de France ;* ***Cécile Paresys****, INRAP, Grand-Est ; CEPAM (UMR 7264), Université Côte d'Azur/CNRS, Nice ;* ***Isabelle Richard****, INRAP, Grand-Est ; CEPAM (UMR 7264), Université Côte d'Azur/CNRS, Nice*

5 Annexe – Détails et références des sites archéologiques

5.1 Sites de Champagne-Ardenne

Esclavolles-Lurey – Fouille préventive, 2012, sépultures à l'intérieur d'un enclos gallo-romain, milieu du VIe au milieu du IXe s., 2 squelettes VIe-VIIe s et 24 squelettes étudiés VIIe-IXe s. Rémy A. (dir), 2016 – *Esclavolles-Lurey, Marne « La Pièce de Bëcheret ». Installations funéraires et domestiques de l'âge du Bronze au haut Moyen Âge à Esclavolles-Lurey*, Rapport final d'opération, Châlons-en-Champagne, Inrap, 3 vol.

Savigny-sur-Ardres – Fouille préventive, 2001, nécropole des Ve-VIIe s., 32 squelettes étudiés. Paresys C. (dir.), 2010 – *Savigny-sur-Ardres (Marne), « La Croix cassée », fouille d'un cimetière mérovingien*, Rapport final d'opération, Châlons-en-Champagne, Inrap, 2 vol.

Boulzicourt – Fouille préventive, 1993, nécropole des VIe-VIIe s., 11 squelettes étudiés. Bazelaire M, Billoin D., 1994 – *Les sites de « Bétenval » à Boulzicourt (Ardennes), VIe-IXe siècles*, Document final de synthèse de sauvetage urgent, Châlons-en-Champagne, Afan.

[7] Nous considérons que les résultats obtenus ont une portée régionale, en acceptant l'hypothèse que les informations fournies par nos échantillons de sites sont proches de celles qu'on obtiendrait en élargissant l'observation.

Saint Marcel – Fouille préventive, 1998, nécropole des VIe-VIIe s., 8 squelettes étudiés. Desbrosse-Degobertière S., Bonnabel L. (dir.) 2010 – *Saint Marcel « Village » (Ardennes). 17 nouvelles tombes mérovingiennes découvertes à Saint Marcel*, Rapport final d'opération, Châlons-en-Champagne, Inrap

Sainte Maure – Fouille préventive, 2016, nécropole des VIIIe-Xe s., 20 squelettes étudiés. Chauvin S. (dir.) 2017 – *Sainte Maure « Culoison » (Aube). Espaces structurés au Bronze final/Hallstatt D1 et au haut Moyen-âge*, Rapport final d'opération, Châlons-en-Champagne, Inrap, 2 vol

Troyes – Fouille préventive, 2004 et 2010, nécropole des VIIe-IXe s. (et cimetière paroissial jusqu'au XVIIIe s.), 9 squelettes étudiés. Roms C., Kuchler P. (dir.) 2011 – *Troyes « Place de la Libération » (Aube). Formation et développement d'un espace urbain de l'Antiquité à nos jours*, Rapport final d'opération, Châlons-en- Champagne, Inrap, 6 vol.

Pont-sur-Seine/Marnay – Fouille préventive, 2007, sépultures en zone domestique des VIIe-IXe s., 19 squelettes étudiés. Marchaisseau V. (dir.), 2010 – *Marnay/Pont-sur-Seine (Aube) « la Gravière », un habitat à vocation agricole de la fin du haut Moyen Age*, rapport final d'opération, Châlons-en-Champagne, INRAP, service régional de l'Archéologique, 3 vol.

Arrentières « le Cercueil » – 2 squelettes VIe-VIIe s et 3 squelettes des VIIe-VIIIe s. Desbrosse-Degobertière S., Bonnabel L., 2010 – *Arrentières (Aube) "Le Cercueil" : vestiges d'une nécropole mérovingienne*, rapport final d'opération, Metz, Inrap GEN.

Buchères – 4 squelettes du VIIIe s. Riquier V., Grisard J., 2014 – *Buchères, Moussey, St-Léger-près-Troyes (Aube), Parc Logistique de l'Aube ; l'évolution d'un terroir dans la plaine de Troyes, I et II : campagnes de fouille 2005 et 2006*, rapport final d'opération, Metz, Inrap GEN (8 vol.).

