



HAL
open science

Point d'étape sur les expérimentations archéologiques d'ensilage en Roussillon

Cécile Dominguez, Jean-Michel Savoie, Jérôme Ros, Francis Fleurat-Lessard,
Tanguy Wibaut, Maxime Guillaume, Carole Puig, Laurent Savarese

► **To cite this version:**

Cécile Dominguez, Jean-Michel Savoie, Jérôme Ros, Francis Fleurat-Lessard, Tanguy Wibaut, et al..
Point d'étape sur les expérimentations archéologiques d'ensilage en Roussillon. Archéo 66, Bulletin
de l'AAPO 2023, 2024, n°38, pp.147-155. halshs-04594222

HAL Id: halshs-04594222

<https://shs.hal.science/halshs-04594222v1>

Submitted on 30 May 2024

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.

To cite this paper:

Cécile Dominguez (1), avec les collaborations de Jean-Michel Savoie (2), Jérôme Ros (3), Francis Fleurat-Lessard (4), Tanguy Wibaut (1), Maxime Guillaume (1), Carole Puig (5), Laurent Savarese (6), 2024. « Point d'étape sur les expérimentations archéologiques d'ensilage en Roussillon », *ARCHÉO* 66, *Bulletin de l'AAPO* 2023, n°38, p. 147-155.

(1) Inrap ; (2) MycSA ; (3) Isem ; (4) Insecto-Net IAA ; (5) Acter archéologie ; (6) Centre archéologique Rémi Marichal

Corresponding Author: Cécile Dominguez (cecile.dominguez@inrap.fr)

En 2018, dans le cadre d'une conférence à l'AAPO, je présentais les expérimentations archéologiques d'ensilage menées dans notre département et les premiers résultats encourageants obtenus après deux ans. Les années ont passé et nos questionnements ont nécessairement évolué au fur et à mesure des cycles de conservation successifs. Au travers de résultats significatifs, ce point d'étape propose ici à la fois de rappeler le contexte, la méthodologie et d'illustrer les principaux gestes.

1. La démarche

Nous expérimentons un ensilage enterré de variétés anciennes de céréales issues de l'agriculture biologique, sous un climat méditerranéen et en employant un outillage manuel¹. L'originalité de ce programme, conçu sur une décennie, est de croiser les expertises de différentes spécialités (archéologie, carpologie, microbiologie) à celles des professionnels des céréales (agriculteurs, meuniers, boulangers) (Dominguez et al. 2022). Nous allons chercher à démontrer quels sont les paramètres qui conduisent à la conservation du grain placé en silo enterré, à juger de la stabilité du dispositif pour un emploi unique ou répété et à évaluer la pertinence d'une conservation longue c'est-à-dire de plusieurs mois ou plusieurs années. La saison d'ensilage, la durée de conservation et la saison de déstockage sont choisies délibérément en amont du processus et en fonction de la destination du grain, pour la semence ou la transformation à des fins de consommation humaine. La protection interne du stock (paillage ou enduisage des parois) et le type de fermeture du silo dépendent à la fois de la nature de l'encaissant, drainant ou imperméable, du climat ou du risque d'intrusion des animaux fouisseurs.

L'expérimentation nous permet de comprendre que la conservation d'une denrée périssable nécessite une bonne connaissance de l'environnement et de la biologie du grain, même empirique, ce qui oriente les choix techniques à mettre en œuvre pour atteindre un résultat satisfaisant. En archéologie, l'indigence des restes du produit stocké au bénéfice de l'omniprésence du contenant (la fosse), nous fait peut-être oublier que la forme, le volume, les éléments issus de la fermeture ou de l'aménagement des parois, ne sont pas seulement des critères culturels ou chronologiques mais bien les témoins d'une technique agricole spécifique à un milieu. La plaine roussillonnaise avec ses milliers de silos abandonnés découverts dans des contextes archéologiques datés entre le Néolithique ancien et l'époque Moderne est évidemment le terroir idéal. Ces silos sont très souvent découverts dans un état de conservation très éloigné de leur état d'origine. Leur vidange, afin d'en retirer le contenu alimentaire, leur remblaiement opportuniste et la troncature de tout ou partie de la fosse conduisent irrémédiablement à dénaturer le dispositif d'origine. Il apparaît donc intéressant de produire

¹ Outils de creusement en acier : barre à mine, pioche, marteau et burin.

dans le cadre des expérimentations des cas comparables qui pourraient aider à identifier la technique d'ensilage parmi toutes les fosses aux profils variés que nous étudions.

