

Rapport final du groupe de travail sur la mise en place de protocoles de prélèvements et d'analyses sur l'os humain ainsi que sur la conservation des échantillons (PAOHCE)

coordonné par Cyrille Billard, Iris Boh, Anne Chaillou,
Philippe Chambon, Christian Cribellier

Ce rapport présente les conclusions des échanges des membres du groupe de travail PAOHCE.

Il a vocation à aider à la définition de bonnes pratiques pour la réalisation des prélèvements et d'analyses sur l'os humain dans les meilleures conditions, ainsi qu'à la mise en œuvre des procédures administratives permettant d'assurer une meilleure gestion des demandes de prélèvements et d'analyses et leur suivi.

Ces procédures seront diffusées aux services de l'État en charge de l'instruction de ces dossiers par une note du directeur général des patrimoines et de l'architecture.

Liste des membres du groupe de travail

Adalian Pascal : PU, Aix-Marseille Université, UMR 7268 ADES, Marseille

Ardagna Yann : ingénieur Aix-Marseille Université, Co-gestionnaire des collections anthropologiques de l'ostéothèque régionale DRAC-PACA, UMR 7268 ADES, Marseille

Billard Cyrille : conservateur régional de l'archéologie adjoint, DRAC Normandie, service régional de l'Archéologie de Normandie

Bizot Bruno : conservateur du patrimoine, service régional de l'Archéologie PACA, Co-gestionnaire des collections anthropologiques de l'ostéothèque régionale DRAC-PACA, Aix-en-Provence

Blin Arnaud : chef du bureau des Opérations et des Opérateurs archéologiques, sous-direction de l'Archéologie, service du Patrimoine, direction générale des patrimoines et de l'architecture, ministère de la Culture.

Boh Iris : adjointe au sous-directeur de l'Archéologie en charge des questions juridiques, sous-direction de l'Archéologie, service du Patrimoine, direction générale des patrimoines et de l'architecture, ministère de la Culture.

Bon Céline : MCF, MNHN, UMR 7206 Eco-Anthropologie (Anthropologie Génétique), Paris

Bonnissent Dominique : conservatrice régionale de l'archéologie de Guadeloupe, Saint-Barthélemy et Saint-Martin, DAC de Guadeloupe, UMR 8096 ArchAm

Chaillou Anne : bureau du Patrimoine archéologique, sous-direction de l'Archéologie, service du Patrimoine, direction générale des patrimoines et de l'architecture, ministère de la Culture, en charge de la coordination des chantiers méthodologiques pour la gestion des données scientifiques de l'archéologie

Chambon Philippe : DR CNRS, UMR 7206 –Eco-Anthropologie, Paris

Chapelain de Seréville-Niel Cécile : ingénieure de recherche, archéoanthropologue, CNRS, Craham, UMR 6273 CNRS-Unicaen, université Caen Normandie, responsable du service d'Archéoanthropologie

Cottiaux Richard : directeur scientifique et technique adjoint en charge de l'activité opérationnelle et des méthodes, INRAP Paris

Courtaud Patrice : Ingénieur de recherche CNRS, UMR 5199 PACEA, Bordeaux

Cribellier Christian : adjoint au sous-directeur de l'Archéologie en charge des questions scientifiques, sous-direction de l'Archéologie, service du Patrimoine, direction générale des patrimoines et de l'architecture, ministère de la Culture.

Deguilloux Marie-France : Université de Bordeaux, UMR 5199 PACEA, Bordeaux

Geigl Eva Maria : DR CNRS, UMR 7592 Institut Jacques Monod, Paris

Herrscher Estelle : DR CNRS, UMR 7569 LAMPEA, Aix-en-Provence

Jaouen Klervia : CR CNRS, UMR 5563 Géosciences Environnement, Toulouse

Le Coz Pierre : MCF Aix-Marseille Université, UMR 7268 ADES, Marseille

Leroy Murielle : inspectrice des patrimoines, collège archéologie, délégation à l'inspection, la recherche et l'innovation, direction générale des patrimoines et de l'architecture, ministère de la culture

Munsch Isabelle : Gestionnaire des archives du sol, Service archéologique de la Ville de Lyon

Oberlin Christine : Ingénieur de recherche CNRS, UMR 5138 ArAr, Archéologie et Archéométrie, responsable du Centre de Datation par le Radiocarbone, Villeurbanne

Pain Silvia : : Conservatrice-restauratrice d'objets archéologiques, Service archéologique interdépartemental Yvelines-Hauts-de-Seine

Seguin-Orlando Andaine : MCF, Centre d'Anthropobiologie et de Génomique de Toulouse, UMR 5288, Toulouse

Verdu Paul : CR CNRS, UMR 7206 Eco-Anthropologie, Paris

Wermuth Elodie : Responsable d'opération et archéo-anthropologue, Bureau d'étude EVEHA, UMR 7268 ADES

Table des matières

Introduction

1. La notion de vestiges anthropobiologiques : de l'ossement à la molécule

2. Aspects éthiques et juridiques concernant le prélèvement, la conservation et l'exploitation des vestiges anthropobiologiques

2.1. Cadre juridique applicable aux vestiges anthropobiologiques mis au jour en contexte archéologique

2.1.1. Le statut des vestiges anthropobiologiques dans le Code du patrimoine

2.1.2. Le recours au Code civil

2.2. Recommandations éthiques visant la conservation, l'étude et la recherche sur des vestiges anthropobiologiques provenant d'opérations archéologiques

2.2.1. Des vestiges, objets d'études et de recherche

2.2.2. Des vestiges soumis au principe du respect dû au corps humain

2.2.3. Impact des conventions internationales (déclaration d'Helsinki, protocole de Nagoya)

2.3. Recommandations et charte de déontologie dans la manipulation des vestiges anthropobiologiques

2.3.1. Préconisations de la sous-direction de l'Archéologie du ministère de la Culture quant au statut des vestiges anthropobiologiques

2.3.2. Convention de mise à disposition des vestiges anthropobiologiques au profit d'un chercheur

2.3.3. Charte de déontologie

3. De la collecte sur le terrain à la demande d'analyse

3.1. Les différents types d'analyse

3.1.1. Analyse invasive vs analyse non-invasive

3.1.2. Les analyses destructrices

3.1.3. Quels os/quels tissus squelettiques pour quelles analyses ?

3.2. Contraintes liées aux études, et cas spécifique de la paléogénétique

3.2.1. Les traitements pendant l'opération archéologique : un frein possible

3.2.2. Les contaminations dues au milieu

3.2.3. Les différentes difficultés rencontrées lors des analyses paléogénétiques

3.2.4. Protocole de prélèvement de VAB destinés à l'analyse paléogénétique

3.3. Les mesures de sauvegarde avant destruction

3.3.1. Quelle information préserver, et dans quel but ?

3.3.2. Possibilités théoriques et moyens pratiques, évolutions

4. L'exploitation scientifique des vestiges anthropobiologiques

4.1. Le projet de recherche : portage et composition

4.1.1. Le portage du projet de recherche

4.1.2. La composition du projet de recherche

4.2. L'évaluation scientifique du projet de recherche

4.2.1. La commission territoriale de la Recherche archéologique

4.2.2. Les types de projets nécessitant une expertise

4.2.3. L'expertise en question

4.2.4. Les critères d'évaluation des projets de recherche

4.3. La convention de mise à disposition et la temporalité

4.3.1. Contenu de la convention de mise à disposition

4.3.2. La prise en compte de la temporalité

4.4. La restitution des résultats

4.4.1. Le contenu du rapport d'analyses

4.4.2. Mise à disposition et communication des résultats

4.4.3. La gestion des reliquats ou des produits intermédiaires d'échantillons

4.4.4. Documentation des analyses dans l'inventaire de gestion des données scientifiques de l'archéologie

5. En guise de conclusion : bilan et propositions

Liste des annexes

Glossaire

Bibliographie sélective

Annexes

Introduction

L'implication toujours plus forte des disciplines issues de la physique, chimie ou biologie dans l'analyse des documents archéologiques permet des avancées considérables dans la connaissance du passé. Cependant, à la différence des études les plus classiques, il s'agit souvent d'analyses invasives, qui nécessitent la destruction d'un matériau pour être menées à bien. La demande est aujourd'hui telle qu'elle fait peser un risque sur les vestiges eux-mêmes. Si tous les témoins matériels issus de l'archéologie sont concernés par une telle évolution, les vestiges anthropobiologiques en représentent un cas extrême, en raison du nombre d'analyses qu'ils suscitent d'une part, et de leur statut particulier d'autre part.

Stimulées par une forte concurrence entre laboratoires, les analyses à partir de l'os humain connaissent actuellement un accroissement très important : les analyses paléogénétiques sont aujourd'hui les plus médiatisées, mais le panel comprend aussi les analyses isotopiques, protéomiques ou encore radiométriques. Les acquis de ces approches sont indiscutables et enrichissent considérablement notre vision des sociétés anciennes. Les restes humains anciens, quelles que soient leurs origines, offrent donc un fort potentiel d'exploitation.

Dans ce contexte, les gestionnaires de ces restes, qu'ils soient agents du ministère de la Culture, responsables d'opérations archéologiques ou d'autres structures (musées, laboratoires universitaires notamment), sont de plus en plus fréquemment confrontés à des demandes de mise à disposition d'ossements pour la réalisation d'analyses.

Ces demandes soulèvent en premier lieu des questions éthiques et juridiques, mais aussi de gestion d'une ressource limitée et non renouvelable. En effet, le mode de conservation de ces restes, que ce soit par les produits utilisés pour leur collecte et leur mise en état pour étude ou les conditions de stockage, joue un rôle non négligeable sur la faisabilité et la qualité des analyses. Enfin, les prélèvements sont souvent sollicités en dehors de toute reprise des contextes de fouilles et sans prendre en compte les problématiques de l'archéologie.

Au-delà de ces questions, il est important, dans le contexte actuel d'augmentation de la demande pour l'exploitation de cette ressource archéologique, de mettre en place un cadre afin de mieux instruire et contrôler ces demandes, et les normaliser. Ce cadre intervient en amont par la définition de critères clairs et communs sur le plan national pour la constitution des dossiers de projets de recherche, mais aussi en aval au niveau de la mise à disposition des données et des résultats.

En effet, on observe un décalage important entre une recherche institutionnelle menée dans un cadre international et l'évaluation des projets de recherche archéologique qui est conduite au sein des commissions territoriales de la Recherche archéologique (CTRA), dont les membres manquent de formation et d'expertise. Ce document fournira un guide dans l'instruction de ces dossiers qui ne constituent pas la matière habituelle soumise à ces commissions.

Ces questionnements ne sont certainement pas étrangers à la résistance de la communauté archéologique française face à la réalisation d'études pourtant prometteuses. Il apparaît aujourd'hui nécessaire de trouver un équilibre entre la promotion de ces recherches et la protection du patrimoine archéologique. Pour tenter de mettre en place des protocoles et des règles qui devraient présider à cette exploitation des vestiges anthropobiologiques, la sous-direction de l'Archéologie au sein du ministère de la Culture (service du Patrimoine, direction générale des Patrimoines et de l'Architecture) a constitué un groupe de travail ([liste page 2](#)) issu des différentes composantes de la communauté des chercheurs (anthropologues, archéologues, paléogénéticiens, « isotopistes » et autres spécialistes, gestionnaires de la recherche ou des vestiges anthropobiologiques), dont les travaux ont permis la rédaction du présent document.

Ce rapport présente les conclusions des échanges des membres du groupe de travail sur la mise en place de protocoles de prélèvements et d'analyses sur l'os humain ainsi que sur la conservation des échantillons (PAOHCE). Ce groupe a été constitué en 2019 par la sous-direction de l'Archéologie à la demande de la communauté scientifique et de services régionaux de l'Archéologie.

Il aborde dans un premier temps la notion de vestiges anthropobiologiques issus d'une intervention archéologique dans son ensemble – de l'os à la molécule d'ADN ou aux isotopes – ainsi que, dans le chapitre deux, les aspects éthiques et juridiques concernant le prélèvement, la conservation et l'exploitation de ces vestiges.

Le troisième chapitre évoque les réflexions du groupe de travail sur les différents types d'analyses qui peuvent être menées, leurs besoins en termes d'éléments osseux et leurs contraintes. Il aborde aussi la collecte de ces restes et les contraintes spécifiques qui doivent être prises en compte tout au long de la chaîne opératoire de l'archéologie, c'est-à-dire de la collecte sur le terrain à la conservation pérenne de ces vestiges et prélèvements.

Le quatrième chapitre traite de l'exploitation scientifique des vestiges anthropobiologiques et, dans ce cadre, du portage et de la constitution d'un projet de recherche, de son évaluation scientifique ainsi que de la restitution des résultats.

Le rapport se conclut par une liste de propositions à mettre en œuvre pour pouvoir structurer les prélèvements et les analyses sur l'os humain ainsi que la conservation des échantillons pour une meilleure exploitation et conservation de la ressource.

1. La notion de vestiges anthropobiologiques : de l'ossement à la molécule

Les vestiges anthropobiologiques issus d'une intervention archéologique (VAB) sont des restes humains mis au jour lors d'une opération archéologique prescrite ou autorisée par l'État, ou encore découverts fortuitement, et ayant fait l'objet d'une déclaration au service régional de l'Archéologie ou au département des recherches archéologiques subaquatiques et sous-marines (Drassm) dans le cadre de l'application du livre V du Code du patrimoine. En ce sens, ils font partie des éléments du patrimoine archéologique, au même titre que les biens archéologiques mobiliers (artefacts, écofacts, biens culturels maritimes) et les biens archéologiques immobiliers mobilisés comme les mosaïques et peintures murales déposés et les éléments d'architecture démontés.

Les éléments du patrimoine archéologique sont très largement définis par l'article L. 510-1 du Code du patrimoine :

« Constituent des éléments du patrimoine archéologique tous les vestiges, biens et autres traces de l'existence de l'humanité, y compris le contexte dans lequel ils s'inscrivent, dont la sauvegarde et l'étude, notamment par des fouilles ou des découvertes, permettent de retracer le développement de l'histoire de l'humanité et de sa relation avec l'environnement naturel ».

L'article 1-III de l'arrêté du 7 février 2022 portant définition des données scientifiques de l'archéologie et de leurs conditions de bonne conservation¹ définit précisément les vestiges anthropobiologiques :

« Les vestiges anthropobiologiques sont des restes humains mis au jour lors d'une opération archéologique prescrite ou autorisée par l'Etat, ou encore découverts fortuitement, et ayant fait l'objet d'une déclaration au service régional de l'archéologie ou au département des recherches archéologiques subaquatiques et sous-marines dans le cadre de l'application du livre V du code du patrimoine.

Ils sont composés d'ossements humains isolés ou en connexion issus de structures funéraires, de couches sédimentaires, de remblais et ce, quel que soit le traitement funéraire rencontré ou le traitement des restes osseux ; de tissus éventuellement momifiés, ainsi que les phanères résiduels et les calcifications. Sont aussi considérés comme des vestiges anthropobiologiques, les prélèvements réalisés sur les restes osseux, les « vestiges para-ostéologiques », éléments prélevés obligatoirement en même temps que les ossements, ainsi que les prélèvements de sédiment réalisés autour des ossements. »

Le prélèvement réalisé sur un reste d'une personne décédée n'a pas davantage de spécificité juridique que tout autre reste humain : le prélèvement sur un reste humain, tout comme ses résidus après traitement/étude/analyse n'en demeure pas moins, dans le cadre d'une étude scientifique, un reste humain à part entière.

¹ Arrêté du 7 février 2022 portant définition des données scientifiques de l'archéologie et de leurs conditions de bonne conservation, NOR : MICC2137542A, publié au JORF n°0034 du 10 février 2022

2. Aspects éthiques et juridiques concernant le prélèvement, la conservation et l'exploitation des vestiges anthropobiologiques

À titre liminaire, il convient de préciser que les réflexions qui suivent ne s'appliquent pas aux restes humains conservés dans les collections muséales, qui relèvent du régime de la domanialité publique mobilière.

2.1. Cadre juridique applicable aux vestiges anthropobiologiques mis au jour en contexte archéologique

2.1.1. *Le statut des vestiges anthropobiologiques dans le Code du patrimoine*

Aucune des lois portant sur l'archéologie n'aborde la question des vestiges anthropobiologiques, que ce soit la loi de 1941², dite « loi Carcopino », celles de 2001³ et 2003⁴ relatives à l'archéologie préventive, ou la loi relative à la liberté de création, à l'architecture et au patrimoine⁵ de 2016 qui modifie pourtant en profondeur le statut de propriété des biens archéologiques mobiliers.

Toutefois, l'arrêté du 16 septembre 2004 portant sur les normes d'identification, d'inventaire, de classement et de conditionnement de la documentation scientifique et du mobilier issus des diagnostics et fouilles archéologiques (préventives) a tenté de déterminer un statut juridique aux vestiges anthropobiologiques sans pour autant les nommer explicitement. Cet arrêté a en effet créé la catégorie des matériaux naturels et de nature biologique. Sans qu'ils soient définis dans l'arrêté, ces matériaux se composent de tout ce qui n'est pas du mobilier archéologique, c'est-à-dire tout ce qui n'est pas objet transformé par l'homme : les vestiges anthropobiologiques sont par essence des matériaux naturels et biologiques. Ce ne sont donc pas des biens archéologiques mobiliers et le statut juridique des biens archéologiques mobiliers tel que défini par le livre V du Code du patrimoine ne leur est pas applicable.

2.1.2. *Le recours au Code civil*

Le Code du patrimoine ne fixant pas de statut aux vestiges anthropobiologiques, il convient de se tourner vers les autres dispositifs législatifs applicables aux restes humains et tout particulièrement les dispositions du Code civil, pour déterminer quelques éléments permettant de définir un statut juridique des vestiges anthropobiologiques :

- Article 16-1 du Code civil : « *Chacun a droit au respect de son corps. Le corps humain est inviolable. Le corps humain, ses éléments et ses produits ne peuvent faire l'objet d'un droit patrimonial.* »
- Article 16-1-1 du Code civil : « *Le respect dû au corps humain ne cesse pas avec la mort. Les restes des personnes décédées, y compris les cendres de celles dont le corps a donné lieu à crémation, doivent être traités avec respect, dignité et décence.* »

² Loi du 27 septembre 1941 relative à la réglementation des fouilles archéologiques, dite « loi Carcopino » du nom de son auteur, entérinée par une ordonnance du 13 septembre 1945.

³ Loi n° 2001-44 du 17 janvier 2001 relative à l'archéologie préventive.

⁴ Loi n° 2003-707 du 1er août 2003.

⁵ Loi n° 2016-925 du 7 juillet 2016 relative à la liberté de création, à l'architecture et au patrimoine, dite « loi LCAP ».

