Distinction des dommages causés sur les caryopses de céréales par la carbonisation et le charançon du blé (Sitophilus granarius) : expérimentations sur caryopses de seigle (Secale cereale) et de blé tendre (Triticum aestivum) & applications aux assemblages carpologiques

Jérémy Rollin

▶ **To cite this version:**

Jérémy Rollin. Distinction des dommages causés sur les caryopses de céréales par la carbonisation et le charançon du blé (Sitophilus granarius) : expérimentations sur caryopses de seigle (Secale cereale) et de blé tendre (Triticum aestivum) & applications aux assemblages carpologiques . Archéologie et Préhistoire. 2016. dumas-01633516

HAL Id: dumas-01633516

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01633516

Submitted on 13 Nov 2017

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 - ShareAlike 4.0 International License

Millan
Brun
Anne-Lise
Signature numérique de Millan Brun Anne-Lise
DN : cn=Millan Brun Anne-Lise, o=UMR 7194, ou=Bibliotheque, email=biph@mnhn.fr, c=FR
Date : 2017.11.13 09:52:18 +01'00'

Master 1 Évolution Patrimoine Naturel et Sociétés

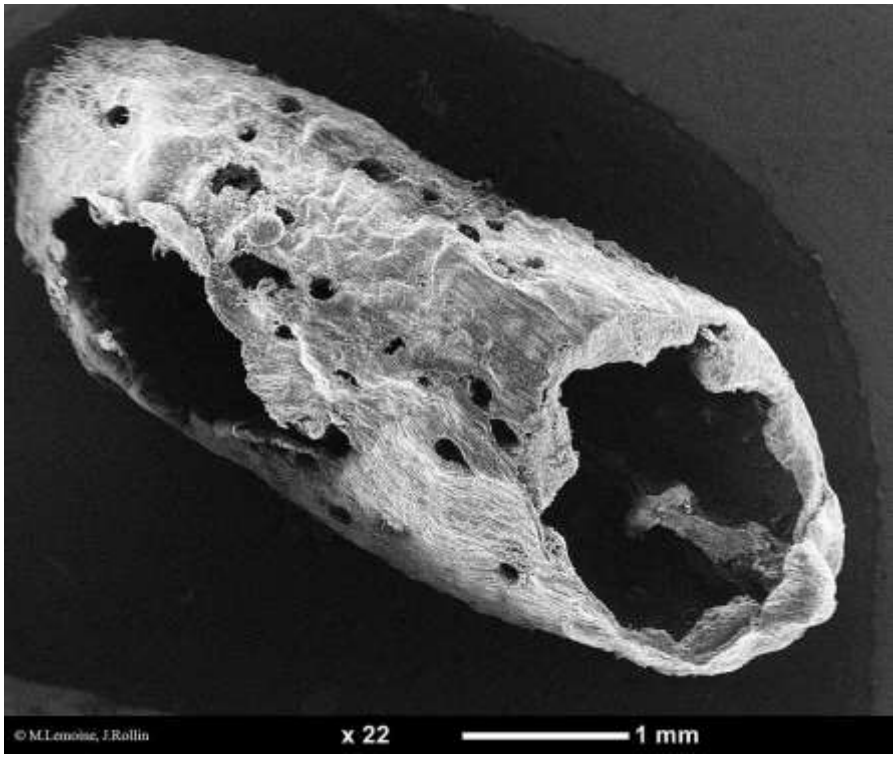
Mention Quaternaire et Préhistoire.

Année universitaire 2015-2016.

DISTINCTION DES DOMMAGES CAUSÉS SUR LES CARYOPSES DE CÉRÉALES PAR LA CARBONISATION ET LE CHARANÇON DU BLÉ (*SITOPHILUS GRANARIUS*)

EXPÉRIMENTATIONS SUR CARYOPSES DE SEIGLE (*SECALE CEREALE)* ET DE BLÉ TENDRE (*TRITICUM AESTIVUM*) & APPLICATIONS AUX ASSEMBLAGES CARPOLOGIQUES

Présenté par Jérémy Rollin



Sous la direction de :

Marie Pierre RUAS, CNRS, UMR 7209, Muséum National d'Histoire Naturelle, Sorbonne-Universités.

Jean-Bernard HUCHET, CNRS, UMR 7209 & UMR7205, Muséum National d'Histoire Naturelle, Sorbonne-Universités

CNRS, UMR5199 CNRS/Pacea/Université de Bordeaux.

Support technique :

Michel LEMOINE, CNRS, UMR 7209, Muséum National d'Histoire Naturelle

ARCHÉOZOOLOGIE, ARCHÉOBOTANIQUE : SOCIÉTÉS, PRATIQUES ET ENVIRONNEMENTS

cnrs

MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE

SORBONNE UNIVERSITÉS

Remerciements

Ce mémoire n'aurait jamais pu voir le jour sans le concours des personnes suivantes, que je remercie :

Ma directrice de mémoire Marie Pierre Ruas, CNRS, UMR 7209, et mon directeur Jean-Bernard Huchet, CNRS, UMR 7209, pour leurs conseils, leur aide et pour m'avoir encouragé à réaliser cette étude,

De même, je remercie Michel Lemoine, CNRS, responsable technique du plateau d'archéobotanique de l'UMR 7209 pour sa précieuse aide et sa patience.

J'aimerais remercier chaleureusement les fournisseurs du matériel d'études expérimentales:

Mr Fleurat, INRA unité de mycologie et sécurité des aliments (MYCSA), Villeneuve-d'Ornon (Gironde) pour l'élevage de Charançons (*Sitophilus granarius*).

La famille Parassols (les granges d'EYNE) pour les caryopses modernes de seigle (S*ecale cereale*) de label biologique, aimablement fournis par Pierre Campmajo, préhistorien UMR 5608 Traces, Toulouse,

J'aimerais également remercier chaleureusement les fournisseurs du matériel archéologique :

Benjamin Saint-Jean-Vitus (Responsable d'Opération-INRAP) et Marie Pierre Ruas (étude carpologique) pour les caryopses a carbonisés du site du « 12 rue Saint-Genest » à Nevers (Nièvre) et du site du « 8 rue du Chapeau-Rouge » à Dijon (Côte d'Or) ;

Hervé Gaillard (Responsable d'Opération-SRA) et Marie Pierre Ruas (étude carpologique) pour les caryopses carbonisés du site de la Porte de Mars à Périgueux (Dordogne).

François Réchin (responsable des fouilles programmées, Université de Pau) et Marie Pierre Ruas (étude carpologique) pour les caryopses du site de la *Villa* de *l'Arribèra deus Gleisiars* à la Lalonquette (Pyrénées Atlantiques).

Sylvie Robin (Responsable d'Opération-Commission du Vieux Paris) et Véronique Zech -Matterne (étude carpologique) pour les caryopses provenant du site de la « place de la Sorbonne » (Paris).

Enfin, je remercie mes proches pour leurs aides, leur patience et leur compréhension.

Illustration de couverture : caryopse de blé nu (*Triticum aestivum*) ayant subi une attaque de du charançon du blé (*Sitophilus granarius*)

Table des matières

Remerciement **1**

Table des matières **2**

Introduction **3**

1. Matériel et méthodes **4**

1.1. Matériel **4**

1.1.1. Le référentiel moderne 4

1.1.2. Le référentiel archéologique 4

1.2. Méthodes **6**

2. Résultats **9**

2.1. Identification & quantification des stigmates de carbonisation. **9**

2.1.1. Carbonisation des caryopses de *Secale cereale* en conditions oxydantes 9

2.1.2. Carbonisation des caryopses de *Secale cereale* en conditions réductrices 9

2.2. **Identification & quantification des stigmates de phytophagie**. 10

2.2.1. Caryopses de *Triticum aestivum*. 10

2.2.1.1. Avant carbonisation 9

2.2.1.2. Après carbonisation en conditions oxydantes. 10

2.2.1.3. Après carbonisation en conditions réductrices. 10

2.2.2. Caryopses de *Secale cereale*. 11

2.3. Synthèse des observations et critères diagnostics 12

3. Application aux assemblages archéologiques **12**

4. Interprétations et discussions **15**

5. Conclusion et perspectives **16**

Bibliographie **18**

Liste des tableaux **19**

Résumé / *Abstract* **20**

Introduction :

À toutes les époques et dans tous les milieux, les insectes sont indissociables des activités humaines. Ils peuvent participer à la reconstitution des paléo-environnements, contribuent à l'étude des pratiques funéraires ou encore permettent de retracer une partie de l'histoire agronomique (Moret, 1998). Cette dernière approche, est étroitement liée aux assemblages carpologiques de plantes exploitées, destinées à des utilisations variées, en particulier à l'alimentation. Les contextes de découverte sont principalement les lieux d'activités dans les habitats et les espaces ou structures de stockages associés à leurs ravageurs qui altèrent, souillent et détruisent les denrées alimentaires.

Parmi les nombreux insectes ravageurs, le charançon du blé *Sitophilus granarius*, (Coleoptera, Curculionidae) se distingue des autres.

Il s'agit d'un parasite primaire et synanthropique, enregistré dans un large spectre de produits stockés (Bousquet, 1990 ; Gorham, 1991) et très fréquemment retrouvés en contexte archéologique. Cette espèce est connue pour causer des dégâts significatifs au système économique mis en place par l'Homme, en détruisant les stocks entreposés. Pour Buckland (1981), il est probable que cette espèce soit originaire d'Asie ou du Proche-Orient et qu'il ne soit devenu cosmopolite en Europe qu'à l'époque romaine, notamment à partir du moment où l'urbanisation gallo-romaine devient massive. Les transports à longue distance ont probablement participé à sa diffusion, tout comme le rat noir (Audoin et Vigne, 1992). Sa présence est très souvent relatée dans des publications liées au contexte carpologique (Kislev & Mordechai 2015 ; Panagiotakopulu, 2001 ; Yvinec, 1997 ; Moret, 1998).

D'un point de vue archéologique, *S.granarius* est inadapté au vol, ce qui lui permet de se démarquer des autres ravageurs. En effet, ses déplacements sont dépendants des transports humains, ce qui en fait un bon indicateur en ce qui concerne les relations commerciales, leurs intensifications et en particulier le transport de grains à longue distance et leurs stockages. La qualité sanitaire des stocks ou encore les pratiques prophylactiques peuvent être étudiées.

Les contextes archéologiques ne permettant pas toujours la conservation des vestiges entomologiques, l'approche ichnologique[1], peut être une alternative intéressante. Toutefois les traces d'activité de cet insecte dans les corpus carpologiques restent peu ou pas documentées.

Ce rapport concerne l'étude comparée des traces d'activités laissées par *Sitophilus granarius* ; sur les caryopses de blé tendre (*Triticum aestivum*) et de seigle (*Secale cereale*), deux céréales souvent infestées par l'espèce.

Les céréales, découvertes le plus souvent à l'état carbonisées, présentent différentes altérations pouvant être confondues avec des marques de phytophagie. Il paraissait donc pertinent de discriminer les traces d'infestations, parfois douteuses après carbonisation ; des déformations entrainées par la carbonisation.

En prenant en compte des biais taphonomiques et en corrélant les données carpologiques, entomologiques, agronomiques et ichnologiques, nous verrons s'il est possible

[1] Du grec *iknos* « emprunte » : Discipline qui correspond à l'analyse et la description des traces d'activités laissées par un organisme au cours de sa vie, dans son biotope.

de repérer la présence de ce parasite en l'absence de vestiges entomologiques. Nous observerons si l'entomologie associée à l'ichnologie est une approche pertinente pour l'étude et l'interprétation des assemblages carpologiques anciens. Les résultats seront présentés à partir d'observations et d'expérimentations de carbonisation conduites conjointement sur des grains sains et parasités par *S. granarius*. Les résultats expérimentaux seront ensuite comparés à un référentiel archéologique.

1. Matériels et méthodes

1.1. Matériels.

Pour le référentiel moderne, des caryopses de blé tendre (*Triticum aestivum*) et de seigle (*Secale cereale*) ont été choisis, car il s'agit de deux céréales souvent infestées par Sitophilus granarius, notamment en contexte archéologique. Le temps dédié à l'étude ne permettait pas d'étudier la totalité des espèces étudiées dans le référentiel archéologique.

1.1.1. Matériel : le référentiel moderne.

Le référentiel moderne de seigle concernait un total de 750 g de caryopses modernes de seigle, sains, non traités, décortiqués et sans adventices. Les caryopses avaient été cultivés en haute montagne à Eyne (Cerdagne-Pyrénées Orientales — alt : 1300 m — numéroté A sur la figure 1) durant l'été 2015 et furent récoltés en août 2015. Ils faisaient partie d'une population issue de la 7ème récolte à partir de semences dites « conducteurs ».

Le référentiel de *S.granarius* a été fournis par L'INRA : unité de mycologie et sécurité des aliments (MYCSA) localisée à Villenave-d'Ornon en Gironde (numéroté B sur la figure 1) et avaient initialement été élevés sur des caryopses de blé nu (*Triticum aestivum*) en étuve à 25 °C, à raison d'environ 135 individus dans 3 bocaux. Ces mêmes caryopses de blé parasités ont été réutilisés comme référentiel pour les observations et les expérimentations.

1.1.2. Matériel : le référentiel archéologique.

Le référentiel archéologique est composé de caryopses carbonisés douteux, d'espèces différentes provenant de cinq sites et de contextes antiques ou médiévaux (Tabl.1).