Les premiers silos² expérimentaux ont été creusés en 2016 sur une parcelle de l'Inrae (Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement) à Alénia³. Depuis 2022, avec le soutien financier de l'Agence Nationale de la Recherche⁴, nous avons pu mettre en place un second lieu d'expérimentation sur une parcelle fouillée dans l'emprise du site de Ruscino à Perpignan, développant ainsi une problématique spécifique sur l'impact du substrat dans le processus de conservation. Expérimenter l'ensilage à Ruscino représente une belle opportunité de comparer nos pratiques avec celles attestées sur place par des centaines de silos abandonnés majoritairement à partir du IV^e s. av. J.-C., puis à l'époque augustéenne ou durant le haut Moyen-Âge (Marichal, Rébé 2003, Rébé et al. 2014). La validité d'une comparaison entre les données d'une expérimentation menée de nos jours et des données archéologiques datant de plusieurs siècles peut questionner. Mais considérant qu'une technique de conservation obéit à des règles pragmatiques en lien avec le climat et la nature du sous-sol, nous considérons que les enseignements de ces expérimentations sont tout à fait judicieux pour éclairer l'archéologie. Il convient alors de se concentrer sur deux sujets : le contenant (la fosse) et les restes végétaux en position primaire (le grain, la paille). Sur chacun des deux sites expérimentaux, des silos sont abandonnés vides et laissés à ciel ouvert pour enregistrer la façon dont les fosses se dégradent et à quel rythme. Certaines n'ont jamais servi et d'autres sont abandonnées juste après le déstockage, sans que les parois n'aient été nettoyées.

Ce n'est donc pas seulement l'évolution morphologique de la fosse qui est prise en compte pour attester de la technique d'ensilage mais aussi la possibilité d'identifier des restes végétaux en position primaire, comme des grains accolés à la paroi ou les restes d'une éventuelle protection interne (paillage ou enduit de terre crue) et ce, après plusieurs années d'abandon. Il s'agit d'une collecte au long cours de données d'intérêt majeur qui contraste avec les résultats rapides obtenus pour évaluer la réussite ou l'échec du processus dès l'ouverture du silo tous les 7, 12 ou 24 mois. Alors, pour alimenter la réflexion plus rapidement, des échantillons de grains avant et après l'ensilage sont carbonisés en laboratoire afin de les comparer aux restes carpologiques carbonisés issus des comblements des silos archéologiques⁵ de notre région.

2. Les principales étapes méthodologiques

2.1 Le creusement de la fosse : étape et outillage (planche 1)

Un profil standard est privilégié. Un gabarit préalablement dessiné à l'échelle (pl. 1, no 1) guide les prises de mesure régulières au fur et à mesure du creusement (pl. 1, no 3). Cette étape dure entre onze heures et cinq jours en fonction de la compacité de l'encaissant et occupe une à deux personnes en rotation, entre le creusement et l'évacuation des déblais (pl. 1, nos 4, 5, 6). Les premières dizaines de centimètres sont décaissées à la pioche remplacée ensuite, à cause du manque d'espace, par la barre à mine ou le burin (pl. 1, nos 2, 4, 6). L'évacuation des déblais au seau devient vite impossible dès que l'on s'enfonce dans le silo, et laisse la place à l'utilisation de petits contenants souples d'un litre environ (pl. 1, no 5).

² Pour les agronomes contemporains, le silo est un dispositif aérien ou souterrain destiné à la conservation des denrées périssables. Nous l'utilisons ici au sens le plus communément admis par les archéologues c'est-à-dire, une fosse destinée à conserver les céréales plusieurs mois.

³ Ces expérimentations ont pu être réalisées grâce aux subventions versées par le Service Régional de l'Archéologie, le détachement d'archéologues de l'Inrap et l'aide de bénévoles de l'AAPO : nous remercions particulièrement : Emilie Bargès, Astrid Kole, Denise Laffite et Richard Siméon.

