



HAL
open science

Le point de vue de la direction scientifique et technique

Alain Koehler, Catherine Marcille

► **To cite this version:**

Alain Koehler, Catherine Marcille. Le point de vue de la direction scientifique et technique. La fouille mécanisée: enjeux méthodologiques et scientifiques, Alain Koehler; Catherine Marcille, Dec 2007, Paris, France. pp.60-78. hal-03166965

HAL Id: hal-03166965

<https://inrap.hal.science/hal-03166965>

Submitted on 18 Mar 2021

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Alain Koehler

Inrap

Catherine Marcille

Inrap

Le point de vue de la direction scientifique et technique

Pour des raisons non seulement de pragmatisme et d'efficacité, mais également de priorité méthodologique et opérationnelle, le séminaire a porté essentiellement sur un domaine précis de la mécanisation, celui de la mise en œuvre de mini-pelles hydrauliques. Avec un retard de plusieurs années et le recul imposé par divers aléas, il nous est apparu souhaitable, dans cette partie conclusive, d'élargir davantage la problématique.

Les propos ont non seulement été réactualisés mais vont au-delà des conclusions du séminaire pour aborder la mécanisation sous divers angles, et considérer le recours à la mini-pelle dans un contexte élargi, avec une sensibilité particulière pour le tamisage de gros volumes.

La mécanisation des fouilles est un sujet particulièrement sensible, voire polémique. Incontournable et central en termes de qualité et d'économie, ce sujet nécessitait de confronter les points de vue des utilisateurs... et des non-utilisateurs. Ce débat ne devrait plus porter sur le principe même de mécaniser ou non, mais, au cas par cas, d'analyser l'adéquation entre les objectifs scientifiques et les méthodes et techniques pouvant être mises en œuvre. Les fouilles et les diagnostics archéologiques sont déjà fortement mécanisés, ne serait-ce que dans l'acte de décapage, réalisé désormais dans la très grande majorité des cas avec des pelles hydrauliques, précédées parfois de décapeuses automotrices, tracteurs sur chenilles, etc. lorsque la puissance des stériles l'autorise, ou, plus précisément, l'impose.

La mécanisation raisonnée relève d'une évolution normale dans notre discipline et lorsque le législateur introduisait, en 2003, la concurrence pour les fouilles, la mise en œuvre d'engins sur les chantiers était déjà une pratique courante, bien maîtrisée par certains, en cours d'acquisition pour d'autres. Mais si la mécanisation n'est pas une conséquence de la mise en concurrence des fouilles, cette dernière impose d'en accélérer le processus d'intégration, c'est-à-dire sa maîtrise. La principale difficulté porte non pas sur le fait d'opter ou non pour une fouille mécanisée, mais de se garder de toute mise en œuvre hâtive susceptible de réduire la qualité des interventions, des données et des réflexions produites.

Quel que soit le contexte, l'utilisation d'engins, de machines ou d'appareils sur les chantiers de fouille demeure au service d'un même objectif : l'étude de vestiges anthropiques dans leur environnement, leur compréhension et leur sauvegarde. Cette utilisation doit s'inscrire dans la recherche de la meilleure combinaison de moyens permettant l'optimisation de l'observation, l'amélioration de la qualité de l'information scientifique et celle de sa production, et la réduction de la pénibilité du travail. Aucun des moyens envisageables ne permet à lui seul de répondre à l'ensemble des objectifs et aux continues adaptations nécessaires au quotidien. Ainsi, il existera toujours une complémentarité entre fouille manuelle et fouille mécanique, et il convient une fois de plus d'insister sur le fait que la pelle mécanique ne peut se substituer entièrement aux outils manuels. Elle doit en revanche en compléter la panoplie.

La mécanisation s'inscrit bien évidemment dans l'optique d'améliorer les conditions de travail, selon le principe général énoncé dans l'article L4121-1 du code du travail¹. Cet aspect des choses, s'il est fondamental, ne sera pas développé ici. En filigrane dans toutes nos préoccupations scientifiques, il doit rester une préoccupation majeure et déterminante, tant dans le fait de rechercher des solutions de mécanisation voire d'automatisation, que dans celui d'inscrire ces nouvelles façons de faire dans un cadre approprié de santé et de sécurité.

1. « L'employeur prend les mesures nécessaires pour assurer la sécurité et protéger la santé physique et mentale des travailleurs. Ces mesures comprennent :
1° des actions de prévention des risques professionnels ;
2° des actions d'information et de formation ;
3° la mise en place d'une organisation et de moyens adaptés.
L'employeur veille à l'adaptation de ces mesures pour tenir compte du changement des circonstances et tendre à l'amélioration des situations existantes. »

1 Une amélioration continue de nos manières de faire

Ce n'est pas la minutie d'une fouille manuelle qui fait sa qualité et il ne peut y avoir deux écoles, l'une du « tout manuel », l'autre du « tout mécanique », qui seraient tout aussi inappropriées l'une que l'autre. Faire évoluer les manières de faire est toujours accompagné de craintes, de réticences, particulièrement lorsque cette évolution n'est pas initiée par les utilisateurs eux-mêmes. Pour la mécanisation, les réticences sont polarisées essentiellement sur la crainte d'une dégradation de la qualité des informations produites d'une part, et sur la nécessité de modifier un certain nombre d'habitudes et de devoir acquérir de nouvelles compétences d'autre part.

Si la controverse perd en virulence concernant l'usage de mini-pelles hydrauliques, des expériences comme le tamisage lourd sur des opérations en Champagne-Ardenne ont suscité de vives inquiétudes : sentiment d'une banalisation imposée, d'une simplification des approches archéologiques, d'une non-prise en compte de la stratigraphie interne des ensembles, interrogations sur la gestion et l'étude d'une grande quantité de mobilier, crainte d'une généralisation incontrôlée du procédé en l'état et enfin incertitudes concernant la pénibilité de certaines tâches associées.

Ces inquiétudes obligent à une analyse rigoureuse. Le risque, effectif, d'une banalisation d'approches simplistes n'est pas spécifique à la mécanisation, il existe bel et bien dans tous les domaines. Par exemple, le procédé de tamisage de volumes importants n'implique pas de négliger la stratigraphie et, dans les cas présentés, il s'agit bien d'un choix méthodologique spécifique, lié à l'échelle d'approche. Ce choix, qui doit être fait en toute connaissance des gains et des pertes d'information à intégrer dans les objectifs de l'opération, ne peut en aucun cas devenir une habitude, un automatisme. Et les « ratés » qui ont pu être regrettés par les équipes relèvent davantage des conditions d'exécution (ampleur des chantiers, délais particulièrement serrés) et de l'inévitable manque d'expérience.

Par ailleurs, la mécanisation ne peut pas être considérée comme le simple fait de remplacer l'énergie humaine par celle de machines, de simplement reproduire les mêmes gestes : elle ouvre aussi d'autres horizons à explorer. Pour des moyens humains donnés, mettre à contribution de l'outillage, des machines ou des engins appropriés permet de fouiller un plus grand nombre d'éléments archéologiques, de se rapprocher davantage de ce que l'on entend comme significatif. Aussi, le gain, au moins numérique, d'information permet d'augmenter la valeur statistique des données recueillies et de réduire la part du hasard et des incertitudes dans les inévitables choix de fouille. Mécaniser les travaux peu valorisants permet aussi de se consacrer davantage à des activités strictement archéologiques (dégagement fin pour une bonne lecture des phénomènes, réflexion, analyse, constitution de données fiables et vérifiées, production d'autres fonds documentaires, graphiques, photographiques, etc.).

Toutefois, un projet de fouille mécanisée, aussi bien pensé soit-il, ne pourra être suivi des résultats escomptés que si l'équipe y est préparée et qu'elle est accompagnée. Aussi est-il nécessaire d'éviter trop de précipitation : ce qui compte, c'est l'amélioration de la production scientifique et de ses conditions, pas le fait de développer la mécanisation qui n'est qu'un moyen, pas un but en soi et encore moins un dogme. Loin de rester attentistes, il nous faut prévoir des contrôles, des tests et des points d'arrêt, là où ils sont nécessaires. En particulier, il est important de toujours apprendre à mieux organiser les chantiers et leurs ateliers. Pour cela, des échanges, de la réflexion, de la formation... et un suivi général sont nécessaires.

Enfin, le choix de traiter plus particulièrement ici de l'utilisation des mini-pelles et des expériences de tamisage à grande échelle ne doit pas restreindre la question de la mécanisation des fouilles à ces deux seuls aspects. Par mécanisation, il faut aussi entendre l'utilisation d'aspirateurs, de stations totales robotisées, d'engins de manutention, etc. Il est souhaitable que soit développée une réflexion plus globale portant sur l'adéquation entre objectifs scientifiques, méthodes à clarifier et techniques à mieux maîtriser. Gardons donc à l'esprit qu'une multitude d'engins et de machines peut être mobilisée pour faciliter et améliorer les tâches, voire en autoriser d'autres : si de nombreuses tâches « traditionnelles » peuvent être mécanisées, d'autres ne sont pas concevables sans mécanisation.

Les engins sont empruntés au monde du BTP et, dans le domaine du terrassement, l'intégration est bien avancée. En revanche, les machines peuvent être empruntées et adaptées de bien d'autres domaines. Après l'appropriation de certains outils et accessoires, devenus parfois emblématiques, comme la truelle, le scalpel, la cuillère et le pinceau, puis l'adaptation de ceux-ci, le phénomène se prolonge avec les machines et les engins et se poursuivra, sans autre limite que l'imagination et les besoins. La mécanisation des fouilles ne consiste pas à instituer de manière dogmatique de nouvelles façons de faire, jugées à tort ou à raison comme les plus appropriées, mais bien à s'inscrire dans un mouvement d'amélioration continue de nos manières de faire, des réflexions associées et de la qualité des observations.