Initialement posé dans le cadre de la loi bioéthique⁶ de 1994 comme permettant la défense, par un individu déterminé, du droit attaché à sa personne, le principe du respect dû au corps humain se pose dans la jurisprudence de façon plus large, comme la protection de l'être humain pris dans sa généralité, et permettant à une communauté d'êtres humains d'invoquer le non-respect de la dignité humaine à l'appui de ses prétentions.

Quant à l'interdiction d'exercer un droit patrimonial sur les éléments composant le corps humain, elle doit être entendue comme l'interdiction de faire commerce de ces éléments et d'en tirer un bénéfice pécuniaire, cette prohibition valant aussi bien pour la personne qui l'exercerait à son encontre, que pour tout tiers.

En tout état de cause, l'interdiction d'exercer un droit patrimonial n'a pas pour effet, en elle-même, d'interdire toute appropriation des restes humains au nom du respect de la dignité humaine.

Encart : Le statut des restes des soldats des derniers conflits mondiaux

Les dépouilles de soldats sont régies par le livre V du Code des pensions militaires d'invalidité et des victimes de guerre ainsi que par des conventions conclues avec les différents pays ayant participé à ces conflits.

À ce titre, la mise au jour de restes de soldats lors d'une opération archéologique doit être déclarée à l'antenne départementale de l'Office national des anciens combattants et victimes de guerre, établissement public relevant du ministère des Armées, où a lieu l'opération.

Les archéologues peuvent généralement dégager le corps en présence de l'Office détaché auquel ils remettent les restes et les biens archéologiques mobiliers associés. Ce procédé est en fait décidé au cas par cas car il dépend de la nationalité du soldat et des conventions conclues avec les différents pays.

L'étude scientifique des restes (analyses ADN, isotopiques ou autres incluses) et des biens archéologiques mobiliers est alors soumise à l'autorisation du pays concerné. Le pays peut refuser cette étude et ces analyses.

À l'issue de cette étude, si elle a été autorisée, les restes et les reliquats sont restitués à l'Office national des anciens combattants et victimes de guerre. Lorsque les restes ont été identifiés, les biens militaires et personnels associés sont restitués en même temps que les restes. Ils ne peuvent pas être conservés au même titre que les autres biens archéologiques mobiliers mis au jour lors de l'opération archéologique.

Un protocole conjoint ministère des Armées/ministère de la Culture sur la découverte de restes humains de militaires tués au combat, principes et procédures a été signé en 2021 et transmis aux Drac/Dac-SRA et au Drassm ([Annexe 1](#)).

2.2. Recommandations éthiques visant la conservation, l'étude et la recherche sur des vestiges anthropobiologiques provenant d'opérations archéologiques

La conjugaison de l'absence de statut juridique clairement déterminé dans le Code du patrimoine et de l'existence d'un corpus de règles juridiques, provenant notamment du Code civil, qui traite de la question des restes humains sous l'angle de la dignité humaine amène nécessairement tout responsable de la conservation de vestiges anthropobiologiques issus d'une intervention archéologique à aborder leur gestion sous l'angle à la fois de l'éthique et de la déontologie.

L'éthique peut être définie comme « un ensemble de valeurs guidant des comportements sociaux et professionnels et inspirant des règles déontologiques (...) ou juridiques » (Cornu 2016). Quant à la déontologie professionnelle, elle fait référence à l'ensemble des principes et règles éthiques (code de déontologie, charte de déontologie) qui gèrent et guident une activité professionnelle.

⁶ Loi n° 94-653 du 29 juillet 1994 relative au respect du corps humain.

L'archéologue, dont la recherche épuise la ressource qu'il explore et étudie, ne peut faire l'économie d'une réflexion sur l'éthique de sa pratique pour assurer à la fois la pérennité, mais également l'accès à cette ressource aux générations futures.

La garde par l'État des vestiges anthropobiologiques issus d'une intervention archéologique n'échappe pas à cette réflexion, en ce qu'elle doit permettre d'en assurer la bonne conservation pour les générations futures, tout en assurant à la communauté scientifique de pouvoir mener à bien des recherches sur ces vestiges, recherches qui constituent la justification ultime de leur conservation.

Il s'agit dès lors de trouver un équilibre entre leur préservation d'une part, et leur mise à disposition d'autre part, pour permettre des recherches impliquant manipulations, analyses, mais également prélèvements invasifs voire destructeurs, le tout sans enfreindre le principe de dignité humaine.

Le respect de la dignité humaine est un principe à valeur constitutionnelle, reconnu ainsi par le Conseil constitutionnel dans une décision du 27 juillet 1994 (décision n° 94-343/344 DC du 27 juillet 1994, Lois bioéthiques). Pour le Conseil d'État, « le respect de la dignité de la personne humaine est une des composantes de l'ordre public » (CE, Ass., 27 octobre 1995, Commune de Morsang-sur-Orge, n° 136727).

À ce titre, la pratique de l'archéologue dans sa manipulation des vestiges anthropobiologiques doit garantir le respect de ce principe.

2.2.1. Des vestiges, objets d'études et de recherche

Les vestiges anthropobiologiques issus d'une intervention archéologique sont un objet d'étude aussi important que les autres éléments de la fouille avec lesquels ils concourent aussi bien à retracer l'histoire d'un site que celle de l'humanité. Leur étude par l'archéologue est abordée de la même manière que celle des vestiges archéologiques mobiliers, même si leur nature justifie une attention spécifique.

La conservation et l'étude des vestiges anthropobiologiques issus d'une intervention archéologique sont possibles :

- Le droit est venu sécuriser le travail de terrain des archéologues sur les restes humains en reconnaissant que l'ouverture de sépultures anciennes à des fins de recherches et d'études historiques ou archéologiques n'est pas punissable dès lors qu'elle n'implique aucun outrage ou irrévérence envers la personne inhumée.

L'article 225-17 du Code pénal qui définit le délit de violation ou de profanation de sépulture n'est pas applicable lorsqu'une personne agit dans le cadre d'une autorisation de fouille dans la mesure où l'activité archéologique est couverte par un fait justificatif tel qu'il ressort de l'article 122-4 du Code pénal : « *N'est pas pénalement responsable la personne qui accomplit un acte prescrit ou autorisé par des dispositions législatives ou réglementaires. N'est pas pénalement responsable la personne qui accomplit un acte commandé par l'autorité légitime, sauf si cet acte est manifestement illégal.* »

- Au surplus, il pourrait être ajouté que le délit de violation de sépultures et d'atteinte à l'intégrité des cadavres ne saurait être constitué en raison de la pratique de recherche de l'archéologue, dès lors que tout délit suppose une intention de porter atteinte au respect dû aux morts, une telle intention n'étant pas à l'origine de l'intervention archéologique dûment autorisée et encadrée par les services de l'État.

Du point de vue juridique, l'État peut ainsi autoriser les études et les analyses mêmes destructrices sur ces vestiges si elles sont scientifiquement justifiées. En cela, l'examen de la demande d'étude

devra prendre en compte le bénéfice scientifique attendu au regard de la perte ou de la dégradation des vestiges concernés.

2.2.2. Des vestiges soumis au principe du respect dû au corps humain

Les dispositions du Code civil (article 16-1 et suivants – voir § 2.1.2) n'opèrent aucune distinction selon l'ancienneté des restes humains mis au jour en contexte archéologique. Elles s'appliquent donc de plein droit à eux quelle que soit l'ancienneté de ces vestiges.

Pour autant, la perception des restes humains et la manière de les appréhender pour leur étude peut évoluer par la distanciation qui s'opère progressivement entre le monde des vivants et les anciens morts : plus le temps passe, plus le corps humain se réifie, et perd de sa personnalité juridique, en raison notamment de l'absence d'émotion que sa manipulation suscite de la part du corps social, du fait de la perte du lien de parenté ou de la mémoire collective.

C'est à travers ces deux éléments – l'application de normes de droit positif et le ressenti du corps social – que se situe le devoir d'éthique et de déontologie des acteurs de l'archéologie.

Ce devoir d'éthique et de déontologie vis-à-vis de la gestion et de la conservation des restes humains est expressément rappelé dans la circulaire n°2007-007 du 26 avril 2007 portant charte de déontologie des conservateurs du patrimoine (fonction publique d'État et fonction publique territoriale) et autres scientifiques responsables des musées de France pour l'application de l'article L. 442-8 du Code du patrimoine dans sa partie II consacrée aux collections : « *les restes humains sont étudiés, conservés et présentés conformément aux normes professionnelles dans le respect de la dignité humaine* » (II.1.E). Cependant, le champ d'application de cette circulaire a été circonscrit aux seuls responsables scientifiques des musées de France. Il est néanmoins possible de s'en inspirer dans les autres domaines du champ patrimonial.

Les études des restes anthropobiologiques issus de l'archéologie doivent être adaptées au regard de certains éléments :

En premier lieu, de la capacité de la communauté archéologique à identifier les restes des personnes concernées. L'éthique recommande que les pratiques professionnelles (déontologie) soient encadrées par des lignes directrices applicables aux restes identifiés. Il s'agit d'être attentif à l'existence d'héritiers. Il est parfois possible d'identifier les restes étudiés et donc potentiellement de trouver des héritiers (ou ayants droit). En dehors de quelques domaines spécifiques (ex. archéologie des conflits mondiaux pour laquelle un droit particulier existe, [voir encart page 9](#)), ces cas sont très rares mais doivent néanmoins être pris en compte. Cette réalité doit aussi tenir compte des dispositions juridiques qui encadrent les droits des héritiers.

En droit civil, la qualité d'héritier se transmet sans limitation de durée uniquement aux descendants en ligne directe et jusqu'à la sixième génération pour les parents collatéraux.

En droit funéraire, au moment d'un décès, les obsèques sont concrètement réglées par « la personne qui a qualité pour pourvoir aux funérailles », c'est-à-dire toute personne qui, par le lien stable et permanent qui l'unissait à la personne défunte, est susceptible d'exprimer la volonté de celle-ci, ou en l'absence d'une telle volonté, de prendre les décisions nécessaires à l'organisation des obsèques.

Les héritiers ont des droits sur les effets personnels accompagnant les restes identifiés, mais pas nécessairement un droit à disposer de ces restes, car ils ne seront pas forcément reconnus comme personne ayant qualité à pourvoir aux funérailles de par l'éloignement générationnel. Néanmoins, d'un point de vue éthique, il convient de recommander l'information des descendants éventuels sur les études qui pourront être réalisées sur les vestiges anthropobiologiques, tout comme sur leurs résultats.

En deuxième lieu, l'éthique s'insère également dans la nécessité de prendre en compte les manifestations des communautés (qu'elles soient ethniques, religieuses...), suscitées à l'occasion de la mise au jour et des études réalisées sur les restes anthropobiologiques. L'archéologue est en effet de plus en plus régulièrement confronté à des manifestations extérieures parfois hostiles à son travail. Des réflexions ont notamment été menées et des recommandations élaborées par le muséum national d'Histoire naturelle (MNHN) sur la conduite à tenir en matière de recherche et d'exposition de restes humains (Bianquis *et al.* 2020).

Alain Froment⁷ formule ainsi les recommandations suivantes : « *Les responsables de collections doivent montrer une attitude d'écoute attentive aux demandes des communautés ; pour autant, ils doivent agir dans le sens du maintien le plus conservateur possible de l'intégrité du patrimoine (patiemment constitué au prix d'efforts considérables) qu'ils ont reçu, et qu'ils se doivent de transmettre aux générations futures.* »

Il convient d'aborder la gestion de ces demandes en faisant tout d'abord la distinction entre les demandes émanant de descendants directs (cf. paragraphe *supra*) et celles qui émanent de communautés qui se prévalent d'autres motivations.

- Il est recommandé de ne pas donner suite aux demandes de restitutions de restes humains de communautés religieuses, mémorielles ou ethniques si les individus ou les groupes ont disparu sans héritiers ou ayants droit.
- Il importe d'associer les communautés concernées par les restes humains ayant un lien ou un rapport avec leurs ancêtres, notamment mémoriel, en leur donnant accès aux restes humains, en les autorisant à pratiquer des cérémonies rituelles, si nécessaire ou toute pratique faisant sens dans leur cadre ontologique, sans qu'il soit ici nécessairement question de restitution et/ou réinhumation de ces restes, à moins que leur intérêt scientifique à être conservé ne soit pas avéré (après établissement d'une documentation complète et prélèvements) et au regard des situations locales particulières que la société (civile, institutionnelle) peut se trouver amenée à gérer. Il est également recommandé de les associer et de les encourager à s'investir en faveur de l'étude scientifique, notamment par le biais de la formation professionnelle et de l'enseignement et dans le respect de leurs propres cadres socioculturels.

2.2.3. Impact des conventions internationales (déclaration d'Helsinki, protocole de Nagoya)

L'éthique de la recherche sur l'humain se matérialise par l'adhésion à des conventions de portée internationale, qui se révèlent cependant d'un secours qui peut apparaître limité, s'agissant de leur applicabilité aux prélèvements de vestiges anthropobiologiques issus d'une intervention archéologique.

La déclaration d'Helsinki⁸, adoptée en 1964 et plusieurs fois modifiée depuis lors, pose les principes éthiques applicables à la recherche médicale impliquant des êtres humains. Elle n'est cependant pas directement applicable au présent sujet d'étude, dans la mesure où elle concerne la recherche sur l'humain vivant.

Le protocole de Nagoya⁹ sur l'accès aux ressources génétiques et le partage juste et équitable des avantages découlant de leur utilisation est un accord international sur la biodiversité. Il a été adopté par la dixième réunion de la Conférence des Parties à la Convention sur la diversité biologique des Nations unies, le 29 octobre 2010 à Nagoya, au Japon, et est entré en vigueur le 12 octobre 2014. Il vise un partage juste et équitable des avantages découlant de l'utilisation des ressources génétiques

⁷ Directeur de recherche à l'IRD, ancien responsable des collections anatomiques du Musée de l'Homme

⁸ <https://www.wma.net/fr/policies-post/declaration-dhelsinki-de-lamm-principes-ethiques-applicables-a-la-recherche-medicale-impliquant-des-etres-humains/>

⁹ <https://www.cbd.int/abs/doc/protocol/nagoya-protocol-fr.pdf>

de « plantes, animaux, bactéries ou d'autres organismes dans un but commercial, de recherche ou pour d'autres objectifs ». À ce titre, il réglemente l'utilisation des ressources génétiques environnementales.

Cette réglementation se traduit par l'obligation pour les chercheurs dont le sujet d'étude entre dans le champ d'application du protocole de Nagoya de déclarer leurs projets de recherche (finalités, moyens mis en œuvre, espèces étudiées, protocoles d'obtention des échantillons, diffusion des données et des résultats, partenariats et circulation des données, retours aux communautés, etc.), et d'obtenir les autorisations spécifiques délivrées par des institutions chargées de veiller à l'application du protocole de Nagoya.

Le champ d'application du protocole de Nagoya ne concerne pas stricto sensu les données génétiques humaines.

Pour autant, la recherche sur des vestiges anthropobiologiques issus d'une intervention archéologique pourrait au moins partiellement entrer dans le champ d'application du protocole lorsque les analyses projetées concernent la « métagénomique » ou la génétique environnementale (et non pas directement le génome humain).

Or, de telles études réalisées à partir de restes humains peuvent s'avérer utiles pour connaître notamment l'état sanitaire d'un individu ou reconstruire l'histoire génétique des pathologies humaines et de leur diffusion spatiale et temporelle.

Dans ce cas, cette partie de la recherche paraît rentrer dans le champ du protocole de Nagoya et l'une des recommandations du groupe de travail consiste à demander aux chercheurs souhaitant accéder à des prélèvements sur des VAB dans le but d'étudier la diversité métagénomique (explicité dans les finalités de leur demande d'accès aux VAB), d'assurer et de garantir la conformité de leur projet au protocole de Nagoya.

2.3. Recommandations et charte de déontologie dans la manipulation des vestiges anthropobiologiques à la charge de l'État¹⁰

2.3.1. Préconisations de la sous-direction de l'Archéologie du ministère de la Culture quant au statut des vestiges anthropobiologiques

À défaut d'un encadrement législatif spécifique des vestiges anthropobiologiques issus d'une intervention archéologique, les dispositions de l'arrêté de 2004 portant sur les normes d'identification, d'inventaire, de classement et de conditionnement de la documentation scientifique et du mobilier issus des diagnostics et fouilles archéologiques (préventives) ainsi que les articles du Code civil susmentionnés permettent à la sous-direction de l'Archéologie du ministère de la Culture de définir des recommandations à l'attention des services régionaux de l'Archéologie et du département des Recherches subaquatiques et sous-marines (Drassm), en charge du contrôle scientifique et technique des opérations archéologiques effectuées sur le territoire national. Ces recommandations sont les suivantes :

- les vestiges anthropobiologiques font partie des éléments du patrimoine archéologique au sens de l'article L.510-1 du Code du patrimoine sans pour autant être considérés comme des biens archéologiques mobiliers. À ce titre, les articles relatifs au régime de propriété du patrimoine

¹⁰ Vestiges anthropobiologiques à la charge de l'État : vestiges anthropobiologiques versés à la fin d'une opération archéologique et conservés dans une structure de conservation pérenne. On ne parle pas ici des vestiges anthropobiologiques d'une opération archéologique encore en cours ni de ceux intégrés aux collections d'un musée de France.

archéologique et les règles relatives à la conservation, à la sélection et à l'étude du patrimoine archéologique ne leur sont pas applicables ;

- les articles 16-1 et 16-1-1 du Code civil s'appliquent à l'ensemble des acteurs de l'archéologie tout au long de la chaîne opératoire ;
- les vestiges anthropobiologiques sont insusceptibles d'appropriation privée ;
- les vestiges anthropobiologiques sont placés sous la garde de l'État, ou d'une collectivité territoriale, sous le contrôle scientifique et technique de l'État, sauf s'ils ont déjà fait l'objet d'une intégration dans les collections publiques des musées nationaux ou territoriaux ;
- l'État peut autoriser les études et les analyses mêmes destructrices si elles sont scientifiquement justifiées ; il peut mettre les VAB en dépôt dans une structure pour qu'ils soient conservés au même endroit que les biens archéologiques mobiliers mis au jour lors de la même opération ; il peut les prêter pour une exposition ou les déposer dans un musée en vue de leur valorisation.

2.3.2. Convention de mise à disposition des vestiges anthropobiologiques au profit d'un chercheur

La mise à disposition des vestiges anthropobiologiques patrimonialisés (c'est-à-dire provenant d'une opération archéologique antérieure à la demande de mise à disposition) au profit d'un chercheur doit donner lieu à une convention de mise à disposition conclue entre l'État (Drac-Dac/SRA-Drassm) et le chercheur responsable du projet de recherche, projet de recherche qui fait l'objet d'une autorisation du préfet de région en application des articles L. 531-1 et R. 531-1 du Code du patrimoine, selon un modèle élaboré par la sous-direction de l'Archéologie et ci-annexé.