N° sur la carte (Fig. 1)	Nom du site, Ville(Département), contexte	Caryopses observés	Datation	Superviseur fouille	Référence
1	«12, rue Saint-Genest», Nevers (Nièvre). partie méridionale de l'ancienne abbaye Notre-Dame et Saint-Genest, contexte de dépôt : réserve de grains dans une pièce incendiée - US 405	8 *Secale cereale* 2 *Triticum aestivum*	Fin IXe-Xe	Benjamin Saint-Jean Vitus (INRAP)	Ruas, 2007
2	Site du 8 rue du Chapeau-Rouge », Dijon (Côte d'Or), espace rural proche de l'abbaye Saint-Bénigne, contexte : épandage de stock de grains brûlés US 149.	2 *Avena sativa* : US149 (Avoine cultivée) 5 *Avena sp.* US151 (Avoine indéterminé) 5 *Triticum aestivum* US151	XIe-XIIe	Benjamin Saint-Jean Vitus (INRAP)	Ruas, 2012
3	Porte de Mars, Périgueux (Dordogne), contexte : fosse US 1027	3 *Avena sativa* 8 *Secale cereale*	VIIe – IXe	Hérvé Gaillard (SRA)	Ruas, 2005-2009
4	« Villa de l'Arribèra deus Gleisiars » Lalonquette, (Pyrénées-Atlantiques), contexte : niveau de dépotoir sondage 7US 5047	3 *Setaria italica* (Millet italien)	Ier	François Réchin (Univ.Pau)	Ruas & Hallant, 2005
5	Site de « la place de la Sorbonne), Paris, contexte : « Boutique » incendié. US1102	12 *Triticum aestivum*	Ier	Sylvie Robin (commission du Vieux Paris)	Matterne, 2001

Tableau 1 Origine des caryopses archéologiques observés. Les références des auteurs correspondent à des rapports d'analyses

Figure 1 Carte de provenance du matériel expérimental et archéologique

12, rue Saint-Genest, (Nevers)

Le contexte de découverte est daté du Xe siècle[2]. Les traces d'un incendie daté du Xe siècle (datation ^{14}C) dans une des pièces de 5m² de l'aile sud de ce bâtiment laissent apparaître au sol une importante densité de restes végétaux carbonisés dont le niveau le plus riche forme l'US 405. Celle-ci a été délimitée par zone de densité en plusieurs échantillons désignés par des lettres. La quantité de seigle (*Secale cereale*) est supérieure aux autres échantillons de l'US 405^{E}. Cependant les grains de seigle de l'US 405E[3] sont, en général, plus atteints par les effets de la carbonisation que les autres céréales. L'état général des caryopses de seigles montre des traces d'érosions particulières du péricarpe sous la forme de petites excavations de surface ou d'éclatement. De plus, un *Sitophilus granarius* a été trouvé encore logé dans un grain de seigle carbonisé en 405E (FIG. 30), raison pour laquelle nous pouvons penser que les traces observées peuvent être dues à *Sitophilus granarius*. Parmi les 44 caryopses de seigle les plus douteux (dénombrés sur 1292 de l'US405E), nous avons observé 8 d'entre eux, ainsi que 2 caryopses de blé (*Triticum aestivum*).

Chapeau Rouge (Dijon)

Les échantillons carpologiques correspondent aux points de plus forte concentration d'une large nappe de semences carbonisées. Les US 149 et 151 sont datées du XI-XIIème siècle[4]. Ces deux US contenaient des restes d'insectes : des sclérites fragmentées correspondant à la face ventrale de l'abdomen d'un individu de *S. granarius*, un exemplaire de bruche des légumineuses (*Bruchus sp.*) et une larve indéterminée. Les caryopses visés par notre étude sont 2 d'avoine cultivée (*Avena sativa*) dénombrée sur les 4 de l'US 149 et 5 d'avoine indéterminée (Avena sp) sur 250 et 5 de *Triticum aestivum* sur 441 de l'US 151.

Porte de Mars (Périgueux)

Le site de la « Porte de Mars » à Périgueux est une séquence d'habitat datée d'une période comprise entre le VIIème et le IXème siècle[5]. Des restes d'invertébrés ont été

[2] 1 datation ^{14}C sur graines de l'US 405 ; Ly-13010 Cal. AD 2 sigmas 97% [866, 1017] (calib7)
[3] Les caryopses prélevés font partie de la zone « E » correspondant à une perturbation survenue suite à la destruction du mur nord de la pièce (mur 302), lors du creusement du silo 557 (phase 6 Xe s.).
[4] 1 datation ^{14}C sur graines US 149 ; Ly-9585 Cal. AD 2 sigmas 83% [1148, 1253](calib7)
[5] 3 datations ^{14}C sur graines de la fosse Cal. AD 2 sigma Erl 11139 : [677, 765, 886] ; Erl 11140 : [662, 732, 869] ; Erl 12338 : [694, 817, 912]

retrouvés, il s'agit de galles dues à un nématode parasite des épis de céréales, (*Anguina* type ou Anguillule), la partie thoraco-abdominale de la face ventrale d'un adulte de Bruchidé et deux exemplaire adultes de bruche de la fève (*Bruchus rufimanus*) identifiée par M.-P Ruas. Les observations ont été faites sur 3 caryopses d'avoine (*Avena sativa*) et 8 de seigle (*Secale cereale*) provenant de l'US 1027. Ces derniers présentent des cuvettes creusées depuis la surface jusque dans l'albumen, lésion pouvant être provoqué par *S.granarius*.

Villa de l'Arribèra deus Gleisiars (Lalonquette)

Le contexte (US 5047) correspond à la base d'un paléo chenal comblé progressivement au cours de l'occupation de la villa datée du Ier siècle. Il s'agit d'un dépotoir qui contenait des semences carbonisées et gorgées d'eau provenant de rebuts domestiques. La présence de *Sitophilus granarius*, notamment 16 adultes non brûlés associés aux céréales carbonisées dans l'US5047, suggère la présence de stocks entreposés. Trois caryopses de millet italien (*Setaria italica*) ont été sélectionnés. Ils présentent un péricarpe très érodé ainsi qu'un creusement semblant être antérieur à la carbonisation.

Place de la Sorbonne (Paris)

Ce site correspond très probablement à une boutique comprenant un foyer et des réserves alimentaires. L'ensemble a été détruit vers le milieu du Ier siècle de notre ère par un incendie. Nos observations ont porté sur 12 caryopses de blé nu (*Triticum aestivum*), retirés des prélèvements effectués dans l'US 1102. Il s'agit de grains présentant des dégradations qui pourraient ne pas être imputables à la carbonisation : la zone du scutellum est entièrement « rongée » alors que tout le reste du caryopse est conservé. Aucun vestige d'insecte n'a été remarqué.

1.2. Méthodes.

En théorie, le protocole expérimental consistait à faire des carbonisations expérimentales sur 4 lots de seigle sain, 4 lots de blé parasité, et 3 lots de seigle parasité. Chacune des carbonisations expérimentales devait être précédée et suivie d'observations sur 100 grains des différents lots. Toutes les observations ont fait l'objet d'une évaluation avec l'aide d'une grille de critères établis en fonction des différents stigmates figurants sur les grains archéologiques après carbonisation ou parasitisme (Tabl.2), de photo prise à la loupe binoculaire (Nikon SMZ 1000 avec le logiciel photo NIS-ELEMENT D.ink) et au Microscope électronique à Balayage (JEOL, Neoscope JCM-5000).

État des surfaces Lot LBP1 avant carbonisation sur 100 caryopses													
Grain n°	Grain sans dégât apparent		Grain chétif		Grain fragmenté		Présence de l'embryon		Position des dégâts				
									F. Ventrale	**F. Dorsale**	**F. Latérale**	**Embryon attaqué**	**État de l'albumen**
Total	Présent : 47%	Absent : 53%	Présent : 1%	Absent : 99%	Présent : 6%	Absent : 94%	Présent : 62%	Absent : 38%	Variable	Très important	Important	43%	31% vide

Tableau 2 Exemple de critères pris en compte pour le lot de caryopses de blés parasités avant carbonisation

Le protocole expérimental consiste en 5 étapes (Tabl.3). La première concerne la préparation des 4 lots de seigle sain(LSS) et des 4 lots de blé parasité (LSP), ainsi que

l'infestation des 3 lots de seigle parasité (LSP) : 45 *Sitophilus granarius* adultes ont été introduit par lot de 107 g (3 lots de 107 g, soit 4548 caryopses dans un lot) de caryopses de seigle sain. Ils ont été placés dans des bocaux aérés, dans une pièce à température d'environ 18°-19°C. Le fournisseur de charançons conseillait environ 200 adultes pour 1kg de grains. Étant donné que les bocaux d'élevage sur blé contenaient environ 50 adultes pour 80g de grains, l'infestation expérimentale des grains de seigle a démarré avec un nombre d'adultes inférieur (45 individus pour 107 g de grains). Les caryopses parasités devaient servir aux expérimentations de carbonisation, mais la deuxième génération de *S.granarius* adulte a émergé tardivement (à partir du 8 mars 2016). Compte tenu du temps qui nous était imparti, seuls les caryopses de seigles parasités 1 et 2 ont été observés.

La deuxième étape du protocole concernait les observations, qui ont été faites sur les lots LSS (Lot Seigle Sain) numérotés 1 pour la carbonisation en conditions oxydantes et 2 pour la carbonisation en conditions réductrices. De même, les lots de blé parasité étaient notés LBP1 pour la carbonisation en conditions oxydantes et LBP2 pour la carbonisation en conditions réductrices. Compte tenu des contraintes de matériel et de temps, les carbonisations expérimentales ont été opérées 1 fois (au lieu de 3 initialement prévues). Les lots "témoin" LSS1t, LSS2t, LBP1t et LBP2t dont la présence était nécessaire pour vérifier la probité des expérimentations, n'ont pas été observés.

Première étape : Mise en place des lots	Lot de seigle sain (LSS) : Chacun des lots pèse 80g		Lot de seigle parasité (LSP) : infestation par *Sitophilus granarius* sur 3 lots de 107g			Lot de blé parasité(LBP) : Chacun des lots pèse 52,64g	
	Carbonisation oxydante sur LSS1 et LSS1t	Carbonisation réductrice sur LSS2 et LSS2t				Carbonisation oxydante sur LBP1 et LBP1t	Carbonisation réductrice sur LBP2 et LBP2t
Deuxième étape : Observation et évaluation	Sur 100 grains du lot LSS1	Sur 100 grains du lot LSS2	Sur grains parasités	Sur grains parasités	Non observé	Sur 100 grains du lot LBP1	Sur 100 grains du lot LBP2
Troisième étape : Choix du temps et température.							
Quatrième étape : Carbonisation expérimentale	300° / 50 min	300° / 75min				300° / 50min	300° / 75min
Cinquième étape : Observation et évaluation	Sur 100 grains	Sur 100 grains				Sur 100 grains	Sur 100 grains

Tableau 3 Chronologie des opérations du protocole

Afin de pouvoir distinguer les traces de phytophagie et celle de carbonisation, il était nécessaire d'avoir des caryopses expérimentaux comparables aux caryopses archéologiques (étape 3). En nous basant sur les travaux de S. Boardman et G. Jones (1990) et de J. Ros (2013) nous avons procédé à des tests en carbonisant 12 échantillons de blé parasité et de seigle sain en four à moufle (Naberthem controler P 330) dans différentes conditions afin d'obtenir le temps et la température adéquats (tabl.4). Il nous fallait une carbonisation suffisamment importante pour carboniser les grains et les altérer, cependant, il ne fallait pas qu'elle soit trop intense afin d'éviter que les grains n'éclatent et perdent des caractéristiques anatomiques indispensables à la comparaison avec les grains parasités. Nous avons donc opté pour des carbonisations en condition oxydante et en condition réductrice. S. Boardman et G.

Jones (1990) ont montré que les conditions (oxydantes ou réductrices), la température et la durée de carbonisation interagissent de manière différentielle selon les pièces anatomiques. Ces interactions diffèrent lors d'un incendie, selon la position des grains plus ou moins périphérique par rapport à l'assemblage, et leurs positions plus ou moins enfouie dans la masse : les grains en positions supérieures brulent en condition oxydante, ceux pris dans la masse en condition réductrice. Pour recréer les conditions oxydantes, les grains ont été placés dans le four sur un papier aluminium. Afin de recréer des conditions réductrices, les grains étaient placés dans le four, enveloppés dans du papier d'aluminium et ensevelis dans du sable.

Condition	**T°**	**Durée (min)**	**Effet sur les caryopses**		**Intérêt**
			Secale cereale (Sain)	*Triticum aestivum* (Parasité)	
Oxydation	250°	20	Aucune déformation. Caryopses torréfiés	Peu de déformation, péricarpe vide toujours présent	Non pertinent
Oxydation	250°	40	Aucune déformation. Grains carbonisés	Certain péricarpe vide se replie sur eux-mêmes. Peu déformé	Non pertinent
Oxydation	250°	50	Aucune déformation. Grains carbonisés	Certain péricarpe vide se replie sur eux-mêmes. Peu déformé.	Non pertinent
Oxydation	250°	60	Grains carbonisés. Leger gonflement	Certain péricarpe vide se replie sur eux-mêmes. Leger gonflement	Non pertinent
Oxydation	300°	60	Caryopses carbonisés, apparence « soufflée » avec présence de protrusions. Certains grains sont agglutinés	Les péricarpes parasités et vidés de leurs albumens se replient sur eux-mêmes. Gonflement : apparition de boursoufflure.	Pertinent
Réduction	300°	60	Couleur métallique, début de quelques protrusions.	Couleur métallique, petites protrusions. Péricarpes se replient sur eux même.	Pertinent
Réduction	300°	75	Grains carbonisés, protrusions. Grains agglutinés	Grains carbonisés, Grains fusionné entre eux. Péricarpe se replient sur eux même.	Pertinent.