⁴ Projet SilArchéaoBio ANR-21-CE27-0013 coordonné par Jean-Michel Savoie (MycSA), Jérôme Ros (Isem) et Cécile Dominguez (Inrap), en partenariat avec Francis Fleurat-Lessard (Insecto-Net IAA), Carole Puig (Acter archéologie) et Laurent Savarese (Centre archéologique Rémi Marichal) et les contributions de Tanguy Wibaut (Inrap) et Maxime Guillaume (Inrap).

⁵ Analyses en cours (J. Ros, Isem).

2.2. L'ensilage (planche 2, planche 3)

Cette étape nécessite de peser le grain (planche 2, no 1) et de regrouper les différents matériaux nécessaires à la protection interne du stock (paille, terre, eau) (pl. 2, no 2). Si le paillage du fond est simple et rapide, le recouvrement des parois par un enduit (pl. 2, no 3) demande du savoir-faire et la prise en compte du temps de séchage de plusieurs jours. Le mélange terre-paille visqueux est d'abord brassé, puis appliqué en couche régulière sur les parois. Le galbe de la chambre de stockage et l'épaulement sont des zones délicates pour faire adhérer l'enduit. Quand l'enduit est bien sec, le grain est versé dans le silo. Une personne s'assure de le tasser régulièrement au pied (planche 3, no 1). Les enregistreurs internes d'humidité et de température sont placés dans le stock au fond, au milieu et contre une paroi. Les extrémités des sondes pour relever les taux des gaz internes et les boîtiers des enregistreurs restent à la surface (pl. 3, no 2). Enfin la fermeture du silo est réalisée, d'abord avec un paillage fortement tassé à la surface du stock (pl. 3, no 3) puis, avec une couche de mélange terre-paille dont l'état humide est atteint par un temps de repos destiné à détremper le mélange (pl.3, no 4). En surface un dôme est formé (pl. 3, no 5) afin de repérer le silo et d'évacuer les eaux de pluie vers la périphérie (pl. 3, no 6).

2.3. L'ouverture et le déstockage (planche 4)

Le démontage du dôme (planche 4, no 1) et le retrait du bouchon au niveau du goulot (pl. 4, no 2) sont des étapes rapides mais cruciales pour évaluer la stabilité et la perméabilité de la fermeture au cours du processus. Au fur et à mesure de la vidange (pl. 4, no 3), le grain est pesé, échantillonné et son humidité mesurée (pl. 4, no 4) afin de le comparer aux échantillons témoins conservés en laboratoire. Les parois de la fosse sont grattées et balayées avant d'accueillir un nouveau stock. Les données des enregistreurs d'humidité et de température sont déchargées puis confrontées au climat des mois écoulés et aux observations du grain de façon à établir un scénario de fonctionnement de la conservation qui valide le protocole expérimental ou demande de le faire évoluer afin d'améliorer le résultat.

3. Les sites et les silos expérimentaux

Le site d'Alénia est implanté sur une parcelle en jachère. Il comporte onze silos d'une contenance moyenne de 860 litres, répartis sur 200 m². Les fosses sont creusées dans des alluvions holocènes limono-sableuses compactes. Certaines sont en réemploi depuis plusieurs années, d'autres remblayées avec un sédiment souple⁶ sont réservées à une utilisation ultérieure. Ce comblement, dit « comblement d'attente », permet de préserver la fosse intacte. L'opération ne prend qu'une à deux heures de travail, là où le creusement d'un nouveau silo nécessite au minimum une journée⁷. À Perpignan, sur le site de Ruscino), nous disposons de six silos de 830 litres de contenance moyenne, creusés dans une ancienne terrasse constituée d'argile et de galets de quartz. Leur emprise au sol est d'environ 100 m² et ils sont situés sur une parcelle qui a déjà été fouillée (fig. 1). Tous les silos ont un profil de creusement et des dimensions standardisées : fonds plats, chambre de stockage à parois galbées, épaulement peu prononcé et goulot d'accès cylindrique. En moyenne, la profondeur maximale est d'1,40 m, le plus large diamètre de 1,30m. L'embouchure mesure 60 cm de diamètre sur 60 cm de profondeur (fig. 2). Sur chacun des deux sites, trois céréales attestées dans les corpus carpologiques sont conservées entre 2023 et 2024 : de l'en grain (un grain vêtu, communément appelé petit épeautre), du froment (blé nu), et de l'orge (Ros, 2020).