Cette modalité de mise à disposition n'est pas exclusive de la possibilité d'étude de vestiges anthropobiologiques dans le cadre de l'opération d'archéologie préventive qui aurait permis leur mise au jour, dès lors que le cahier des charges élaboré par le service régional de l'archéologie l'aurait prévu et que le projet scientifique d'intervention de l'opérateur l'aurait organisé, ce qui garantit que le projet scientifique d'intervention aura été évalué par la CTRA.

Dans ce cas, le service régional de l'Archéologie détermine avec le responsable de l'opération les modalités de leur étude. Il est par ailleurs informé de tout mouvement pour étude de ces restes.

2.3.3. Charte de déontologie

À partir de ces éléments d'ordre autant juridique qu'éthique, il est recommandé la mise en place de chartes ou protocoles déontologiques pour aider les gestionnaires de ces vestiges à en déterminer les modalités de conservation dans des locaux adaptés à cette fin, d'accès, d'études et de diffusion des résultats. Ces outils doivent aussi permettre aux chercheurs et laboratoires demandeurs de ces études de comprendre les principes et règles qui les guident.

La mise en place de tels protocoles doit permettre de répondre aux questions suivantes :

- Pourquoi autorise-t-on des études et des prélèvements ? Il s'agit ici de contrôler la finalité du prélèvement au regard de l'objectif scientifique poursuivi par le demandeur.
- Que peut-on étudier ? Est-il opportun de restreindre les études autorisées ? Si oui, dans quelle mesure ? Les préconisations doivent être dictées par le caractère non patrimonial des restes humains, placés en dehors de tout commerce.
- Qui prélève et qui étudie ?
- Où et comment réalise-t-on des prélèvements sur des restes humains ?
- À quel moment est-il opportun de prélever ?
- Qui doit être informé de ces études et prélèvements et quelle restitution doit en être faite ?
- Le devenir des surplus et des reliquats d'échantillonnage et leurs modalités de conservation : doit-on/peut-on tout conserver ?

Sur cette dernière question, du point de vue de l'éthique, il peut être intéressant de faire le parallèle avec les modalités de gestion des concessions funéraires par les collectivités territoriales, qui leur permettent d'organiser le transfert de restes humains dans certaines circonstances, lorsque les concessions funéraires ont cessé d'être entretenues. Les dispositions du Code général des collectivités territoriales (CGCT) relatives à la reprise des concessions funéraires sont traitées dans l'article L.2223-17 : « *Lorsque, après une période de trente ans, une concession a cessé d'être entretenue, le maire peut constater cet état d'abandon par procès-verbal porté à la connaissance du public et des familles.*

Si, trois ans après cette publicité régulièrement effectuée, la concession est toujours en état d'abandon, le maire a la faculté de saisir le conseil municipal, qui est appelé à décider si la reprise de la concession est prononcée ou non.

Dans l'affirmative, le maire peut prendre un arrêté prononçant la reprise par la commune des terrains affectés à cette concession. ».

Les dispositions du CGCT permettent aux communes, chargées de l'entretien des cimetières, de récupérer des concessions au titre des pouvoirs de police du maire, en transférant les restes humains dans des fosses communes sans que cet acte soit considéré par le législateur comme une atteinte à la dignité humaine, ou contraire à l'ordre public.

Si des propositions sur le devenir des reliquats et des surplus peuvent être faites dans le cadre d'une charte de déontologie, les dispositions du CGCT présentées ici révèlent néanmoins que la mise en pratique de telles propositions, dans la mesure où elles conduiraient à la destruction de restes humains, devraient inviter la puissance publique à examiner l'opportunité d'un encadrement législatif, compte tenu de la sensibilité de la matière.

Des éléments pour la définition d'un protocole déontologique sont abordés dans les chapitres suivants.

3. De la collecte sur le terrain à la demande d'analyse

3.1. Les différents types d'analyse

3.1.1. *Analyse invasive vs analyse non-invasive*

Les témoignages matériels issus des fouilles archéologiques sont par nature irremplaçables. Toute destruction est définitive. Ce constat élémentaire ne condamne pas par avance toute étude, mais la conditionne.

Il est d'usage de faire une distinction entre analyse invasive et analyse non-invasive, c'est-à-dire entre l'étude qui entraîne une modification irréversible de l'objet initial, et celle qui peut être renouvelée indéfiniment. Si les analyses consommatrices de matériau osseux doivent directement être considérées comme invasives, cette dichotomie est excessive.

En dehors de l'impact inévitable de chaque manipulation sur le VAB - qui représente l'une des plus fréquentes causes d'altération -, une réflexion est nécessaire sur des analyses considérées comme sans effet. Ainsi, jusqu'à quel point les études relevant de l'imagerie (radiographie, scanner, accélérateur) doivent-elles être considérées comme sans impact sur les vestiges ?

Quel que soit le cas, il est donc indispensable de renseigner dans l'inventaire du rapport de l'opération ou dans la base de gestion de la structure de conservation des restes que des vestiges anthropobiologiques ont été soumis à des analyses, d'en indiquer le type et le nombre.

3.1.2. *Les analyses destructrices*

Les analyses physico-chimiques et biologiques de vestiges anthropobiologiques ont réellement débuté avec le radiocarbone. Si les charbons ont été les premiers matériaux exploités pour obtenir des datations absolues, le développement de la méthode et les questionnements archéologiques ont conduit à préférer, dans bien des contextes, les restes humains. Les apports scientifiques ont été remarquables, mais les sacrifices de matériel conséquents. Avant la généralisation des analyses par accélérateur, l'obtention d'une quantité suffisante de collagène nécessitait en moyenne 300 à 400 g d'os, ce qui pouvait conduire à la destruction d'un demi-squelette voire plus. Si l'exploitation scientifique des éléments du patrimoine archéologique est la principale justification de leur sauvegarde, les nouveaux champs de recherche ouverts à partir des années 90 avec les isotopes liés à l'alimentation ont conduit à revoir une perception à trop court terme des analyses sur les VAB.

Qu'il s'agisse de la physique nucléaire, de la chimie organique ou de la biologie moléculaire, leur implication toujours croissante dans l'étude des restes humains anciens élargit les perspectives des études des populations anciennes. Le corollaire est d'ores et déjà un accroissement des besoins en matière première analysable (os ou dent). Le rapide développement de ces techniques impose aussi d'envisager que d'autres, embryonnaires pour certaines, insoupçonnées pour d'autres, vont apparaître dans le futur. Instruits par l'expérience du radiocarbone, préserver un potentiel pour la recherche future apparaît impératif, indépendamment des considérations éthiques qui nous amènent à préserver ces vestiges.

Les méthodes actuelles permettant d'obtenir des informations très complémentaires autour de restes fossiles sont multiples : datation (radiocarbone ou « C14 »), identification d'espèces et évolution (Zooms, paléogénomique, paléoépigénétique), migration (analyses isotopiques, paléogénomique), histoire de vie et pathologies (paléogénomique, paléomicrobiologie, paléohistologie, analyses isotopiques), alimentation (microrestes, protéomique et métagénomique du tartre dentaire, analyses isotopiques) ou encore histologie (étude de la structure interne de l'os, cémento-chronologie). Si elles

se multiplient, ces analyses, considérées séparément, s'avèrent heureusement de moins en moins destructives.

Les progrès méthodologiques pour certaines méthodes, notamment le C14, vont dans le sens d'un effort d'échantillonnage minimal. De plusieurs grammes d'os encore prélevés dans les années 90, il est aujourd'hui possible de réaliser des analyses avec 100 mg-1 g de matière (Fewlass *et al.* 2017 ; 2019) et de vérifier le contenu en collagène de l'os avant analyse, pour éviter une destruction inutile (Sponheimer *et al.* 2019).

D'autre part, il est possible, une fois le collagène d'un os extrait pour une analyse radiocarbone, d'utiliser cet extrait pour d'autres analyses isotopiques ou protéomiques. Ainsi, un seul prélèvement est à même de fournir un maximum d'informations. Le tableau 1 illustre les méthodes qui peuvent être combinées lors de l'analyse de l'extraction de collagène de 500 mg à 1g d'os (Tab. 1).

Méthode	But de l'analyse	Avantage	Inconvénient	Prix en commercial par échantillon	Nécessité d'analyser tout un corpus de faune associée	Partie échantillonnée	Quantité de collagène échantillonnée	Quantité d'os (dépend de sa préservation)
Radiocarbone	Dater directement l'échantillon	Datation directe, méthode très fiable possible aussi sur os brûlés	Coûteuse et file d'attente	300-500 euros	non	collagène d'un os ou d'une dent ou sur fraction minérale de l'os en cas d'os brûlé	3mg	100mg-1g
Isotopes du carbone et de l'azote du collagène dans son ensemble	Alimentation	Rapide, peu cher	Nécessité d'analyser des herbivores et carnivores associés	20 euros	oui	collagène d'un os ou d'une dent	0.5 à 1mg	100mg-500mg
Isotopes du carbone et de l'azote des acides aminés	Données très précises sur l'alimentation	Informations très précises sur le niveau trophique, besoin de peu de spécimens	Analyse difficile et coûteuse, encore peu de recul	plus de 300 euros	partiel	collagène d'un os ou d'une dent	3 mg	100mg-1g
Isotopes du soufre	Mobilité/ consommation de poisson	Peu chère en commercial, récents développements pour l'utiliser comme un bon traceur de provenance	Difficile à mettre en place	25 euros	partiel	collagène d'un os ou d'une dent	8 mg	300mg-1g
Zooms	Identification phylogénique	Rapide, peu cher	Ne peut pas toujours aller au niveau de l'espèce	Moins de 100 euros	non	collagène d'un os ou d'une dent	le sac ou le fond de tube qui a contenu l'échantillon	<100mg

Tableau 1 : Méthodes isotopiques et biochimiques pouvant être combinées lors de l'extraction de collagène d'un os ou d'une dent.

Les analyses isotopiques se sont multipliées sur l'émail dentaire avec le développement de la spectrométrie de masse dans les années 90. Si nombre d'entre elles sont en développement, toute une panoplie d'analyses peut aujourd'hui être réalisée pour obtenir des informations sur l'alimentation, la mobilité, la durée de l'allaitement, l'écologie, la diagenèse (Tab. 2). Chaque analyse demande encore un prélèvement séparé, mais des efforts sont faits en ce moment pour combiner les protocoles

et séparer différents éléments à partir du même extrait d'émail dentaire. De plus, dans bien des cas la matière analysée peut être obtenue par ablation laser, n'entraînant ainsi qu'une destruction minimale.

Type d'analyse	But de l'analyse	Avantage	Inconvénient	Laboratoires réalisant ces analyses en France dans des projets archéologiques		Partie échantillonnée	Quantité échantillonnée
Isotopes du zinc $d^{66}\text{Zn}$	Alimentation/ allaitement	Moins sensible que d'autres traceurs à la mobilité, bonnes informations sur le niveau trophique et l'allaitement	Sensible aux pollutions dans le laboratoire	Géosciences Environnement Toulouse (GET)	oui	émail	entre 2 et 20 mg selon l'espèce
Isotopes du carbone $d^{13}\text{C}$	Écologie	Traceur très bien connu, peut distinguer les folivores des pâtreurs dans certains environnements	Peut être impacté par la diagénèse	MNHN, LGL-ENS Lyon	oui	émail	0.4 à 8 mg selon le laboratoire
Isotopes de l'oxygène $d^{18}\text{O}$	Climat, mobilité, reconstruction de température, saisonnalité	Traceur très bien connu	Plus compliqué à mettre en œuvre si l'on veut s'affranchir du risque de diagénèse	MNHN, LGL-ENS Lyon	oui	émail	0.4 à 8 mg selon le laboratoire
Isotopes du calcium $d^{44}\text{Ca}$	Alimentation/ écologie/ allaitement	Nécessite de très petites quantités d'émail pour l'analyse	Sensible à la mobilité	LGL-ENS Lyon	oui	émail ou os	1 mg <
Isotopes du strontium stable $d^{88}\text{Sr}$	Alimentation/ écologie	Peut être purifié et analysé en même temps que le strontium radiogénique	En cours de développement/peu de recul	GET/ LGL-ENS Lyon	oui	émail	entre 2 et 20 mg selon l'espèce
Isotopes du strontium radiogénique $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Mobilité	Peut être purifié et analysé en même temps que le strontium stable	Permet rarement de conclure sur la provenance exacte	Nombreux	oui	émail	entre 4 et 20 mg selon l'espèce
Isotopes du magnésium $d^{25}\text{Mg}$	Alimentation ?	Semble fournir des informations complémentaires au Ca et Zn	Sensible à la mobilité	LGL-ENS Lyon	oui	émail	1 mg
Rapports d'éléments traces (Sr/Ca, Ba/Ca)	Alimentation	Facile à analyser, pas de séparation chimique	Ne sépare pas toujours bien les groupes alimentaires	Très nombreux	oui	émail	1 mg <

Tableau 2 : analyses isotopiques et élémentaires pouvant être réalisées dans l'émail dentaire (la liste des laboratoires correspond à l'année 2021).

De façon similaire, les analyses génétiques sont de moins en moins demandeuses en vestiges anthropobiologiques : alors qu'elles nécessiteraient encore quelques centaines de mg de poudre d'os il y a quelques années, l'amélioration des protocoles rend aujourd'hui possible les extractions à partir de 10-40 mg de matériel. Par ailleurs, même si les parties pétreuses des os temporaires demeurent les vestiges privilégiés pour étudier l'ADN génomique, de plus en plus d'analyses paléogénétiques sont effectuées sur des substrats atypiques, comme le tartre dentaire ou les sédiments (Tab. 3).

Objectif de l'analyse	ADN ciblé	Partie échantillonnée	Quantité de matériel nécessaire
Détermination du sexe biologique	ADN génomique	os (par ex. pétreux) ou racine de dent	10-100 mg
Détermination de relations de parenté	ADN génomique	os (par ex. pétreux) ou racine de dent	10-100 mg
Génétique des populations	ADN génomique	os (par ex. pétreux) ou racine de dent	10-100 mg
Haplogroupes mitochondriaux	ADN mitochondrial	os (par ex. pétreux) ou racine de dent	10-100 mg
Haplogroupes Y	ADN génomique	os (par ex. pétreux) ou racine de dent	10-100 mg
Pathogènes	ADN microbien	Cavité pulpaire de dent ou partie osseuse présentant des lésions ou à proximité	10-100 mg
Détermination du phénotype	ADN génomique	os (par ex. pétreux) ou racine de dent	10-100 mg
Microbiome buccal	ADN microbien	Tartre, ou tissu spécifique	1-100 mg
Restes alimentaires	ADN eucaryote	Tartre, ou tissu spécifique	1-100 mg

Tableau 3 : Analyses génétiques pouvant être réalisées en fonction de la qualité des données.

La destruction pour l'analyse elle-même n'est désormais plus le risque principal : une quantité infime est *in fine* utilisée. Cependant, c'est un fragment osseux bien plus important ou une dent complète qui a été transmise. Si la pièce support de l'analyse ne réintègre pas la structure de conservation et n'est plus disponible pour de nouvelles études (ce qui est la tendance actuelle), il faut considérer que le fragment lui-même ou la dent entière a bien été détruite.

3.1.3. Quels os/quels tissus squelettiques pour quelles analyses ?

Les matériaux anthropologiques les plus couramment disponibles et analysés sont les os et les dents. Plus rarement, et dans des contextes particuliers, les cheveux, les ongles ou les tissus mous peuvent également être analysés (momies, tissus embaumés ou préservés par un processus de momification naturelle).

La formation des tissus osseux et dentaires répond à des processus de croissance différents. Tandis que l'os est soumis à un renouvellement perpétuel, les signaux enregistrés par la dent sont contemporains de sa période de formation. L'analyse du tissu dentaire est donc privilégiée dans des problématiques relatives à l'enfance (alimentation, mobilité) tandis que l'analyse du collagène osseux est sollicitée pour renseigner les dernières années de la vie d'un individu (entre 10-15 ans pour un sujet adulte, en considérant la partie compacte des os longs) (Tab 4).

Pour des problématiques centrées sur l'analyse globale des patrons alimentaires, un tissu par individu sera ciblé préférentiellement (le tissu osseux), au sein d'une cohorte, la mieux numériquement représentée pour atteindre des échantillons statistiquement recevables.

En revanche pour traquer des modifications alimentaires au cours de la vie d'un sujet, une approche intra-individuelle sera privilégiée. Il pourra s'agir de plusieurs tissus, soit l'os et le tissu dentaire, permettant d'interroger les modifications entre le moment du décès et l'enfance. Il est également possible de cibler l'émail ou la dentine (selon l'élément chimique visé), sur lesquels des analyses séquentielles peuvent être réalisés le long de l'axe de croissance de ces tissus. Toutes les dents peuvent être analysées. Le rang de la dent d'intérêt dépend alors de la période de vie dont on souhaite retracer les modifications isotopiques.

Tissu cible	Signal enregistré	Problématique envisagée	
Os		Analyse individuelle (1 mesure/individu)	Analyse intra-individuelle (plusieurs mesures/individu)
Os compact (e.g. fémur, tibia, humérus)	Signal moyen = dernières années de la vie (env. 15 ans pour un adulte, moins pour un sujet en pleine croissance)	Alimentation/mobilité/environnement sur une large période de la vie	Suivre l'histoire de vie des individus (<i>in utero</i> -naissance jusqu'à la mort)
Os spongieux (e.g. côtes, épiphyses)	Signal moyen = durée d'enregistrement plus courte que dans l'os compact ; signal plus proche de la mort	Alimentation/mobilité/environnement sur une période plus brève, mais non déterminable avec précision	
Dent		Analyse individuelle (plusieurs mesures/dent)	
Émail, dentine, cément, dentine secondaire	Croissance et physiologie spécifique à chaque dent et chaque tissu dentaire	Alimentation/mobilité de la naissance à la fin de l'adolescence/début de l'âge adulte. Alimentation maternelle, allaitement, sevrage, impacts physiologiques du stress et de la croissance, détection « d'âges sociaux ».	

Tableau 4 : Problématiques envisagées pour les analyses isotopiques sur la matière organique (collagène) dentaire et osseuse (C, N, S).