2 Quelques notions et définitions préalables

2.1 Le cadre réglementaire : principes méthodologiques et techniques, méthodes et techniques

Selon l'article R523-39 du code du patrimoine, lorsque le préfet de région prescrit la réalisation d'une fouille dans les conditions prévues par l'article R523-19, il assortit son arrêté de prescription d'un cahier des charges scientifique qui, entre autres, « définit les objectifs, les données scientifiques ainsi que les principes méthodologiques et techniques de l'intervention et des études à réaliser ». L'exercice de la prescription est complexe et la traduction de « principes méthodologiques et techniques » est très variable. Ce cahier des charges établit la finalité, c'est-à-dire l'attendu scientifique de l'opération, accompagné des attendus de qualité. Il convient également de garder à l'esprit que le cahier des charges scientifique repose sur un état de la connaissance, tant du point de vue des résultats scientifiques escomptés que de celui des méthodes et techniques habituellement mises en œuvre et ayant fait leurs preuves ou non. Ce socle est à construire en permanence par l'ensemble des acteurs de l'archéologie préventive et ne peut l'être efficacement que dans le cadre d'un dialogue constant entre ceux-ci. Les solutions méthodologiques et techniques ou technologiques qui sont mises en œuvre sur les chantiers devraient être connues de tous, pour leurs avantages et leurs inconvénients. L'article R523-44 du code du patrimoine indique que « l'aménageur conclut avec l'opérateur un contrat qui définit le projet scientifique d'intervention et les conditions de sa mise en œuvre. Ce projet détermine les modalités de la réalisation de l'opération archéologique prescrite, notamment les méthodes et techniques employées et les moyens humains et matériels prévus. Il est établi par l'opérateur sur la base du cahier des charges scientifique. »

Le cahier des charges est ainsi supposé laisser une certaine latitude à l'opérateur pour déterminer les méthodes et techniques les plus à même de contribuer efficacement à atteindre les objectifs fixés. Il revient donc à l'opérateur de proposer et d'explicitier les processus envisagés et d'en préciser, voire démontrer, le bien-fondé et l'efficacité. Document complexe, le projet scientifique est nécessairement rédigé à plusieurs mains et doit notamment intégrer l'analyse de l'assistant technique et les préconisations du conseiller sécurité prévention. Il relève de la responsabilité de l'AST ou du directeur interrégional selon la nature et l'importance de la difficulté : le projet scientifique d'opération (PSI) est un document qui engage d'abord la structure.

2.2 Questions de vocabulaire

Il n'est sans doute pas inutile de proposer pour certains termes quelques définitions simples et claires, mais suffisantes pour faire progresser les débats, car les difficultés à échanger apparaissent parfois pour la seule raison qu'un vocabulaire de base n'est pas partagé. Depuis la tenue du séminaire, un travail a été fait en ce qui concerne les principaux engins mis en œuvre sur les chantiers : adopter des dénominations à partager entre archéologues, mais surtout avec nos prestataires et fournisseurs. Pour échanger sur les thématiques qui nous intéressent ici, quelques autres définitions sont nécessaires, la première permettant de percevoir notre activité comme s'inscrivant dans des processus.

2.2.1 Processus

La bonne conduite d'une fouille archéologique nécessite de maîtriser de nombreux processus en interaction. Le terme de processus est ici plus approprié que l'expression « chaîne opératoire » (suite d'opérations qui partent d'une matière première pour aboutir à un produit fabriqué). Selon la norme ISO 9000:2000, un processus est un ensemble d'activités qui utilise des ressources pour transformer les éléments d'entrée en éléments de sortie. Il consiste en une succession de tâches planifiées, réalisées par des acteurs, en utilisant du matériel et des informations et en suivant des documents d'instruction. Ceci pour obtenir un résultat (matériel ou non) correspondant à un objectif. Un processus peut se décomposer en sous-processus, qui peuvent encore se décomposer à leur tour. Si le processus global d'une opération – incluant l'émission de l'arrêté, demande du maître d'ouvrage, réponse d'un opérateur, préparation, phase terrain, phase étude, remise du rapport, etc. – est un processus de type « administratif », la seule conduite de l'opération de terrain (sous-processus du précédent) s'apparente pour certains aspects à un processus de type « artistique », c'est-à-dire dont le produit n'est pas répétitif et qui n'utilise pas de méthodologie fixe.

Là où les enjeux scientifiques et budgétaires sont conséquents, il peut être souhaitable de repenser nos habitudes et donc d'entamer une analyse de processus. Les grands traits du processus global d'une intervention sont obligatoirement précisés dans le projet scientifique d'intervention. Le fait d'explicitier les méthodes et les techniques constitue quant à lui l'ossature des sous-processus qui seront mis en œuvre.

Ce sont des analyses de processus qui permettent d'apprécier correctement la pertinence de la mécanisation ou de l'automatisation. Mais qu'entend-on lorsque l'on parle de mécaniser ou d'automatiser ?

2.2.2 Outiller, mécaniser, automatiser

Outiller : fournir des outils, des équipements nécessaires à une activité. L'énergie nécessaire au fonctionnement des outils est une énergie humaine, la commande des outils est humaine.

Mécaniser : introduire une machine, un engin, dans une activité. L'énergie nécessaire au fonctionnement des machines et engins est d'origine thermique ou électrique, la commande est humaine.

Automatiser : rendre automatique, procéder à l'automatisation d'une activité. L'énergie nécessaire au fonctionnement des machines et engins est d'origine thermique ou électrique, le système est autonome en termes de production. L'automatisation n'est envisageable que si l'ensemble du processus est maîtrisé, dans le cadre d'objectifs prédéterminés ne dépendant pas d'événements ou de situations non prévues.

Mécaniser et automatiser ne contiennent pas l'impératif de changer les objectifs, notamment en termes de qualité des observations et de l'information recueillie, ni même souvent de méthode. En revanche, ils nécessitent de les préciser et de donner davantage de sens à ce que l'on fait.

L'automatisation de certaines tâches est parfois perçue comme le développement d'une forme d'aliénation et inévitablement surgissent à l'esprit des séquences de travail à la chaîne, dans lequel n'existe plus qu'un savoir-faire manuel restreint, dépourvu de sens pour l'opérateur, et une cadence poussée jusqu'aux limites du supportable. Ces dérives ne doivent en aucun cas être autorisées et l'automatisation de tâches ne doit pas non plus être conçue comme une forme d'aboutissement incontrôlable de la mécanisation. Il est par ailleurs inconcevable d'imaginer pouvoir automatiser la grande majorité de nos tâches, ne serait-ce que par la nécessité d'intégrer un suivi continu ou, *a minima*, des contrôles ponctuels dans le processus susceptibles d'interrompre ce dernier afin de traiter un cas non prévu : l'automatisation ne peut être envisagée que pour des tâches exemptes de tout risque non prévisible pouvant avoir des conséquences scientifiques non maîtrisées. Or, ni les matériaux de départ ni les produits d'une intervention ne sont précisément prédéfinis. Seules certaines sections des processus habituellement mis en œuvre peuvent donc être automatisées. Par ailleurs, il n'est pas envisageable d'automatiser autre chose que des tâches techniques. Et c'est ce que l'on fait déjà, par exemple lors de numérisation en série de documents papier.

Les réflexions portant sur l'automatisation, qui inclut ici le fait de mécaniser, devraient susciter beaucoup moins de craintes que diverses pratiques manuelles, lorsque celles-ci sont réalisées sans curiosité et sans vigilance, comme pourraient l'être des passes

mécaniques prédéterminées réalisées à la pioche ou non, sur des épaisseurs préétablies. Se contenter d'appliquer des recettes peut en effet conduire à une forme d'automatisation intellectuelle contre-productive. Il est toujours appauvrissant, et même parfois dangereux, de procéder par habitude, et pire encore d'avoir recours à des méthodes sans plus en connaître les raisons.

2.2.3 Modes opératoires (Modop)

Sur le terrain, la première préoccupation est de maîtriser l'avancement, c'est-à-dire d'être à tout moment capable de savoir ce qui a été fait et d'estimer ce qui reste à faire, ce qui nécessite de maîtriser l'ensemble du processus. Dans le monde du BTP, c'est concrètement le « mode opératoire » (Modop) qui décrit en détail l'ensemble des tâches nécessaires à la réalisation d'un ouvrage et leur ordonnancement. Il s'agit en quelque sorte de la déclinaison opérationnelle du processus défini pour l'intervention. Il précise les moyens matériels et humains, les délais d'exécution, fixe les objectifs qualité et sécurité. Toutes les données d'un Modop sont toujours définies par rapport aux objectifs. Un Modop est réalisé en phase d'étude de chantier et réajusté au fil de l'eau lors de l'exécution du chantier. Sur un chantier archéologique, un Modop s'appuie sur le projet scientifique et technique dont il détaille les tâches au fur et à mesure que se précise le potentiel du site et que s'affinent les objectifs concrets que l'on se fixe. Il s'agit en fait de formaliser un peu plus ce que l'on fait par expérience, de manière à mieux maîtriser la conduite de l'opération et donc de s'assurer davantage de son bon déroulement. Pour l'heure, il n'est pas envisageable, sauf cas particulier (situations à risque élevé par exemple) de mettre en place des Modop détaillés ; la priorité est déjà de mieux connaître les processus que nous mettons en œuvre, leurs avantages, leurs intérêts et si possible comment les améliorer.

2.2.4 Ateliers

Un atelier est un ensemble de moyens humains et matériels définis pour la réalisation d'une tâche, de travaux, etc. Un atelier peut être une reprise de décapage sur un secteur, un autre la fouille manuelle fine d'un ensemble de tombes, un autre encore l'enregistrement anthropologique et le démontage de ces mêmes tombes si l'on souhaite bien distinguer cette étape.

Les moyens d'un atelier peuvent être propres à l'atelier ou communs à plusieurs ateliers suivant l'organisation du travail et les Modop de réalisation des tâches. Plusieurs équipes peuvent se succéder sur un atelier, en remplacement l'une de l'autre, ou dans le cadre d'activités spécifiques. Plusieurs ateliers peuvent se succéder sur un même ensemble archéologique. Il est recommandé, lorsque cela est possible, d'alterner le cadre du travail entre ateliers mécanisés et ateliers non mécanisés et d'éloigner régulièrement les agents des sources sonores ou d'émanation de gaz, ou tout simplement des zones à risque. Réduire la fatigue aide à préserver l'attention constante indispensable dans un atelier mécanisé.

