



**HAL**  
open science

## Les remparts vitrifiés de l'âge du Fer : expériences de reconstitution des procédés de fabrication

Alain Hairie

► **To cite this version:**

Alain Hairie. Les remparts vitrifiés de l'âge du Fer : expériences de reconstitution des procédés de fabrication. Bulletin de l'Association française pour l'étude de l'âge du fer, 2010, 28, pp.35-38. halshs-02514891

**HAL Id: halshs-02514891**

**<https://shs.hal.science/halshs-02514891>**

Submitted on 26 Aug 2020

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

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



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

## LES REMPARTS VITRIFIÉS DE L'ÂGE DU FER EXPÉRIENCES DE RECONSTITUTION DES PROCÉDÉS DE FABRICATION

Alain HAIRIE

Société historique et archéologique Le Pays Bas-Normand

La question des remparts vitrifiés de l'âge du fer constitue depuis longtemps une énigme, tant du point de vue de leur raison d'être que du point de vue de la manière dont ils ont été réalisés. J'ai essayé de retrouver expérimentalement un procédé de fabrication aussi vraisemblable que possible. Après un bilan des données d'observations de terrain et de mesures en laboratoire, mes expériences seront décrites et discutées.

### • PREMIÈRE PARTIE : DONNÉES ARCHÉOLOGIQUES

Parmi les sites de hauteur de l'espace celte, on en dénombre 220 dont les remparts sont vitrifiés à des degrés divers, selon KRESTEN (1996). Dans 39 cas, la vitrification est qualifiée de modérée, et dans 14 cas elle est extensive. Cela signifie des dizaines ou des centaines de mètres cubes de roches soudées entre elles, dont certaines parties ont été totalement fondues, et forment un verre noir magnétique bulleux. J'ai visité le site de Plédran (Côtes d'Armor), et étudié de façon approfondie le site de La Courbe (Orne), dont j'ai participé autrefois au levé de plan (DROUELLE 1962). Au sujet des analyses chimiques, l'important article de YOUNGBLOOD (1987) permet de conclure que le plus souvent, on a utilisé la roche locale, schiste ou granite, sans adjonction de fondant. Les parties soudées ou fondues des remparts ont été portées à 1300 degrés environ.

### Les remparts de La Courbe (Orne)

La roche locale est la cornéenne, schiste métamorphisé. Les zones des remparts transformées en verre noir bulleux magnétique ont la même composition que la roche, avec seulement des variations de la concentration en fer. La roche native contient d'ailleurs de fines couches ferrugineuses. La roche ainsi que le verre noir bulleux magnétique fondent vers 1300 degrés.

Les parties internes des remparts sont en pierres sèches non soudées, mais qui ont été rougies par la chaleur, et sont magnétiques. Par zones de quelques mètres carrés, on observe des parements intacts et certainement en place, formés de cailloux soudés entre eux jusqu'à une profondeur d'au moins 50 centimètres.

En surface, on rencontre beaucoup de verre bulleux, avec de fréquentes empreintes de charbon de bois. En s'éloignant de la surface, les roches sont de moins en moins déformées, et il arrive une profondeur où elles ne sont soudées que par leurs pointes.

Le calibre des moellons constitutifs est modéré, généralement guère plus de 20 cm pour la plus grande dimension. Les empilements internes sont aérés. Seule la surface fondue du parement est presque colmatée par l'écoulement du verre.

### Les remparts de Plédran (Côtes d'Armor)

Les vitrifications sont très importantes. La roche utilisée est le granite local. On peut voir sur le site un bloc isolé d'environ 5 tonnes, vitrifié en surface, et certainement soudé intérieurement, d'une épaisseur de plus d'un mètre.

### Les arts du feu à l'âge du fer

À l'âge du fer on possède une haute maîtrise de plusieurs arts du feu : fabrication de charbon de bois, poterie, orfèvrerie, bronze, verrerie, et bien entendu le fer et même l'acier pour les longues

épées. Les restes de fours, ainsi que l'archéologie expérimentale ont permis de reconstituer les procédés employés. Concernant la fusion des murailles, malgré les centaines de tonnes de roches fondues qui ont été produites, on ne retrouve pas de traces des « fours(?) » utilisés, pas de terre cuite par exemple. Faute de tels indices, on peut supposer que les Celtes partant de leurs techniques usuelles, les ont adaptées à la cuisson des remparts. La température de 1300 degré peut être atteinte aisément dans les fours à pots et à verre, chauffés au bois. Il en est de même avec le charbon de bois, utilisé alors massivement pour la métallurgie du fer.