Le matériel génomique est le même dans tous les tissus du corps. Le choix du tissu sélectionné ne se pose donc pas dans des conditions similaires pour les analyses paléogénétiques ; généralement, l'os le plus compact, le moins remodelé et donc le moins susceptible d'être soumis à contamination environnementale est choisi. C'est pour cette raison que la majeure partie des analyses est effectuée sur la partie pétreuse de l'os temporal ou, à défaut, des racines de dents. Cependant, cette observation n'est pas applicable lorsque l'étude porte sur l'ADN bactérien. Dans ce cas, c'est la partie du squelette en contact avec le micro-organisme (pour des lésions primaires) qui sera favorisé : tartre dentaire, pulpe dentaire, tissu remodelé ou os en contact avec la circulation sanguine en cas de septicémie.

3.2. Contraintes liées aux études, et cas spécifique de la paléogénétique

3.2.1. Les traitements pendant l'opération archéologique : un frein possible

En conditions normales, la manipulation des vestiges archéologiques, incluant les vestiges anthropobiologiques, se fait à main nue, depuis le terrain jusqu'à l'étude en laboratoire. Les vestiges archéologiques sont parfois dans des états d'altération ou de fragmentation qui nécessitent des protocoles de prélèvement particuliers pour pouvoir être extraits du terrain. Dans les cas extrêmes, l'utilisation de produits chimiques directement lors de la fouille peut permettre de collecter un vestige qui, sinon, se désagrégerait totalement lors de son prélèvement.

Durant l'étude post-fouille, il est utile de pouvoir visualiser les caractéristiques de surface des vestiges, ce qui entraîne des traitements de nettoyage. D'ailleurs le responsable scientifique de l'opération est tenu de mettre en état pour étude le matériel collecté (art. L.546-1¹¹ du Code du patrimoine). Les études en anthropologie biologique « macroscopique » nécessitent des vestiges dans le meilleur état possible. En dehors de cas ponctuels, les observations sont nettement facilitées lorsque les ossements sont dans l'état le plus proche possible de la pièce anatomique initiale : un os entier peut être mesuré, sa morphologie appréciée, ses détails enregistrés et localisés. Dans cette perspective, il est indispensable que les plans de cassure soient exempts de matière « étrangère ». Le caractère

¹¹ Art. L.546-1 du Code du patrimoine : « Lors de toute opération archéologique, le responsable de l'opération assure, sous le contrôle scientifique et technique de l'État, la conservation des biens archéologiques mis au jour et prend les mesures nécessaires à leur mise en état pour étude.

Il confie les opérations de conservation préventive et curative à un personnel qualifié qui les réalise sous le contrôle scientifique et technique de l'État. »

réversible des collages a longtemps constitué une exigence ; il s'agit essentiellement d'un leurre, aucun produit utilisé pour assembler des fragments n'étant finalement neutre. En fonction du type de gisement, et singulièrement lorsque les vestiges osseux et dentaires de plusieurs squelettes se trouvent mélangés, ou face à des restes humains épars, il est souvent choisi d'indiquer une référence et de noter son numéro d'inventaire directement sur les pièces pour éviter toute confusion.

Ces interventions ont des conséquences pour les analyses postérieures. Elles peuvent compliquer certaines analyses voire les interdire, comme en témoigne le tableau ci-dessous (Tab. 5) :

	Contact direct	Contact indirect	Conséquences
Paraloïd B72 ou Primal ou Acryl 33 (acryliques)	X		Peut former des complexes avec l'ADN ce qui le rendrait susceptible d'affecter sa purification
Cyclododécane	X		Inerte vis-à-vis de l'ADN mais pourrait modifier sa purification
Acétone ou alcool éthylique	X		Risque d'introduction de contaminants dans l'os
Bombe polyuréthane expansé (éventuellement)		X	Non connue
Plâtre ou bandes plâtrées		X	Non connue
Eau	X		A éviter car peut : - solubiliser l'ADN lié au minéral de l'os - contaminer l'os avec de l'ADN exogène
Gaze, tarlatane, papier Japon de faible grammage	X		Aucune si neuf
Papier d'essuyage	X		Aucune si neuf
Film étirable, film aluminium	X		Aucune si neuf
Coton	X		Aucune si neuf
Ruban adhésif		X	Risque de migration de la colle dans l'os
Pinceaux	X		Transfert de matières si non stérile
Brosses	X		Transfert de matières si non stérile
Petit outillage de fouille	X		Transfert de matières si non stérile
Bâtonnets en bois	X		Usage unique
Poires - soufflettes		X	Non connue
Vaporisateur		X	A éviter (car introduction de contaminants possible)
Petite pelle à poussière en plastique		X	Transfert de matières si non stérile
Plaques métalliques et/ou en bois rigides		X	Pas de problème si l'ossement a été emballé dans un sac minigrip ou sac en papier non-utilisé auparavant
Matériau d'emballage souple (boudins d'air, boudins de chips, papier bulle et mousse)		X	Pas de problème si l'ossement a été emballé dans un sac minigrip ou sac en papier non-utilisé auparavant
Minigrip/sac en papier			Aucune si neuf
Caisses (larges et plates ; larges et profondes ; une caisse en bois matelassée de petit format)		X	Pas de problème si l'ossement a été emballé dans un sac minigrip ou sac en papier neuf
Petites boîtes éventuellement		X	Pas de problèmes à conditions que l'ossement a été emballé dans un sac minigrip ou sac en papier neuf
Etiquettes Styron, tyvek ou polyester		X	Etiquette rigide à insérer dans un sachet minigrip neuf avant son insertion dans le sachet contenant les VAB correspondant pour éviter la migration des composants volatiles de l'encre.

Tableau 5 : liste des outils et produits qui sont le plus souvent en contact du vestige à prélever ou à traiter en laboratoire après le prélèvement.

S'il est facile de prévoir les mesures les moins invasives possibles lorsque l'on sait, avant l'opération, que les restes osseux feront l'objet d'analyses, le problème se pose lorsque l'importance du vestige, de ce point de vue, n'a pas été évaluée correctement lors du dégagement ou que les analyses n'ont pas été anticipées.

Les différents traitements auxquels le VAB a été soumis et, le cas échéant, les parties du vestige qui y ont été soumises, doivent absolument être enregistrés dans l'inventaire à l'issue de l'opération et dans celui de la structure de conservation, de façon que les analystes puissent décider, selon la technique utilisée, si elles sont ou non compatibles avec le type d'étude envisagée ou proposer des

procédures initiales de traitement permettant de s'affranchir d'éventuelles contaminations. Aussi, on peut procéder à la confection d'une fiche comportant la liste de matériaux éventuellement contaminants ci-dessus et une photo ou relevé des parties traitées. Ces fiches correspondent aux fiches de traitement couramment utilisées par les conservateurs-restaurateurs et participent à la documentation de l'objet et de son état de conservation au-delà de la problématique des analyses. S'il est courant de remplir ce type de fiche lors d'une consolidation sur le terrain, cela est moins fréquemment fait en post-fouille et notamment lors du lavage.

Il est prévu de définir les éléments à intégrer dans l'arrêté relatif aux normes de contenu, de présentation et de transmission du rapport d'opération qui est actuellement en cours de rédaction par la sous-direction de l'Archéologie ([voir Annexe 2](#)).

3.2.2. Les contaminations dues au milieu

Dès l'enfouissement, les processus taphonomiques intervenant sur les matériaux bio-archéologiques conduisent à une dégradation quantitative et qualitative des fractions minérales et organiques ainsi qu'à des interactions avec des éléments exogènes d'éléments d'intérêt (éléments traces, métaux, matière organique naturelle, ADN environnemental).

Les éléments traces peuvent être affectés par des contaminations provenant du laboratoire ou de la personne réalisant la manipulation des échantillons. Ce fut longtemps le cas pour le plomb (avant l'apparition de l'essence sans plomb) et cela concerne en particulier le zinc, à l'heure actuelle, qui est présent sur les gants en nitrile et en latex utilisés pour se protéger des acides en salle de préparation.

La dégradation tant de la fraction organique (collagène) que de la fraction minérale (bioapatite) de l'os pourra être identifiée à partir de plusieurs indicateurs obtenus lors de la préparation des fractions (rendement) et lors de la mesure des éléments ciblés.

3.2.3. Les différentes difficultés rencontrées lors des analyses paléogénétiques

L'ADN qui peut être préservé dans des ossements et dents d'individus du passé est très dégradé et, dans la plupart des cas, présent en très faible quantité : les facteurs déterminants sont l'âge de l'échantillon, les conditions environnementales (température, pH, humidité) dans lesquelles il a été préservé, ainsi que les conditions de conservation depuis la fouille.

La perte de chance pour une analyse ADN (diminution du nombre et de la qualité des molécules accessibles à l'analyse) est causée par la contamination par d'autres molécules ADN (ADN exogène) ou par des molécules pouvant inhiber les réactions biochimiques (inhibiteurs de PCR) et par la dégradation des molécules (fragmentation, modification de la séquence).

Ainsi, l'enfouissement des restes osseux dans le sol conduit à la contamination par le matériel génétique de la flore et de la faune du sol, pouvant constituer plus de 99% de l'ADN extrait et avoir un impact majeur sur le coût des projets : l'utilisation croissante de la partie pétreuse de l'os temporal, peu poreux et donc moins contaminé, traduit les difficultés que cet ADN exogène fait peser sur les études paléogénétiques. Des méthodes de laboratoire ont également été déployées pour augmenter la proportion d'ADN endogène : les méthodes de capture permettant de récupérer de façon ciblée des régions d'intérêt du génome. Leur efficacité permet de diminuer largement le coût du séquençage et cette méthode se révèle indispensable pour l'analyse de vestiges présentant des taux d'ADN endogène trop faibles. Cependant, ces approches induisent des biais analytiques dont les conséquences sont encore en cours d'évaluation et ne permettent pas de ré-analyser les séquences produites à la lumière d'autres questions et de nouvelles connaissances sur les génomes.

La contamination par de l'ADN issu de la même espèce (ou d'une espèce proche) de la cible est complexe à éliminer a posteriori ; le danger est donc, pour une analyse sur un VAB, la contamination

par toute personne en contact avec le vestige. Pour cette raison, il est nécessaire de la maintenir au plus bas niveau possible depuis la fouille archéologique jusqu'au séquençage.

3.2.4. Protocole de prélèvement de VAB destinés à l'analyse paléogénétique

- Problèmes posés par la contamination (Tab. 6)

Il faut garder à l'esprit que les contaminations ADN lors des fouilles sont restreintes à la surface de l'échantillon, sauf en présence d'eau et d'humidité car l'eau pénètre dans l'os et transporte des molécules d'ADN vers son intérieur. Elles impactent donc davantage les vestiges dont on extrait l'ADN en surface (cément de racine dentaire) que ceux dont on extrait l'ADN plus en profondeur (fraction dense entourant la cochlée dans l'os pétreux).

De manière générale, le meilleur moyen d'éliminer les molécules d'ADN à la surface de matériel est le nettoyage à la javel (solution aqueuse d'hypochlorite de sodium fraîchement préparée [par exemple à 0,65%], toujours suivi d'un rinçage à l'éthanol 70% et séchage pour minimiser la corrosion des surfaces).

Afin de permettre aux paléogénéticiens et autres analystes moléculaires d'adapter leurs protocoles de décontamination et/ou d'analyses, il est fortement recommandé de documenter les mesures qui ont pu être prises (ou non) sur le terrain : port de gant ou non, quel type de gant (latex, vinyle, nitrile, poudrés ou non), port de masque, utilisation de colle, lavage...

Source de contamination (risque)	Mesures pour l'éviter
ADN environnemental	Le sol en contact avec les vestiges contient de nombreux micro-organismes dont l'ADN pénètre dans l'échantillon avant la fouille. Il n'est pas possible sur le terrain d'éviter cette source exogène intrinsèque. Laver l'échantillon à l'eau ne permet pas d'éliminer cette source exogène et au contraire est un facteur de contamination et de dégradation des molécules. Il faut donc l'éviter.
ADN des fouilleurs (+++)	Tout contact direct avec le vestige (main nue) et indirect (postillons, mucus nasal, sueur, objet ayant été en contact avec la peau) est une source importante de contamination de surface. Il convient de porter des gants neufs qui doivent être javellisés fréquemment et un masque si l'on veut éviter cette contamination de surface. On peut ensuite limiter des contaminations supplémentaires en maintenant l'échantillon dans un contenant (boîte ou sachet) bien fermé (s'il n'y a pas d'humidité) jusqu'à son arrivée au laboratoire d'analyses ou à son lieu de conservation. Les contaminations invisibles sont plus difficiles à éliminer que les contaminations visibles (poils, cheveux). Si le port de la charlotte est recommandé, il est secondaire par rapport au port du masque et de gants fréquemment javellisés ou neufs.
ADN de transfert (+)	L'ADN moderne déjà présent sur une surface peut être transféré involontairement sur les vestiges (contamination indirecte). On peut limiter ce phénomène d'ADN de transfert, en évitant tout contact entre le vestige et un objet (gant, outil, sac...) qui aurait été au préalable en contact avec la peau. Ainsi, si les gants touchent la peau ou un objet du quotidien (outil, téléphone, bouteille, appareil photo), il faut aussitôt les nettoyer à la javel. Les sacs ou contenants des vestiges doivent être neufs ou nettoyés à la javel. Autre exemple : si les ossements doivent être posés sur une table pour étude, nettoyer la table avec un papier essuie-tout imbibé de javel avant d'y placer les vestiges ou les placer sur du papier aluminium neuf.
ADN des autres vestiges	Le risque de contamination par l'ADN d'un vestige à un autre (contact direct entre les os de 2 individus, utilisation du même outil pour fouiller 2 individus) est relativement faible dans un contexte sec. Il est toutefois préférable de nettoyer gants et outils entre 2 individus (essuyer avec un chiffon imbibé de javel). Les vestiges, si identifiés comme appartenant à deux individus différents doivent être gardés dans des sacs ou contenants propres (neufs ou lavés à la javel) individuels. Attention : Si des prélèvements sont réalisés avec des outils de type micro-scie (dremel, scie circulaire...), la poudre générée pose un fort risque de contaminer un autre échantillon, et l'outil est également contaminant s'il n'est pas correctement nettoyé. Ce type de manipulation ne doit pas être réalisé sur le terrain (sauf cas très spécifiques, par du personnel formé) mais dans un laboratoire dédié à l'ADN ancien.
Autres contaminants et inhibiteurs (+++)	Tout produit appliqué sur le vestige (colle, vernis, encre...) est susceptible de contaminer les échantillons et/ou d'inhiber les manipulations réalisées au laboratoire. Il faut donc les éviter autant que possible et les documenter si elles sont inévitables. Certains gants sont poudrés : cette poudre est un inhibiteur de PCR et peut rendre impossible les réactions biochimiques effectuées sur l'échantillon. Il est impératif d'utiliser des gants non poudrés.

Tableau 6 : mesures permettant d'éviter les contaminations

- Dégradation des molécules (Tab 7)

Pièce anatomique ou échantillon	Recommandation
Os pétreux	La densité de la partie entourant la cochlée permet une bonne préservation de l'ADN. Le risque de contamination et de dégradation post-fouille est relativement faible, tant que l'os est maintenu entier et que la cochlée n'est pas exposée. Si le crâne est intact, il convient de le maintenir intact. Si l'os temporal est fragmenté, on peut placer le rocher dans un sachet neuf (minigrip ou papier). Il est préférable de porter des gants pour faire ces manipulations sinon documenter l'information. Conserver la pièce anatomique à une température stable < à 20°C et une humidité relative entre 45 et 55%.
Dents	Les dents sont un substrat très intéressant pour les études d'ADN humain (à partir du cément), paléo-microbiologiques (au niveau de la cavité pulpaire ou du tartre), paléo-protéomiques (dentine et tartre) ou isotopiques (émail et dentine). Si les dents sont encore incluses dans la mandibule ou le maxillaire, il est impératif de les laisser en place jusqu'au laboratoire d'analyse. Si les dents sont libres, les placer dans un sachet neuf (minigrip ou papier). Il est important de ne pas toucher les dents , ni à main nue (risque de contamination ADN) ni avec des gants (risque de contamination par du Zinc interférant avec certaines analyses isotopiques). On peut utiliser une pince en métal préalablement nettoyée à la javel ou une pince stérile. Si la dent a été touchée, il faut le documenter et le personnel de laboratoire pourra adapter son protocole. Il est important de ne pas nettoyer les dents , et de laisser toute trace de tartre en place. Si un fragment identifiable de tartre se détache de la dent, le placer dans un sachet propre en notant de quelle dent et quelle face de la dent provient le tartre. Conserver la dent à une température stable < à 20°C et une humidité relative entre 45 et 55%, en la protégeant des UV surtout si elle n'est pas incluse.
Osselets	Des études récentes (Sirak et al 2020, Genome Research) ont montré que les osselets sont un très bon réservoir à ADN, donnant des résultats comparables à l'os pétreux. Lorsqu'ils sont retrouvés à la fouille, il convient de les placer dans un sachet neuf, sans les laver Conserver l'osselet à une température stable < à 20°C et une humidité relative entre 45 et 55%, en le protégeant des UV
Lésions pathologiques	Les études de pathogènes anciens (paléo-microbiologie) peuvent être réalisées à partir de lésions osseuses laissant suspecter une infection (tuberculose, lèpre, syphilis...). De même, certains calculs ou autres tissus calcifiés ont pu être utilisés en paléogénétique. Il convient de ne pas laver les échantillons, d'éviter de toucher ces lésions à main nue ou avec des outils non préalablement nettoyés à la javel. Conserver les échantillons à une température stable < à 20°C et une humidité relative entre 45 et 55%, en les protégeant des UV
Coprolithes	Les coprolithes sont une source d'ADN humain et microbien. Il convient de ne pas laver les échantillons, d'éviter de les toucher à main nue ou avec des outils non préalablement nettoyés à la javel. Conserver le coprolithe à une température stable < à 20°C et une humidité relative entre 45 et 55%, en le protégeant des UV
Tissus momifiés, dont cheveux	Les tissus momifiés ont été utilisés avec succès notamment pour des études de paléo-pathogènes (variole par exemple). Les cheveux et poils sont de très bons réservoirs à ADN humain. Les tissus momifiés en milieu très froid (pergélisol, glacier) doivent être maintenus congelés sans rupture de la chaîne du froid. Les tissus momifiés en milieu tempéré ou chaud doivent être maintenus à température stable et surtout atmosphère sèche . Dans tous les cas il convient d'utiliser des gants et de les protéger des UV.
Os ou dents brûlés	Les vestiges brûlés contiennent généralement très peu d'ADN exploitable. Toutefois, des protocoles prometteurs sont développés en médecine légale. Par précaution, si la rareté des vestiges ou l'importance du contexte laisse présager que ces pièces osseuses vont être utilisées pour une analyse paléogénétique, il convient de ne pas laver les échantillons, d'éviter de les toucher à main nue ou avec des outils non préalablement nettoyés à la javel. Conserver l'os brûlé à une température stable < à 20°C et une humidité relative entre 45 et 55%, en le protégeant des UV
Sédiment	Les prélèvements de sédiment doivent être réalisés avec des outils nettoyés à la javel, placés dans des contenants stériles de laboratoire (tube eppendorf par exemple) et maintenus au froid (congélateur, ou à défaut réfrigérateur). Ces prélèvements doivent être étudiés rapidement.
Autres pièces osseuses	Les autres pièces osseuses sont moins favorables pour les analyses en paléogénétique. Elles peuvent néanmoins être intéressantes pour des analyses pilotes, ou si ce sont les seuls vestiges disponibles pour représenter certains individus, et sont fréquemment utilisées pour les analyses isotopiques. Si tel est le cas, le prélèvement d'os présentant des zones d'os compact plus dense sont à privilégier. Si la rareté des vestiges ou l'importance du contexte laisse présager que ces pièces osseuses vont être utilisées pour une analyse paléogénétique, il convient de ne pas laver les échantillons, d'éviter de les toucher à main nue ou avec des outils non préalablement nettoyés à la javel Conserver le vestige à une température stable < à 20°C et une humidité relative entre 45 et 55%, le protéger des UV
Artefacts et matières géologiques	Même si ces cas relèvent encore de l'exception, certains artefacts ou matières géologiques peuvent être des sources atypiques d'ADN ancien (humain ou microbien), comme par exemple les mastics (« chewing-gums ») ou les dépôts de calcite. Ils doivent alors être prélevés et stockés avec les mêmes précautions que les vestiges anthropologiques pré-cités. Il est possible que de nouvelles sources atypiques d'ADN ancien soient identifiées dans le futur.