Tableau 4 Détermination des conditions de carbonisation.

Les conditions choisies (Tabl.4) pour les carbonisations expérimentales (étape 4) ont donc été les suivantes :

Condition	**Oxydation**	**Réduction**
Température (C°)	300°	300°
Temps (min)	50 minutes	75 minutes

Tableau 5 Conditions choisies pour les carbonisations expérimentales

D'une manière générale, les caryopses des deux espèces réagissent différemment à la carbonisation et présentent des degrés variables d'altération et de déformation. La carbonisation entraine différentes modifications morphologiques au niveau de la taille, de la forme et au niveau du rapport entre la longueur et la largeur des semences (Renfrew, 1973 : 9-15 ; Braadbart, 2008). Après carbonisation, les caryopses présentaient de nouvelles caractéristiques (grains agglutinés ou des sillons ventraux « éclatés ») qui nous a paru judicieux de rajouter à la grille d'évaluation (Tabl.7). Afin de décrire l'état physique des caryopses carbonisés, nous avons utilisé l'échelle de Boardman et Jones (1990) sur la base des codes P (« *préservation* ») et D (« *Distorsion* ») sur une échelle de 1 (« *grain intact* ») à 5 (« *grain détérioré* ») (Tabl.6). Ensuite, afin de comparer les différents matériaux archéologiques aux critères observés lors des expérimentations, les différents échantillons archéologiques ont été observés à l'aide d'une grille d'évaluation qui était organisée par site et par critère (FIG.1).

Code P	DEGRÉ DE CONSERVATION DU CARYOPSE CARBONISÉ DE CÉRÉALE
P1	Parfaite : poils du caryopse et autre menus éléments conservés
P2	Epiderme pratiquement intact, poils parfois conservés, embryon en place
P3	Epiderme incomplets, albumen apparent, embryon parfois présent, sillon ventral bien visible
P4	Lambeaux d'épiderme, autres éléments en général disparu, scutellum et sillon ventral visible, extrémités du grain plus ou moins complètes
P5	Forte érosion de la surface, scutellum peu visible, sillon ventral effacé, extrémités du grain émoussées ou absentes, morphologie générale sommaire
P6	Fragment vésiculaire ou albumen fortement troué, albumen vitrifié
Code D	**STADE DE DÉFORMATION DU CARYOPSE CARBONISÉ DE CÉRÉALE**
D1	Déformation légère
D2	Légère déformation (petit gonflement, dissymétrie)
D3	Nettement déformé (boursouflures, creusement, torsion)
D4	Fortement déformé, grain fragmenté, éclatement friable
D5	Grain partiellement détruit ou fondu (albumen vitrifié)

Tableau 6 Échelle utilisée pour enregistrer l'état de conservation (P) et de déformation (D) des grains carbonisés (Traduit de S. Boardman et G. Jones 1990 extrait de Ruas M.-P, Bouby L. 2010.)

Critères observés saisis en tableau

- Péricarpe entier : Oui/Non
- Grain chétif : Oui/Non
- Grain fragmenté : Oui/Non
- Présence de l'embryon: Oui/Non
- Grains fusionnés: Oui/Non
- Morphologie du sillon ventral
- Position des dégâts:
  - Face Latérale
  - Face ventrale
  - Face dorsale
  - Embryon attaqué: Oui/Non
  - Etat de l'albumen
- Degré de déformation
- Degré de conservation

Tableau 7 Critères observés et saisis en tableau

2. *Résultats*

2.1. Identification & quantification des stigmates de carbonisation sur seigle sain

2.1.1. En conditions oxydantes

Après une carbonisation expérimentale sur le lot LSS1, nous avons pu observer certaines modifications à la surface des caryopses (Talb.7). Les grains sont gonflés et déformés (Fig. 2a), 22 % sont soudés (Fig. 2b) et présentent des excroissances qui correspondent à la matière albuménique expulsée (protrusion). Les péricarpes de 98 % des caryopses semblent intacts alors que les 2 % restant présentent un état érodé et effrité. Une grande part des caryopses (40 %) est atteinte de protrusions (Fig.2c, 2d) dont les contours semblent réguliers. Elles sont situées au niveau des sillons ventraux, qui se sont ouverts, lors de l'expulsion de l'albumen (FIG. 2c). L'agglutination des caryopses est causée par le durcissement de l'albumen après son expulsion (Fig. 2e). Sur la base des codes utilisés par S. Boardman et G. Jones (1990), le matériel expérimental se situe, en grande partie au niveau P2 et D2.

Etat des surfaces Lot LSS1 sur 100 caryopses

1=Oui / 0= Non — P= Présent / A= Absent

Grain n°	Péricarpe entier		Grain chétif		Grain fragmenté		Embryons		fusionné	seul	Morphologie du sillon ventral	Degré de déformation	Degré de Conservation
Total (sur 100)	P : 98%	A : 2%	P : 0%	A : 100%	P : 100%	A : 0%	P : 99%	A : 1%	22%	78%	40% de protrusion	D3 : 33% D4 : 2% D5 : 2% D2 : 63%	P5 : 4% P4 :16% P3 : 3% P2 :77%

Tableau 8 Extrait du tableau utilisé pour observer le lot de seigle sain 1 (LSS1) après carbonisation en condition oxydante (300°, 50 min)

2.1.2. En conditions réductrices

Sur le lot LSS2 après carbonisation en condition réductrice nous avons pu observer des modifications similaires aux précédentes, mais à des taux différents (Talb.8). Les caryopses ont tendance à s'agglutiner en masse, présentent des excroissances et un aspect vernissé (FIG. 3b). Cependant, seulement 45% sont restés agglutinés après prélèvement et seule 4 avaient des protrusions apparentes (FIG. 3a). Malgré une grande friabilité, la carbonisation conserve mieux les caryopses en condition réductrice (FIG. 3c).

Etat des surfaces Lot LSS2 sur 100 caryopses 1=Oui / 0= Non P= Présent / A= Absent													
Grain n°	Péricarpe entier		Grain chétif		Grain fragmenté		Embryons		fusionné	seul	Morphologie du sillon ventral	D de déformation	D de Conservation
Total	P : 100%	A : 0%	P : 0%	A : 100%	P : 0%	A : 100%	P : 100%	A : 0%	45%	55%	4 % sont ouverts	4% D2 3% D3 93% D1	2% P3 2% P2 96% P1

Tableau 9 Extrait du tableau utilisé pour le lot de seigle sain2 après carbonisation en conditions réductrices (300°, 75 min)

2.2. Identification et quantification des stigmates de phytophagie.

2.2.1. Caryopse de blé tendre : *Triticum aestivum*.

2.2.1.1.Avant carbonisation.

Les résultats des observations avant carbonisation (Tabl.2) ont permis d'observer les caractéristiques des dégâts dont les caryopses étaient victime. Sur l'échantillon de 100 grains observés, 53 % présentaient des dégâts. Parmi les 53 caryopses parasités, 43 étaient attaqués au niveau de l'embryon (dont 38 n'ayant plus d'embryons). Au total 31 % des caryopses avaient été totalement vidés de leur albumen. Toutes les faces sont attaquées avec une préférence pour la face dorsale. Les trous de sorties des larves se présentent sous la forme d'un trou de forme oblongue, aux bords irréguliers, situé de préférence au niveau de l'embryon et laissant entrevoir les traces laissées par les mandibules (Fig. 6e). Les adultes se nourrissent individuellement en provoquant de multiples perforations au niveau du péricarpe ou à plusieurs en laissant une cuvette creusée jusque dans l'albumen.

2.2.1.2. Après carbonisation en condition oxydante

D'une manière générale, la carbonisation sur le lot de blé parasité 1 (LBP1) (Tabl.9) n'a pas modifié l'aspect morphologique des grains ayant été vidés totalement de leur albumen (90 % des caryopses). La forme du trou, probablement due à la sortie de l'adulte à une forme généralement oblongue et des contours irréguliers voir dentelés (Fig.4a, 4 b, 4 c, 4d, 4e), mais celle-ci varie en fonction des individus, de leurs positions et de la carbonisation. La carbonisation a moins d'influence sur la morphologie sur les caryopses ayant au moins 2/3 de leurs albumens, cependant aucune protrusion n'a été remarquée. Une partie des traces laissées par les mandibules (Fig. 6f) ainsi que les résidus laissés (excrément, exuvie) disparaissent.

Etat des surfaces lot LBP1 sur 100 grains 1=Oui / 0= Non P= Présent / A= Absent + à +++ intensité des dégâts													
Grain n°	Grain sans dégât apparent		Grain chétif		Grain fragmenté		Présence de l'embryon		Position des dégâts				
									F. Ventrale	**F. Dorsale**	**F. Latérale**	**Embryon attaqué**	**État de l'albumen**
Total %	P : 0%	A : 100%	P : 1%	A : 99%	P : 9%	A : 91%	A : 62%	A : 38%	Variable	Très Important	Variable	43%	31%

Tableau 10 Extrait du tableau utilisé pour observer le lot de blé parasité 1 après carbonisation en conditions oxydantes (300°, 50 min)

2.2.1.2.1. Après carbonisation en condition réductrice

Les résultats de la carbonisation sur LBP2a (Tabl.10) en condition réductrice sont similaires à ceux observés en condition oxydante, cependant on note quelques différences au niveau de la quantification des grains présentant des stigmates de phytophagie (Fig. 5a, 5b,

5c, 5e). Certains caryopses (8 %) montrant des traces de perforations résultants de l'activité des *S.granarius* adultes n'en présentent plus après carbonisation réductrice. De même, les péricarpes de certains caryopses tendent à se replier sur eux-mêmes (Fig. 5d).

Etat des surfaces lot LBP2 sur 100 grains 1=Oui / 0= Non — P= Présent / A= Absent — + à +++ intensité des dégâts													
Grain n°	Grain sans dégât apparent		Grain chétif		Grain fragmenté		Présence de l'embryon		Position des dégâts				
									F. Ventrale	**F. Dorsale**	**F. Latérale**	**Embryon attaqué**	**État de l'albumen**
Total	P : 8%	A : 2%	P : 0%	A : 100 %	P : 1%	A : 99%	P : 15%	A : 85%	Variable	Important	Important	92%	85% en apparence

Tableau 11 Extrait du tableau utilisé pour le lot de blé parasité (LBP2) après carbonisation en conditions réductrices (300°, 75 min)

2.2.2. *Caryopses de seigle Secale cereale*.

En raison des contraintes de temps, seuls les lots de seigle parasité 1 et 2 ont été décrits. Les résultats concernant le lot LSP1 (Tabl.11) et le lot LSP2 (Tabl.12) ont été pris en compte lors de l'étude. D'une manière générale et en conséquence du temps d'élevage, les caryopses de seigles parasités présentent moins de dégâts que les caryopses de blés.

Lot 1 (=151 « caryopses charançonnés » au 17/03/2016		
État des caryopses	**Stigmates en présence**	**État de l'albumen**
Entier (=98)	- Perforations nombreuses - Apparence de cuvette sur certains caryopses (=5) - Trous de sorties sur 36 caryopses (Fig.6a, 6b) Position des trous de sorties F. dorsale / F. ventrale / F. Latérale Apex : 9 / 3 Embryon : 18 / 2 Autre position : 3 / 1	- 29 caryopses sont vidés de leur albumen (FIG.6c). - 7 sont vidés au moins à la moitié. - 62 ont plus de la moitié de leur albumen.
Fragment (=53)	- Perforations nombreuses - Aspect rongé.	-21 sont vidés à la moitié de leur albumen. -2 sont vides. -30 ont plus de la moitié de leur albumen.

Tableau 12 Tableau de description du lot de seigle parasité 1 (LSP1)

Lot 2 (=264 « caryopses charançonnés » au 17/ 03/2016)		
État des caryopses	**Stigmates en présence**	**État de l'albumen**
Entier (=128)	- Perforations nombreuses - Apparence de cuvette sur certains caryopses (=6) - Trous de sorties (=44 caryopses concernés) (Fig. 6d) Position des trous de sorties F. dorsale / F. ventrale / F. Latérale Apex : 17 / 3 Embryon : 15 / 4 Autre position : 4 / 1	- 36 caryopses sont vidés de leur albumen. - 9 sont vidés au moins à la moitié. - 33 ont plus de la moitié de leur albumen. -50 caryopses ne présentent que quelques perforations.
Fragment (=136)	- Perforations nombreuses - Aspect rongé.	-39 sont vidés à la moitié de leur albumen. -8 sont vides. -89 ont plus de la moitié de leur albumen.

Tableau 13 Tableau de description du lot de seigle parasité (LSP2)

2.3. Synthèse des critères diagnostiques.

La carbonisation génère des biais de conservation liés à la conformation (taille et forme) et à la composition qualitative et quantitative des grains de céréales. Les résultats obtenus révèlent certaines différences quant au comportement des caryopses des deux espèces testées lors de la carbonisation, selon qu'ils soient parasités ou non.

Les principaux biais liés à la carbonisation des semences saines ont été signalés lors des expérimentations de S. Boardman et G. Jones (1990). Sur le matériel testé, nous avons observé les biais suivants : d'une part, la carbonisation en condition oxydante provoque différents types de protrusions dus à la sortie de l'albumen (perte d'albumen, effet soufflé provoquant une conformation différente de l'état initial). D'autre part, la carbonisation en condition réductrice permet une meilleure conservation de la structure externe des caryopses malgré un aspect friable. Les protrusions sont moins nombreuses et plus discrètes, cependant beaucoup des caryopses s'agglutinent en amas.