⁶ À Alénia, le remblaiement est effectué avec le sédiment issu du creusement des fosses. À Perpignan, nous avons dû acheter du sable en carrière car les déblais de creusement argileux avec une forte proportion de galets de quartz n'étaient pas adaptés.

⁷ Ce temps moyen de creusement est multiplié par cinq dans le terrain argileux de la butte de Ruscino à Perpignan.

Le cycle de conservation prévu est d'un an avec un contrôle de l'état du grain au début du printemps. Au total, ce sont 3,2 tonnes de céréales qui sont ensilées, avec un poids moyen par silo de 410 kg. Ces stocks sont préservés de l'humidité du sous-sol par un paillage épais des fonds (trois silos sur chaque site) ou un enduit de terre crue mélangée à de la paille (un silo sur chaque site). Les bouchons sont réalisés selon notre propre protocole empirique qui consiste en une épaisse couche de paille surmontée d'un mélange terre-paille appliqué humide dans le goulot d'accès et recouvert en surface, par un dôme de terre. Ce dernier est composé d'un cœur de terre sèche pour éviter la stagnation de l'humidité, couvert d'une épaisse couche de mélange terre-paille appliqué à l'état plastique qui, une fois sèche, assure la pérennité du bouchage. Cette mise en œuvre, éprouvée depuis 2018 présente les avantages d'être stable et résistant à la pluie et aux animaux fouisseurs. Après un ou plusieurs cycles d'utilisation, six fosses à Alénia et une à Perpignan sont abandonnées. Certaines n'ont pas été nettoyées après la dernière vidange, les autres ont été grattées afin de retirer les résidus de paille et de grain sur les parois. Elles sont laissées ainsi pour observer les rythmes et les dynamiques de remplissage par érosion. Au terme du remplissage, des coupes et des prélèvements seront réalisés pour être comparés à des cas archéologiques.

4. Résumé des observations depuis 2016

Afin de parvenir à la conservation d'une denrée périssable en atmosphère confinée il convient de favoriser le maintien du stock à une température inférieure à 20 degrés, et à un taux d'humidité relative inférieure à 80 % grâce à une mise en œuvre adaptée. Cet équilibre est difficile à atteindre dans un silo enterré à cause de deux variables non maîtrisables. La première est l'évolution du climat extérieur, en particulier les précipitations saisonnières et les chaleurs estivales qui, selon la porosité de l'encaissant, impactent plus ou moins vite le stock enfoui. La seconde est le microbiote, bactéries et champignons, naturellement présent à la surface du grain avant l'ensilage, qui se développe à cause de l'humidité et de la température interne et dont la multiplication génère elle-même de l'humidité et de la chaleur. Les spécialistes de la conservation des céréales parlent alors de « respiration du grain ».

Une fois les seuils énoncés précédemment atteints, la détérioration du grain devient critique jusqu'à atteindre un pourrissement exhaustif et la perte de toute capacité germinative. L'analyse de l'évolution des taux de O₂ et de CO₂ au cours d'un cycle nous permettra dans les années à venir de mieux comprendre ce phénomène de respiration et de vérifier dans quelle mesure c'est un paramètre important dans le processus de conservation.

Depuis 2016, nous avons subi les conséquences de ce cycle naturel de « vie du grain » dans le silo. Ainsi, nous avons observé de façon systématique un effet de propagation graduel des moisissures depuis la périphérie jusqu'au cœur du stock, effet amplifié selon le climat et le temps de conservation. En résumé, dans le meilleur des cas 5 à 10 % du grain moisi au contact des parois est perdu, au pire c'est la quasi-totalité. La mise en place d'un paillage épais faisant office de tampon contre l'humidité a bien amélioré l'état des grains ensilés, notamment entre 2018 et 2019 où des échantillons ont pu être panifiés (cf. Fig. 2). À l'inverse, à cause de forts contrastes climatiques, le cycle suivant s'est soldé par la fermentation des stocks. Dans ces conditions, même les conservations de 24 mois ont livré un produit inutilisable au déstockage. Si la sécheresse que connaît le département depuis deux ans pourrait sembler plus favorable à la pratique de l'ensilage, les fortes chaleurs ont conduit au développement de charançons dans les stocks. Cet insecte, invisible au moment de l'ensilage, pond dans le grain dont ses larves se nourrissent. En cas de sécheresse, les conditions internes du silo représentent un biotope idéal pour ces insectes qui s'y développent de façon exponentielle en seulement quelques mois ! Sans l'emploi de pesticide, il est impossible de s'en débarrasser durablement, même en grattant les