Tableau 7 : recommandations de manipulation et de conservations des différentes pièces anatomiques ou échantillons

Les principaux facteurs influençant la dégradation des molécules d'ADN sont la température (+++), l'hygrométrie (++) et le rayonnement UV (+). Ces facteurs doivent être pris en compte pour le choix du mode de stockage et de transport des échantillons.

Les températures élevées et les changements de température augmentent la dégradation. Il faut absolument éviter les variations importantes de température et les températures élevées (coffre de voiture ou *algeco* au soleil sont à proscrire).

Les vestiges doivent au maximum être conservés à une température fraîche et stable (réfrigérateur, pièce climatisée, cave domestique, finalement une grotte peut être idéale !). Le réfrigérateur n'est pas conseillé dans la durée : l'échantillon doit être bien aéré pour empêcher le développement de bactéries ou de moisissures. La congélation continue (-20° C) est la solution optimale, à privilégier dès que possible, mais n'est pas réalisable dans nombre d'opérations pour des raisons techniques. Dans certains cas, du fait de la rareté des vestiges, de leur âge ou du contexte, une congélation demeure fortement recommandée (par exemple : vestiges du Paléolithique supérieur), voire indispensable (fouille de pergélisol, glacier). Il est alors essentiel de ne pas rompre la chaîne du froid, notamment lors du transport des échantillons, pour éviter les variations de température.

La présence d'eau favorise l'hydrolyse des molécules et donc leur fragmentation, ainsi que la croissance de bactéries et de champignons qui endommagent l'ADN. Il faut éviter de laver les échantillons ou de les laisser en atmosphère très humide, et ne pas fermer les sachets plastique (minigrip) si les échantillons ne sont pas totalement secs.

Les UV dégradent les molécules d'ADN. Il est donc recommandé de ne pas laisser les échantillons directement à la lumière du soleil. Ce facteur influe peu sur l'ADN des os pétreux, puisque le paléogénéticien va sous-échantillonner à l'intérieur de l'os (et non en surface comme pour le ciment dentaire).

- Quel degré d'anticipation des futures analyses ?

À l'heure actuelle, de telles précautions ne concernent que les fouilles qui incluent dès leur planification un programme d'étude paléogénétique, soit un nombre restreint d'opérations si on considère que l'archéologie française met au jour chaque année les restes de plusieurs milliers de sujets. On peut cependant considérer que la progression et la généralisation des études en paléogénétique, accompagnée par une baisse relative des coûts d'analyse, conduira à moyen terme à un déploiement de la paléogénétique sur un très grand nombre de restes. Il va de soi que le renouvellement insuffisant des données rendra nécessaire la mobilisation des fouilles pour lesquelles aucun projet n'était initialement envisagé. C'est déjà le cas pour des périodes qui livrent des VAB en nombre restreint : Paléolithique, Mésolithique et régulièrement le Néolithique.

À la lumière des protocoles mis en place par les laboratoires de paléogénétique, pour optimiser les chances de succès des analyses d'une part, pour réduire les coûts de traitement d'autre part, il apparaît raisonnable de considérer que n'importe quel squelette humain issu de l'archéologie est à même d'être analysé, aujourd'hui ou demain, et donc d'optimiser les possibilités d'une réponse positive.

Les pratiques archéologiques actuelles sont assez éloignées des protocoles des paléogénéticiens. Lorsque les analyses sont à mener pendant le temps de l'opération archéologique, une discussion entre le responsable scientifique de l'opération préventive ou le titulaire de l'autorisation de l'opération programmée, les anthropologues et les paléogénéticiens doit être mise en place dès la mise au jour des vestiges anthropobiologiques pour déterminer les vestiges à privilégier afin de répondre aux questions ciblées.

Lorsque les analyses ne sont pas à mener dans le temps de l'opération, le prélèvement du mobilier osseux doit toutefois permettre la réalisation d'analyses futures. Pour cela, la collecte et les

manipulations pour étude des VAB ne doivent pas compromettre la bonne mise en œuvre d'analyses futures. Les recommandations émises supra devraient donc être suivies.

Ainsi, le groupe de travail se questionne pour savoir s'il serait possible de faire converger les pratiques archéologiques et les protocoles très stricts des paléogénéticiens. Cela pourrait être envisagé selon les directions suivantes :

- Les pratiques archéologiques pourraient évoluer de manière à se rapprocher le plus possible des attentes des analystes, il ne sera néanmoins jamais possible de transformer un chantier archéologique ou une salle d'étude de post-fouille en salle blanche ;
- Les protocoles proposés seraient à appliquer, mais sur une partie réduite du squelette sélectionnée dès son identification sur le terrain. Mais là encore, cette possibilité ne fait pas consensus. En effet, est-il pertinent de morceler les squelettes dès le terrain avant leur analyse anthropologique ? Les analyses menées sur les vestiges anthropobiologiques ne sont qu'un des outils de la recherche archéologique. En outre des analyses ADN ont pu être conduites avec succès alors même que les ossements avaient été manipulés et conservés à température ambiante. Néanmoins, la préservation de l'ADN est variable selon la zone de l'os où il est prélevé et les manipulations restent un facteur important de contamination ;
- Il est également utile d'encourager les paléogénéticiens à poursuivre le développement de protocoles permettant d'éliminer les contaminants de surface (traitement aux UV ou à la javel, extraction séquentielle).

L'opération de terrain et l'étude de post-fouille doivent tenir compte de tous les enjeux scientifiques et ne peuvent sacrifier ou fragmenter les vestiges anthropobiologiques dans la perspective unique de la paléogénétique. Dans la mesure où la quantité de matière nécessaire à l'analyse est restreinte, il semble possible de conjuguer les recommandations des paléogénéticiens et les impératifs archéologiques et anthropologiques pour les opérations livrant des vestiges anthropobiologiques. Ce paramètre doit avoir une place dans le cahier des charges des opérations susceptibles de mettre au jour des vestiges anthropobiologiques ([voir annexe 5](#)).

3.3. Les mesures de sauvegarde avant destruction

3.3.1. *Quelle information préserver, et dans quel but ?*

Un aphorisme banal de l'archéologie énonce que la fouille est une destruction implicite du gisement, donc de son document original. Pour pallier cet inconvénient, la discipline a développé et continue d'affiner toutes sortes d'enregistrements. L'analyse isotopique ou paléogénétique conduisant à la destruction, au moins partielle, du vestige anthropobiologique sollicité, peut-on compenser cette destruction, et comment ?

Dans la mesure où la partie détruite ne pourra pas être remplacée, le premier point est de s'assurer que les informations utiles aux études archéologiques et anthropologiques ont été consignées. Un second point est de privilégier, lors de l'échantillonnage pour destruction, un élément dont un symétrique est présent dans les vestiges collectés lors de l'opération et en dernier lieu stockés dans la structure de conservation, avec au minimum une confrontation macroscopique des deux pièces. Enfin, les discussions entre archéologues, anthropologues et analystes doivent préciser si des mesures supplémentaires sont nécessaires.

Si un enregistrement lourd du ou des vestiges apparaît indispensable, par exemple en sollicitant des techniques de l'imagerie médicale, on peut s'interroger en amont sur le choix de l'échantillon. Sauf impossibilité à sélectionner un vestige équivalent dans la perspective de l'analyse, une pièce considérée comme exceptionnelle n'est sans doute pas à privilégier dans l'échantillonnage.

Outre une sauvegarde d'information à visée scientifique, des informations ou une copie de la pièce peuvent être envisagées dans une optique muséographique ou de valorisation. Le cahier des charges sera alors défini en fonction de cet objectif.

3.3.2. Possibilités théoriques et moyens pratiques, évolutions

Plusieurs méthodes de sauvegarde sont déjà disponibles, présentant chacune des avantages et inconvénients (Tab. 8).

Méthode	Avantages	Inconvénients
Photographies	Rapide et facile à mettre en œuvre. Souvent suffisant quand on travaille sur des séries comprenant de nombreux vestiges. Stockage des fichiers photos simple.	Pas de sauvegarde de la structure interne notamment pour la partie pétreuse de l'os temporal ou les microstructures dentaires et osseuses.
Macrophotographies	Photos de grande précision et grande qualité.	Disponibilité matériel et logiciel adapté (appareil et optique adaptés). Uniquement possible sur petites pièces osseuses. Pas de sauvegarde de la structure interne des vestiges.
Photogrammétrie ou scans surfaciques	Permet d'obtenir une vue 3D de la pièce. Document plus fidèle que la photographie classique. Possibilité de moulages à partir du modèle numérique 3D.	Nécessite un savoir-faire, un appareil et un logiciel adapté. Conservation des données numériques, toutefois pas très volumineuses.
Micro scans 3D Micro-CT	Sauvegarde de la structure interne, importante pour la partie pétreuse de l'os temporal (potentiellement informative en termes de détermination du sexe génétique) ou pour l'étude des microstructures dentaires ou des ossements. Impact marginal sur l'ADN si la dose des rayonnements est inférieure à 200 Gy (μ CT) et si l'os est sec. Coût raisonnable (environ 150 € par pièce du format d'un crâne avec une résolution de 100 μ m, ou une ou plusieurs dents humaines avec une résolution de 20 μ m). Possibilité de moulages 3D à partir des acquisitions scanner, moins chronophage que moulages traditionnels.	Dégradation de l'ADN si la dose des rayonnements est supérieure à 200 Gy (Synchrotron). Données inutilisables sans compétences en imagerie et accès aux logiciels adaptés. Question du stockage des volumineuses données acquisition scanner (besoin de serveur).
Moulage	Permet d'obtenir une réplique fidèle de la pièce (dent ou pétreux).	Accès à une impression 3D : coût (approximatif) 100-150 € pour un crâne ; 10-15 € pour une dent.

Tableau 8 : Mesures compensatoires ou de sauvegarde en cas de destruction d'un VAB

Il est important de discuter de la capacité et de la pérennité des structures amenées à gérer des données numériques (besoin de serveurs). À l'heure actuelle, au sein des structures de conservation pérenne de l'État, le stockage à long terme de fichiers informatiques très volumineux produits par des logiciels spécialisés utilisés dans le traitement de ces analyses n'est pas possible. Sauf exploitation planifiée, il est inutile d'investir des moyens humains et matériels pour une finalité non perçue.

En revanche, stocker au sein des structures de conservation un élément matériel à l'image de la pièce détruite est un objectif réaliste à court terme. Avec la garantie que le scanner surfacique ne pénalise pas l'analyse, une impression 3D de l'os ou de la dent sélectionnée devrait rapidement être possible avant toute analyse. Ce fac-similé, pris en charge par le projet de recherche, réintégrerait la structure de conservation.

4. L'exploitation scientifique des vestiges anthropobiologiques

Une difficulté actuelle rencontrée par les acteurs de la recherche découle d'une absence d'homogénéité des procédures et de l'impression que les décisions varient d'une opération ou d'une région à l'autre. Il est ici nécessaire de rappeler que, par la responsabilité qui lui incombe vis-à-vis du patrimoine archéologique et donc des vestiges anthropobiologiques, l'État (Drac-Dac/SRA et Drassm) est seul habilité à accorder les autorisations d'études ou d'analyses, qui plus est lorsqu'elles sont invasives. Même dans le cadre d'une opération en cours, donc placée sous l'autorité scientifique d'un responsable d'opération préventive ou programmée, l'État doit valider une analyse non prévue dans la prescription ou l'autorisation et le cahier des charges scientifique.

Cette autorisation doit être obtenue que le projet de recherche ne concerne que les analyses ou qu'il fasse partie d'un programme scientifique plus large comme dans le cadre d'un projet collectif de recherche par exemple.

La mise à disposition des vestiges anthropobiologiques et/ou des prélèvements doit être précédée par la signature d'une convention entre l'État et le porteur du projet de recherche (voir infra chapitre 4.3).

Le processus d'exploitation scientifique se déroule en 4 étapes :

- désignation du porteur du projet de recherche,
- évaluation scientifique du projet,
- suivi du projet de recherche,
- restitution du résultat.

4.1. Le projet de recherche : portage et composition

4.1.1. Le portage du projet de recherche

La responsabilité du projet doit être assurée par une personne identifiée et affiliée/employée de manière permanente dans une institution reconnue (EPST, université ou autre). En effet, nombre de ces projets étant très longs, un étudiant ne peut dans le temps d'une thèse ou d'un post-doctorat être reconnu comme porteur, même s'il sera identifié comme réalisant effectivement des prélèvements, générant des données, et/ou analysant ces données et reconnu de fait comme ayant une propriété intellectuelle sur ces points¹². De même, cela ne peut pas être l'institution elle-même ou son représentant légal qui peut porter le projet : il faut que le porteur ait une implication scientifique réelle dans le projet.

Le porteur du projet est la personne qui signe à la fois le projet de recherche qui est transmis au service régional de l'Archéologie compétent et la convention de mise à disposition de vestiges anthropobiologiques à des fins d'analyse ([Annexe 3](#)). Il prend la responsabilité de la bonne réalisation du projet de recherche et du respect des règles fixées dans la convention par l'ensemble de l'équipe du projet de recherche. Il est le responsable de l'utilisation des prélèvements dans le cadre strict de l'autorisation et de l'accord négocié avec le ministère de la Culture. C'est aussi à lui qu'il revient de coordonner la circulation des informations auprès de ses équipes et des personnes impliquées et nommées dans la demande initiale.

¹² En outre, la présence comme dernier auteur du responsable scientifique du doctorant ou post-doctorant, dans les publications, souligne leur absence d'autonomie dans ces études.

Dans le cadre d'une recherche portant sur la diversité métagénomique, le porteur du projet doit garantir la conformité du projet au protocole de Nagoya et qu'il a effectué toutes les démarches nécessaires en ce sens (voir chapitre 2.2.3). Tout changement intervenant dans la direction ou le déroulement du projet de recherche doit être soumis en amont au service régional de l'Archéologie qui décidera des suites à donner à ce changement : nouvelle validation du projet de recherche, avenant à la convention de mise à disposition.

Encart : le soutien aux structures de recherche nationales et aux projets collaboratifs. Vers des appels à projet ?

Les structures nationales de recherche susceptibles d'engager des projets (notamment sur la paléogénétique) portant sur des vestiges anthropobiologiques provenant d'opérations archéologiques réalisées sur le territoire français sont très souvent en concurrence avec des organismes de recherche internationaux bénéficiant de crédits bien plus importants. Cette situation risque à terme d'isoler ou de marginaliser des laboratoires nationaux qui sont pourtant investis dans des problématiques scientifiques intéressant les archéologues et paléoanthropologues intégrés dans les unités de recherches françaises.

Afin de soutenir une dynamique de recherche à même de répondre aux questionnements des archéologues, les services du ministère de la Culture en charge de l'archéologie pourraient proposer des appels à projet d'études et d'analyses de corpus de vestiges anthropobiologiques qui présentent un intérêt particulier pour la connaissance. Ces appels à projet pourraient encourager les initiatives mettant en œuvre des projets collaboratifs, l'association de plusieurs structures nationales comportant des chercheurs de différentes institutions et des laboratoires spécialisés dans les analyses des vestiges anthropobiologiques. Ces projets mêlant plusieurs approches analytiques permettraient également une mutualisation des échantillons et donc un meilleur bénéfice matière prélevée/résultats.

La création de grandes infrastructures de recherche par le CNRS avec ses partenaires (MESRI, ministère de la Culture...) pourrait permettre de fédérer différentes équipes et laboratoires au plan national ou international afin de permettre le montage et la réalisation de projets ambitieux, actuellement inaccessibles à l'une ou l'autre des équipes françaises travaillant de manière individuelle sur ces sujets. Des contacts pourraient être pris avec les différents partenaires institutionnels par le ministère de la Culture, afin de réfléchir au montage de ce type d'infrastructures dans le domaine qui nous intéresse.

4.1.2. La composition du projet de recherche

La constitution du dossier de demande est une étape de formalisation indispensable permettant d'assurer la faisabilité du projet, en particulier en s'assurant de la localisation des échantillons, de leur disponibilité et de l'accord des institutions concernées. Le contenu de la demande doit permettre de répondre aux critères d'évaluation des projets listés au chapitre 4.2.4.

Le projet de recherche doit être accompagné de l'inventaire détaillé des vestiges anthropobiologiques concernés.

4.2. L'évaluation scientifique du projet de recherche

Tout projet de recherche portant sur des éléments du patrimoine archéologique doit être transmis au service régional de l'Archéologie (ou au département des Recherches archéologiques subaquatiques et sous-marines) pour obtenir l'autorisation d'accéder au mobilier.

Pour le cas particulier des vestiges anthropobiologiques, de par leur nature et leur possible rareté, il apparaît indispensable que les projets de recherche soient évalués par la commission territoriale de la Recherche archéologique compétente pour l'inter-région (ou pour une des inter-régions en cas de projet plus large) correspondant au lieu de découverte.