On distingue deux types d'ateliers :

- **ateliers de fouille** : les engins et machines sont directement employés à la fouille des vestiges archéologiques, que ce soit pour détecter ou estimer (détecteur de métaux, carotteuse), creuser et décapier (mini-pelle, marteau-piqueur), nettoyer (aspirateur, rouleau brosse mécanique, soufflette à air comprimé), évacuer (sauterelle, tombereau, brouette mécanique sur chenilles et autres engins de manutention, grue), photographier (drone), mesurer (tachéomètre, pantographe), etc. ;

- **ateliers d'assistance** : ces ateliers ont pour vocation de faciliter, voire de permettre la mise en œuvre des ateliers de fouille. Il peut s'agir de transporter du matériel ou des prélèvements, d'enlever des dépôts de stériles, d'aménager des accès, de réaliser des ouvrages permettant d'assainir le chantier, de mettre en place des merlons de protection ou d'isolation, etc. ;

Dimensionner un atelier consiste à déterminer le nombre et la nature des engins et machines nécessaires aux tâches et travaux prévus, la durée de leur mise en place et bien entendu l'équipe et ses compétences. Le dimensionnement de l'atelier intègre l'ensemble des données du chantier.

2.2.5 CACES et autorisation de conduite

La première compétence qui vient à l'esprit, dès qu'est envisagée la mécanisation, est celle du conducteur d'engin. La conduite des petits engins de chantier est en effet réservée au personnel ayant reçu une formation et possédant une autorisation de conduite². Le certificat d'aptitude à la conduite en sécurité d'engins de chantier (CACES) est l'une des formations reconnues³. Ce n'est ni un diplôme ni un titre de qualification professionnelle. Il ne valide que les connaissances et le savoir-faire du candidat pour la conduite en sécurité. L'Inrap impose à tous ses agents en CDI ou CDD volontaires et susceptibles de conduire des engins, d'être en possession du CACES. Ce dernier ne crée pas pour autant d'obligation pour l'employeur de missionner à la conduite d'engins un agent qui en serait pourvu. Seule la direction est habilitée à délivrer annuellement une autorisation de conduite au personnel formé, dont l'aptitude médicale est régulièrement contrôlée lors des visites médicales obligatoires.

Un agent de l'Inrap ne peut donc en aucun cas conduire un engin sans cette autorisation de conduite. Dès qu'un agent est autorisé à la conduite d'un engin, il devient responsable de ses actes et a obligation de refuser tous travaux susceptibles d'entraîner un risque matériel ou humain. *A contrario*, il ne décide pas seul de la définition des travaux, qui relève du responsable de l'opération ou de son délégataire.

À l'Inrap, deux catégories⁴ de CACES sont en fait concernées :

- catégorie 1 pour les mini-pelles et autre engins d'excavation d'un poids inférieur à 6 t, ainsi que pour les motobasculeurs et autres engins de transport d'un PATC inférieur à 4,5 t ;
- catégorie 9 pour les engins de levage de type chariot à bras télescopique, avec une formation complémentaire 3A ou 3B si l'engin est équipé d'un dispositif d'élévation de personne.

3 La mécanisation avant la fouille

Si les moyens mécaniques doivent souvent être adaptés lors de l'intervention de terrain, c'est bien en amont que ces moyens doivent être globalement définis.

3.1 Consolider les études préalables

Chaque opération doit être considérée comme une nouvelle expérience, et non comme la stricte reproduction d'un cas antérieur. Il est essentiel de prendre en compte ses spécificités, d'évaluer la pertinence de la mise en œuvre de démarches déjà éprouvées, de rechercher les améliorations possibles, d'intégrer de manière raisonnée les nouvelles possibilités. Il s'agit de mobiliser les expériences des uns et des autres, tout en gardant un esprit critique et en faisant preuve d'imagination. Il est ainsi préférable de partir de l'hypothèse où il existe plus d'une manière de faire pour atteindre un objectif donné, et que même la démarche la plus éprouvée est toujours susceptible d'être améliorée. Une confrontation sérieuse des différentes possibilités dans le cadre imposé du projet d'aménagement et intégrant toutes les contraintes du contexte constitue un préalable incontournable.

Dès ce premier stade de la conception du projet, il est fondamental de déterminer, ou tout au moins de circonscrire, les tâches qui pourront être mécanisées ou non. Conjointement (car indissociable) à la déclinaison des objectifs scientifiques doivent donc être déterminées les méthodes et conçue l'organisation technique de l'opération. À l'Inrap, les assistants techniques doivent contribuer à la recherche des meilleures solutions techniques aux processus définis par les archéologues. L'opération doit être pensée, dès le début, comme un compromis entre aspirations scientifiques, contraintes opérationnelles, méthodes, techniques, technologies et compétences effectivement mobilisables. Le principe est alors de prévoir tout ce qui est prévisible et d'anticiper ce qui ne l'est pas.

2. Les principaux textes réglementaires concernant les obligations de formation et les autorisations de conduite sont les articles R 4323-55 à 57 du code du travail, l'arrêté du 2 décembre 1998 relatif à la formation à la conduite des équipements mobiles automoteurs et des appareils de levage de charges ou de personnes et la circulaire DRT*99/7 du 15 juin 1999 relative aux mesures d'organisation, de mise en œuvre et aux prescriptions techniques auxquelles est subordonnée l'utilisation des équipements de travail.

3. Certaines formations professionnelles diplômantes en la matière (CAP, BEP) intègrent une formation à la conduite en sécurité au moins aussi développée que celle du CACES. Ainsi, les chauffeurs titulaires d'un CAP, BEP ou d'un CFP de conducteur d'engin sont dispensés pendant 10 ans, à partir de la date d'obtention de leur diplôme, de test de conduite en sécurité (CACES ou autre).

4. Selon la recommandation de la CNAM R372 modifiée.

3.2 Concevoir les ateliers et leurs articulations

En reprenant les données du diagnostic et en s'appuyant sur le savoir-faire des agents, le projet scientifique d'intervention rappelle (et précise si besoin) les objectifs scientifiques de l'opération tels que définis dans le cahier des charges, pour ensuite proposer les modes d'intervention.

Les grandes lignes du déroulement de l'opération sur le terrain sont présentées dans le PSI. Celles-ci sont parfois simples et linéaires (installation du chantier, décapage et nettoyage, relevé général, fouille-enregistrement-relevé, repli) mais, dans la plupart des cas, elles doivent intégrer des chevauchements prévisibles et anticiper certaines situations ainsi que d'inévitables imprévus. Il n'est pas rare, par exemple, que la fouille des phases les plus anciennes doive attendre que soient achevées celle d'éléments plus récents et la conduite d'une reprise de décapage; malgré tout, un bon équilibre des moyens doit être trouvé: trop insister sur les seconds peut conduire à sous-exploiter les premières, et inversement. Ainsi, des stratégies de chevauchement entre fouille des niveaux récents et estimation – voire exploitation partielle, là où c'est possible – des plus anciens doivent être mises en œuvre et avoir été explicitées au préalable. Ceci peut amener à présenter les variations possibles des délais des différentes étapes, que soit prévu ou non un mécanisme de tranche conditionnelle.

Ces estimations doivent reposer sur des dimensionnements d'ateliers bien maîtrisés. Le dimensionnement des ateliers est une démarche importante qui conditionne la qualité et le respect des objectifs scientifiques. Le sérieux qui lui est apporté permettra d'éviter les sous ou surdimensionnements, qui ne sont souhaitables ni l'un ni l'autre. L'atelier idéal « bon à tout faire » n'existe pas. Chaque agent a des compétences et des motivations qui lui sont propres, chaque engin ou combinaison d'engins possède ses avantages et inconvénients. Il est donc impératif d'en connaître les capacités et d'en accepter les contraintes. Tout ne pouvant raisonnablement être prévu, il importe de s'attarder sur les ateliers ayant le plus d'impact sur l'économie du projet en raison de la quantité de structures archéologiques, de l'étendue et de la puissance des strates à appréhender, de la complexité même des ateliers (ensembles enchevêtrés nécessitant des aménagements particuliers, etc.) ou de l'importance des moyens habituellement nécessaires (puits, structures funéraires par exemple).

Si pouvoir disposer d'outils adaptés est fondamental, la puissance et les caractéristiques des engins ne doivent pas être négligées. Autant que possible, ces derniers doivent être en adéquation avec les tâches à réaliser, ni trop peu puissants, ni surdimensionnés. C'est à tort que serait appliqué le proverbe « qui peut le plus peut le moins », non seulement pour des raisons économiques (coûts de location et de consommation plus élevés) mais aussi pour des raisons pratiques comme l'encombrement, le poids ou la distance du conducteur à l'outil. Comme il n'est pas concevable de changer chaque jour d'engin, déterminer celui qui sera le plus efficace sur des périodes raisonnables, quitte à adapter la conduite de l'opération, peut, dans certains cas, être déterminant pour la réussite d'une opération.

Pour affiner le dimensionnement des ateliers, il convient d'examiner comment ceux-ci vont se succéder ou se chevaucher et d'identifier les interférences envisageables. Cette analyse va permettre de définir des étapes, des objectifs intermédiaires, mais également de modifier le dimensionnement des ateliers, en augmentant par exemple la durée, ce qui permet de mieux mutualiser certains moyens.

C'est l'ensemble de ces questionnements qui devrait, dans l'absolu, amener à la définition des moyens mécaniques à prévoir, ainsi que du type de recours (ponctuel, quotidien et régulier). Mais il faut bien convenir qu'en réalité, ces principes ne peuvent être poussés aussi loin que dans le BTP, et n'ont par ailleurs pas nécessité à l'être en raison de la nature même de nos travaux et de la part importante de l'incertitude des découvertes. Il n'en reste pas moins qu'un minimum de modélisation est nécessaire pour proposer un montage équilibré et cohérent avec ce qui est attendu.