parois de la fosse ou en ensilant un autre stock non contaminé⁸. Le grain issu de ces campagnes d'ensilage reste toutefois consommable par l'homme après tamisage pour en retirer les insectes. En revanche, au-delà d'une conservation supérieure à 7 mois, ses capacités germinatives sont fortement amoindries. Les analyses de l'Inrae nous ont permis de démontrer que plus le grain reste en silo, plus les microorganismes se développent et le taux de germination baisse, ou bien, ce sont les charançons qui prennent le dessus. La période charnière se situant dans les deux cas au début du printemps et en été quand le climat joue un rôle d'accélérateur indirect dans la dégradation. Dans les conditions climatiques actuelles et selon notre protocole de protection des grains, un ensilage pratiqué entre août et septembre et d'une durée de 7 à 8 mois permet de récupérer des céréales qui ont conservé leurs capacités germinatives. Au-delà, et à ce stade de nos recherches, la dégradation est si rapide que le produit ensilé doit certainement être consommé à court ou moyen terme, tout au plus, en quelques mois.

Afin de tester différentes pratiques nous avons intégré deux gestes au protocole d'ensilage. Le premier consiste à récupérer un gros volume de grain destiné à la semence, à combler le manque par de la paille puis à refermer le silo pour prolonger la conservation du reste du stock. Le second est destiné à vidanger exhaustivement le silo pour en extraire les moisissures, nettoyer les parois, laisser sécher quelques heures le grain avant de le réensiler afin de prolonger la conservation dans des conditions plus optimales. Pour valider ces pratiques des expériences similaires devront être reconduites et analysées.

5. Les perspectives jusqu'à 2026

Cette brève présentation s'est voulue factuelle en attendant que le croisement de l'ensemble des données accumulées depuis 2016 nous permette de dresser un schéma de fonctionnement de l'ensilage destiné à éclairer les interprétations archéologiques.

L'exploitation des données relatives à la taphonomie de la fosse du silo en réemploi ou abandonné sera aussi d'un grand intérêt pour faire le lien avec notre discipline au même titre que les conclusions sur la carbonisation des grains issus du déstockage en laboratoire. Enfin, la poursuite des expériences sera destinée à répondre à trois problématiques :

- Quel dispositif est le plus adéquat : paillage ou enduisage des parois à la terre crue ?
- Quel type d'encaissant est le plus favorable à une conservation pluri saisonnière ?
- Quels sont les paramètres qui conduisent à préserver les qualités germinatives du grain ?

Bibliographie

Présentation de l'ANR SilArchaéoBio (1er partie) :

https://www.youtube.com/watch?v=J_kBaaVgGsA (consulté le 8/03/2024)

Carnet hypothèse : <https://ensilage.hypotheses.org/>

Bourrouilh, Saout 2016 : Bourrouilh A., Saout C., Le stockage des grains de céréales en silo souterrain sous climats océanique et océanique altéré, interroger la pratique par l'expérimentation, retour sur une problématique classique dans l'archéologie ouest-européenne. [en ligne], Rapport d'expérimentation, s.l. : Association de recherche et d'expérimentation en archéologie agraire, URL : <https://www.academia.edu/14980045> [lien valide au 11 octobre 2023].

Cruz et al. 2016 : Cruz J.-F., Joseph Hounhouigan D., Fleurat-Lessard F., La conservation des grains après récolte [en ligne], Editions Quae CTA Presses agronomiques de Grebloux, s.l. :

⁸ Le producteur partenaire pratique l'agriculture biologique et utilise des diffusions d'huile essentielle de laurier pour limiter la prolifération des charançons sur son exploitation. Le meunier les éradique avant la transformation par asphyxie et réfrigération.

s.n., URL : <https://www.quae-open.com/produit/118/9782759224388/la-conservation-des-grains-apres-recolte>

[lien valide au 12 octobre 2023].