4.2.1. *La commission territoriale de la Recherche archéologique*

Les services régionaux de l'archéologie s'appuient, pour les décisions scientifiques, sur les avis rendus par les commissions territoriales de la Recherche archéologique (CTRA)¹³, composées de membres représentant tous les organismes de l'archéologie nationale ainsi que les différentes périodes chronologiques et spécialités.

Pour des domaines très spécifiques, elles font régulièrement appel à des experts extérieurs. C'est le cas pour des disciplines telles que l'anthropologie, la paléoméallurgie, la géoarchéologie ou la bioarchéologie. C'est le cas également pour des champs de la recherche qui ne trouvent que rarement des experts compétents au sein de leur assemblée : notamment archéologie du paysage, archéologie subaquatique ou sous-marine ou archéologie des grands conflits contemporains. Certaines CTRA se sont ainsi récemment dotées d'une liste d'experts extérieurs susceptibles d'être sollicités pour des expertises ponctuelles en complément des avis rendus par ses membres.

Les CTRA se réunissent à intervalles très réguliers (une fois par mois ou mois et demi) et ne sont donc pas sources de délai pour les opérations ou projets de recherche qu'elles ont l'habitude d'examiner.

4.2.2. *Les types de projets nécessitant une expertise*

Actuellement, la sollicitation des CTRA ne s'étend normalement pas aux domaines faisant usage de techniques novatrices et/ou très pointues, surtout lorsque ceux-ci ne font pas encore partie de la « routine » archéologique, en particulier les analyses en paléogénétique ou les analyses isotopiques. Par contraste, aucun avis extérieur n'est habituellement sollicité pour juger de la pertinence d'un programme de datations C14, cette méthode étant globalement bien connue des acteurs de l'archéologie.

Il est souhaitable que cette expertise s'applique à tous les projets impliquant des analyses invasives sur des ossements humains, quels que soient leur nombre ou la quantité de matière nécessaire à l'analyse.

Lorsque l'impact sur la ressource est faible, le SRA évalue l'intérêt d'une expertise par la CTRA. Lorsque la CTRA est impliquée pour des demandes simples, elle choisit ou non de requérir l'avis d'un expert extérieur pour juger de la pertinence du projet. L'expertise externe doit concerner des projets dont l'impact sur la ressource est évident, soit par le nombre, soit par la rareté ou le caractère patrimonial des vestiges, soit lorsque les enjeux scientifiques sont questionnés.

4.2.3. *L'expertise en question*

Il est donc nécessaire, pour accompagner les CTRA dans l'émergence de ces nouvelles problématiques et demandes, que plusieurs chercheurs compétents dans les disciplines en question soient désignés pour constituer un collège national d'experts, au sein duquel un ou plusieurs avis pourraient être sollicités sur chaque projet, en complément de l'avis habituellement rendu par un membre de la CTRA. Il paraît en effet difficile qu'un seul expert assure à lui seul un avis sur des projets qui pourront impliquer différentes méthodes d'analyse. Outre les disciplines concernées, l'expertise doit également prendre en compte l'état de la ressource, c'est-à-dire le « niveau de ponction » de la série au moment de la demande et anticiper celui-ci après la réalisation du projet. La collégialité reste donc la meilleure option.

¹³ Pour le Drassm, il s'agit de la commission des Opérations sous-marines (COSM) qui est une sous-commission du conseil national de la recherche archéologique (CNRA).

De plus, dans un domaine où la concurrence scientifique bat son plein, les laboratoires ne sont pas nombreux et il est objectivement impossible de solliciter un chercheur « neutre » ; en outre, la définition de critères standard pour évaluer le protocole d'analyse se heurte à des points de vue divergents sur lesdits protocoles. Absolument normales pour une sous-discipline en plein développement, ces différences de vue constituent cependant un handicap pour les services décisionnaires. Ce problème de concurrence est semble-t-il plus marqué dans le champ de la paléogénétique (bien qu'il ne puisse être nié pour d'autres approches). Pour ce domaine particulier, on peut envisager que tous les laboratoires français soient représentés dans le collège d'experts (quatre à l'heure actuelle)¹⁴.

Sur cette base, il est proposé que le ministère de la Culture élabore une liste nationale d'une dizaine d'experts extérieurs nommés pour la durée du mandat des CTRA, c'est-à-dire quatre ans renouvelables une fois. Ces experts seront choisis prioritairement au sein des laboratoires français ; la liste pourra inclure des spécialistes de disciplines intéressant l'animal ou le vivant, de même que des chercheurs étrangers. Pour se familiariser avec le fonctionnement des CTRA, il sera proposé à ces experts extérieurs de participer directement aux réunions de la CTRA en présentiel ou en distanciel.

La procédure en vigueur, pour les spécialistes mandatés par la CTRA, peut facilement être adaptée aux VAB. L'expert se prononcera globalement sur la qualité du projet, en approfondissant notamment les aspects méthodologiques :

- la problématique de recherche envisagée est-elle pertinente ?
- la méthode choisie est-elle adaptée à la problématique ?
- la méthode d'analyse est-elle conforme aux standards actuels ?
- la méthode d'extraction compromet-elle la réalisation de nouvelles analyses ?
- le mode et le calendrier de mise à disposition des résultats auprès de la communauté des chercheurs est-il satisfaisant ?

L'expert extérieur adresse son avis écrit à la CTRA qui, selon sa procédure habituelle, élabore un avis collégial qui prend en compte les compétences de chacun des membres ainsi que les connaissances sur l'histoire du dossier : problématiques historiques, faisabilité générale du projet (accès au mobilier, accord des chercheurs impliqués, budget et sources de financement...), intérêt patrimonial des vestiges anthropobiologiques analysés, etc.

Encart : la question de la confidentialité sur les projets de recherche

Les membres de la CTRA n'ont pas le droit de communiquer sur les projets en dehors de la commission. Ils sont soumis à la confidentialité des débats et à un devoir de réserve.

Dans le cas d'un collège de plusieurs experts extérieurs, le choix de l'expert doit permettre d'éviter des situations de conflit d'intérêt. Il doit être rappelé à chacun des experts extérieurs qu'il doit se soumettre aux mêmes règles déontologiques que les membres de la CTRA.

Par ailleurs, il faut préciser que l'avis collégial de la CTRA, après adoption du procès-verbal de la séance, est un document administratif qui peut être communiqué au porteur du projet et à tout tiers qui en ferait la demande, dans les conditions du Code des relations entre le public et l'administration (CRPA).

¹⁴ Dans la mesure où une série animale peut faire émerger les mêmes questionnements, il semble logique de ne pas limiter cette procédure aux seuls os humains. Dans ce cadre, le comité d'experts pourrait être sollicité en cas de besoin, à la demande des CTRA. Il s'agirait donc d'un comité national d'experts portant plus globalement sur les vestiges osseux.

4.2.4. Les critères d'évaluation des projets de recherche

Cinq points font consensus concernant l'évaluation des projets :

- la problématique scientifique et le cas échéant l'implication du responsable scientifique de l'opération dans son élaboration,
- l'adéquation méthodes/objectifs,
- le bilan perte de ressource/bénéfice,
- les aptitudes de la structure et/ou du porteur de projet à mener les travaux jusqu'à leur terme,
- la restitution des données.

Ces cinq critères sont globalement ceux qui prévalent dans l'évaluation a priori ou a posteriori de toute opération de fouille archéologique autorisée par l'État.

Dans le cas de l'évaluation portant sur les prélèvements pour analyse, il convient cependant d'envisager une gradation dans le processus d'évaluation en fonction de l'impact des prélèvements. Dans le cas d'analyses ne visant pas une partie anatomique précise et d'une bonne représentation pour la période ou l'aire géographique considérée (typiquement les datations radiocarbone), il ne paraît pas nécessaire d'engager un processus d'évaluation préalable spécifique. En revanche, il est utile de rappeler quelles sont les parties anatomiques à éviter pour ce type d'analyse (dents, os pétreux, ...) afin de préserver cette « ressource ».

Concernant les prélèvements portant sur des segments anatomiques ou spécimens peu représentés anatomiquement ou rares archéologiquement, les cinq points évoqués plus haut doivent être pris en compte de manière prioritaire.

- Problématique scientifique
 - Contextualisation du projet (y compris bilan des études déjà réalisées sur le même sujet)
 - Objectifs visés
 - Apport des résultats attendus
- Méthodes
 - Méthodes de prélèvement
 - Description des méthodes d'analyse et de traitement des données (résumé avec bibliographie si les méthodes sont publiées, exposé détaillé si elles sont nouvelles ou adaptées)
- Bilan perte/bénéfice
 - Représentation de la partie anatomique visée dans la série en tenant compte des différents contextes et périodes du site
 - Représentation par contexte, région ou période dans le cas de vestiges rares
- Aptitudes des porteurs de projets
 - Nature de la structure et des équipements, engagement de la structure hébergeant les VAB le temps des analyses
 - CV du porteur de projet
 - Assurance que le projet est financé. Si le laboratoire réalise les analyses sur ses fonds propres, une lettre d'engagement est demandée. Dans le cas d'un financement extérieur non encore acquis, une autorisation conditionnelle peut être délivrée.
- Restitution des données
 - Format sous lequel seront restituées les données
 - Engagements du porteur de projet sur les délais et formats de restitution ainsi que sur les droits d'accès
 - Engagement sur la restitution des échantillons non utilisés comme prévu dans le projet de convention de mise à disposition des VAB.

Si les cinq points font sans surprise consensus dans leurs intitulés, la manière d'envisager leur contenu fait débat. Ainsi le rapport perte/bénéfice met en balance la problématique scientifique avec le caractère irremplaçable du matériau consommé par l'analyse. Du point de vue de la problématique, une méthode bien rodée mais qui n'exploite pas tout le potentiel informatif de l'échantillon peut apparaître pertinente. Une telle question se pose aussi bien pour les différents niveaux d'analyses liés à l'ADN ancien (ADN mitochondrial, positions d'intérêt, génome complet...) que pour les analyses isotopiques (recherche focalisée sur un, quelques ou un large panel d'atomes à partir d'un seul extrait de collagène). Sans imposer le traitement le plus exhaustif d'un échantillon si la problématique ne le justifie pas, il est indispensable de tenir compte de l'état de la ressource.

4.3. La convention de mise à disposition et la temporalité

Lorsque la CTRA aura rendu un avis sur le projet de recherche et que le SRA l'autorisera, le porteur de projet devra signer avec l'État (Drac/Dac/Drassm), responsable de la gestion des vestiges anthropobiologiques issus d'une intervention archéologique, une convention de mise à disposition des vestiges concernés par l'étude ([voir modèle en Annexe 3](#)). Lorsque le projet de recherche porte sur des VAB conservés par plusieurs SRA, chaque SRA doit donner une autorisation et une convention doit être signée avec chacun des SRA concernés.

Pour rappel, cette convention n'a pas lieu d'être mise en place quand les analyses ont été prévues dans les cahiers des charges de l'opération ou dans la demande d'autorisation pour les opérations programmées. Néanmoins, les analyses prévues, l'opérateur, le responsable scientifique de l'opération ou le titulaire de l'autorisation d'opération programmée doit contractualiser avec le laboratoire en charge des analyses les modalités de réalisation des analyses ainsi que de transmission des résultats et de restitution des restes.

4.3.1. Contenu de la convention de mise à disposition

La convention actera notamment :

- l'engagement de la Drac/Dac-Drassm à mettre à disposition les vestiges anthropobiologiques inscrits à l'inventaire du projet de recherche ainsi que les rapports des opérations concernées et toute autre information nécessaire à la conduite de la recherche ;
- l'autorisation donnée par le SRA ou le Drassm au porteur du projet de faire les prélèvements pour analyse après avis de la CTRA ;
- la reconnaissance du porteur du projet qu'il n'a qu'un droit temporaire et non-exclusif d'utilisation des VAB pour procéder aux analyses prévues dans le projet de recherche. En aucun cas, le porteur du projet ne deviendra propriétaire des vestiges anthropobiologiques mis à sa disposition, ni des prélèvements réalisés ;
- l'engagement du porteur du projet d'informer régulièrement la Drac/Dac-Drassm de l'avancement des études ;
- la durée de la convention ;
- le devenir des produits intermédiaires et des résultats ;
- la responsabilité de chacun des partenaires.

4.3.2. La prise en compte de la temporalité

Une autorisation d'analyses (et donc de prélèvement) est donnée en fonction du projet de recherche présenté, et argumentée en tenant compte du contexte funéraire/chrono/géographique associé aux VAB et de paramètres biologiques, les uns et les autres évoluant dans le temps et la progression de la

recherche. Dès lors, une autorisation d'analyse donnée à un instant T est soumise à une certaine temporalité de la recherche qui peut être variable d'un projet à l'autre.

S'agissant d'analyses invasives, portant par essence sur une ressource non renouvelable qui, dans certains cas, aura obéi à des normes spécifiques de prélèvement dès l'opération de terrain, une gestion prudente est indispensable : il n'est pas possible que deux projets concurrents soient menés de front en utilisant le même matériau.

Sur un autre plan, l'investissement humain et financier, nécessaire pour certains projets d'analyse, justifie également qu'un délai soit accordé pour l'analyse de ladite ressource. L'accord donné pour un projet s'accompagne donc d'une forme d'exclusivité pour l'exploitation scientifique des échantillons, dans le cadre défini par la convention de mise à disposition avec l'État. Cette exclusivité ne saurait être illimitée et sans contrôle. Elle est soumise à plusieurs temporalités :

- L'accès à la ressource

En l'état, les projets, en particulier ceux qui concernent la paléogénétique, ne sont que rarement développés sur les fonds propres des laboratoires de recherche (même si des formes de prestation pourront se développer prochainement). Leur financement dépend le plus souvent de la réponse à des appels à projets (régionaux, fondations, ANR, ERC...). On peut raisonnablement penser qu'aucune réponse positive n'est obtenue sans la garantie que la base documentaire existe, c'est-à-dire que la ressource est disponible. Inversement, l'État ne peut s'engager à sacrifier des échantillons à un projet sans garantie que celui-ci sera mené à bien, donc financé.

Dans le cadre d'un projet d'analyses, le premier accord est conditionnel. Il met à disposition de manière exclusive les échantillons sous réserve que, dans un délai d'un an, la faisabilité matérielle du projet soit démontrée. Si le financement n'est pas obtenu la première année, une procédure simplifiée peut proposer de proroger cet accord préalable d'une année sur production d'éléments motivés et de l'assurance d'une nouvelle soumission du projet pour financement l'année suivante. Au-delà, il sera nécessaire de faire une nouvelle demande auprès des services du ministère de la Culture en charge de l'archéologie.

- Les analyses préliminaires

Si quelques méthodes ont acquis aujourd'hui un caractère routinier, d'autres sont encore exploratoires, avec des résultats non garantis à chaque étape des analyses. Certains projets pourraient bénéficier d'une autorisation pour une année probatoire qui permettrait de lancer les études sur une partie seulement du corpus et de soumettre l'autorisation pour le reste de l'étude aux résultats obtenus lors de cette première année. Si la demande initiale ne détaille pas suffisamment les risques à chaque étape, la CTRA pourra proposer une année probatoire, celle-ci étant inscrite dans la convention de mise à disposition des VAB.

Ainsi, dans le cas de l'ADN ancien, l'étape du criblage est à la fois essentielle et rapide (elle permet d'évaluer le pourcentage d'ADN endogène, la longueur des fragments exprimée en paires de base et la clonalité). En fonction des ressources allouées au projet, un premier bilan devrait être transmis à l'État au plus tard une année après le début des analyses, afin de discuter de la faisabilité du projet et des éventuelles modifications de protocole à envisager (choix de nouveaux échantillons, tentatives de nouvelles procédures de laboratoire, arrêt du projet, etc.).

- Le déroulement du projet jusqu'à publication (Tab. 9)

Dans le cadre du projet, la temporalité se décline encore de deux manières différentes : d'une part le temps durant lequel aucun projet concurrent ne peut solliciter la même ressource¹⁵ ; d'autre part le

¹⁵ Dans le cas de projets « complémentaires », comme ADN des pathogènes alors qu'un projet sur l'ADN humain est en cours, ou isotopes alors que des échantillons sont en cours d'analyse pour l'ADN humain, il peut être proposé aux laboratoires de collaborer sur la même ressource

délaï maximal avant la communication des résultats. Il paraît impossible de proposer une durée unique. Le calibrage du projet, souvent lié au financement obtenu, est un paramètre incontournable.

Cependant, il semble judicieux que l'autorisation d'analyse ne puisse pas être donnée d'emblée pour une période dépassant 3 ans (sauf conditions particulières à définir qui doivent être explicitées dans le projet de recherche) sans faire l'objet d'une actualisation de la demande auprès du SRA, dûment justifiée et motivée par des considérations scientifiques et non des seuls motifs économiques (non financement partiel ou total du projet ou bien soumission à des décisions de financement non encore rendues). **En outre, le moratoire sur les échantillons ne devrait pas excéder le temps nécessaire à la première publication des résultats.**

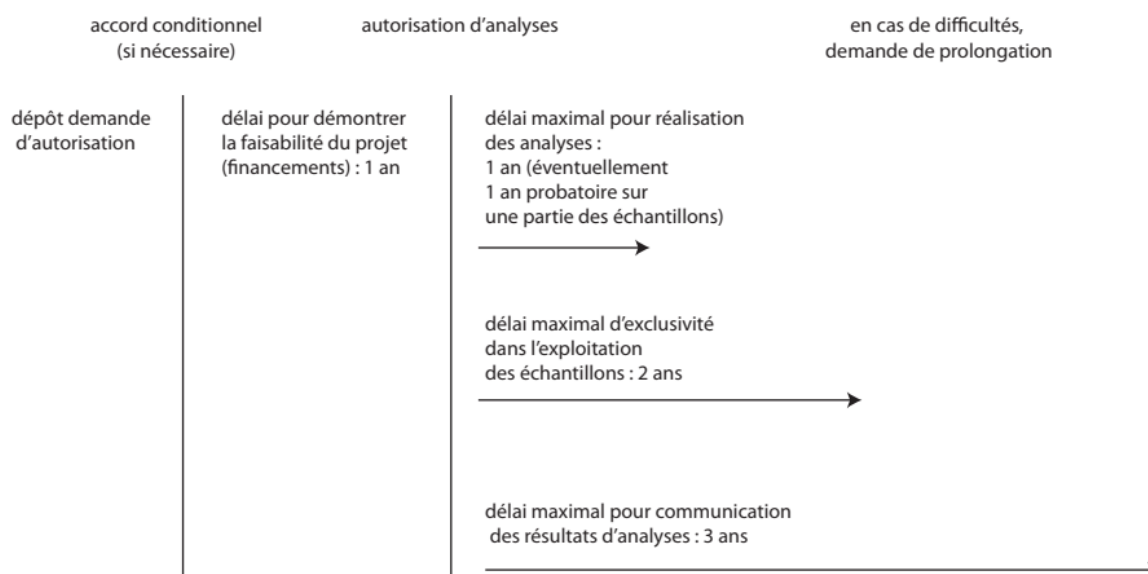


Tableau 9 : proposition de calendrier de mise en œuvre des analyses

Encart : une information nécessaire sur l'avancement des projets

Le constat actuel est sans appel : il est souvent difficile voire impossible d'avoir des informations sur le bon déroulement et le suivi des recherches menées (notamment à l'international, où il existe un important turn-over des étudiants et chercheurs en charge des analyses des sites échantillonnés).