4 Mise en œuvre de la mécanisation sur le terrain

La mécanisation doit être envisagée dans le cadre général de l'organisation du chantier et son intérêt mesuré à l'échelle de l'ensemble de l'opération. Il est pour cela capital que les objectifs scientifiques soient clairs et que l'organisation du chantier soit maîtrisée, sinon toujours maîtrisable.

Si l'organisation globale constitue l'ossature de référence, c'est le découpage en séquences et ateliers qui constitue l'outil au quotidien. Il s'agit de considérer les choses de manière dynamique. Des délais et des moyens de réalisation inférieurs à ce qui a été prévu peuvent donner plus de latitude à d'autres ateliers, mais aussi permettre d'avancer sur certaines interrogations et de réaliser par exemple des tests sur certains ensembles dont on ne connaît pas suffisamment le potentiel. *A contrario*, l'identification d'un retard probable dans un atelier doit engager à revisiter l'ensemble des tâches restantes et à évaluer le poids des choix qu'il pourrait être nécessaire d'effectuer pour amortir ce dépassement.

4.1 Une adaptation permanente

Elle implique de revisiter les objectifs scientifiques et le projet scientifique d'intervention au regard des découvertes. Cette « réalité du terrain » est susceptible d'évoluer jusqu'au dernier jour de l'intervention (nous ne sommes jamais à l'abri d'une découverte importante en fin de chantier). Il est ainsi nécessaire de réévaluer régulièrement tant le potentiel scientifique que la ventilation, et parfois même la nature des moyens prévus. Une première réévaluation, incontournable, est élaborée et formalisée à l'issue de chaque phase de décapage : la nature et la quantité des structures archéologiques sont-elles de même grandeur que ce qui était attendu ou la distorsion implique-t-elle des réajustements en profondeur ? Y a-t-il des zones pour lesquelles le potentiel archéologique est encore très difficile à estimer, des reprises de décapage se révèlent-elles nécessaires ? Cette question des informations qui ne sont pas accessibles à la fin du décapage est essentielle pour les sites stratifiés. Une mécanisation souple peut permettre non seulement de répondre à certains imprévus, mais également de mieux anticiper les reprises de décapage par des sondages complémentaires permettant de mieux préciser, et le plus tôt possible, le potentiel encore insuffisamment connu de niveaux sous-jacents.

Quelle que soit l'habileté du conducteur de mini-pelle, et donc la qualité de son travail, la rapidité d'exécution, si elle n'est pas intégrée, peut rapidement engendrer des contraintes vécues comme des cadences insupportables. Cette rapidité implique d'autres modes d'organisation et de suivi. Dans la majorité des cas, un investissement en temps de réflexion est nécessaire avant chaque atelier, avant chaque tâche, si l'on souhaite les optimiser et éviter les situations de blocage.

Un archéologue confirmé adapte constamment l'outil à la tâche, alternant traditionnellement des phases de terrassement rapide (pelle, pioche, piochon), dégagement et contrôle (truelle, rasette), nettoyage (balayette, brosse, etc.) voire de fouille fine (cuillère, outils de dentiste, etc.). Les engins étendent les possibilités, mais doivent être équipés d'outils adaptés et fonctionnels. Plusieurs types de godets doivent toujours être disponibles, larges et à lame lisse de curage et plus étroits (50 cm, 40 cm, 30 cm, voire moins). Les dents ne sont généralement nécessaires que dans des contextes de sédiments très compacts ou très caillouteux, la finition et les travaux courants se concevant avec des godets lisses. Changer de godet n'est pas une opération longue si elle est bien anticipée, avec les godets à proximité de l'engin et non pas sur l'atelier précédent. Dans les situations où cette alternance est prévisible, il convient dès le départ de réserver des engins équipés de dispositifs de changement d'outil automatique.

4.2 Le chantier et son infrastructure

Un découpage de l'espace de travail doit clairement circonscrire les différentes activités et éviter certaines interactions. Ce découpage évolue avec l'avancement du chantier. Une attention toute particulière est de mise pour les zones de circulation. Le code du travail impose d'organiser la circulation des engins sur le lieu de travail

(articles R4323-50 à R4323-52). Si un plan de circulation en tant que tel n'est pas exigé, sa réalisation est vivement recommandée, si possible sur tout ou partie du chantier. La prévention des risques occasionnés par les véhicules et engins circulant ou manœuvrant sur les chantiers a fait l'objet d'une recommandation de la CNAMTS⁵. Trois types de zones de circulation peuvent être distingués :

- des grands axes plus ou moins pérennes, qui structurent en quelque sorte le chantier. Ils sont susceptibles d'être aménagés, délimités et entretenus, notamment les pistes de déplacement d'engins d'évacuation rapide. Ces axes comprennent les accès au chantier, pour lesquels un soin tout particulier est indispensable ;
- les accès aux ateliers, entre eux ou depuis les grands axes, et en particulier les cheminements entre ces ateliers et les aires de stockage des déblais, lorsque ceux-ci ne sont pas évacués à l'extérieur du chantier. Ces axes sont généralement utilisés lors de la mise en œuvre des ateliers auxquels ils sont associés. Ils peuvent néanmoins être accompagnés d'aménagements particuliers (dispositifs de franchissement, de protection, etc.) ;
- les déplacements au sein même des ateliers.

Tout agent intervenant sur un chantier, même de manière très ponctuelle, doit être informé des emplacements dédiés à la circulation (engins et piétons) et de leur évolution.

4.3 Réceptionner et entretenir le matériel

Lors de la livraison, que ce soit avec ou sans chauffeur, le personnel réceptionnant l'engin doit effectuer un contrôle de l'état général ainsi que de la validité de la VGP (vérification générale périodique). La VGP doit permettre de déceler la détérioration d'un appareil ou d'un accessoire avant qu'il ne devienne source de danger. Rendue obligatoire par le code du travail, elle ne se substitue pas aux éventuels contrôles et opérations de vérification et de maintenance prévus par le constructeur du matériel tels que définis dans ses notices d'utilisation.

Comme tout matériel, les petits engins de chantier doivent également faire l'objet d'un contrôle journalier de la part du chauffeur afin de garantir leur parfaite utilisation, aussi bien en termes de qualité que de sécurité⁶ : un godet correctement affûté permet une meilleure pénétration, une coupe franche et plus propre, moins « tassée », plus facile à reprendre manuellement.

Il est indispensable d'appréhender dès la phase de préparation le problème du ravitaillement en carburant des petits engins de chantier. Il existe de nombreuses solutions pour son transport et son stockage, pouvant répondre à la fois aux obligations légales et aux besoins effectifs. Rappelons que les engins de chantier doivent désormais être approvisionnés en GNR, le nouveau carburant⁷.

5. R 434, prévention des risques occasionnés par les véhicules et engins circulant ou manœuvrant sur les chantiers du BTP. Recommandation de la CNAMTS (Caisse nationale de l'assurance maladie des travailleurs salariés) adoptée par le Comité technique national des industries du bâtiment et des travaux publics le 26 novembre 2007.

6. Les chauffeurs doivent effectuer chaque jour un contrôle général du fonctionnement de l'engin, c'est-à-dire vérifier les niveaux d'huile moteur et hydraulique, le niveau de circuit de refroidissement, l'étanchéité des flexibles et vérins par un contrôle visuel afin de détecter les éventuelles fuites, le fonctionnement des éléments de sécurité, système de blocage des commandes, feu et avertisseur de recul. L'engin doit être manœuvré « à vide » avant la journée de travail afin de s'assurer de l'état de fonctionnement effectif de ses commandes.

7. Le GNR a été conçu, à l'origine, pour réduire l'impact des émissions polluantes des moteurs sur l'environnement, conformément à la Directive 2009/30/EC. L'arrêté du 10 décembre 2010 relatif aux caractéristiques du gazole non routier (NOR : INDR1032557A) rend désormais obligatoire l'utilisation du GNR pour les engins et matériel concernés. Pour le différencier du gazole routier, il possède la même coloration rouge que l'ancien fioul. La réglementation pour le transport et stockage du GNR est identique aux autres carburants.

4.4 Les ateliers de fouille

Il s'agit, pour chaque atelier, de déterminer préalablement les façons de faire les plus adaptées. Pour les engins, s'il convient d'anticiper leurs conditions optimales d'utilisation, les choix seront d'abord archéologiques. Les facteurs intervenant dans la définition d'un atelier et de son évolution sont nombreux, variables selon la nature et la disposition des vestiges, des sédiments, la ou les méthodes retenues, l'expérience de l'équipe, les capacités techniques des engins, les conditions météorologiques, l'état visuel que l'on souhaite, etc.

Beaucoup d'ateliers de fouille sont faciles à définir lorsqu'il s'agit de traiter séparément des ensembles simples, suffisamment espacés les uns des autres. Il est alors possible de se concentrer tour à tour sur chacun des ensembles et d'accomplir les tâches sans contrainte particulière. Les engins sont alors utilisés de manière optimale et la question de l'évacuation des déblais, si elle se pose, n'est pas critique. Mais au-delà d'un certain seuil de densité de vestiges, il n'est plus envisageable de penser l'approche de l'ensemble comme une simple succession de situations unitaires ; il est alors nécessaire de tenir compte de l'impact de la fouille des premières structures sur les possibilités d'accès aux suivantes. Pour une même quantité de vestiges, les moyens peuvent fortement varier en fonction de la complexité des recoupements, de leur lisibilité et de leur accessibilité par les engins.

4.4.1 Mobilité des engins au sein des ensembles

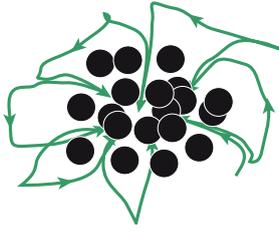


Fig. 1. Privilégier les manœuvres à l'extérieur des ensembles. Définir des parcours d'accès, les matérialiser si nécessaire.