Dominguez et al. 2022 : Dominguez C., Yebdri E., Fleurat-Lessard F., Ros J., Savoie J.-M., Wibaut T., « Ensilage expérimental en Roussillon Approche croisée de l'archéologie et de la biologie. », Archéopages, hors série 6, pp. 178-186.

Dominguez et al. [à paraître] : Dominguez C., Yebdri E., Ros J., Wibaut T., Fleurat-Lessard F., Savoie J.-M., « Expérimentation archéologique de stockage de grains en silo souterrain. Méthodologie et premiers résultats. » Archéoscience.

Dominguez et al. [à paraître] : Dominguez C., Yebdri E., Savoie J.-M., Fleurat-Lessard F., Wibaut T., Ros J., « Opening an underground silo while grain is stored! Some results of archaeological experiments performed from 2016 to 2019 in Mediterranean France », in, 6th international congress of experimental archaeology, 25-28 octobre 2022, Pézenas : s.n.

Fleurat-Lessard 2017 : Fleurat-Lessard F., « Integrated management of the risks of stored grain spoilage by seedborne fungi and contamination by storage mould mycotoxins – An update », Journal of Stored Products Research, 71, pp. 22-40.

Marichal, Rébé 2003 : Marichal R., Rébé I., Les origines de Ruscino (Château-Roussillon, Perpignan, Pyrénées-Orientales), du Néolithique au premier Age du Fer., s.l. : s.n., coll. « Monographies d'archéologie méditerranéenne », 16.

Rébé et al. 2014 : Rébé I., Raynaud C., Sénac P., Le premier Moyen Age à Ruscino (Château-Roussillon, Perpignan, Pyrénées-Orientales) entre Septimanie et Al-Andalus (VIIe-IXe s.). Hommages à Rémy Marichal., s.l. : s.n., coll. « Monographie d'Archéologie Méditerranéenne », 35.

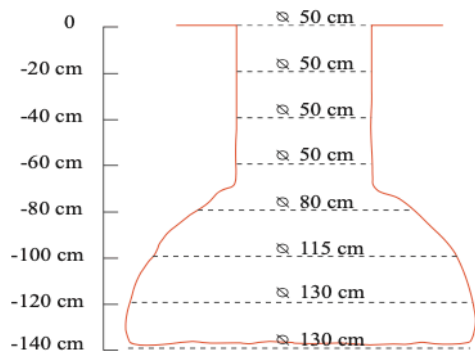
Ros 2020 : Ros J., 2000 ans d'agriculture en Roussillon, Productions végétales et terroirs protohistoriques, antiques et médiévaux., Éditions Mergoïl, s.l. : s.n., coll. « collection Archéologie des Plantes et des Animaux », 07.

Sigaut 1978 : Sigaut F., Les réserves de grain à long terme, Techniques de conservations et fonctions sociales dans l'histoire, Editions de la maison des sciences de l'homme, publications de l'Université de Lille III, Paris : s.n.

Villes 2006 : Villes A., « Pitié pour les silos », in, Des trous... structures en creux pré- et protohistoriques, Actes du colloque de Dijon et Baume-les-Messieurs, 24-26 mars 2006 : Mergoïl, coll. « Préhistoires », pp. 357-360.

Planche n°01 : Le creusement de la fosse : étape et outillage (clichés : équipe Inrap).

Gabarit de silo de 1000 L.



1

0 1 m



2



3



4



5



6

Planche n°02 : Étapes préparatoires à l'ensilage (clichés : équipe Inrap).



Planche n°03 : Remplissage, équipement et fermeture du silo (clichés : équipe Inrap).



Planche n°04 : Les étapes du déstockage (clichés : équipe Inrap).