Les conventions passées entre les porteurs de projet et l'État devront donc définir l'obligation de fournir au SRA un rapport d'étape annuel rendant compte des analyses déjà réalisées, des résultats obtenus et de la pérennité des financements nécessaires à la poursuite du projet de recherche.

Ces rapports doivent être raisonnables en taille et en nombre d'informations à renseigner, de façon à s'assurer qu'ils sont effectivement produits sans impliquer un investissement administratif démesuré de la part des porteurs du projet de recherche.

Cela permettra d'améliorer le suivi et la communication entre les parties, le SRA pouvant se réserver une demande d'informations complémentaires en cas de difficultés, allant éventuellement jusqu'à une levée motivée de l'autorisation d'étude et de prélèvement initialement fournie.

4.4. La restitution des résultats

4.4.1. Le contenu du rapport d'analyses

Les résultats des analyses menées dans le cadre de fouilles, de prospections thématiques ou de programmes collectifs de recherche (PCR) doivent être intégrés au rapport d'opération. Les normes de présentation des rapports d'opérations archéologiques sont actuellement définies par l'arrêté du 27 septembre 2004, qui est en cours de révision. Cet arrêté mentionne un certain nombre de points sur les prélèvements et les analyses. Ainsi le rapport d'opération doit détailler « les protocoles d'enregistrement et de traitement (...) des prélèvements » et signaler « les études et analyses complémentaires en cours dont les résultats sont attendus, en précisant leurs échéances ». Les analyses spécialisées doivent quant à elles être « mises en corrélation avec les résultats des fouilles » (art. 5). L'arrêté en préparation prévoit aussi l'intégration dans le rapport de l'inventaire des vestiges anthropobiologiques (future version de l'arrêté sur la composition du rapport d'opération) et des prélèvements (la future version de l'arrêté précise des « prélèvements pour examens et analyses, étudiés ou restant à étudier ») (art. 7). Il est enfin demandé que les résultats de ces analyses soient remis en même temps que l'ensemble des données scientifiques de l'archéologie (art. 7).

Les analyses réalisées après le versement des données scientifiques de l'archéologie à l'État, qu'elles aient été engagées dès l'opération ou bien après celle-ci par une autre équipe scientifique, doivent faire l'objet d'un rapport d'analyse à la fin des études. Il pourrait être remis à l'issue de la première publication, donc postérieurement à l'achèvement des analyses. Il est à noter que tout rapport, une fois remis à l'État, devient un document administratif et est communicable aux tiers qui en font la demande.

L'organisation générale du rapport d'analyse doit suivre celle des rapports d'opérations archéologiques, qui comprennent trois sections : une première qui rassemble les données administratives, techniques et scientifiques caractérisant l'opération, une deuxième qui décrit en détail l'opération et ses résultats et une troisième qui regroupe les inventaires des données scientifiques afférentes à l'opération.

Voici les éléments qui pourraient figurer dans ces trois sections pour le rapport d'analyse :

- 1^{ère} section :
 - Informations administratives concernant l'opération (ou les opérations) d'où proviennent les prélèvements : nature, références (n° de l'opération, n° de l'entité archéologique si connue, n° de l'arrêté de prescription ou d'autorisation, année de la phase terrain, responsable) et localisation (département, ville, adresse/lieu-dit) de l'opération ; copie de l'avis de la CTRA ; copie de l'autorisation d'analyse remise par le SRA, copie de la ou des conventions de mise à disposition ;
 - Informations concernant les vestiges : références (n° d'inventaire, unité d'enregistrement), nature, état de conservation (état préliminaire et après prélèvement), lieu de conservation ;
 - Informations concernant les prélèvements : n° de prélèvement (le cas échéant, celui attribué dans le rapport), état des prélèvements après analyse (détruit ou non, restitué ou non, présence de reliquats), lieux de conservation des reliquats et des produits intermédiaires ;
 - Information concernant l'étude/l'analyse : intervenants (organigramme de l'équipe scientifique, laboratoires associés), durée, support de publication des résultats (DOI ou référence bibliographique si la publication est parue ou projet de publication si c'est en cours).
- 2^e section :
 - Rappel des objectifs de l'étude ;
 - Protocoles d'analyse mis en œuvre ;
 - Documentation du prélèvement (si le prélèvement n'a pas déjà été documenté dans le rapport d'opération) ;

- Présentation des résultats, y compris les résultats négatifs.
- 3^e section :
 - Dans cette section doivent être fournies les données brutes ou un lien vers un accès en ligne ou encore l'indication de leur lieu de stockage, ainsi qu'un inventaire de la documentation remise (imagerie, fichiers de données...) selon les règles d'inventaire de la documentation archéologique de l'arrêté rapport. Il conviendra de s'interroger sur les formats d'interopérabilité sous lesquels devront être remises les données numériques ;
 - Inventaire des résidus de prélèvement ou des restes de traitements pour analyse selon la structuration des inventaires correspondants de l'arrêté rapport en précisant leur nature, lieu et conditions de conservation.

4.4.2. Mise à disposition et communication des résultats

Si la communication des résultats, comme pour toute recherche, est au cœur de sa légitimation, dans le cas des VAB elle constitue également un paramètre essentiel de bonne gestion. Un échantillon détruit ne pourra être ré-analysé. Il est fondamental que les travaux ultérieurs puissent éviter de refaire un travail déjà accompli — a fortiori quand la ressource n'existe plus. Les publications font normalement état des résultats positifs. La littérature scientifique témoigne plus rarement des recherches infructueuses. Concernant les VAB, les analyses peuvent facilement buter sur des problèmes insurmontables en l'état actuel des protocoles : pas de collagène, pas d'ADN exploitable. Les rapports sur les projets doivent inclure les résultats négatifs sur les VAB prélevés, en indiquant les protocoles suivis. Il est inutile que des projets successifs persistent vainement dans la destruction du matériel archéologique concerné sans amélioration avérée des protocoles expérimentaux.

À l'image de toute production scientifique dans le domaine de l'archéologie, la réutilisation de travaux antérieurs peut intervenir à différents niveaux. À l'échelle de la synthèse générale, ce sont surtout les conclusions des études particulières qui sont sollicitées. Dans une démarche plus critique, ces conclusions peuvent être remises en cause. Quelquefois, la réévaluation des documents produits dans une publication permet de reformuler différemment les hypothèses. Les matériaux issus de la fouille peuvent encore être réexaminés, quelquefois en produisant des analyses impossibles au moment du travail initial. Tandis que la fouille ne peut pas être refaite, le plan réinventé, les coupes redessinées. Dans tous les cas, il est indispensable que les données scientifiques de l'archéologie permettent l'accès au plus haut degré possible d'objectivité.

Dans le cas d'analyses physico-chimiques ou biologiques, les données les plus « brutes » sont générées avant tout par traitement informatique. Ces données sont logiquement inexploitable par un non spécialiste [*rédigier le même type de phrase générale pour les isotopes. Les détails sont à porter dans l'encart*]. Au vu du volume de ces données numériques, il semble illusoire que le ministère de la Culture les récupère. Elles sont normalement conservées par le laboratoire qui les a produites et des banques de données spécifiques. Une fois l'étude qui en est issue publiée, ces documents doivent être accessibles, sous réserve de l'accord de l'État et d'une référence au laboratoire qui les a générées.

Etant donné l'investissement financier, humain et intellectuel inhérent à la production des données, les équipes ayant assuré leur production doivent pouvoir légitimement jouir de leur exclusivité avant leur publication. La grande majorité des organismes de financement de la recherche française, européens et internationaux exigent qu'un plan de gestion des données soit élaboré et communiqué pour les projets qu'ils financent. Les modalités de publication des données représentent une partie importante de ce livrable, suivant le principe d'une recherche « aussi ouverte que possible, aussi fermée que nécessaire ». Les publications des données génétiques incluent ainsi obligatoirement un dépôt des données dites « brutes » dans une base de données librement accessible à tous par un numéro d'accès présent dans l'article.

Encart : la typologie des données dites « brutes » au regard des différents types d'analyses.

En paléogénomique, les données dites « brutes » sont les données de séquençage, généralement au format *.fastq*, correspondant à toutes les séquences ADN générées à partir d'une banque, ainsi que leurs scores de qualité. Dans certains cas, seules les données au format *.bam* sont déposées dans les banques de données. Il s'agit alors des séquences alignées au génome de référence humain. Les fichiers *.bam* ne contiennent pas dans ce cas les séquences microbiennes, témoins d'une éventuelle contamination par un pathogène, qui peuvent faire l'objet d'une publication séparée.

Pour les rapports isotopiques dosés sur le collagène (C, N et S), les données brutes sont :

- la quantité de matière extraite,
- les rendements d'extraction du collagène,
- les pourcentages des éléments : %C, %N et %S (utilisés pour calculer le rapport atomique C/N, mais aussi C/S et N/S),
- les rapports isotopiques ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{34}\text{S}$) mesurées sur les échantillons,
- les rapports isotopiques mesurés sur des standards internationaux et des standards internes propres à chaque laboratoire (ces données sont indispensables pour vérifier la stabilité des mesures).

Pour la quantité de matière et les rendements, la disponibilité des données dépend du protocole. Les données isotopiques des standards et d'échantillons mesurés en *duplicats* sont maintenant demandées en annexe des articles lors d'une publication. Ces données servent notamment aux calculs des incertitudes des mesures (voir Szpak et al 2017).

Pour la datation Carbone 14 sur collagène, et selon les laboratoires de datation, les données brutes peuvent être :

- les rendements d'extraction du collagène
- les pourcentages des éléments : %C, %N
- le rapport isotopique $\delta^{13}\text{C}$ mesuré sur l'échantillon (différent du $\delta^{13}\text{C}$ mesuré par AMS servant à la correction de la datation).

4.4.3. La gestion des reliquats ou des produits intermédiaires d'échantillons

L'optimisation des outils et méthodes conduit aujourd'hui à une consommation de plus en plus limitée de matériau pour chaque analyse. Cependant, la gestion initiale de la ressource ne permet pas de réduire considérablement la taille de l'échantillon prélevé. Des fractions de matière prélevée dans la dentine ou le ciment sont suffisantes pour des analyses isotopiques ou paléogénétiques, avec la possibilité de coupler différentes analyses sur le même échantillon. Cependant, c'est bien une dent entière, ou dans d'autres cas un large fragment osseux, qui sera prélevé. Lorsque des analyses interviennent successivement, sans coordination ou synchronisation, les VAB conservés sont ainsi prélevés à répétition, en dépit de la quantité de matière finalement nécessaire. En l'état, le retour de la partie non utilisée de la pièce osseuse ou dentaire, lors d'une analyse, reste une exception¹⁶. **Cette situation doit être inversée. Le reliquat doit être réintégré aux vestiges anthropobiologiques de l'opération et, dans le cas de pièces prélevées sur le terrain et conservées selon un protocole spécifique, ces conditions doivent être maintenues (Tab. 10).**

Les analyses ne sont pas directement réalisées sur des fragments d'os ou de dents, mais sur des extraits. Il va de soi qu'il n'est pas possible de présager le rendement réel du fragment dans la matière (collagène ou ADN) attendue pour l'analyse. L'objectif étant d'avoir au moins assez de substance pour permettre l'analyse, il y aura logiquement un surplus. Outre le temps passé à l'extraction, cette fraction de VAB doit pouvoir être réutilisée. Ainsi, dans la mesure où le protocole d'extraction utilisé est clairement documenté, la conservation des extraits de collagène, d'ADN (et de bibliothèques d'ADN)

¹⁶ La plupart des contrats liant le responsable scientifique de l'échantillon et le laboratoire d'analyse ne précisent actuellement pas ce point. Des sollicitations ponctuelles peuvent conduire les laboratoires à renvoyer les parties non utilisées, mais les archéologues et anthropologues considèrent habituellement le fragment envoyé pour analyse comme totalement détruit. Enfin, dans le cas de prestations de service (e.g. datage par le radiocarbone), la facturation ne prend pas en compte des frais de retour.

ou de bioapatite pourrait permettre de multiplier les analyses sans recourir à de nouveaux échantillons. Puisque le stockage au sein des dépôts archéologiques s'avère difficile, il conviendrait d'officialiser l'existence et la conservation de ces extraits dans les laboratoires où ils ont été produits - ce qui est actuellement le cas, hors cadre réglementaire. Des projets ultérieurs utilisant ces extraits devront, d'une manière ou d'une autre, mentionner leur origine dans le respect des règles sur la propriété intellectuelle concernant l'acte ayant généré ces extraits.

Un problème soulevé est l'absence d'information sur la conservation à long terme de ces préparations, à différents moments de leur traitement et d'analyse (cas notamment des sous-produits des analyses isotopiques). Dans la mesure où la responsabilité en incombe à l'État, on peut envisager qu'un petit projet exploratoire, mené en commun avec un laboratoire d'analyse, évalue l'évolution d'un lot d'échantillons tests sur le temps long.

Il ne semble pas possible actuellement, que ce soit pour des raisons financières, par absence de protocole standard ou de test, de prétendre pouvoir conserver l'ensemble des produits non consommés aux différentes étapes des analyses. En revanche, il ne faut pas fermer la porte à des évolutions en ce sens, dans des domaines où la technique évolue très rapidement.

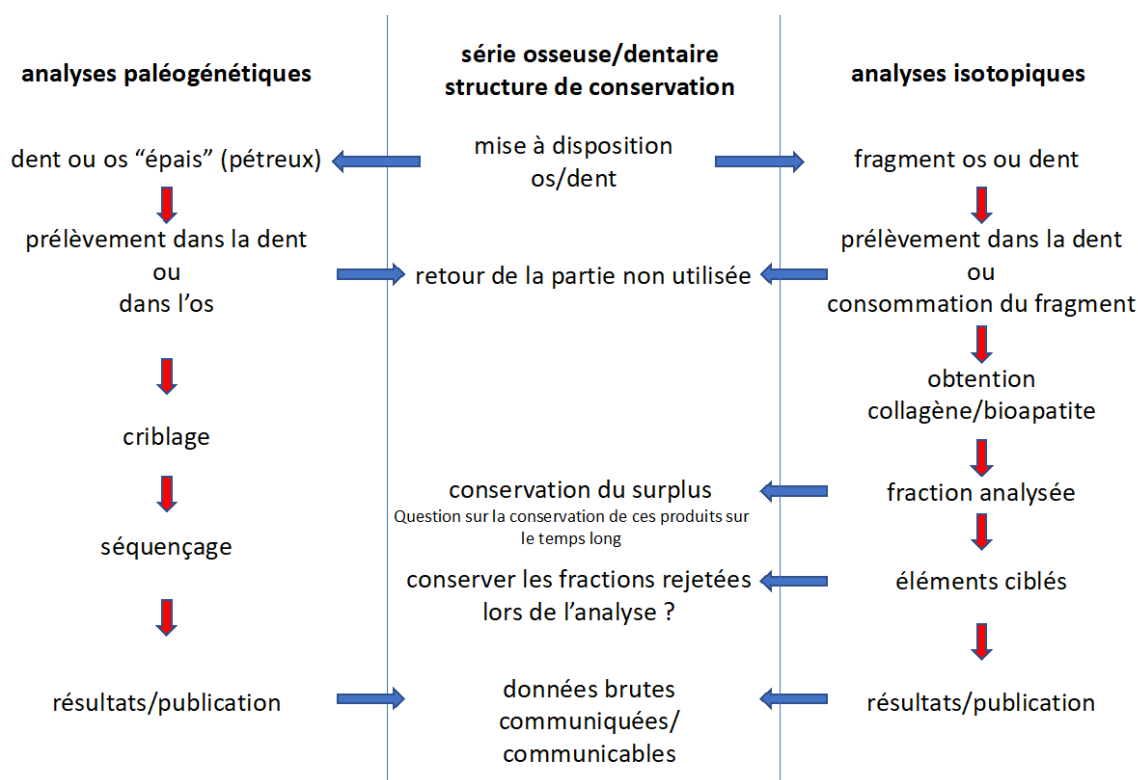


Tableau 10 : restitution et conservation des produits et sous-produits des analyses

4.4.4. Documentation des analyses dans l'inventaire de gestion des données scientifiques de l'archéologie

Lorsque des analyses ont été réalisées sur des vestiges anthropobiologiques et/ou que des fragments ont été prélevés pour analyse, il conviendrait de documenter ces interventions dans l'inventaire de la structure de conservation. Cela permettra par la suite :

- de savoir que le vestige a été l'objet d'une analyse et d'accéder à ses résultats (en cas d'analyse non destructive, d'accéder aux fragments encore conservés) ;
- de comprendre que l'absence d'un élément particulier est liée à cette analyse et non pas à une absence dès la fouille du fragment considéré.

Les données à prendre en compte pour cette information sont définies en [Annexe 2](#).

5. En guise de conclusion : bilan et propositions

Dans un contexte de mutation considérable de notre discipline par l'évolution constante de la recherche, les membres du groupe de travail ont tâché de mettre en lumière les enjeux principaux et les conséquences de ces recherches pour l'étude et la conservation des vestiges anthropobiologiques issus d'une intervention archéologique : l'exploitation scientifique, la préservation et la bonne conservation de la ressource, la gestion responsable et raisonnée. Ce fut l'occasion d'ouvrir un débat entre des disciplines jusqu'à présent peu habituées à dialoguer.

Ce dialogue doit en particulier permettre de favoriser l'interaction « analystes »/anthropologues/archéologues dans un contexte où de nouvelles méthodes d'analyses encore inconnues verront le jour très rapidement.

La réalisation d'analyses selon des méthodes connues et devenues routinières risque enfin de créer une forte pression au niveau des demandes, et cela même si la quantité de matière prélevée sur les vestiges anthropobiologiques a tendance à diminuer.