La principale préoccupation concernant la mobilité des engins au sein des ensembles étudiés comporte deux aspects : l'accès au poste de travail et l'emplacement de celui-ci. Si l'on envisage par exemple de privilégier la lisibilité de l'espace étudié, les manœuvres de rotation au sein de cet espace seront évitées, avec des mouvements amples en dehors de ces zones et un accès aux postes de travail par des droites ou des courbes larges [fig. 1]. Il n'est pas toujours possible dans ces conditions de positionner l'engin de manière idéale et il est souvent nécessaire de déporter le pied de flèche et de travailler latéralement. Dans certains cas où ces aspects deviennent cruciaux, l'utilisation d'un engin équipé de flèches (articulées, rallongées) ou balanciers (rallongés, télescopiques) spécifiques ou d'un porte-outil multidirectionnel peut être envisagée. Ces équipements réduisent l'efficacité, voire la robustesse, de l'engin et nécessitent davantage de précautions en termes de sécurité : la visibilité et les angles morts sont modifiés, la maîtrise de l'engin moins assurée et, dans le cas des rallongements, les vibrations et à-coups sont démultipliés. Les déplacements au sein des ateliers évoluent continuellement. Il n'est généralement pas possible d'isoler ces espaces de circulation de ceux des agents. Une très grande rigueur est de mise tant dans la conception de l'atelier que lors de son déroulement : tout déplacement d'un engin, même minime, ne doit être effectué qu'après que l'ensemble de l'équipe s'y est préparé et a pris, le cas échéant, les dispositions nécessaires. Dans les cas complexes, une analyse détaillée de l'ordonnancement des actions à mener est indispensable. Il peut être alors judicieux de matérialiser les axes de pénétration des engins au sein de groupes de structures ou *a minima* de l'indiquer sur un plan de secteur mis à disposition de l'équipe. Dans certains cas, les précautions pourront aller jusqu'à la protection des niveaux sous-jacents (feutre géotextile, système de roulement sur plaques, etc.).

Ces conditions de cheminement doivent également être prises en compte pour les engins d'évacuation, dont les besoins en espace d'évolution sont souvent plus importants que pour les mini-pelles. Il peut aussi être utile de protéger avec une bâche, contre les inévitables pertes de sédiment, les surfaces entre les strates exploitées et l'engin d'évacuation.

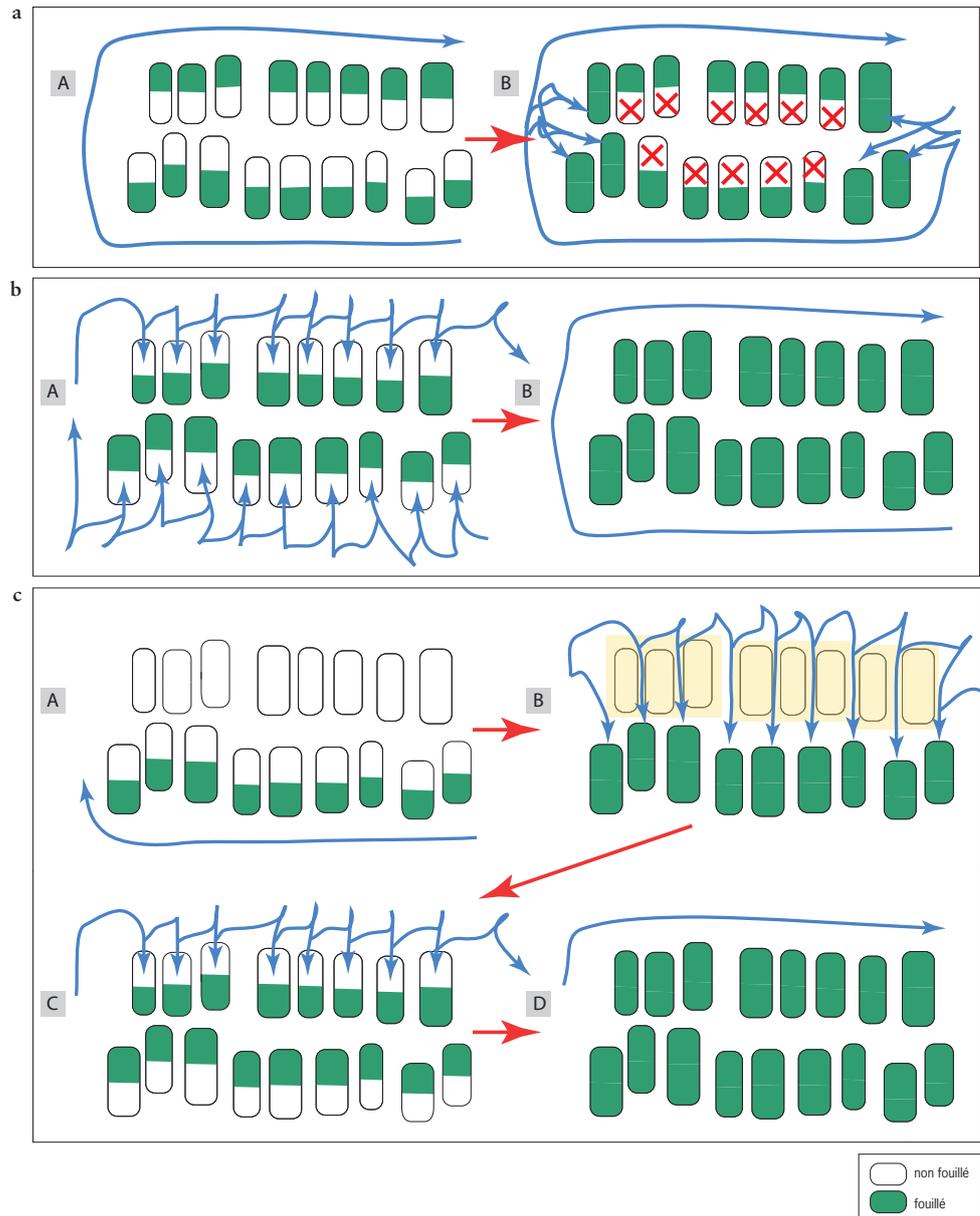
4.4.2 Dynamique d'évolution d'un atelier

Les déplacements au sein des ateliers doivent surtout intégrer la dynamique d'évolution des travaux. Lorsque leur évacuation immédiate n'est pas prévue, l'évolution de la fouille s'accompagne inévitablement de la création de tas de déblais. Ces dépôts vont restreindre les possibilités de manœuvre et d'accès et doivent impérativement être pris en compte. À défaut de pouvoir les évacuer au fur et à mesure, des ateliers d'assistance doivent être prévus pour une évacuation différée. La question des déblais est essentiellement organisationnelle. En revanche, les vestiges ne peuvent être déplacés et, lorsque la fouille est achevée, il faut s'interroger sur leur conservation en l'état. Car si l'on tient à préserver une fosse exploitée, ceci devient une contrainte supplémentaire pour les suivantes. Dans le cas inverse, elle peut devenir une opportunité, en permettant d'accueillir des déblais par exemple.

En guise d'illustration, partons d'un exemple de deux rangées de tombes profondes que l'on souhaite appréhender par moitié afin de disposer de coupes transversales [fig. 2a]. Ici, les remblais supérieurs peuvent être retirés à l'aide d'une mini-pelle. Une mauvaise approche serait de vouloir à tout prix éviter de trop approcher les fosses. Dans ce cas particulier, la mini-pelle ne pouvant circuler dans l'ensemble, seules les parties des fosses donnant sur l'extérieur peuvent être traitées mécaniquement. Une part importante du volume de sédiment doit être terrassée manuellement, ce qui réduit les possibilités d'investissement sur d'autres postes plus utiles et constitue une dépense d'énergie inutile. Accepter d'empiéter un peu sur les structures non fouillées, quitte à mettre en place des protections, permet de mieux bénéficier des avantages de la fouille mécanisée. Généralement, le plus efficace est de commencer par les parties les moins accessibles ou les plus susceptibles de le devenir [fig. 2b].

Toute contrainte supplémentaire peut nécessiter une révision en profondeur du processus. Si, pour des raisons scientifiques, il s'avère nécessaire de toujours commencer par la fouille de la même moitié de chaque fosse, par exemple la moitié sud, il est préférable de scinder l'approche et de renoncer à disposer d'un état où toutes les tombes sont fouillées à moitié [fig. 2c].

Fig. 2. (a) Éviter de circuler sur une partie des structures conduit à traiter manuellement de nombreuses parties devenues inaccessibles aux engins (croix rouges). (b) Commencer par les parties les moins accessibles permet de réduire les contraintes et d'optimiser l'utilisation d'une mini-pelle. (c) Renoncer à fouiller l'ensemble des fosses en même temps et mettre en place des protections (feutre géotextile, en B) permet d'optimiser la fouille mécanisée tout en intégrant ici une condition particulière : aborder systématiquement la partie basse de chaque structure.



Il est clair que plus il y a de conditions à respecter, plus le dimensionnement et la gestion dynamique de l'atelier seront complexes. Ceci doit inciter à formaliser l'ensemble des conditions puis à s'interroger sur leur réelle pertinence. S'il s'agit d'une simple fosse, commencer par une moitié plutôt que l'autre a pour seul résultat d'inverser le sens de lecture de la coupe : ce critère ne devrait pas être retenu, ou en tout cas pas comme prioritaire. Mais dès lors qu'il s'agit de structures dissymétriques, comme des tombes, le choix n'est plus aussi anodin, et plus de temps devra être investi au départ pour installer les conditions optimales de fouille.

4.5 La question des déblais

L'utilisation de mini-pelles entraîne inéluctablement la production de déblais et implique une gestion serrée de ceux-ci, dont la production est souvent bien plus rapide et importante que l'on peut l'imaginer. Cette gestion s'entend à toutes les échelles, depuis l'ensemble du chantier (avec le cas échéant une évacuation extérieure, en décharge) jusqu'à la petite fosse isolée, pour laquelle peut être envisagé un stockage spécifique juste à côté. Le stockage des déblais doit être conçu comme dynamique et la possibilité de stockage provisoire ne doit pas être négligée. Un stockage provisoire

implique par définition que les sédiments vont être repris à un moment donné, et il convient d'intégrer ce surcroît de travail, même mécanisé, lorsque se pose la question de choisir entre ce mode de gestion des déblais et celui prévoyant une évacuation au fur et à mesure. Un stockage provisoire est généralement mis en œuvre lorsque l'on souhaite, par exemple, se donner la possibilité de revenir sur les déblais de fouille, ou lorsqu'il est possible de réaliser leur évacuation à l'aide d'engins plus appropriés, comme une pelle hydraulique, mais qui n'est pas immédiatement disponible. Trois questions préalables peuvent aider à éviter la saturation : quel est le volume prévisible ? souhaite-t-on un stockage à proximité des structures ou une évacuation ? quelles sont et seront les possibilités de d'accès et de circulation des engins de transport ? La production de ces déblais peut par ailleurs être mise à profit pour l'aménagement du chantier, qu'il s'agisse de surélever un peu la mini-pelle pour gagner en confort et en puissance d'utilisation, pour la mise en place de merlons destinés à protéger une zone d'écoulement d'eau ou de boue, ou pour isoler davantage un groupe électrogène ou une centrale d'aspiration et gagner en confort de travail.