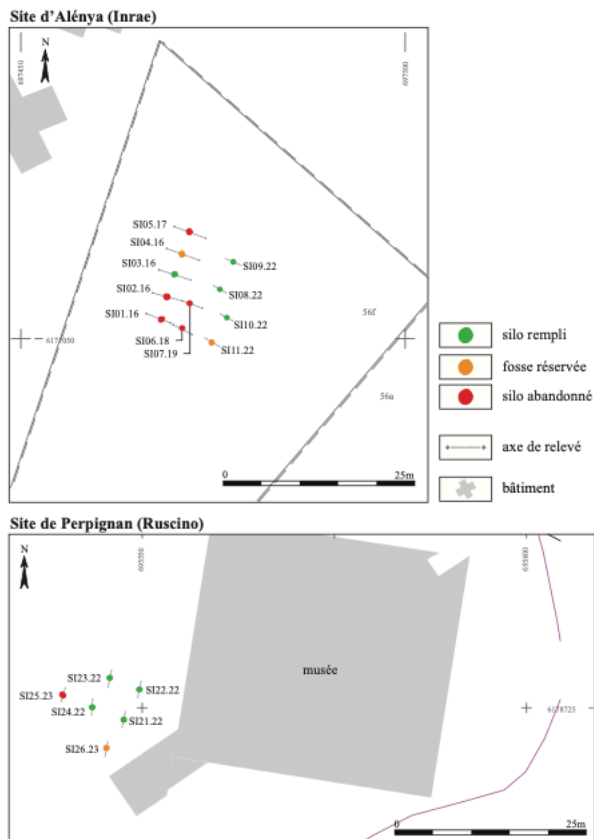


Figure 1 : Plan des sites expérimentaux. État en décembre 2023 (DAO : C. Dominguez, Inrap).

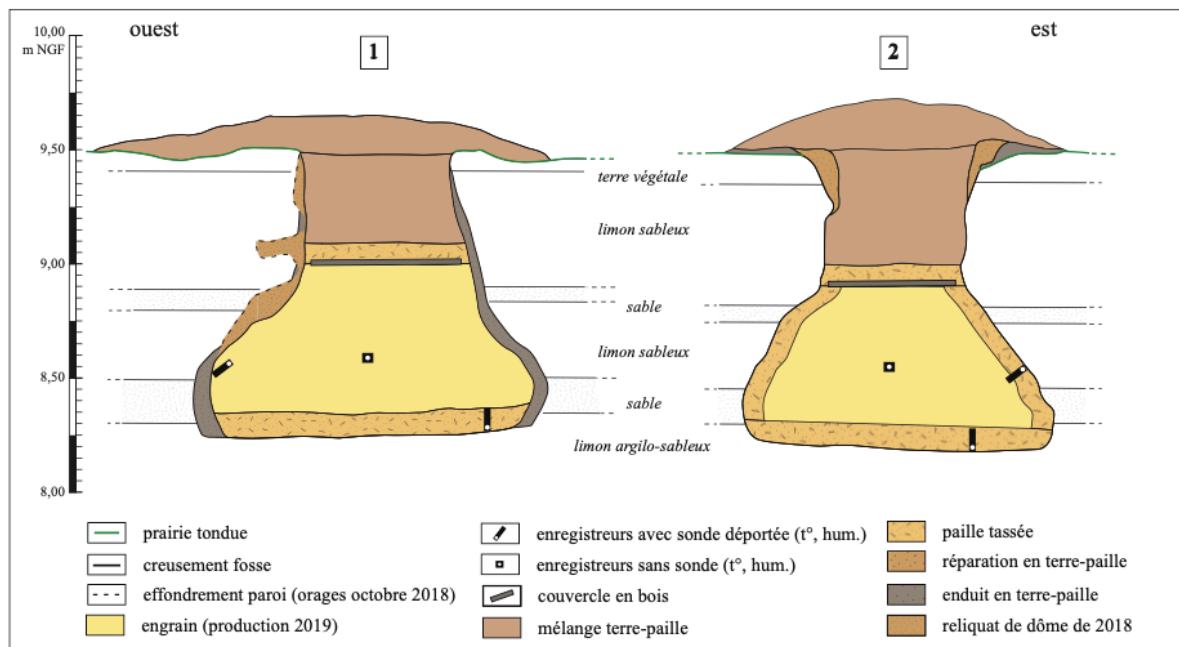


Figure 2 : Site d'Alénia. Exemples de silos expérimentés en 2019 représentés en coupe : 1-le silo 03 et 2-le silo 04. (DAO : C. Dominguez, Inrap).



Figure 3 : Remplissage d'un silo avec de l'engrain (cliché : équipe Inrap).