- **DEUXIÈME PARTIE : EXPÉRIMENTATIONS**

Ian RALSTON (1996) a tenté une expérience en vraie grandeur, sans résultat. Cela semble normal, car on ne peut certainement pas réinventer une telle opération sans de nombreux tâtonnements préalables. Même avec de l'expérience, la conduite d'un four est toujours une chose délicate.

Comme signalé plus haut, le potier avec du bois, ou le forgeron avec du charbon de bois, pouvaient atteindre la température voulue. Est-ce l'un ou l'autre qui a adapté ses savoirs faire à la cuisson des pierres ? Pour la série d'expériences ici relatée, j'ai parié sur le forgeron celte, mais le potier aura peut-être un jour sa revanche...

### **Le forgeron celte**

Que ce soit pour réduire le minerai de fer ou pour forger, le forgeron utilisait du charbon de bois ventilé par une buse alimentée par un ou deux soufflets constitués par des outres en cuir. Ce procédé permet de fondre facilement quelques kilogrammes de roche. Cela se produit en effet lors de la réduction du minerai : on obtient comme déchet le « laitier », masse de verre en fusion.

Le problème est d'adapter ce procédé à la vitrification de centaines de mètres carrés de remparts, sur une profondeur de plusieurs dizaines de centimètres. L'utilisation de soufflets semblant impraticable, j'ai recherché empiriquement les conditions de ventilation les plus faciles à réaliser. Le tirage d'une cheminée est envisageable, mais demande tout de même des aménagements importants. Une ventilation par tarare est aussi imaginable, comme celle utilisée pour le vannage. Ce ventilateur était connu en Chine au deuxième siècle avant Jésus Christ. Les Gaulois auraient pu l'inventer, tout comme ils ont inventé une sorte de moissonneuse. Toutefois, le plus raisonnable était d'attendre le vent favorable.

### **Le « contre-mur »**

L'idée d'un mur édifié à une petite distance en avant du rempart n'est pas nouvelle, mais ne semble pas avoir été expérimentée. L'espace ainsi créé doit-il être fermé en haut ou en bas, doit-il servir de foyer ou de cheminée, le mur doit-il être étanche ou non, placé à quel distance du rempart? Autant de pistes à explorer !

J'ai d'abord essayé un mur étanche en brique, à 20 cm en avant du rempart, et fermé l'espace en haut et en bas, et bien entendu sur les côtés. En haut, un couvercle permettait le remplissage en charbon de bois. Une buse en fer de 5 cm de diamètre traversant le mur permettait d'insuffler l'air d'un soufflet ou d'une soufflerie. Ce dispositif est en fait très proche d'un bas fourneau ou d'une forge, et il permet de souder une zone de rempart grosse comme le poing en moins d'une heure. J'ai ensuite procédé empiriquement avec pour objectif la fusion de volumes plus importants avec une ventilation beaucoup moins violente.

J'ai tenté de multiplier les buses, sans grands avantages. Je les ai finalement éliminées en réalisant un mur à claire voie, ce qui permet d'utiliser le vent au lieu de soufflets.

## Description du dispositif expérimental

Le dispositif auquel j'ai abouti est assez simple. A une petite distance en avant du rempart, on élève un contre-mur de pierres sèches, en cornéenne, aussi peu serrées que possible, pour laisser un passage au vent. L'espace situé entre le contre-mur et le rempart est réalimenté en charbon de bois au fur et à mesure de la combustion. Le rempart en cornéenne, de calibre environ 10 cm, est empilé aléatoirement. Un empilement de briques perforées simule l'intérieur du rempart. Un ventilateur de 60 Watts situé à 70 cm du contre-mur simule le vent, et établit une circulation d'air à travers tout le dispositif. On peut varier sa vitesse

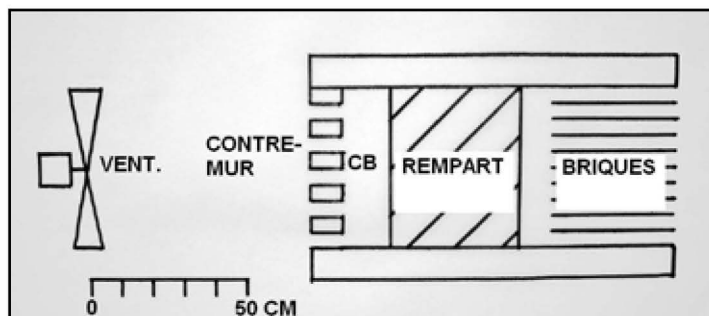


Schéma de la coupe longitudinale du montage



Vue générale, parois ôtées



Le contre-mur à claire voie

## Optimisation du procédé avec du charbon de bois concassé

A ce jour, je n'ai utilisé que du charbon de bois concassé pour barbecue, vendu en sacs de 20 litres par la Forestière du Nord. Si le contre-mur et le rempart ont une porosité suffisante, les paramètres les plus importants pour atteindre la température de vitrification sont la vitesse du vent et l'intervalle laissé libre pour le charbon de bois. Pour un espace de 20 cm, il faut un vent de 30 km/h. Pour 15 cm, 25 km/h. Pour 12 cm, 20 km/h.