4.6 Les ateliers d'assistance

Une vision claire de l'organisation d'un chantier implique d'intégrer tout atelier dans son contexte. Les ateliers d'assistance sont là pour maintenir le chantier praticable et contribuer à faciliter la mise en place et le déroulement des ateliers de fouille ainsi que leurs accès. Dans de nombreux cas, les ateliers d'assistance se révèlent prioritaires.

4.6.1 Aménagement du chantier

Du point de vue de la sécurité, les accidents de circulation pédestre, avec et sans dénivellation, sont toujours en tête, causant un grand nombre d'entorses (lésion majoritaire). Il est donc nécessaire d'améliorer et d'entretenir tant les accès et les aires de circulation pédestres que l'espace des postes de travail. Aussi, en début de journée, les premières manipulations d'une mini-pelle, après les contrôles d'usage et le chargement/déchargement d'outils lourds dans les engins de transport, devraient être destinées à maintenir le chantier praticable : passer un coup de lame aux endroits où cela est nécessaire, à réaménager des marges d'accès en cas de dénivelé, etc.

4.6.2 Levage, manutention

Après les accidents de circulation pédestre, les accidents les plus fréquents sont les problèmes de dos liés à la manutention manuelle. Là encore, l'utilisation d'engins de levage n'est sans doute pas optimisée. La principale erreur est souvent de n'envisager la manutention mécanisée que pour les très gros volumes. On oublie par exemple que le déchaussement de blocs de quelques kilogrammes peut nécessiter non seulement une énergie considérable pour l'arrachement, mais aussi d'adopter des postures dangereuses. L'utilisation soit directement de l'outil en bout de bras d'une mini-pelle, soit de sangles pour déchausser et extraire des blocs devrait être généralisée et, bien entendu, mieux maîtrisée. Le délai de disponibilité d'une mini-pelle ne peut justifier de ne pas y avoir recours : soit l'extraction est urgente et il convient de la considérer comme prioritaire, soit elle ne l'est pas et les agents peuvent réaliser d'autres tâches en attendant. Les questions du levage et de la manutention deviennent bien entendu fondamentales dès lors qu'il s'agit de prélever des ensembles destinés à une fouille différée. L'exemple emblématique est celui des incinérations : il convient non seulement de décoffrer un dépôt, mais aussi de procéder à son transport au sein du chantier jusqu'au lieu de chargement, puis de procéder à son transport vers le lieu de traitement, ce qui implique également de pouvoir le décharger, le stocker, le manipuler dans des conditions appropriées.

Il s'agit là encore de questions d'organisation, d'opportunité... et de bon sens. Il est dommage par exemple d'attendre la fin de la journée pour rapatrier les sacs et caisses de mobilier, l'outillage dont on n'a plus besoin, lorsque des temps d'arrêt des engins existent et permettraient de le faire au fur et à mesure, ou lorsqu'un engin, passant d'un atelier à un autre, permettrait au moins de rapprocher ces éléments des installations de chantier. Dans le même ordre d'idée, il n'est pas acceptable que surviennent des accidents liés au transport à la main de godets de mini-pelle.

Fig. 3. Décaissement latéral simple (a) et double (b).

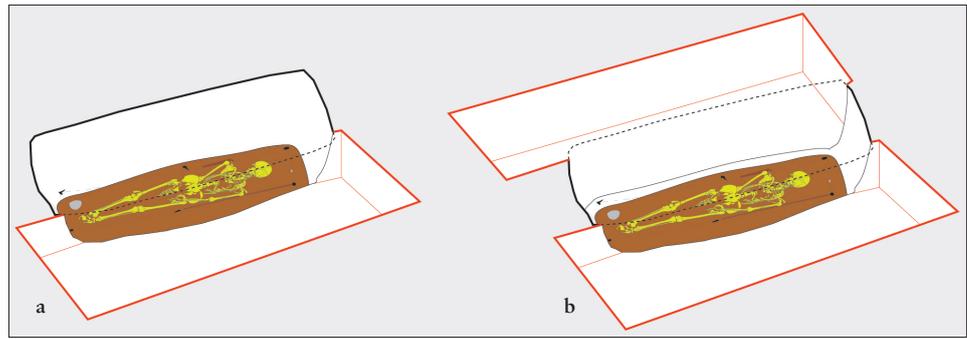


Fig. 4. Trois façons d'appréhender un trou de poteau : fouille entièrement manuelle (a), fouille partiellement mécanisée (b), assistance mécanisée et fouille manuelle (c).

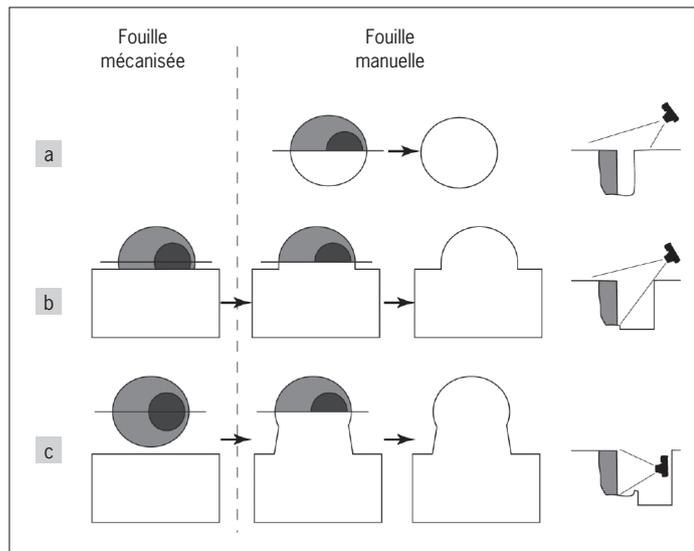
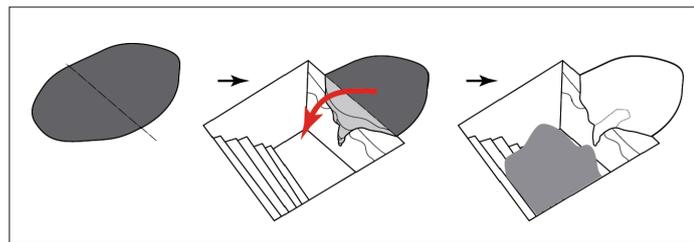


Fig. 5. Utilisation de l'excavation mécanisée comme réceptacle des déblais de la fouille de la partie restante



4.6.3 Faciliter l'accès et le travail

Les ateliers d'assistance doivent plus fréquemment être mis en œuvre pour faciliter les ateliers de fouille, c'est-à-dire leurs accès et les postes de travail. La fouille d'une tombe par exemple peut nécessiter l'alternance d'une fouille mécanisée, d'une fouille manuelle et l'aménagement de l'espace visant à optimiser les conditions de dégagement et d'observation. Un atelier d'aménagement du poste de travail peut ainsi être conçu après la fouille et l'enregistrement de la partie supérieure de la fosse, et avant que ne soit engagé le dégagement du dépôt funéraire [fig. 3]. Ce décaissement latéral assure un poste de travail plus confortable et permet une fouille plus efficace et de qualité.

Pour une série de trous de poteaux, lorsque le sédiment encaissant s'y prête, excaver des volumes latéraux aux structures permet non seulement de réaliser proprement une fouille manuelle, mais également de faciliter la lecture stratigraphique et de réaliser des clichés plus pertinents [fig. 4].

Dans certains cas, l'atelier d'assistance est complètement intégré dans l'atelier de fouille. Par exemple, la pratique d'excavations latérales, associées ou non à la fouille mécanisée des sédiments eux-mêmes, permet d'accéder en sécurité aux strates inférieures, d'élargir les coupes au sédiment encaissant. L'excavation peut également être utilisée comme réceptacle des déblais de la fouille de la partie restante [fig. 5]. La part d'assistance est intégrée dans la démarche et consiste essentiellement à agrandir l'espace devant la coupe et à créer un accès sécurisé à l'excavation.

Il n'est pas dans nos habitudes de procéder au remblaiement d'une zone pour y revenir ultérieurement. Pourtant, ce recours pourrait être plus répandu. En milieu rural, la première étape de l'intervention consiste très fréquemment en un décapage de la totalité de l'espace de fouille, l'équipe disposant ainsi d'une vision de l'intégralité ou presque du site. Cette méthode permet entre autres de mieux envisager la stratégie globale de l'intervention, sans les incertitudes quant aux moyens nécessaires à l'exploitation des vestiges non encore repérés, dans le cas d'un phasage du décapage par exemple. Cela peut cependant engendrer des contraintes, notamment lorsque le chantier est de longue durée (reprise de la végétation et autres altérations) ou que sont présentes de nombreuses structures sensibles (sépultures avec mobilier métallique). Il peut être, dans ces cas, très profitable de procéder à un remblaiement provisoire de certaines zones, protégées avec du feutre géotextile par exemple. Une reprise de décapage permettra ensuite d'intervenir sur ces zones lorsque les conditions les plus favorables auront été réunies.

Ce principe peut aussi être appliqué plus localement, par exemple lorsqu'un ensemble ne pouvant être immédiatement prélevé (mosaïque, etc.) est découvert à un emplacement dont la libération était attendue pour accéder à d'autres vestiges. Un remblaiement provisoire, après couverture photo, relevé et enregistrement, peut alors être envisagé si deux conditions sont remplies :

- l'ensemble archéologique à maintenir peut être efficacement protégé ;
- aucune autre solution d'accès n'est possible, ou nécessiterait des investissements disproportionnés.