La plupart des grains parasités ont laissé des stigmates caractéristiques après carbonisations. Les cas de parasitisme liés à la présence de *Sitophilus granarius*, sont représentés par des caryopses perforés, plus ou moins vides, présentant un trou (trou de sortie de l'adulte) où les déjections du développement larvaire ne sont apparemment pas conservées. Les trous de pontes (Fig. 6c) visibles avant carbonisation ne le sont plus après. Cependant, les perforations et excavations laissées par les adultes restent en place malgré la fragilisation des péricarpes. Enfin, certains grains sont fragmentés et vidés de leur albumen.

Les trous de sorties, caractéristiques des caryopses dits « charançonnés » (Fig. 6d) peuvent être différenciés des vides provoqués par les protrusions par leurs formes oblongues et irrégulières, mais aussi par leurs positions et la présence de replis du péricarpe poussés vers l'extérieur (Fig. 4c). De plus, si la quantité d'albumen est suffisante pour être modifiée, mais insuffisante pour être expulsé, il est possible que la carbonisation modifie l'aspect interne du grain. Le reste d'albumen gonfle, remplit le caryopse et prend un aspect alvéolé.

Les différentes traces d'activités, qu'elles soient trophiques ou nidificatrices peuvent être réunis sur un même caryopse, cependant la carbonisation en conditions réductrices occulte les perforations faites par les pièces buccales des adultes. L'apparition de saillies en conditions réductrices n'est pas systématique et l'albumen des grains sains à proximité peut boucher ces perforations. La carbonisation des caryopses parasités n'entraine pas ou peu de modifications morphologiques à l'inverse des caryopses non parasités dont l'apparence est « soufflée ».

En conclusion les expérimentations ont permis d'établir des critères distinctifs entre les deux types de stigmates. La carbonisation provoque un gonflement et différentes déformations des grains selon les conditions (effet soufflé accompagné fréquemment de protrusion). A l'inverse, la phytophagie suivie de carbonisation conserve la majeure partie des stigmates et peut déclencher un repli du péricarpe. En ce qui concerne les traces d'activités de *Sitophilus granarius,* celles qui sont liées à la sortie de l'imago sont les plus discernables alors que les traces d'activités trophiques (cuvettes ou perforations creusées) peuvent permettre de douter quant à la présence du parasite sur l'assemblage.

3. Application aux assemblages archéologiques.

Comme pour le référentiel moderne, nous avons appliqué les critères d'observations aux caryopses carbonisés archéologiques (Tabl. 13). Les résultats des observations sur référentiel moderne et les comparaisons faites entre caryopses sains et caryopses parasités permirent de mettre en exergue les impacts de phytophagie ou au contraire d'éliminer les possibilités de parasitisme. Les observations sur référentiel archéologique ont été conduites sur des caryopses de seigle, de blé nu, d'avoine (*Avena sativa*) et de millet italien (*Setaria italica*). Seules les deux premières espèces citées ont été observées lors des carbonisations expérimentales, cependant, les observations des deux autres espèces reposent sur les mêmes critères.

L'abbaye Notre-Dame (Nevers)

La présence de *Sitophilus granarius* (Fig. 7f) dans un des caryopses de seigle suggère que le stock incendié a vraisemblablement fait l'objet d'une attaque du ravageur. Les caryopses dont l'état général est marqué par une érosion particulière du péricarpe sous la forme de petites excavations de surface ou éclatement, ont été observés afin de distinguer ceux incombant au charançon de ceux provoqués par les effets secondaires liés à carbonisation et au tamisage. Le premier caryopse de blé A1 présente des stigmates de carbonisation évidente : le degré de déformation est relativement élevé et la protrusion est nettement marquée, signe d'une carbonisation en conditions oxydantes sur caryopse sain. Le deuxième grain de blé A2 (Fig. 7a) est fragmenté dans la longueur à gauche du sillon ventral. On peut y observer une excavation sous la forme d'un enlèvement de matière, irrégulier, laissant imaginer la présence de *Sitophilus* adulte avant l'incendie. Deux grains de seigle (A3 et A4) présentent des similarités avec les grains expérimentaux où la présence de trou de sortie était notée. Le premier (Fig.7c, 7d) est brutalement interrompu au niveau de la radicule, la zone du germe parait entièrement rongée. Le restant d'albumen a pris un aspect filamenteux (apparence alvéolée), démontrant la consommation d'une grande partie du grain avant la carbonisation. Le parasite n'a laissé qu'une enveloppe vide.

En dépit des degrés de conservation, et contrairement aux caryopses A9, A5 et A10 les caryopses A6, A7 (Fig. 7e), A8 (Fig. 7b) présentent des stigmates attribués à l'alimentation de *Sitophilus*. 44 caryopses douteux avaient été prélevés sur les 1292 caryopses de seigle (entier et fragment) présent dans l'US 405^{E}. L'analyse sur caryopse de seigle permet de conclure sur le parasitisme de 5 caryopses sur 8. Ils présentent des stigmates attribuables aux traces d'activités de *Sitophilus granarius*. Sachant qu'un *Sitophilus* adulte a été retrouvé encore logé, le rapport serait donc de 29 grains infestés sur les 45 (44+ Sitophilus) lors de l'incendie. L'aspect des péricarpes des grains, parfois rongé jusqu'à l'albumen est probablement à mettre sur le compte de ces parasites. Si la présence de 29 caryopses de seigle parasités sur 1292 est un témoin probant du stockage en masse des grains avant leur carbonisation, cette quantité (2,24%) n'est pas suffisante pour démontrer que la pièce constituait bien une réserve au moment de l'incendie. L'analyse carpologique (Ruas, 2007) parait être un outil plus pertinent pour ce type d'étude, néanmoins la présence des caryopses parasités soulève des questions : début d'une infestation ? Dernier survivant après traitement ? Disparition de nombreux témoins d'infestations ? La représentativité du rapport de grains infestés sur le nombre total

de grains est biaisée par la conservation différentielle qui ne permet pas de confirmer avec certitude le niveau d'infestation.

Chapeau Rouge (Dijon)

Les observations ont été faites sur 2 caryopses d'avoine cultivée (dénombrés sur 4), 5 caryopses d'avoine indéterminés (dénombrés sur 250) et 5 de blé nu (dénombrés sur 441). Les 2 caryopses d'avoine prélevés dans l'US149 étaient douteux. Le premier caryopse nommé B1 (Fig. 8a, 8b) est vidé de son albumen. La face ventrale présente un trou de forme oblongue et des bords irréguliers assimilables à un cas de parasitisme par *S.granarius*. Le deuxième caryopse noté B2 (Fig. 8c) est plus érodé et ne présente pas de déformation résultant d'un gonflement. Il présente d'autres stigmates: le sillon ventral est légèrement ouvert, un creusement irrégulier est présent en face latérale attribuable à une attaque de *S.granarius*. Les caryopses d'avoine et de blé l'US151, B5 (Fig. 8d) et B6 (FIG. 8e), présentent des surfaces d'altération attribuable à un ravageur primaire (les autres sont attribuables à la carbonisation (Fig. 8f) : creusement, torsions, déformation morphométrique. Compte tenu de la présence des différents parasites, et du taux de parasitisme, on peut supposer que *Sitophilus* était présent sur le site, avant l'incendie. Cependant, nous ne pouvons pas confirmer la représentativité de l'assemblage conservé avec cette seule analyse.

Porte de Mars (Périgueux)

Les caryopses du site de la Porte De Mars présentent un état friable. La présence de grain agglutiné trahit une carbonisation à température élevée, sur la base de l'échelle utilisée par S. Boardman et G. Jones (1990), le matériel céréalier se situe aux niveaux P2/3 et D3/4. Les résultats se sont révélés intéressants sur les caryopses d'*Avena sativa* observés, soit 3 sur 254. Certains caryopses présentent des cuvettes qui semblent avoir été creusées face dorsale (Fig 9a, 9b, 9c), avant la carbonisation, par un ravageur primaire tel que *S. granarius*. Cependant si *S.granarius* laisse des stigmates caractéristiques, il peut en faire d'autres, assimilables à celles d'autres ravageurs primaires. La seule morphologie des excavations observées ne permet ni de confirmer, ni d'infirmer qu'il s'agit d'une attaque de *Sitophilus*. Les caryopses de seigle observés (8 sur 1721) ne semblent pas avoir été attaqués, seuls des stigmates de carbonisation telle que des déformations, une protrusion sous forme d'écartement du sillon ventrale (Fig. 9d) et un gonflement (Fig. 9e) ont pu être observés sur les différents échantillons. D'une manière générale, le peu de caryopses parasités ne permet pas de plaider en faveur d'une infestation, mais soulève des questions quant à la représentativité des caryopses parasités conservés ou sur le taux réel de l'infestation. Nous ne pouvons pas confirmer s'il s'agit d'un début d'infestation, ou si seuls certains caryopses ont survécu aux différents agents taphonomiques liés à la destruction des vestiges.

Lalonquette (Pyrénées-Atlantiques)

Seulement 3 caryopses en provenance du site de Lalonquette ont été observés. Leurs surfaces paraissent avoir été altérées de plusieurs manières. Le hile manque et leurs surfaces sont érodées, et piquetées. Si la présence de protrusion sur le caryopse D1 (Fig. 10a, 10b), et les degrés de déformation et de conservation sur les 3 caryopses permettent d'attribuer cette altération à la carbonisation, la présence de creusement circulaire et irrégulier semblant être antérieur à la carbonisation sur les caryopses D1 et D2 (Fig. 10c), permet confirmer

l'hypothèse selon laquelle les stocks ont été attaqués par des insectes. On note que l'albumen n'a été que partiellement consommé, ce qui pourrait être la cause du degré de déformation important dont les grains font l'objet. Cependant, même si la présence de *Sitophilus granarius* est attestée dans ce niveau, le manque de données expérimentales et archéologiques ne permet pas d'attribuer de manière certaine ces dommages à *S. granarius*. Ce type de stigmate pourrait être attribué à un insecte tel que *Rhyzopertha dominica*.

Place de la Sorbonne (Paris)

L'US1102 contenait 11 858 caryopses de blé nu (et58 fragments) toutes structures confondues, dont l'état de conservation général était caractérisé par un péricarpe lisse et intact, malgré certains cas de germination (≤12 %). Cependant, il apparaît que de nombreux grains (50 à 95 sur 100) étaient altérés d'une manière bien spécifique, au niveau du germe. 10 caryopses sur 435 ont été observés en provenance des structures 14, et 2 sur 440 en provenance de la structure 40 (voir tabl.13). Les profils des caryopses observés E1 (Fig. 12a), E2 (Fig. 12b), E3, E4, E6, E9, E10 et E11 sont interrompus par un creux aux contours irréguliers qui affecte toute l'extrémité proximale. La position et la forme générale (circulaire à oblongue) des dégradations peuvent être attribuées aux trous de sortie de *Sitophilus granarius*. Cependant certains critères remettent en cause la présence de *S.granarius* sur le site. En effet, aucun vestige d'insectes n'a été remarqué sur le site, de plus, les expérimentations et la littérature (Bousquet, 1990) démontrent que le germe est souvent attaqué, mais pas de manière systématique (entre 6,5 et 92,5 % selon les échantillons et les différentes conditions d'élevage) et que l'albumen est en grande partie consommé par les larves. Les dégradations sont ici quasi-identiques et situées dans les mêmes zones, mais l'albumen ne parait pas avoir été consommé au-delà de la partie proximale des caryopses.

Le caryopse E5 (Fig. 12d) semble être marqué par des perforations au niveau du péricarpe ainsi que l'absence de germe. Les semences notées E7 (Fig. 12c) et E8 (Fig. 12e) montrent un albumen dont la consommation est nettement marquée, les creux au niveau de la radicule sont nettement significatifs et les contours semblent dentelés, ce qui pourrait correspondre aux enlèvements faits par les mandibules. D'une manière générale, les caryopses montrent des dégâts évidents au niveau des embryons, qui semblent avoir été rongés, cependant au-delà de l'embryon l'albumen ne semble pas avoir été consommé. Les dégradations présentes sur 50 à 95 % des grains selon les échantillons sont attribuables à un ravageur primaire, cependant les indices sont trop minces pour admettre de façon certaine la présence de *Sitophilus granarius* sur ce site. Il est probable qu'un parasite attaquant une proportion moindre par grains et ciblant de préférence les embryons, tel que *Cryptolestes ferrugineus* (Coleoptera, Laemophloeidae) ou *Oryzaephilus surinamensis* (Coleoptera, Silvanidae) aient été présents. Kislev & Simchoni (2007) citent à l'égard de *Oryzaephilus surinamensis* "...also whole cereal grains, especially on the germ, thereby reducing the percentage of germination" ou encore "In undamaged grains, adults most frequently attack the germ'. Toutefois, il est possible que les conditions de conservation aient été en faveur des caryopses les moins parasités et donc les moins fragilisés. La carbonisation aurait pu ne laisser que les caryopses les plus douteux.

4. Interprétation et discussion.

Selon les conditions, la carbonisation influe d'une manière plus ou moins forte sur les caryopses. Une grande partie des modifications qui en résultent sont liées à la présence de l'albumen. Braadbart (2008, 2005) avait lui aussi noté le gonflement des grains et l'apparition de protrusion qui pourrait être provoquée par l'augmentation de la pression à l'intérieur des caryopses. Le comportement de l'albumen au cours de la carbonisation agira sur les modifications liées à la forme et à la taille des semences (Renfrew, 1973). Ces modifications seront différentes en fonction de la teneur en oxygène, de la température, de l'espèce, s'ils sont ou non revêtu de leurs enveloppes et selon qu'il y'ait présence ou non d'albumen.