On ne peut guère descendre plus bas que cette épaisseur de 12 cm, compte tenu du calibre des morceaux de charbon de bois, qui auraient tendance à rester coincés dans un espace trop étroit.

Vue de face (A) et vue de dessus (B) d'un parement de « rempart » expérimental après vitrification. La brique incluse servait de gaine protectrice à un thermomètre constitué par une tige d'innox. Il y a eu tassement, du fait d'une cuisson trop poussée.

A



B



L'évolution des températures est observée, en divers endroits du dispositif, par de simples résistances en inox protégées par des briques creuses. En moins de deux heures, on obtient une épaisseur de 20 cm de roches soudées, soit 22 kg pour moins de 20 kg de charbon de bois consommé. Une partie notable de cette consommation est perdue dans les parois en brique qui délimitent notre montage. Ces pertes n'existent pas en vraie grandeur.

Les parements vitrifiés réalisés présentent en surface un verre noir bulleux magnétique, avec des empreintes de charbon de bois. Quand on s'éloigne de la surface, les roches sont de moins en moins déformées, et finissent par n'être soudées que par leurs pointes et leurs arêtes. Au-delà, les roches sont rubéfiées et magnétiques. Tous ces détails correspondent parfaitement aux observations archéologiques que j'ai pu faire à La Courbe.

Le contre-mur ne subit pratiquement pas de vitrification. Cela prouve que les échanges thermiques sont principalement commandés pas le flux gazeux, et de façon moindre par la conduction solide et le rayonnement. Après démontage, les roches du contre-mur étaient incorporables dans d'autres remparts. Le procédé ne laisse donc pas de traces, en dehors des empreintes de charbon de bois, conformément aux observations archéologiques.

### Discussion

Il n'y a pas de difficulté à étendre la zone vitrifiée en largeur et en hauteur, et cela réduira même les pertes. Par contre, pour augmenter l'épaisseur du « parement » vitrifié, et passer de 20 cm à 50 cm par exemple, il faudra un temps plus long. Pour être totalement réaliste, il faudra aussi augmenter le calibre des roches, en passant de 10 cm à 20 cm.

La nécessité d'attendre un vent favorable, de force 3 à 4 Beaufort, ne semble pas rédhibitoire, puisqu'on se trouve dans des « sites de hauteur » souvent ventés. Les chantiers devaient de toutes façons s'étaler sur de longues durées, vu les dimensions considérables des remparts. De plus, le même procédé optimisé pour du charbon de bois non concassé, ou pour du bois, s'accommoderait peut-être d'un vent encore plus faible. Pour réguler la ventilation on utilisait peut-être des paravents, comme on le fait pour contrôler la marche des meules à charbon de bois. Tout comme le charbonnier doit éviter l'embrassement de sa meule, le vitrificateur doit éviter une fusion trop poussée de son rempart!

Des analyses chimiques comparatives doivent être faites. Un point intéressant pourrait être lié aux conditions plus ou moins oxydantes ou réductrices subies par les roches au cours de leur cuisson.

### BIBLIOGRAPHIE

**DROUELLE 1962** - DROUELLE L. et HAIRIE J. - Les remparts vitrifiés de La Courbe (Orne), Le Pays d'Argentan, sept. 1962, 3

**KRESTEN 1996** - KRESTEN P. and KRESTEN F. - Hill-forts with vitrified or calcined remparts, Research Report R02-1996, Department of archaeological excavations, Geoarchaeological Laboratory, Uppsala

**PEUCHET 1993** - PEUCHET C. - Le Hillfort de La Courbe, Orne : La fortification sud du Haut du Château, Rev Archéol Ouest, Supplément N° 6, 1993, p 35-43

**RALSTON 1996** - RALSTON I. - The Yorkshire Television vitrified wall experiment at East Tullos, City of Aberdeen District, Proc Soc Antiq Scto, 116 (1986), 17-40

**VERNIOLES 2007** - VERNIOLES J.-D. - Nouvelles données sur les murs vitrifiés en France. Bulletin Association française pour l'étude de l'Age du Fer, 2007, 25, p. 37-39

**YOUNGBLOOD 1987** - YOUNGBLOOD E., FREDRIKSSON B.J., KRAUT F. and FREDRIKSSON K. - Celtic Vitrified Forts: Implications of Chemical-Petrological Study of Glasses and Source Rocks, Journal of Archaeological Science 1978, 5, 99-121