Les réflexions du groupe de travail permettent de faire les propositions suivantes qui devront être partagées avec l'ensemble de la communauté scientifique impliquée¹⁷ dans ces recherches et en premier lieu avec le conseil national de la Recherche archéologique (CNRA) :

- diffusion des préconisations de la sous-direction de l'Archéologie quant au statut des vestiges anthropobiologiques découverts et étudiés dans le cadre d'une opération archéologique ;
- rédaction d'une fiche portant sur les bons gestes à effectuer et les traitements à éviter durant l'opération, ainsi que sur les conditions de conservation à mettre en œuvre pour que la communauté scientifique ait à disposition des vestiges anthropobiologiques ayant subi le moins de dégradation possible et susceptibles de faire l'objet d'analyses optimales à moyen et long terme ;
- rédaction d'une fiche présentant les apports de chaque méthode d'analyse et les mises en œuvre techniques des prélèvements, mise à jour en fonction de l'arrivée de nouvelles méthodes d'analyse ;
- sensibilisation de la communauté scientifique sur le fait que cette ressource est non renouvelable, qu'il peut y avoir peu d'occurrences pour certains contextes, que la déperdition de l'information est induite par la réalisation d'études et que la destruction a un caractère irrémédiable ;
- dépôt préalable en Drac-Dac/SRA ou Drassm de chaque projet de recherche porté par une personne clairement identifiée et affiliée de manière permanente à une institution reconnue ;
- évaluation du projet déposé, comme tout autre projet de recherche archéologique, par la commission territoriale de la recherche archéologique (CTRA) qui sollicite un ou des experts extérieurs choisis dans la liste nationale établie par le ministère de la Culture sur proposition du CNRA ;
- autorisation, après avis de la CTRA/COSM, par la Drac-Dac/SRA ou Drassm du projet de recherche ;
- mise à disposition des vestiges anthropobiologiques et/ou des prélèvements via une convention entre le porteur du projet et le service de l'État chargé de la conservation des vestiges anthropobiologiques et/ou des échantillons (Drac-Dac/SRA ou Drassm) ;

¹⁷ Experts CTRA, SRA, opérateurs d'archéologie préventive, services de collectivités territoriales, CNRS, MNHN, INSERM, Muséum, laboratoires de recherche, étudiants, associations, groupements et sociétés savantes françaises (SAP, SPF, GPLF, GAAF, RIGMA, CTHS ...).

- encadrement du temps d'étude et obligation d'une restitution des données et des résultats du projet de recherche soumis au contrôle scientifique et technique de la Drac-Dac/SRA ou du Drassm ;
- présentation du nombre et de la nature des projets de recherche examinés en CTRA lors des bilans annuels des CTRA devant le CNRA ;
- réalisation de tests sur la conservation à long terme d'un lot d'échantillons de reliquats ou de produits intermédiaires pour mettre en place des recommandations de conservation ;
- mise en place par le directeur général des Patrimoines et de l'Architecture d'une mission de l'Inspection des Patrimoines, collège de l'Archéologie, pour réaliser un bilan synthétique des études et analyses engagées, des résultats obtenus, du fonctionnement du processus mis en œuvre et des difficultés rencontrées à l'issue d'une période de rodage de 4 à 5 ans, délai permettant la finalisation des études et la remise des rapports des premiers projets de recherche autorisés.

À la suite des échanges avec la communauté scientifique, une note de synthèse présentant les orientations retenues sera rédigée par les coordinateurs du groupe de travail PAOHCE et remise au sous-directeur de l'Archéologie. Ce document servira de base à une instruction diffusée par le directeur général des Patrimoines et de l'Architecture aux services de l'État (Drac-Dac/SRA et Drassm) chargés de la conservation des vestiges anthropobiologiques et/ou des échantillons et du contrôle scientifique et technique des études archéologiques.

Afin que les échanges à venir avec les différents acteurs de la communauté scientifique soient fructueux, le groupe de travail PAOHCE propose d'utiliser le réseau constitué par la vingtaine de ses membres afin de favoriser la bonne transmission des propositions faites, mais également d'assurer une veille méthodologique avec la mise en œuvre des recommandations adoptées, tenir une liste à jour des structures en capacité de mettre en œuvre les méthodes d'analyse et d'aider le CNRA à établir et renouveler la liste nationale des experts mise à la disposition des CTRA/COSM.

Liste des annexes

- Annexe 1 : protocole conjoint ministère des Armées/ministère de la Culture sur « découverte de restes humains de militaires tués au combat. Principes et procédures »
- Annexe 2 : extrait du référentiel de l'arrêté rapport [*en cours de refonte, document de travail*]
- Annexe 3 : Modèle de convention de mise à disposition de vestiges anthropobiologiques à des fins d'analyses entre une Drac/Dac et un chercheur
- Annexe 4 : Modèle de fiche de suivi des restes anthropobiologiques depuis le prélèvement de terrain jusqu'à l'analyse et à l'identification des reliquats et des produits intermédiaires
- Annexe 5 : Préconisation pour la mise en place d'un cahier des charges scientifiques d'une opération impliquant des analyses sur des VAB

Glossaire

ADN (ADN des pathogènes, ADN du tartre) : macromolécule biologique, présente chez l'ensemble des êtres vivants et certains virus et portant une information transmise de génération en génération déterminant les caractères physiques de l'individu. L'ADN est constitué d'une succession ordonnée de nucléotides (A, T, C ou G), formant des chromosomes. La séquence ainsi constituée est spécifique d'une espèce voire d'un individu et peut être amenée à évoluer au cours des générations via le processus de mutation.

ADNmt - Génome mitochondrial humain : le génome mitochondrial humain désigne le matériel génétique des mitochondries, propre à l'espèce humaine. En génétique des populations et en théorie de l'évolution, ce génome est particulièrement étudié, car il permet de remonter des lignées féminines puisqu'il n'est transmis que par la mère.

Analyses isotopiques : terme générique qui fait référence à des études intégrant la mesure de ratios isotopiques (comptage de la masse des éléments : isotopes lourd/isotope léger) de matériaux bioarchéologiques par spectrométrie de masse. Les principaux éléments dosés sont : les isotopes traditionnels (C, N, S, O), les isotopes radiogéniques du strontium (Sr), les isotopes non-traditionnels (Ca, Fe, Cu, Zn).

Artefact/écofact : du point de vue archéologique, un artefact est un bien mobilier transformé par l'activité humaine, alors qu'un écofact est défini comme un bien mobilier issu du règne animal, végétal ou minéral.

Bioapatite (correspondance française : hydroxyapatite ou hydroxylapatite) : phosphate de calcium, composant principal de la fraction minérale des tissus squelettiques (os, émail, dentine). Sur cette fraction, sont dosés la majorité des éléments d'intérêts en bioarchéologie, à l'exception de l'azote et du soufre.

Capture : méthode expérimentale permettant d'augmenter la proportion d'ADN ciblé par rapport à l'ADN total présent dans l'extrait, grâce à l'affinité entre une sonde spécifique et l'ADN. L'ADN ciblé peut être un ensemble de positions génomiques d'intérêt, un chromosome complet voire un génome entier.

Cémentochronologie : méthode d'estimation de l'âge au décès qui repose sur l'observation microscopique du nombre d'appositions des couches de ciment dentaire au niveau d'une coupe transversale de racine de dents.

Cochlée : au sein de la partie pétreuse de l'os temporal, conduit de l'oreille interne caractérisé par sa forme hélicoïdale.

Code du patrimoine : regroupement de textes juridiques applicables à la protection du patrimoine culturel français. Le Code du patrimoine est divisé en sept livres. Le livre I^{er} porte sur des dispositions communes à l'ensemble du patrimoine culturel, le livre II sur les archives, le livre III traite des bibliothèques, le livre IV des musées, le livre V de l'archéologie, le livre VI des monuments historiques, sites patrimoniaux remarquables et qualité architecturale et le livre VII est relatif à l'outre-mer.

Collagène : protéine présente dans la plupart des tissus du règne animal. Il correspond à 90 % de la fraction organique des os (qui compte pour environ 30 %) et disparaît progressivement à la mort de l'organisme. Moins susceptible de pollution que la fraction minérale, le collagène est le support de nombreuses analyses bio-chimiques.

Éléments traces : habituellement présents dans l'environnement, dans notre alimentation et dans tous les organismes vivants en faibles concentrations (à l'état de traces, concentration de l'ordre <1 g.kg-

1), les éléments traces comprennent plusieurs familles : les éléments dits « essentiels » (Cu, Zn, Fe, Mg, Cr ...), les métaux (Pb, Hg, Cu ...), les éléments non-métalliques (Ar, F).

Épigénétique : étude de l'ensemble des modifications réversibles, ne changeant pas la séquence des gènes, et pouvant être transmises lors des divisions cellulaires, ayant un impact sur la manière dont ces gènes sont exprimés.

Génome : ensemble de l'information génétique d'un organisme présent dans chacune de ses cellules, sous forme d'un ensemble de chromosomes. Chez les mammifères, le génome comprend à la fois le génome nucléaire (présent dans le noyau) et le génome mitochondrial (dans les mitochondries).

Histoire de vie : l'analyse des traits d'histoire de vie est une manière, pour la démographie, de confronter les différentes étapes sociales ou biologiques de la vie des individus. Parmi ces traits on peut mentionner la taille à la naissance, le patron de croissance, l'âge à maturité, la progéniture, les investissements reproducteurs âge et taille-dépendants, la mortalité âge et taille-dépendante et la durée de vie, etc.

Microrestes : débris piégés dans le tartre dentaire (pollens, phytolithes...)

Métagénomique : étude de l'ensemble des fragments d'ADN contenu dans un écosystème complexe, sans distinguer en amont les espèces qui le composent. Cette méthode donne accès à la richesse taxonomique de l'échantillon, mais également à son contenu fonctionnel (présence de gènes impliqués dans différentes fonctions).

Mise en état pour étude : toutes les interventions directes (conservation préventive ou conservation curative) strictement nécessaires à l'étude scientifique des biens archéologiques mobiliers à l'exclusion de toute restauration privant l'objet de possibilités ultérieures d'étude.

Paléogénétique : étude de l'ADN ancien, portant des marques de dégradation dues aux phénomènes taphonomiques.

Positions d'intérêt : position variable du génome portant une information d'intérêt phylogénétique, populationnel ou phénotypique.

Protéomique : étude de l'ensemble des protéines d'un organisme, d'un fluide biologique, d'un tissu, d'une cellule ou même d'un compartiment cellulaire.

Radiocarbone (carbone 14 ou C14) : isotope radioactif du carbone. Les échanges avec l'atmosphère, qui maintiennent constant la proportion de radiocarbone, s'interrompent à la mort de l'organisme, conduisant à une lente et mesurable disparition de cet isotope. Il s'agit de l'instrument de datation absolue le plus utilisé en archéologie.

Spectrométrie de masse : technique physique d'analyse permettant de détecter et d'identifier des molécules d'intérêt par mesure de leur masse. Par exemple, les isotopes d'un même élément ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ou $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) sont séparés et un comptage du nombre de chacun des isotopes est réalisé. Le résultat est noté selon la notation δ et exprimé en pour mille (‰) pour visualiser les très faibles variations entre 2 isotopes.

Zoom's : méthode d'analyse récente qui permet, à partir d'éléments squelettiques non-diagnostiques, d'identifier la famille (genre ou espèce) à laquelle ils appartiennent. Cette technique repose sur l'analyse par spectrométrie de masse des séquences peptidiques présentes dans la protéine de collagène. Moins chère qu'une analyse ADN, son utilisation tend à se développer en bioarchéologie.

Bibliographie sélective

Avis 2006

« Commercialisation des cellules souches humaines et autres lignées cellulaires » : avis n° 93 du CCNE du 22 juin 2006, *Les Cahiers du Comité consultatif national d'éthique pour les sciences de la vie et de la santé*.

Avis 2010

« Avis sur les problèmes éthiques posés par l'utilisation des cadavres à des fins de conservation ou d'exposition muséale » : avis n° 111 du CCNE du 7 janvier 2010, *Les Cahiers du Comité consultatif national d'éthique pour les sciences de la vie et de la santé*, 63-64, pp. 26-32.

Bianquis et al. 2020

BIANQUIS I., KRIEF S., LIEBER S.-J., Recommandation sur la conduite à tenir en matière de recherche et d'exposition de restes humains, comité consultatif d'éthique, Paris : MNHN

Champlot et al. 2010

CHAMPLLOT S., BERTHELOT C., PRUVOST M., BENNETT E.A., GRANGE T., GEIGL E.-M. An Efficient Multistrategy DNA Decontamination Procedure of PCR reagents for Hypersensitive PCR Applications. *PLoS ONE* 5(9):e13042, 2010. DOI 10.1371/journal.pone.0013042

Clavandier 2019

CLAVANDIER G., « inhumer les restes humains anciens. Des enjeux juridiques et éthiques, aux pratiques sur le terrain », *GAAF*, 8, pp. 227-235

Code 1986

Code de déontologie de l'ICOM pour les musées : révisé en 2001 et par la 21e assemblée générale à Séoul le 8 octobre 2004, Paris : Conseil international des musées (ICOM), VII-16 p.

Colleter, Adèle 2019

COLLETER R., ADELE P.-A. « Les restes humains archéologiques en France : entre objets de science et sujets de droit », *Canadian Journal of Bioethics – Revue canadienne de bioéthique*, 2(3), pp. 97-108, DOI : <https://doi.org/10.7202/1066467ar>

Cornu 2016

CORNU G., Vocabulaire juridique, Paris : PUF.

Fewlass et al. 2017

FEWLASS H., TALAMO S., TUNA T., FAGAULT Y., KROMER B., HOFFMANN H., ... Bard E. Size Matters: Radiocarbon Dates of <200 µg Ancient Collagen Samples with AixMICADAS and Its Gas Ion Source. *Radiocarbon*, 60(2), 425-439. doi:10.1017/RDC.2017.98

Fewlass et al. 2019

FEWLASS H., TUNA T., FAGAULT Y., HUBLIN J.-J., KROMER B., et al. Pretreatment and gaseous radiocarbon dating of 40–100 mg archaeological bone. *Scientific Reports*, Nature Publishing Group, 9, 5342 (2019), 10.1038/s41598-019-41557-8

Fontanieu 2014

FONTANIEU G., « La question juridique des restes humains sous l'angle de la dignité de la personne », *les annales du droit*, 8, pp. 197-227, <https://doi.org/10.4000/add.739>

Geigl 2015

GEIGL, E.-L. « La Paléogénétique et Paléogénomique » in *Messages d'os. Archéométrie du squelette animal et humain*, Paris : Editions des Archives Contemporaines, pp. 427-428.

Geigl 2018

Geigl, E.-M. La paléogénétique en tant qu'approche archéométrique au cours des 30 dernières années », *ArcheoSciences [En ligne]*, 42-1. DOI :10.4000/archeosciences.5575

Geigl 2021

Geigl, E.-M. Contribution de la paléogénétique à l'archéologie. In C. Carpentier, R.-M. Arbogast & Ph. Kuchler (dir.), *Bioarchéologie : minimums méthodologiques, référentiels communs et nouvelles approches : actes du 4e séminaire scientifique et technique de l'Inrap*, 28-29 nov. 2019, Sélestat. <https://doi.org/10.34692/gdqj-7g88>.

Geigl, Grange 2015 a

GEIGL, E.-L., GRANGE, T. « Les stratégies et enjeux de l'analyse de l'ADN ancien » in *Messages d'os. Archéométrie du squelette animal et humain*, Paris : Editions des Archives Contemporaines, pp. 431-449.

Geigl, Grange 2015 b

GEIGL, E.-L., GRANGE, T. « Les génomes des lignées humaines archaïques » in *Messages d'os. Archéométrie du squelette animal et humain*, Paris : Editions des Archives Contemporaines, pp. 501-520.

Herrscher, Goude 2015

HERRSCHER E., GOUDE G., « Biogéochimie isotopique et anthropologie biologique : reconstitution des modes de vie du passé », in *Messages d'os. Archéométrie du squelette animal et humain*, Paris : Editions des Archives Contemporaines, p. 259-275

Léonetti, Claeys 2010

LEONETTI J., CLAEYS A. (rap.), « Le respect de l'identité et du corps de la personne décédée, chapitre 8 », in Rapport d'information fait au nom de la mission d'information sur la révision des lois de bioéthique, 2235, 20 janvier 2010, p. 423.

Mathieu 2019

MATHIEU A., « Les restes humains et l'archéologie : état des lieux juridique », *Canadian Journal of Bioethics – Revue canadienne de bioéthique*, 2(3), pp. 201-205. <https://doi.org/10.7202/1066477ar>

Moisseeff 2019

MOISSEEFF M., « Les archéologues d'aujourd'hui : de nouveaux médiateurs entre les vivants et les morts », *GAAF*, 8, pp. 29-31

Orlando 2021

ORLANDO L., *L'ADN fossile, une machine à remonter le temps : les tests ADN en archéologie*, Paris : Odile Jacob [collection science]

Orlando et al. 2021

ORLANDO L., ALLABY R., SKOGLUND P., DER SARKISSIAN C., STOCKHAMMER P.W., AVILA-ARCOS M.C., FU Q., KRAUSE J., WILLERSLEV E., STONE A.C., WARINNER C., « Ancient DNA analysis ». *Nature Reviews Methods Primers* 1, 15. DOI : 10.1038/s43586-021-00016-3

Pruvost et al. 2007

PRUVOST M., SCHWARZ R., BESSA CORREIA V., CHAMPLOT S., BRAGUIER S., MOREL N., FERNANDEZ-JALVO Y., GRANGE T., GEIGL E.-M., « Freshly excavated fossil bones are best for ancient DNA amplification ». *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 104 (3), pp. 739-744, DOI 0610257104/ 10.1073/pnas.0610257104

Sirak et al 2020

SIRAK K., FERNANDES D., CHERONET O., HARNEY E., MAH M., MALLICK S., ROHLAND N., ADAMSKI N., BROOMANDKHOSHBAKHT N., CALLAN K., CANDILIO F., LAWSON A. M., MANDL K., OPPENHEIMER J., STEWARDSON K., ZALZALA F., ANDERS A., BARTÍK J., COPPA A., DASHTSEVEG T., ... PINHASI R. Corrigendum: Human auditory ossicles as an alternative optimal source of ancient DNA. *Genome Research*, 30(6), 9381. <https://doi.org/10.1101/gr.266098.120>

Sponheimer et al. 2019

SPONHEIMER M., RYDER C.M., FEWLASS H. et al. Saving Old Bones: a non-destructive method for bone collagen prescreening. *Sci Rep* 9, 13928. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50443-2>

Szpak et al 2017

SZPAK P., METCALFE J., MACDONALD R., « Best practices for calibrating and reporting stable isotope measurements in archaeology ». *Journal of Archaeological Science: Reports* 13, p. 609-616

ANNEXE 1 : protocole conjoint ministère des Armées/ministère de la Culture sur la « Découverte de restes humains de militaires tués au combat. Principes et procédures » accompagnant la circulaire signée par les directeurs généraux des deux ministères du 14 septembre 2021