L'albumen à l'intérieur des caryopses est composé d'amidon et d'eau. Lors de la carbonisation, l'eau contenue dans l'albumen entre en ébullition et se transforme en vapeur (Braadbart, 2004). Elle se concentre alors au centre du caryopse, repoussant l'amidon en périphérie. À partir de 190 °C, du fait de la température et de la pression, la vapeur se met à occuper un plus grand volume que l'eau liquide, l'enveloppe est alors soumise à une forte pression, ce qui entraine la rupture des points faibles du péricarpe (Braadbart, 2008), notamment au niveau du sillon. Les expérimentations et les publications (dont Braardbart, 2008 ; Märkle 2008 ; Ruas&Bouby, 2010 ; Ros et al, 2014) ont démontré que leurs apparitions au niveau de la surface des caryopses se produisent plus particulièrement lorsque la montée en température est rapide (<600 °C). L'albumen une fois expulsé sert de liant et permet l'agglutination des caryopses entre eux. Selon Braadbart (2008), la présence de protrusions n'est pas mentionnée dans la littérature archéobotanique. Cependant, leurs absences sont liées à leur caractère très friable : les grains dont l'albumen a explosé ne conservent qu'un vide. Le peu de péricarpe encore présent tombe en débris lors du tamisage sous l'eau.

Il est probable que les protrusions ne puissent pas, ou que très peu être utilisée dans les analyses à effectuer dans ce genre d'étude, cependant, il est possible que les caryopses parasités subissent le même sort. Comme les observations ont pu le démontrer, de nombreux caryopses parasités ne sont présents après carbonisation que par la présence d'une enveloppe vide et percée et parfois fragmentée. Il se peut que les conditions taphonomiques (carbonisation, enfouissement, temps, et tamisage) ne nous permettent pas d'étudier les caryopses les plus fragilisés.

Cependant, certains outils sont pertinents dans l'étude et l'interprétation des assemblages carpologiques parasités. La carbonisation en condition réductrice permet une meilleure conservation de la structure externe des caryopses, cependant, 22 à 45 % (pour les expérimentations) d'entre eux s'agglutinent en masse et certains caryopses (ici 2 %) ne présentent plus de perforation visible après carbonisation. Il se pourrait qu'il soit difficile de mettre en évidence le critère de perforation dans un assemblage archéologique, cependant, les trous de sorties gardent leurs caractéristiques après carbonisation.

Le degré de déformation utilisé par Boardman et Jones (1990), parait être un outil pertinent pour signaler la persistance de l'albumen à l'intérieur d'un caryopse sain lors de la carbonisation. En effet, les expérimentations et observations ont permis de démontrer que des

déformations et gonflements apparaissent lors d'une forte carbonisation sur les caryopses sains, alors que le péricarpe des caryopses parasités a tendance à se replier sur lui-même ou à ne pas changer de conformation.

5. Conclusion et perspectives.

Sitophilus granarius est incontestablement le plus commun, mais également le plus destructeur des ravageurs primaires dans les pays tempérés (Kislev & Simchoni 2007). Ses traces d'activités, qu'elles soient trophiques ou nidificatrices peuvent dans les meilleurs cas être distinguées des altérations attribuables à la carbonisation. Les trous de sortis présents sur les « blés charançonnés » (Fig. 11) et les comportements du péricarpe selon qu'il y'ait ou non présence d'albumen pendant la carbonisation, sont très caractéristiques et peuvent être des indicateurs pertinents à retenir. Cependant, les traces de phytophagie laissées par les adultes sont rapidement estompées par la carbonisation, les conditions taphonomiques *in situ* ou encore les effets du tamisage. En ce qui concerne les nombreux grains fragilisés par une attaque conjointe des adultes et les larves, il est probable que ces derniers ne parviennent pas jusqu'à nous.

Les paramètres pris en compte et observés dans cette étude ne permettent que d'avoir un regard partiel et biaisé sur les nouvelles possibilités que l'approche ichnologique peut apporter à l'étude et l'interprétation des assemblages carpologiques anciens. En effet, seuls les biais taphonomiques liés aux stigmates de carbonisation et de parasitisme ont été pris en compte. Les traces d'activités figurant sur les grains expérimentaux sont identifiables, cependant, des différences sont à noter avec les caryopses archéologiques. Les grains parasités provenant des contextes archéologiques présentés ne sont pas les plus caractéristiques. Les conditions de conservation et le tamisage en sont les principales causes. Une partie des données disparait, et il est donc difficile d'évaluer l'état de dégradation des stocks avant carbonisation.

Ainsi la représentativité quantitative et qualitative de l'assemblage est biaisée par la conservation différentielle des pièces anatomiques les plus résistantes, et la meilleure conservation des caryopses non parasités. Il serait intéressant d'observer de manière plus approfondie le comportement des caryopses carbonisés et parasités face à différents temps d'enfouissement, face à différents milieux et face au tamisage. De plus il serait aussi intéressant d'observer ces caractéristiques sur des semences d'espèces différentes et à différents stades de maturation (en phase de germination par exemple).

Nous pouvons rajouter que même si les dégâts attribués à *Sitophilus granarius* sont les plus fréquents, il n'est pas le seul ravageur primaire. *Rhyzopertha dominica* peut par exemple, être retrouvé dans des contextes archéologiques remontant au XIV^{e} siècle avant notre ère (Kislev, 2015). Si certaines altérations spécifiques permettent une identification, leurs attributions à un ravageur bien précis, demeure la plupart du temps impossible. En l'absence de vestiges entomologiques, l'identification d'un ravageur, parasite primaire peut être suffisant ; notamment pour une analyse sanitaire, toutefois il serait pertinent d'approfondir cette étude, afin de pouvoir distinguer les traces de *Sitophilus*, de celles laissées par d'autres ravageurs primaires. En effet, la dépendance que *Sitophilus granarius* a vis-à-vis

de l'Homme est une caractéristique intéressante qui peut être exploitée, mais ses traces d'activités ne doivent pas être confondues avec celle d'autres arthropodes. Une étude sur les transports des grains à longue distance comme le suggèrent C. Rocq et J.-H. Yvinec (2002) ne pourrait se faire que si des vestiges d'insectes ont été conservés ou si les critères permettant de distinguer les lésions faites par *Sitophilus granarius* des autres ravageurs ont été étudiés.

En dépit de nos faibles connaissances dans ce domaine, l'association de l'archéo-entomologie et de l'ichnologie pourrait se révéler être un outil pertinent dans l'étude et l'interprétation des assemblages carpologiques. Elle pourrait permettre une meilleure compréhension taphonomique des stocks entreposés et des processus pré et post dé positionnels. Notamment dans des milieux ne permettant pas la conservation de vestiges entomologiques. Les expérimentations conduites dans cette étude laissent entrevoir de nouvelles perspectives d'études. Le développement de la pluridisciplinarité, notamment dans ce type de recherche, pourrait permettre l'obtention d'une documentation plus aboutie des assemblages carpologiques anciens.

Bibliographie

Boardman S, Jones G (1990) Experiments on the Effects of Charring on Cereal Plant Components. Journal of Archaeological Science, 17: 1-11.

Bousquet Y (1990) Beetles Associated with Stored Products in Canada: An Identification Guide. Agriculture and Agri-Food Canada, Publication 1837, Ottawa,

Buckland, P.-C (1981) The early dispersal of insect pests of stored products as indicated by archaeological record. Journal of stored Product Research, 17,1-12.

Braadbaart F, Boon J.J, Veld H, David P and Van Bergen P.F (2004), Laboratory simulations of the transformation of peas as a result of heat treatment: changes of the physical and chemical properties, J. Archaeolic Science. 31, 821--833

Braadbaart F. &t van Bergen P (2005) Digital imaging analysis of size and shape of wheat and pea upon heating under anoxic conditions as a function of the temperature. Vegetation History and Archaeobotany, 14: 67-75.

Braadbaart F (2008) Carbonization and morphological changes in modern dehusked and husked Triticum dicoccum and Triticum aestivum grains. Vegetation History and Archaeobotany, 17: 155-166.

Gorham JR (1991) Insect and Mite Pests in Food: An Illustrated Key. United States Department of Agriculture, Washington

Huchet J.-B. (2014). – Approche ichnologique et taphonomique des altérations ostéolytiques dues aux insectes en contexte archéologique (chap. 8), p. 185-207. In : C. Denys, M. Patou-Mathis (eds.), Manuel de Taphonomie. Actes Sud - Errance (éd), collection"Archéologiques", Muséum National d'Histoire naturelle & CNRS, 304 pp

Kislev ME, Simchoni O. (2007) Hygiene and insect damage of crops and foods at Masada. In: Aviram J, Foerster G, Netzer E, Stiebel GD, Masada VIII. Jerusalem: IsraelExploration Society and HUJ; p. 133-170

Kislev, Mordechai E (2015) Infested stored crops in the Iron Age I granary at Tel Hadar. Israel Journal of Plant Sciences 62: 86-97.

Moret P., 1998. L'archéo-entomologie, ou les insectes au service de l'histoire. Revue de Médecine Vétérinaire, 149(11), 995-998.

Panagiotakopulu E., Buckland P. C (1991) "Insect pests of stored products from Late Bronze Age Santorini, Greece", Journal of Stored Product Research 27: 179–84.

Panagiotakopulu, E., Buckland, P. (2009) Environment, Insects and the Archaeology of Egypt, in Beyond the Horizon: Studies in Egyptian Art. Ikram,S. and Dodson, A. eds: 347-361.

Panagiotakopulu E. (2001). 'New records for ancient pests: archaeoentomology in Egypt', Journal of Archaeological Science 28: 1235–46.

Renfrew J. M. (1973) - Palaeoethnobotany: the prehistoric food plants of the Near East and Europe. New York, Columbia University, 248 pp.

Ros J.(2013), Agrobiodiversité, pastoralisme, terroirs et patrimoines vivriers en Roussillon de la Protohistoire au Moyen Âge : archéobotanique et ethnoarchéologie, thèse de doctorat, Muséum national d'histoire naturelle,Paris.

Rocq C, Yvinec J.-H (2002) L'archéoentomologie : une nouvelle spécialité en France, Archéopages, 24-29

Ros J, Evin A, Bouby L, Ruas M.-P (2014) Geometric morphometric analysis of grain shape and the identification of two-rowed barley (Hordeum vulgare subsp. distichum L.) in southern France, Journal of Archaeological Science, Volume 41,pp 568-575.

Ruas M.-P, Bouby L. (2010) Carbonisation, conservation et déformation des restes carpologiques. In : Taphononomie des résidus organiques brûlés et des structures de combustion en milieu archéologique, Actes de la table ronde, Valbonne, 27-29 Tanja

MärkleT , Rösch M (2008)Experiments on the effects of carbonization on some cultivated plant seeds Vegetation History and Archaeobotany, Volume 17, Supplement 1, pp 257-263

Vigne J.D et Audoin-Rousseau F. (1992) – La colonisation de l'Europe occidentale par le rat noir. Contrainte méthodologique, appel à colaboration, Les nouvelles de l'archéologie 47, pp.42-44.

Yvinec J.-H (1997 Infestation par les insectes dans un grenier carbonisé de la fin du II^{e} Siècle A.D. à Amiens (Somme). L'entomologiste, 53,3.

Abstract: ***A comparative taphonomic approach to examine the effects of carbonization and the damage caused by grain weevils*** **(Sitophilus granarius)** ***on archaeological caryopses of cereals***

Among the different bio-agents responsible for crops degradation, insects undoubtedly figure among the major pests by altering, destroying and contaminating stored products, including grains. For these reasons, the archaeoentomological approach appears to be a relevant tool in the study and interpretation of ancient carpological assemblages. Among pests of grains stocks, the granary weevil *Sitophilus granarius* (Coleoptera: Curculionidae) is, by far, the commonest species in archaeological context. However, the traces of this insect's activity (trophic and / or nesting) in ancient carpological corpus remains poorly documented. These traces are even more difficult to recognize on charred grains since some alterations can be mistaken for lesions already present on seeds, especially if no insect remains are preserved. These taphonomical biases make it difficult to interpret archaeological assemblages. Because of the parameters involved (e.g. time, temperature), carbonization may affect the caryopses parasitized by *S. granarius* differentially; causing different types of impacts (deformation, tunneling, splitting). From carbonization experiments conducted on both healthy and parasitized grains of modern caryopses of rye (*Secale cereale*) and wheat (*Triticum aestivum*), criteria to discriminate the impacts of carbonization from those related to grain weevil infestation are presented. Following a taphonomic approach, these experimental results are then compared to archaeological assemblages.