4.7 Quel savoir-faire sur le chantier ?

La formation à la conduite en sécurité et l'autorisation de conduite ne suffisent pas pour garantir une bonne qualité de travail. Il est nécessaire d'acquérir d'une part une bonne connaissance pratique et technique, et d'autre part une bonne connaissance des lieux et des règles d'organisation et de sécurité propres au chantier. Un chauffeur d'engin de chantier doit savoir apprécier les distances et les reliefs, avoir le sens de l'équilibre, de bons réflexes, du sang-froid et une vigilance de tous les instants. Aux commandes de son engin, il effectue tous les travaux de creusement, de déblaiement, de nivellement et de terrassement, comme sur un chantier de génie civil, mais aussi des travaux beaucoup plus minutieux en intervenant directement avec son engin sur des structures archéologiques. Le chauffeur doit connaître parfaitement les possibilités de la machine qu'il manie, non seulement en fonction de la nature des terrains mais aussi en fonction des vestiges archéologiques.

Lorsque le chauffeur travaille seul, une connaissance des méthodes de fouille est indispensable. Un chauffeur prestataire extérieur doit nécessairement être dirigé par un archéologue. Ceci ne doit pas pour autant donner lieu à des considérations simplistes qui exigeraient que la conduite d'une mini-pelle soit réservée aux seuls archéologues. Aussi compétent soit-il, un archéologue aux manettes d'un engin est distant de plusieurs mètres de la zone traitée et n'a pas la vision immédiate nécessaire à une prise de décision pour modifier son geste. Il peut même être intéressant de faire appel à un intervenant extérieur, pour l'ensemble ou une partie des tâches mécaniques, afin de recentrer l'archéologue sur sa discipline. Cette question n'est pas idéologique ; elle relève tant des compétences disponibles que de la définition, de l'organisation, de l'économie et de la gestion du chantier. L'externalisation de la conduite peut présenter le risque de conduire à la concentration des interventions mécanisées sur des périodes limitées avec une utilisation continue et intensive. Ces conditions peuvent être pesantes pour les archéologues et la mécanisation, si elle n'est pas très bien gérée, vécue comme génératrice de stress. Néanmoins, le recours ponctuel apparaît parfois moins comme un choix stratégique d'intervention que comme une adaptation à une situation qui vise à pallier le manque d'archéologues conducteurs.

Enfin, il n'est pas nécessaire que tout archéologue sache conduire un engin, et encore moins de concevoir la conduite d'engins comme un métier : le conducteur d'engin salarié de l'Inrap est avant tout un archéologue et conduire un engin est une compétence parmi d'autres.

La nécessaire organisation qui accompagne la mécanisation d'une fouille n'est pas une simple affaire de logistique ne concernant que le seul responsable d'opération :

la mécanisation est une composante systémique, intégrée et cohérente. Pour cela, une compétence générale doit se décliner à tous les échelons, dans tous les secteurs et pour tous les acteurs d'une opération.

4.8 Accompagner et former

Une démarche est nécessaire : mieux maîtriser la conduite d'opération, en particulier dans ses aspects techniques. Pour avancer dans ce domaine, une première étape était de constituer un référentiel professionnel. Un vocabulaire précis et des notions communes se devaient d'être fixés, avec pour objectif de renoncer à certaines habitudes, trop imprécises ou inadaptées. La terminologie et l'organisation technique des chantiers archéologiques ne pouvaient se définir que par l'adoption des règles et du savoir-faire des chantiers du BTP. C'est pour répondre à ce besoin que l'Inrap a décidé de réaliser une documentation de référence et d'en assurer l'appropriation (stages de formation). La complexité de l'organisation technique des chantiers exige en effet des compétences spécifiques qu'il n'est plus envisageable de faire supporter par le seul responsable de l'opération. Le métier d'assistant technique a donc été valorisé, mieux défini et « professionnalisé ». C'est un processus désormais bien engagé à l'Inrap. L'assistant technique (recruté sur un profil adapté de conducteur de travaux) doit assurer, en lien avec les adjoints scientifiques et techniques, la préparation et le suivi technique des chantiers dans le respect des règles de sécurité. Tous les assistants techniques ont reçu une première formation métier. La direction scientifique et technique a également mis en service et coordonne un espace réservé dans l'intranet. Il s'agit d'un réseau de compétences techniques dont la mission est d'identifier, de recenser, de diffuser, d'assister et d'informer en matière de techniques et technologie de chantier. Il se veut également un outil d'aide à la « mécanisation des tâches archéologiques ».

Un impact de la mécanisation des fouilles est de raccourcir les délais, ce qui, pour être tenable et générer de véritables gains scientifiques, nécessite une attention de tous les instants. La mécanisation implique une maîtrise accrue des processus mis en œuvre, et donc une organisation des plus rigoureuses. Si les fondamentaux peuvent être progressivement acquis par la formation interne, cette connaissance n'est pas suffisante. Le plus important est d'acquérir ou de parfaire un savoir-faire adapté et évolutif, ce qui n'est envisageable que par des échanges concrets sur le terrain, entre archéologues, de profils, d'expériences et de résidences variés. *In fine*, c'est sur le terrain et au quotidien que se précisent les problématiques et s'affinent les méthodes, que sont mises en œuvre les solutions techniques, que s'accumulent les décisions à prendre, afin de maintenir l'équilibre toujours instable entre objectifs, méthodes et moyens.

5 Exploiter les données d'une fouille mécanisée

Dans sa définition la plus large, la mécanisation comprend aussi la mise en œuvre de technologies nouvelles, et notamment informatiques, pour lesquelles l'impact sur la quantité et la nature des données produites est évident (SIG, relevés 3D, drones, etc.). Ces derniers aspects constituent un sujet en soi, qui ne sera pas abordé ici. Nous nous concentrerons sur deux questions directement liées à l'utilisation de mini-pelles : les données concernant les terrassements réalisés, et surtout les questions de l'exploitation du mobilier collecté lorsqu'un tamisage de gros volumes de sédiment archéologique est mis en place.

5.1 Des données spécifiques

Ce sont les descriptions et l'analyse de ce qui a été fait qui permettent d'évoluer positivement dans nos façons de faire et qui constituent le matériau de base des études préparatoires des nouvelles opérations. En cela, la mécanisation doit être accompagnée de la production de données spécifiques qui ont leur place dans le rapport.

Les résultats archéologiques étant liés aux méthodes et aux techniques employées, la représentation des vestiges observés ne peut être séparée de celle précisant les conditions de leur mise au jour et de leur exploitation. Par exemple, l'emprise d'une zone pour laquelle a été effectuée une reprise de décapage doit être présentée au même titre que celle d'une aire décapée. Lorsque sont retirées mécaniquement des strates présentant des difficultés de lecture, la possibilité de l'apparition des éléments sous-jacents au sein de cette strate doit être mentionnée.

Il est d'autre part important de donner au maître d'ouvrage une idée claire et juste de l'état du terrain (en particulier les emplacements destructurés) après l'intervention de fouille, de manière à ce que ces caractéristiques soient correctement prises en compte pour la suite du projet. Il ne s'agit pas uniquement de ce que l'on peut voir en fin de chantier, mais également de ce qui peut ne plus être visible, recouvert par des déblais par exemple.

5.2 Expliciter le mode de collecte du mobilier

La qualité des données archéologiques recueillies est donc en grande partie appréciée par l'exposé des conditions ayant accompagné la production : part du contexte effectivement investigué, méthodes et techniques mises en œuvre (passes manuelles à la truelle, à la pioche, fouille manuelle rapide de déblais d'extraction mécanisée, tamisage grossier ou fin, etc.). La comparaison du mobilier recueilli dans des ensembles appréhendés différemment ne peut être poussée sans précautions au-delà d'un seuil de pertinence défini par les modes de recrutement du mobilier. L'enregistrement de ces indications doit être initié sur le terrain, au moment même de la fouille, puis complété à chacune des étapes de traitement ultérieures (tamisage, tri, sélection...).

Généralement, un processus domine, comprenant également les aspects de choix, d'échantillonnage (donc par exemple le maillage des tamis utilisés). Il doit être présenté et décrit dans la partie du rapport consacrée aux méthodes et techniques mises en œuvre *in fine* sur l'opération. Dans ces conditions, seules les présentations des ensembles pour lesquels une approche différente a été jugée utile nécessitent d'inclure la description du processus.

5.3 Différer ou déplacer la récolte du mobilier

Classiquement, le mobilier est reconnu par le fouilleur au fur et à mesure de l'avancement de la fouille de son contexte. À l'opposé, le tamisage livre du mobilier souvent bien après que les sédiments ont été prélevés, voire après destruction totale du contexte.

Les principaux cas de figure de collecte du mobilier sont les suivants :

- à l'avancement, dans les strates en cours de fouille ;
- à l'avancement, dans les déblais ;
- dans les déblais, après départ de l'engin ;
- par tamisage, sur place à côté de l'ensemble étudié, sur ou hors site à un emplacement dédié ;
- dans d'autres cas divers, souvent fortuits, lorsque des tessons sont recueillis à l'occasion du traitement d'un prélèvement destiné à une approche carpologique par exemple.

Le premier de ceux-ci est approprié pour des dépôts structurés ou des ensembles pour lesquels l'appréhension de la distribution précise des éléments constitutifs est nécessaire. Cette collecte n'est pas justifiée pour l'essentiel des autres situations. Il n'est d'aucune utilité d'appréhender finement un remblai, sauf ponctuellement, pour vérifier ou dégager un ensemble particulier.