5.2 Sites d'Ile-de-France

Noisy-le-Grand – Fouille préventive, 2009, nécropole des VIe-Xe s., 250 squelettes VIe-VIIe s et 100 squelettes des VIIIe-Xe s. Le Forestier (C.) 2012 – *Noisy-le-Grand (Seine-Saint-Denis), « 4, rue des Mastraits »,* rapport de fouille, Inrap Centre – Île-de-France et Bureau du Patrimoine Archéologique de Seine-Saint-Denis.

Bondy – Fouille préventive, 2004-2015, nécropole et cimetière paroissial des IIIe-XIVe s., 219 squelettes VIe-VIIe s et 409 squelettes des VIIIe-Xe s. Le Forestier (C.) 2017 – *Bondy (Seine-Saint-Denis), « Quartier De Lattre de Tassigny et rue Jules Guesde »,* rapport de fouille, Inrap Centre – Île-de-France et Bureau du Patrimoine Archéologique de Seine-Saint-Denis.

5.3 Sites de Normandie

Frénouville « Le Drouly » – Fouille programmée, 1970, nécropole rurale de fin du IIIe-fin du VIIe siècle, 69 squelettes étudié fin IIIe-milieu Ve s et 200 squelettes de la fin Ve-VIIe s. Pilet, C. (1980). La nécropole de Frénouville. *B.A.R., International Series*,

83, Oxford, 3 vol. Buchet, L. (1978). La nécropole gallo-romaine et mérovingienne de Frénouville (Calvados). Étude anthropologique. *Archéologie Médiévale*, VIII, 5-53.

Lisieux « Michelet » – Fouille programmée, années 1990, sépultures urbaines des IVe-VIIIe s., 558 squelettes du IVe s., 133 squelettes de la fin VIe-VIIIe s. (41 sq. attribuables à la 1ere moitié VIIe s. ; 48 sq. à la 2de moitié VIIe s. ; et 44 sq. au VIIIe s.). Paillard D., Buchet L., Alduc-Le Bagousse A. (2006). Nombre d'inhumés, nombre d'habitants. Estimations archéologiques et anthropologiques : Lisieux Calvados, IVe s de notre ère. In : Buchet L., Dauphin C., Séguy I. (dir.), La paléodémographie. *Mémoire d'os, mémoire d'hommes*, APDCA éd, Antibes, pp 209-223.

Verson « Delle Saint-Martin » – Fouille programmée, années 1970, nécropole rurale de fin VIIe siècle – milieu VIIIe, 140 squelettes étudiés. Lemière J., Levalet D. (1980). Saint-Martin-de-Verson (Calvados), nécropole des VIIe et VIIIe siècles, *Archéologie Médiévale*, X, pp 59-104 Alduc-Le Bagousse A. (1980). Contribution à l'étude des populations médiévales de Basse-Normandie : anthropologie du cimetière mérovingien de Verson (Calvados), Thèse pour le Doctorat de 3^{e} cycle, Univ Caen

Saint-Martin de Fontenay – Fouille programmée, années 1990, nécropole rurale des VIe-VIIe s., 117 squelettes du VIe s. et 147 du VIIe s. Pilet C. (Dir.), Alduc-Le Bagousse A., Buchet L. *et al.* (1994). La nécropole de Saint-Martin-de-Fontenay (Calvados). Recherches sur le peuplement de la plaine de Caen du Ve s. avant J.-C. au VIIe s. après J.-C. *Gallia*, 54^{e} supplément.

En résumé :

- Importance de l'hypothèse d'uniformité biologique, en d'autres termes : les données de référence sont-elles adéquates ?
- Avoir à l'esprit le principe d'une méthode bayésienne : les données observées sur un site corrigent la distribution *a priori*, qui est centrée sur le standard de mortalité préindustriel. Cette correction est d'autant plus drastique que les comportements de mortalité du site sont plus éloignés du schéma-standard, mais aussi que l'effectif de squelettes observés est plus grand.
- Dans tous les cas, les estimations doivent être assorties de leur marge d'incertitude, qui sera d'autant plus large que les données sont peu nombreuses.
- La méthode permet des comparaisons entre sexes, entre sites, entre périodes. La pertinence des comparaisons peut être évaluée au moyen des marges d'incertitude calculées.