Résumé : ***Approche taphonomique comparée des stigmates de la carbonisation et des lésions du charançon des blés (*****Sitophilus granarius*****) sur les caryopses archéologiques de céréales.***

Parmi les multiples bio-agents responsables de la dégradation des récoltes, les insectes figurent incontestablement parmi les principaux ravageurs en altérant, souillant et détruisant les denrées entreposées, notamment les grains. Pour ces raisons, l'approche archéoentomologique apparaît comme un outil pertinent dans l'étude et l'interprétation des assemblages carpologiques anciens. Au sein des ravageurs des stocks céréaliers, le charançon des grains *Sitophilus granarius* (Coleoptera : Curculionidae) est l'espèce la plus fréquemment retrouvée en contexte archéologique. Toutefois, les traces d'activité (trophique et/ou nidificatrice) de cet insecte dans les corpus carpologiques anciens restent peu ou pas documentées. Ces dernières sont d'autant plus difficiles à identifier sur des grains carbonisés que certaines altérations peuvent être confondues avec des lésions présentes sur les semences, *a fortiori* si aucun vestige de l'insecte n'est préservé. Aussi ces biais taphonomiques gênent-ils l'interprétation des assemblages archéologiques. Selon les paramètres en jeu (durée, température…), les effets de la carbonisation agissent de manière différentielle sur les caryopses parasités en causant différents types d'impacts (déformations, creusement, éclatement). À partir d'expérimentations de carbonisation conduites conjointement sur des grains sains et altérés par *S. granarius*, sont présentés divers critères permettant de distinguer les impacts de carbonisation et ceux liés à l'action de *S. granarius* sur un référentiel moderne de caryopses de seigle (*Secale cereale*) et de blé (*Triticum aestivum*). Dans une approche taphonomique, les résultats expérimentaux sont ensuite comparés à un référentiel archéologique.

Annexes

Site archéologique	US	Espèce	N°	Etat de l'albumen	Etat de l'embryon	Caractères relevés sur les caryopses sans traces de parasitisme				Caractères relevés sur les caryopses parasités			
						Protrusions	Grains agglutinés	Degrés de conservation D'après Bordman et Jones 1990 (voir Tabl.6)	Degrés de Déformation D'après Bordman et Jones 1990 (voir Tabl.6)	Excavation ou creux		Perforation	Grains fragmenté vide	Trou de sortie
										Insecte	Autre			
A : «12, rue Saint-Genest», (Nevers)	US 405E	*Triticum aestivum*	A1	P	A	Oui	Non	P3	D3	Non		Non	Non	Non
			A2	PP	P	Non	Non	P3	D2	Oui		Non	Oui	Non
		Secale cereale	A3	PP	A	Non	Non	P3	D1	Non		Non	Non	Oui
			A4	PP	P	Non	Non	P2	D1	Non		Oui	Non	Oui
			A5	PP	PP	Oui	Non	P3	D2	Non		Oui	Non	Non
			A6	P	A	Non	Non	P3	D2	Non		Non	Non	Oui
			A7	PP	P	Non	Non	P3	D1	Oui		Non	Non	Non
			A8	PP	P	Non	Non	P3	D2		Oui	Non	Oui	Non
			A9	PP	P	Oui	Non	P3	D3	Non		Non	Non	Non
			A10	PP	P	Non	Non	P3	D3	Non		Non	Non	Non
B :« 8 rue du Chapeau-Rouge » (Dijon)	US 149	*Avena sativa*	B1	A	P	Non	Non	P3	D1	Non		Non	Non	Oui
			B2	A	P	Oui	Non	P4	D2		Oui	Non	Non	Non
	US151	*Avena sativa*	B3	P	P	Non	Non	P2	D1	Non		Non	Non	Non
			B4	PP	P	Non	Non	P5	D3	Non		Non	Non	Non
			B5	PP	P	Non	Non	P4	D3	Non		Non	Non	Oui
			B6	P	P	Non	Non	P3	D4	Oui		Non	Non	Non
			B7	P	P	Non	Non	P3	D2	Non		Non	Non	Non
		Triticum astivum	B8	P	A	Non	Non	P2	D3	Non		Non	Non	Non
			B9	P	P	Non	Non	P3	D3	Non		Non	Non	Non
			B10	P	A	Non	Non	P3	D3	Non		Non	Non	Non
			B11	P	P	Non	Non	P2	D3	Non		Non	Non	Non
			B12	P	P	Oui	Non	P3	D3	Non		Non	Non	Non
C : « Porte de Mars », Périgueux	US1027	*Avena sativa*	C1	P	P	Non	Non	P3	D2		Oui	Non	Non	Non
			C2	P	P	Non	Non	P3	D2		Oui	Non	Non	Non
			C3	P	P	Non	Non	P3	D2		Oui	Non	Non	Non
		Secale cereale	C4	P	P	Non	Non	P3	D2	Oui		Non	Non	Non
			C5	P	P	Oui Sillon	Non	P3	D2	Non		Non	Non	Non
			C6	P	P	Oui Sillon	Non	P3	D2	Non		Non	Non	Non
			C7	P	P	Oui sillon	Non	P3	D3	Non		Non	Non	Non
			C8	P	PP	Oui sillon	Non	P3	D3	Non		Non	Non	Non
			C9	PP	PP	Non	Non	P3	D2	Oui		Non	Non	Non
			C10	PP	P	Non	Non	P3	D3	Non		Non	Non	Non
			C11	PP	P	Oui	Non	P3	D3	Non		Non	Non	Non
D : « Lalonquette » (Pyrénées-Atlantiques),	US50 47	*Setaria italica*	D1	PP	P	Oui	Non	P3	D3	Non		Oui	Non	Non
			D2	PP	A	Non	Non	P3	D3	Non		Oui	Non	Non
			D3	P	P	Non	Non	P3	D4	Non		Non	Oui	Non
E : « la place de la Sorbonne), Paris	Structure 14 US1102 40	*Triticum aestivum*	E1	PP	A	Non	Non	P3	D3		Oui	Non	Non	Non
			E2	PP	A	Non	Non	P3	D3		Oui	Non	Non	Non
			E3	PP	A	Non	Non	P3	D2		Oui	Non	Non	Non
			E4	PP	A	Non	Non	P3	D3		Oui	Non	Non	Non
			E5	PP	A	Non	Non	P4	D3	Non		Non	Non	Non
			E6	PP	A	Non	Non	P2	D2		Oui	Non	Non	Non
			E7	PP	A	Non	Non	P2	D2	Non		Non	Non	Oui
			E8	PP	A	Non	Non	P2	D2	Non		Oui	Non	Oui
			E9	PP	P	Oui	Non	P2	D3	Non		Non	Non	Non
			E10	PP	A	Non	Non	P2	D3		Oui	Non	Non	Non
			E11	PP	A	Non	Non	P3	D3		Oui	Non	Non	Non
			E12	PP	A	Non	Non	P3	D2		Oui	Non	Non	Non

Tabl 24 Synthèse descriptive des observations faites sur les caryopses archéologiques. Légende : P= Présent, PP= Partiellement présent, A= Absent

Fig 2 - Carbonisation expérimentale en condition oxydante (300°, 50 min) sur le lot de 100 grains de seigle sain (LSS1)

Photos a et b prises sous la loupe binoculaire (J. Rollin) ; photos c, d, e, prises au MEB (M. Lemoine & J. Rollin)

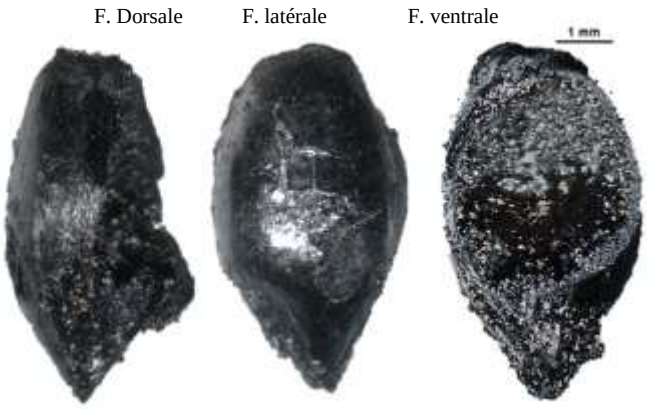


Fig 2a - Caryopse de seigle avec apparition de protrusion en face ventrale. La carbonisation a provoqué gonflement et éclatement du caryopse.

Fig 2b - Caryopses de seigle agglutinés (N° 1&2).

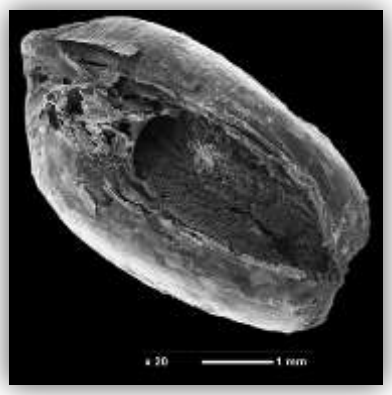


Fig 2c - Protrusion en face ventrale sur caryopse de seigle.

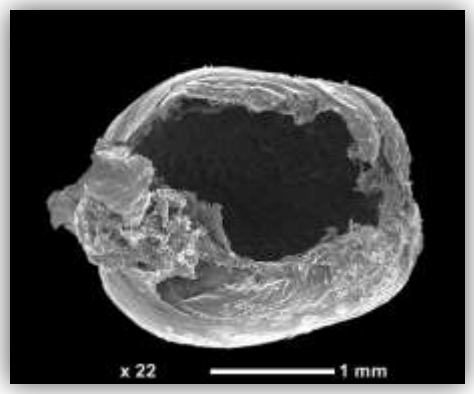


Fig 2d – Grain évidé par expulsion de l'albumen par protrusion.

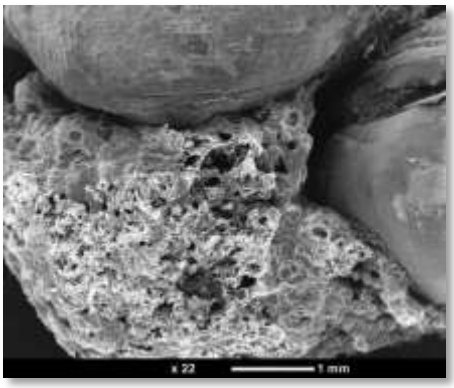


Fig 2e - Albumen expulsé soudant deux caryopses de seigle.

Fig 3 - Carbonisation expérimentale en condition réductrice (300°-75min) sur lot de 100 grains de seigle sain (LSS2)

Photo b prise sous la loupe binoculaire (J. Rollin) ; photos a et c prises au MEB (M. Lemoine & J. Rollin)

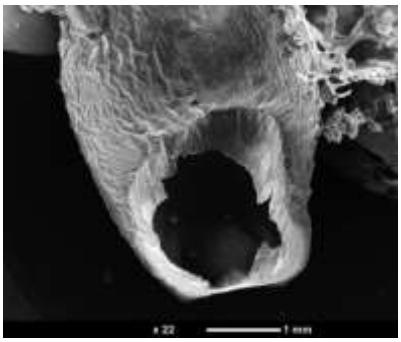


Fig 3a - Caryopses de seigle avec apparition de protrusion en face dorsale au niveau de l'apex et albumen expulsé

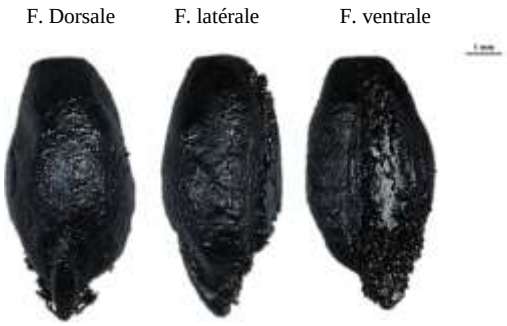


Fig 3b - Caryopse de Seigle N°25

Fig 3c - Caryopse de Seigle après carbonisation en condition réductrice

Fig 4 – Carbonisation expérimentale en condition oxydante (300°-50 min) sur lot de 100 grains de blé parasité (LBP1a)

Photos d et e prises sous la loupe binoculaire (J. Rollin) ; photos a, b et c prises au MEB (M. Lemoine & J. Rollin)

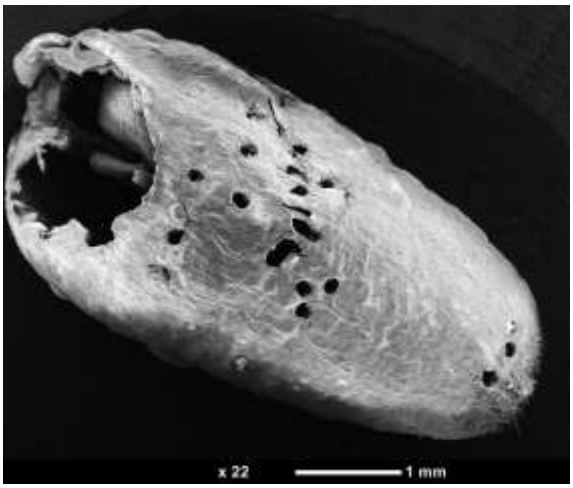


Fig 4a - Caryopse de blé tendre, vidé et présentant différentes traces de phytophagie. *S.granarius* recroquevillé à l'intérieur.

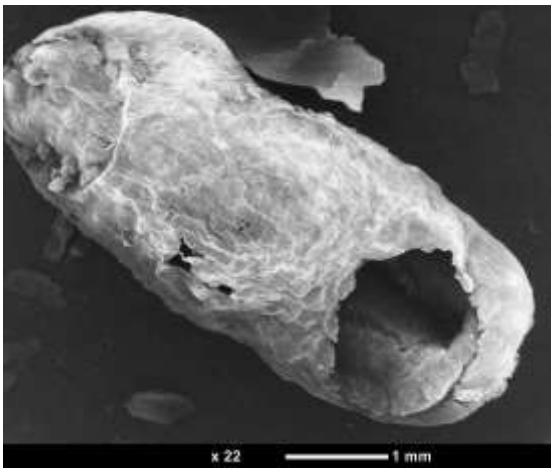
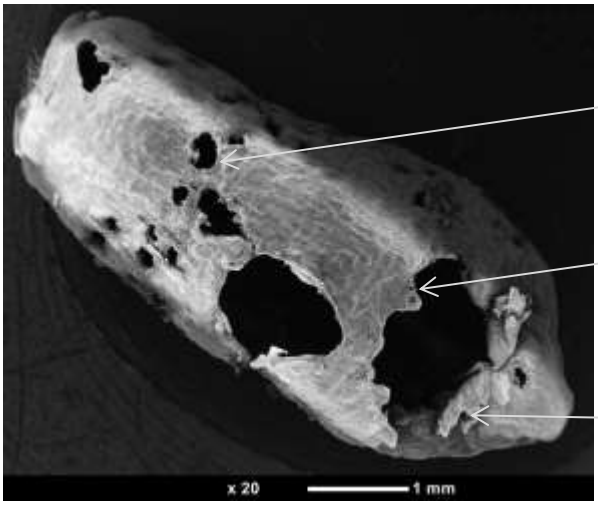


Fig 4b - Caryopse de blé tendre avec trou de sortie. L'albumen n'a été que partiellement consommé.