La pratique, lorsque celle-ci est jugée appropriée, de récolter le mobilier dans les tas de déblais au fur et à mesure qu'ils sont produits est en soi une forme de déplacement (à proximité mais bien en dehors du contexte) de l'exploitation des sédiments. Bien que simultanée à la fouille de l'ensemble, elle relève davantage du contrôle que de la fouille : si des concentrations de mobilier peuvent ainsi être détectées ou confortées, la représentativité du mobilier recueilli reste tributaire des conditions spécifiques à chaque atelier et de ses contraintes de sécurité. Plus l'extraction se rapprochera d'un terrassement pleine masse, plus des efforts seront nécessaires pour récolter manuellement

le mobilier dans les déblais. Choisir, dans ces conditions, une forme d'exhaustivité comparable à ce qu'aurait permis une fouille manuelle impose soit des temps d'arrêt très fréquents et longs, soit un rythme de travail qui peut finir par être contre-productif, voire dangereux.

Il est donc parfois préférable de procéder à une fouille différée des déblais, notamment lorsqu'ils ont été déplacés sur un lieu facilitant leur exploitation. Dans ce cas, il convient de prévoir dès le départ ces questions de transport et d'éviter les reprises : cette gestion doit être conçue à l'échelle du chantier et non du seul atelier. Mais la collecte du mobilier ne sera vraiment efficace que si les sédiments sont tamisés.

5.4 Remettre le tamisage à l'honneur

Mis en œuvre dans de bonnes conditions, et de manière cohérente avec les besoins, le tamisage permet de s'assurer de la qualité scientifique du recrutement du mobilier et surtout d'envisager de nouveaux horizons de production de données fiables.

On a pu constater que la pratique du tamisage des sédiments a régressé avec l'accroissement du nombre de chantiers et de la quantité des ensembles à étudier, en raison peut-être d'un renoncement pragmatique rassuré par une masse documentaire produite sans tamisage généralement suffisante pour répondre aux objectifs généraux des opérations. Les démarches de mise en place de stations de tamisage « lourd » en Lorraine et en Champagne-Ardenne montrent néanmoins qu'il est possible de bénéficier des avantages de ces traitements et que, correctement organisé, l'ensemble du processus est même intéressant d'un point de vue économique. Nous sommes loin des unités de tamisage classiques, même motorisées (tamis de maçon circulaires vibrants, cylindriques tournants, etc.) qui ne sont pas adaptées aux volumes à traiter. Ces derniers ont en effet nécessité de passer de quelques dizaines de litres au mètre cube.

Si l'intérêt scientifique et l'efficacité de cette technique sont évidents, des améliorations restent nécessaires. La solution d'une mise en place de sites dédiés et optimisés autoriserait l'automatisation de certaines tâches et la réduction de leur pénibilité, évitant aussi d'avoir pour chaque chantier concerné à engager des études particulières, à obtenir les autorisations nécessaires, à construire l'infrastructure, à livrer, installer puis démonter et rapatrier les stations. Elle permettrait également de répondre à des besoins de « petits » volumes à traiter et aux situations où la construction d'une station sur place n'est tout simplement pas envisageable. Le principal inconvénient est la nécessité du transport des sédiments depuis les chantiers. La réflexion doit donc porter également sur les possibilités de réduire les volumes à transporter, avec par exemple un premier criblage⁸ grossier sur le chantier.

Une contrainte du tamisage des sédiments tient au fait que la récolte du mobilier, et donc les premières estimations de la datation du contexte, sont différées. Ceci peut générer des difficultés de conduite d'opération, par manque de données sur les ensembles, et donc une connaissance insuffisante du site. Le processus mis en œuvre doit donc intégrer un accès au mobilier ou à une part représentative de celui-ci au plus près de la fouille de son contexte. Cet accès peut être réalisé au moment du criblage ou lors du tamisage d'un échantillon représentatif, traité en priorité. Pouvoir disposer de cette information au fur et à mesure de la fouille permet par ailleurs d'accorder une dimension plus scientifique à la définition des volumes à tamiser, forcément limités.

5.5 Adapter les études à la quantité et la qualité de mobilier

Le mobilier retenu lors d'une fouille manuelle (*in situ* ou de déblais) dépend du fouilleur, de son attention, de ses connaissances, de sa curiosité et du temps dont il dispose. En revanche, le tamisage permet de disposer d'un lot représentatif, voire exhaustif, déterminé par un et un seul paramètre : celui de la maille du tamis. En réalité, une sélection est nécessairement réalisée pour ne conserver que les éléments d'intérêt archéologique, étape qui comporte toujours une part de subjectivité. Mais les conditions sont infiniment meilleures (mobilier bien dégagé, mouillé, et donc plus facilement détectable) et l'extraction de ces éléments peut être réalisée à plusieurs, dans un espace correctement aménagé.

8. Criblage : dans le sens de séparer des sédiments pertinents et des parties grossières sans intérêt (blocs de substrat, etc.). Par définition, le criblage est automatique, et l'idée serait ici de procéder à un premier tamisage grossier à sec sur place. Mais on peut également concevoir un tri manuel.

Le tamisage à grande échelle génère une importante quantité de mobilier à inventorier, gérer, manipuler, étudier et conditionner. Le temps nécessaire aux seules manipulations, au nettoyage et au conditionnement, n'a rien d'anodin. Mal gérés ou trop improvisés, ces aspects peuvent rapidement devenir inutilement chronophages. Une attention toute particulière est de mise sur le risque de démultiplication des reconditionnements. Par exemple, si un tri est effectué sur place, il est préférable de pousser le traitement jusqu'au bout : lavage, séchage, inventaire, sélection des lots méritant une étude plus poussée et conditionnement. Si l'infrastructure du chantier ne le permet pas, il vaut mieux procéder à tous ces traitements dans le centre de recherche archéologique, où il sera par ailleurs plus facile de bénéficier de l'expertise des spécialistes. Parallèlement à la question de la quantité se pose celle de la qualité : d'une part, le tamisage permet de recueillir des éléments habituellement sous-représentés mais de grand intérêt (arêtes de poisson par exemple) ; d'autre part, il donne accès à un grand nombre de fragments divers, qui ne sont habituellement ni vus ni prélevés, souvent sans autre intérêt que d'autoriser une détermination fiable du taux de fragmentation. Que faire de ces fragments ? Quel serait l'impératif de tout étudier avec la même acuité, quelle nécessité de tout conserver ? Ces questions, sur lesquelles il est difficile de se prononcer, ne peuvent pour autant être éludées : il est nécessaire de se positionner, au moins au cas par cas, sur les traitements à mettre en œuvre et les niveaux d'études sur lesquels il est intéressant de s'engager. En tout état de cause, concevoir des moyens d'étude simplement proportionnels à la quantité de mobilier, que cela soit exprimé en nombre de restes, en poids et même en nombre minimum d'individus, n'est une solution ni viable ni scientifique : la particularité de la nature du lot récolté par tamisage doit être prise en compte, des effets de seuil sont à considérer en fonction des objectifs souhaités. À l'opposé, une mécanisation « classique » qui ne met pas en œuvre de tamisage est susceptible d'engendrer une collecte trop limitée en regard du potentiel d'une strate : volumes trop conséquents et constitués trop rapidement, poste de travail inconfortable, etc. Si les objectifs en collecte de mobilier peuvent être modestes (un ensemble bien calé en stratigraphie par exemple), il convient de bien adapter les études de mobilier en fonction de la faible valeur informative du lot, et de ne pas chercher à lui faire dire plus qu'il ne peut.

6 Conclusion

La maîtrise du décapage mécanisé, et plus généralement de l'utilisation d'engins adaptés pour les terrassements généraux, a constitué l'une des conditions du passage d'une archéologie de sauvetage à une archéologie préventive vraiment intégrée dans le processus d'aménagement du territoire. Ce qui nous paraît désormais évident et naturel ne l'est pas pour tous et un rapide tour d'horizon des pratiques sur le vieux continent nous le montre.

Le paradoxe bien connu de l'archéologue qui doit détruire une partie de l'objet de son étude, par ailleurs unique et non reproductible, est probablement central. La « sauvegarde par l'étude scientifique » est un concept parfois ambigu, difficile à assumer. Les craintes de ne pas faire ce qui aurait dû être fait, d'être passé à côté de quelque chose d'essentiel (mais quoi ?), ne doivent pas pour autant nous tétaniser.

La destruction des vestiges archéologiques est la raison d'être de l'archéologie préventive. Nous devons garder à l'esprit que cette destruction est inéluctable et nous détacher de l'objet physique pour nous préoccuper davantage de la documentation et des données scientifiques que l'on produit, sans oublier les « métadonnées » associées qui décrivent comment les données ont été produites et donc quelles sont les limites de leur exploitation ultérieure.

Détruire par la fouille implique bien évidemment de prendre des précautions, de le faire avec soin et attention : une purge sera toujours plus symbolique qu'efficace. Lorsque la mécanisation est poussée jusqu'à la fouille des structures, sa mise en œuvre doit être au service d'objectifs scientifiques clairs. Ces objectifs intègrent nécessairement des compromis et des choix. D'autre part, les processus sont complexifiés et, surtout, accélérés. Ce sont les principales raisons pour lesquelles une mécanisation réussie ne

s'improvise pas et nécessite une intégration opérationnelle réfléchie et continuellement évaluée et adaptée.

Si les emblématiques mini-pelles hydrauliques ont une place centrale dans la fouille mécanisée, d'autres engins et une infinité de machines peuvent être mises à contribution sur les chantiers : aspirateurs, brumisateurs automatiques, tapis roulants, drones, etc.

Ces solutions sont la plupart du temps complémentaires, tout comme fouille mécanisée et fouille manuelle doivent le rester, selon un équilibre à définir au cas par cas.

Insistons ici une fois de plus sur le fait que mécaniser n'est pas simplement réaliser avec des machines des tâches que l'on fait traditionnellement à la main. La mécanisation n'est pas qu'une affaire de réduction de la pénibilité des tâches ou d'optimisation et de rentabilité : elle est aussi un moyen de gagner en qualité d'information et d'autoriser l'accès à d'autres informations.

La mécanisation n'est pas une découverte, nous ne partons pas de zéro, tout n'est pas à apprendre ou à réapprendre, mais il est essentiel de s'inscrire dans une démarche de qualité : après la sécurité, la première des préoccupations doit être la maîtrise des objectifs scientifiques de l'intervention. Ceux-ci sont directement liés aux moyens, mais aussi à la façon dont on les utilise.