Perforation

Trou de sorti (contours dentelés)

Péricarpe poussé vers l'extérieur

Fig 4c - Caryopse de blé vidé de son albumen. Présence de multiples traces caractéristiques de l'activité de *S.granarius*.

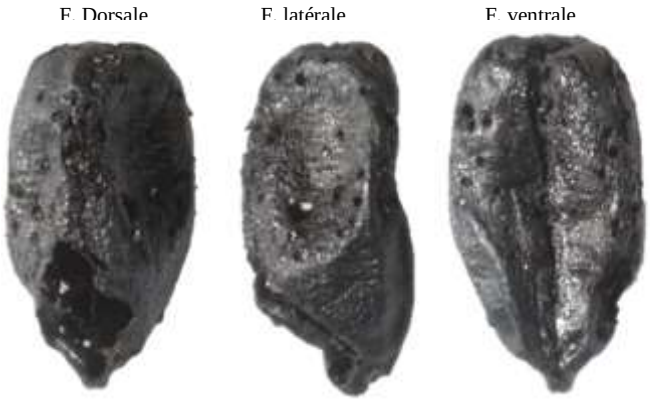


Fig 4d - Caryopse de blé tendre entièrement consommé par *S. Granarius*. La carbonisation a provoquée des affaissements du péricarpe sur l'ensemble des faces.

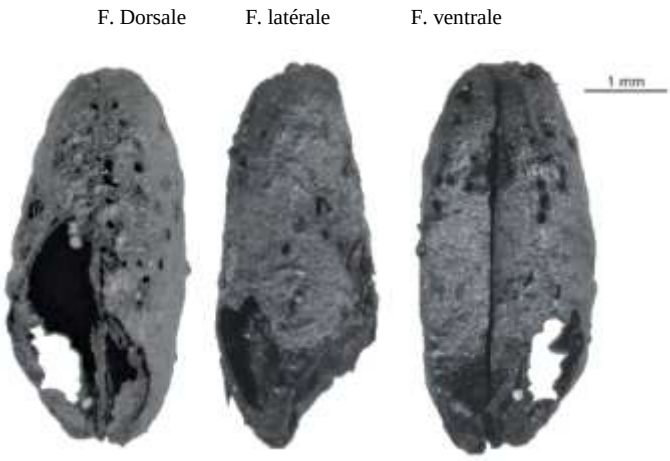


Fig 4e - Caryopse de blé tendre consommé par *S.granarius*. La carbonisation n'a provoquée ni affaissement, ni gonflement du péricarpe.

Fig 5- Carbonisation expérimentale en condition réductrice (300°- 75 min) sur lot de 100 grains de blé parasité (LBP2a)

Photos a, c et d prises sous la loupe binoculaire (J. Rollin) ; photos b et e prises au MEB (M. Lemoine & J. Rollin)

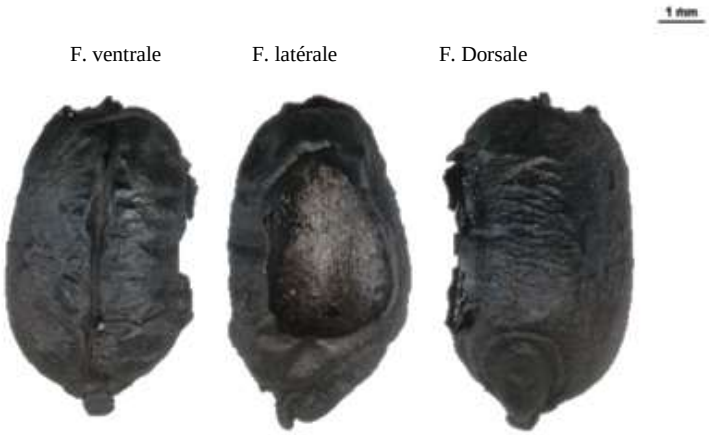


Fig 5a - Caryopse de blé partiellement consommé par des adultes *S.granarius*. La carbonisation a provoqué un gonflement du caryopse, ainsi qu'une déformation des contours de l'excavation.

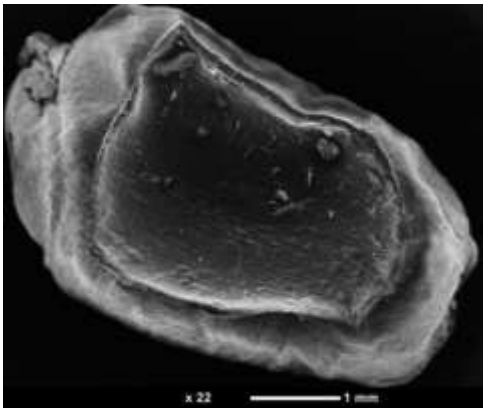


Fig 5b - Caryopse de blé partiellement consommé par des adultes *S.granarius*.

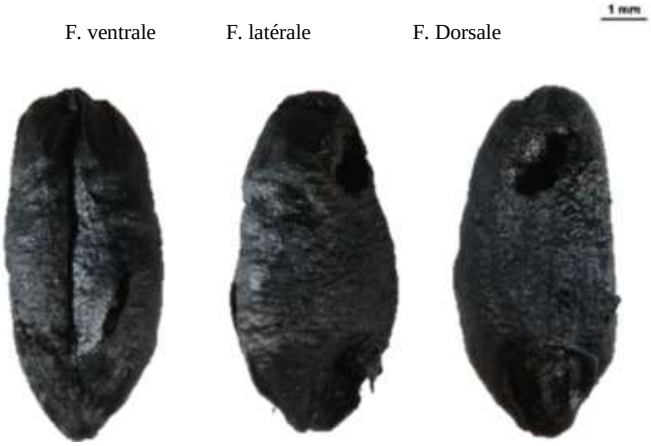


Fig 5c - Caryopse de blé partiellement consommé. Peu de déformations ont été engendrées par la carbonisation

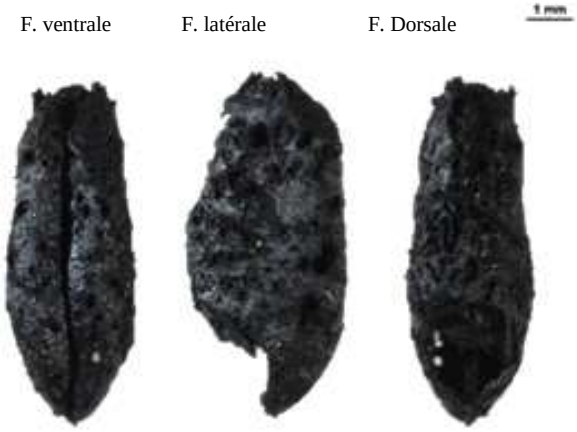


Fig 5d - Caryopse de blé vidé de son albumen. La carbonisation a provoqué un affaissement, voir un repli du péricarpe sur lui-même.

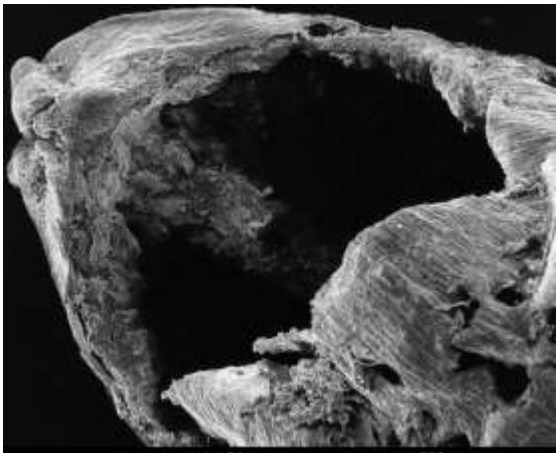


Fig 5e - Trou de sorti après carbonisation en condition réductrice

Fig 6 - Observation expérimentale sur Lot de Seigle parasité non carbonisé

Photos a, c prises sous la loupe binoculaire (J. Rollin) ; photos b, d, e et f prises au MEB (M. Lemoine & J. Rollin)

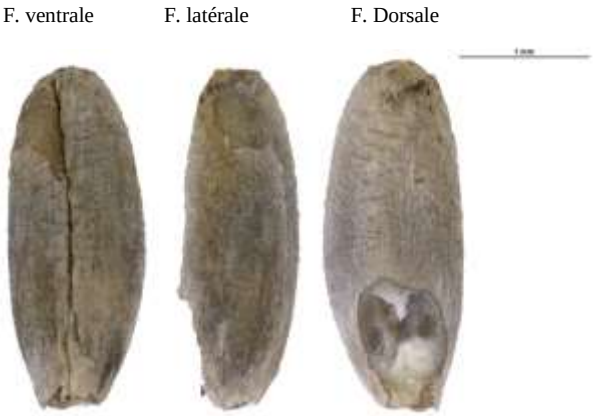


Fig 6a - Caryopse de seigle non carbonisé avec présence de trou de sortie face dorsale au niveau de l'embryon

Fig 6b - Caryopse de seigle non carbonisé avec présence de trou de sortie face latérale

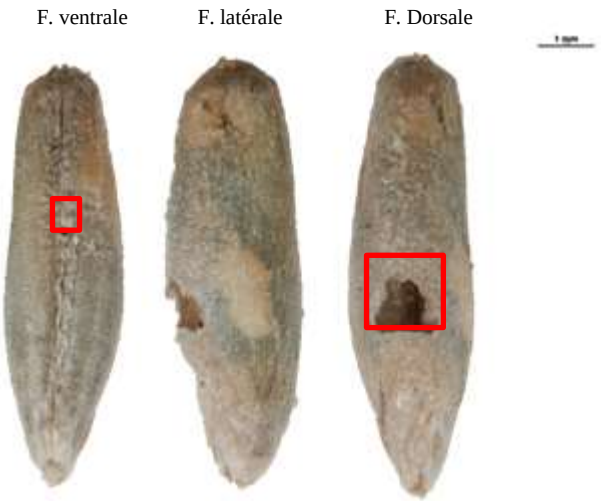


Fig 6c - Caryopse de seigle non carbonisé avec présence de trou de ponte en face ventrale et trou de sortie en face dorsale

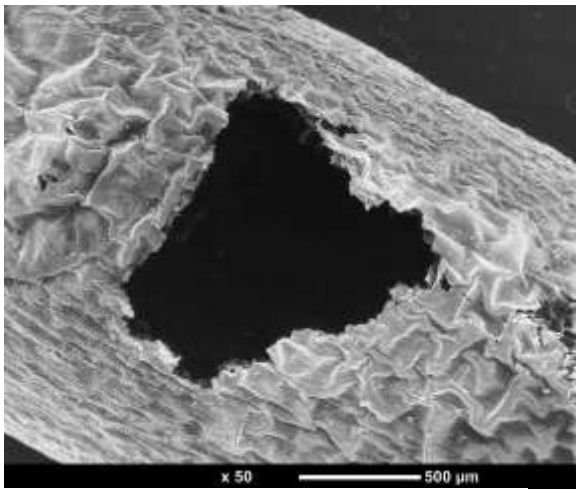


Fig 6d - Caryopse de seigle non carbonisé avec présence de trou de sorti en face dorsale: traces des mandibules visibles

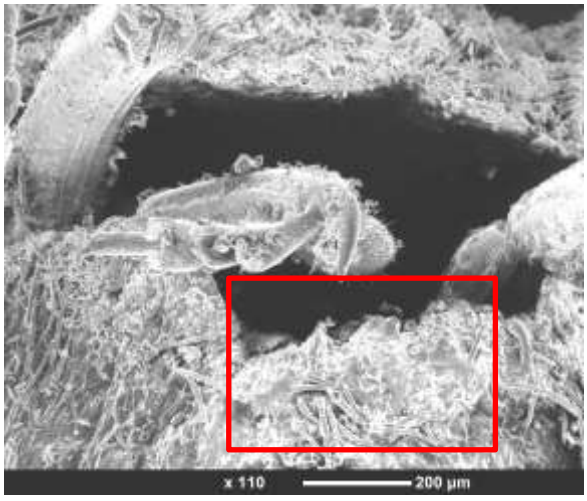


Fig 6e - Découpe d'un trou de sortie par *Sitophilus granarius*

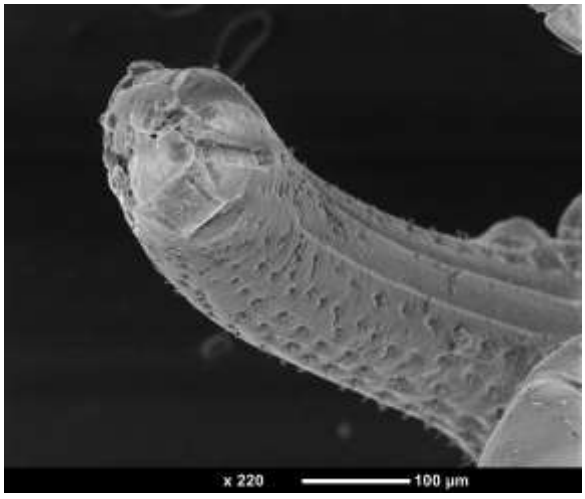


Fig 6f - Pièces buccales de *Sitophilus granarius*

Fig 7 - comparaison avec caryopses archéologiques : «12, rue Saint-Genest» - Nevers.

Photos a, c et e prises sous la loupe binoculaire (J. Rollin) ; photos b et d (M. Lemoine & J. Rollin) et f (J.-B Huchet) prises au MEB

Fig 7a - Caryopse de blé A2 présentant une excavation sur sa face latérale gauche

Fig 7b - Caryopse de seigle A8 consommé par *S. granarius*

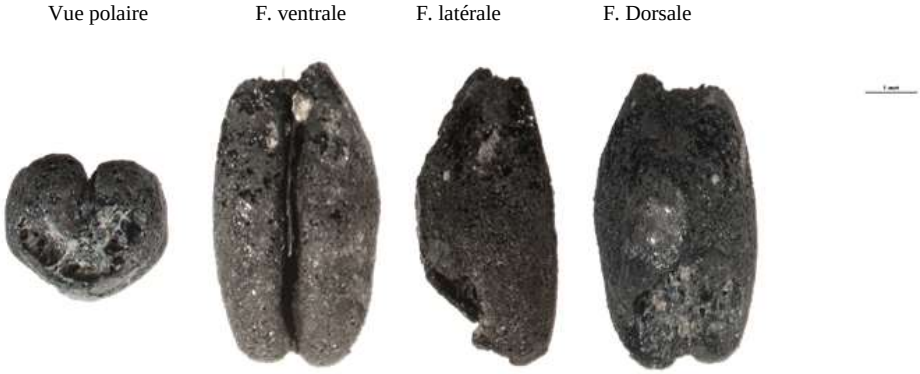


Fig 7c - Caryopse de seigle A3 : Péricarpe érodé et trou de sortie

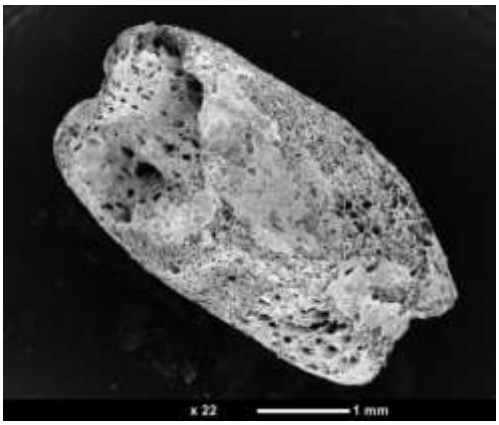


Fig 7d - Caryopse de seigle A3 : Péricarpe érodé et trou de sorti.

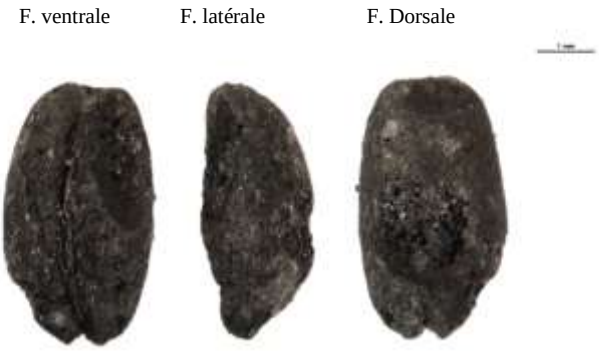


Fig 7e - Caryopse de seigle A7 avec excavation attribuable à *S.granarius* adulte en face latérale gauche.

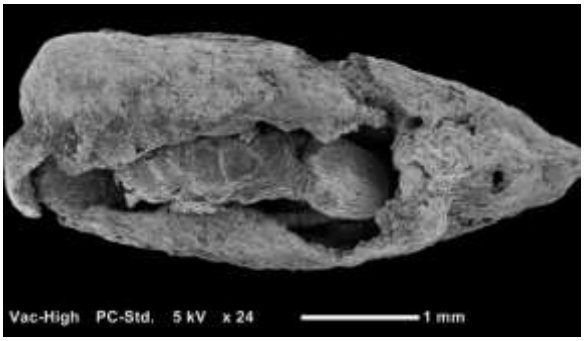


Fig 7f- Caryopse parasité par *S.granarius*

Fig 8- Comparaison avec caryopses archéologiques : 8 rue du Chapeau-Rouge - Dijon

Photos c et e prises sous la loupe binoculaire (J. Rollin) ; photos a, b, d et f prises au MEB (M. Lemoine & J. Rollin)

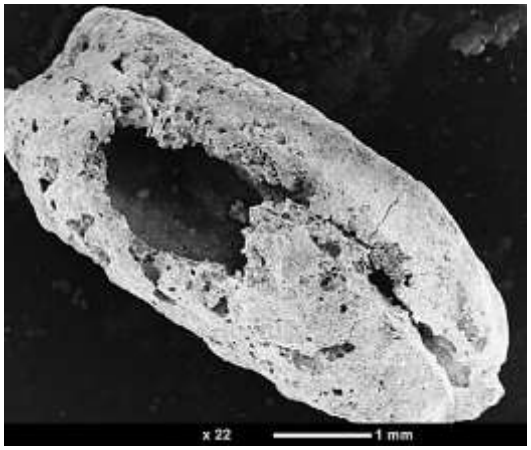


Fig 8a - Trou de sortie sur Caryopse de d'avoine B1

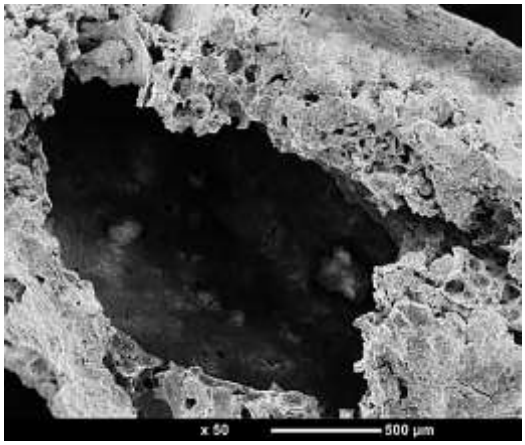


Fig 8b - Trou de sortie sur Caryopse de d'avoine B1.

Fig 8c - Le caryopse B2 : victime d'un ravageur primaire ou artefact de carbonisation ?

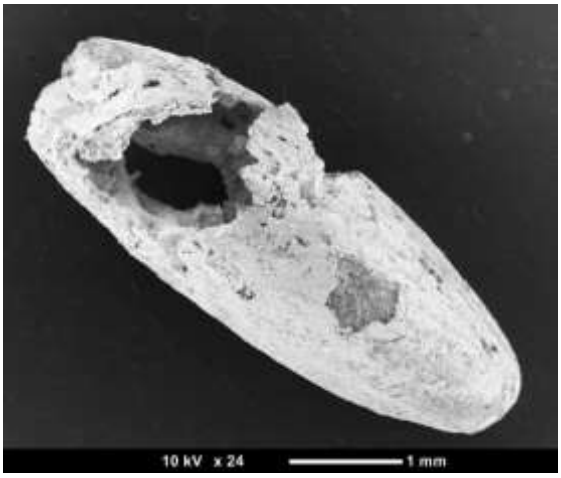


Fig 8d - Le caryopse d'avoine B5 : présence de trou de sortie ?

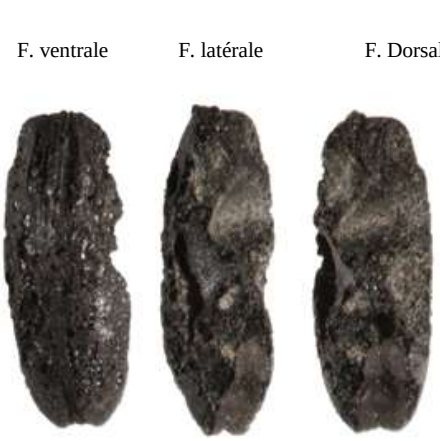


Fig 8e - Le péricarpe du caryopse B6 présente différents enlèvement en face dorsale et latérale.

Fig 8f - Le caryopse B12 victime de la carbonisation

Fig 9 - Comparaison avec caryopses archéologiques : Porte de Mars - Périgueux

Photos a, c d et e prises sous la loupe binoculaire (J. Rollin) ; photo b prise au MEB (M. Lemoine & J. Rollin)

F. ventrale F. latérale F. Dorsale

Fig 9a - Caryopse C1 avec présence de cuvette semblant avoir été creusée pour atteindre l'albumen

Fig 9b - Caryopse C1 avec creusement en forme de cuvette semblant avoir été creusé pour atteindre l'albumen

F. ventrale F. latérale F. Dorsale

Fig 9c - Caryopse C2 victime de phytophagie

F. ventrale F. latérale F. Dorsale

Fig 9d - Le caryopse C6 victime de carbonisation.

F. ventrale F. latérale F. Dorsale

Fig 9e - Le caryopse C8 victime de carbonisation

Fig 10 - Comparaison avec caryopses archéologiques : « Villa de l'Arribèra deus Gleisiars », Lalonquette

Photo a prise sous la loupe binoculaire (J. Rollin) ; photos b et c prises au MEB (M. Lemoine & J. Rollin)

Fig 10a - Le caryopse D1 marqué de plusieurs attaques.

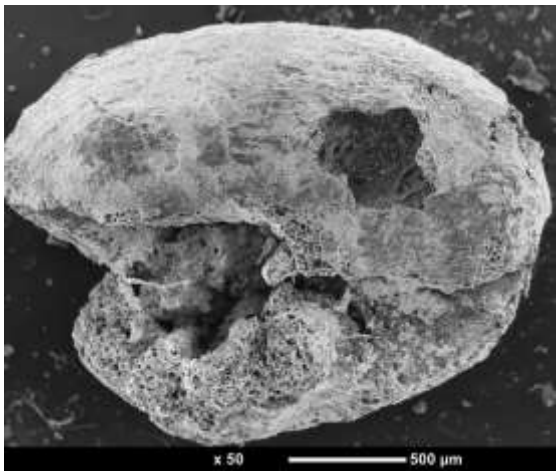


Fig 10b - Le caryopse D1 victime d'un ravageur primaire

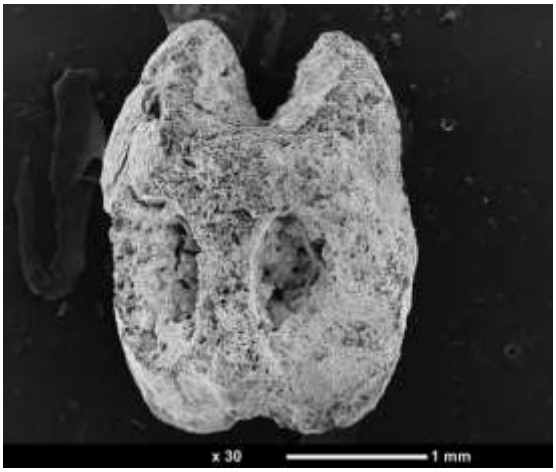


Fig 10c - Deux perforations présentes sur le caryopse D2

Fig 11 - Exemple de Caryopse archéologique (extrait de :Panagiotakopulu & Buckland, 2009)

Fig 11 - Caryopses de blé carbonisés et infestés sur le site Ranefer's house, Amarna.

Fig 12 - Comparaison avec caryopses archéologiques : Place de la Sorbonne - Paris

Photos c et c prises sous la loupe binoculaire (J. Rollin) ; photos a, b et d prises au MEB (M. Lemoine & J. Rollin)

Fig 12a - Trou de sortie de *S.granarius* ?

F. ventrale F. latérale F. Dorsale

Fig 12c - Le caryopse E7 avec un probable trou de sorti au niveau de l'embryon. La consommation de l'albumen n'excède pas cette zone

F. ventrale F. latérale F. Dorsale

Fig 12e - La caryopse E8, très similaire au caryopse E8 permet une observation supplémentaire : des perforations

Fig 12b - La partie proximale du caryopse E2 est interrompu de façon nette, mais problématique.

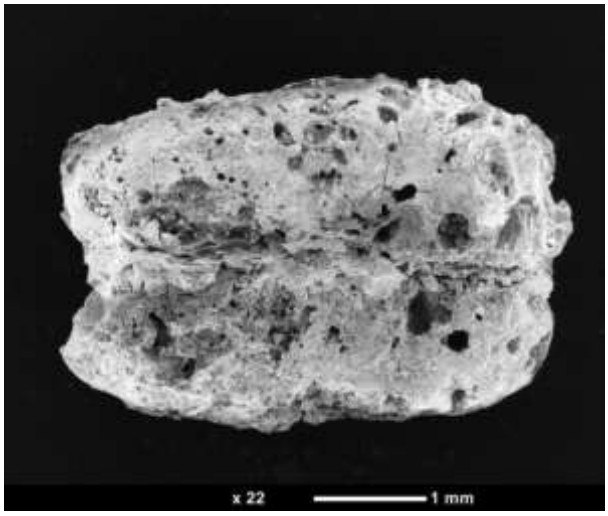


Fig 12d - Le péricarpe du caryopse E5, très érodé, permet difficilement de distinguer certaines perforations.