

Forts vitrifiés et le Camp de Péran

Les forts vitrifiés, ou murs vitrifiés, ou encore châteaux de verre (Audouze et Buchsenschutz, 1989) sont des vestiges d'enceintes fortifiées de l'âge du fer constituées de blocs de roches en voie de fusion, soudés par le verre qui en est issu (fig. 1). Dans ces édifices la vitrification peut rester partielle ou concerner l'ensemble du site.



© G. Crevola, 2013

Fig. 1. – Aspect d'une portion de mur vitrifié à blocs soudés par du verre sombre bulleux.

Ils sont présents sur toute la façade atlantique ouest-européenne, dans l'aire culturelle celtique et ses abords, où l'on en compte plusieurs centaines, depuis la Scandinavie jusqu'au Portugal, avec une concentration importante en Écosse. En France, de nombreux sites ont été reconnus, principalement en Bretagne-Normandie et dans le Massif central (Buchsenschutz et Ralston, 1981 ; Vernioles, 2013¹). Parmi ceux qui sont encore accessibles et où la vitrification est manifeste, voire spectaculaire, nous présentons le Camp de Péran (Côtes-d'Armor), qualifié de « modèle du genre » par J. Markale, historien régional, spécialiste des mondes celtiques.

Les forts vitrifiés ont été reconnus dès la fin du XVIII^e siècle en Écosse comme en France et, dès lors, ils ont fait l'objet de nombreux travaux archéologiques. Deux siècles de recherches n'ont cependant pas permis de résoudre de façon satisfaisante ce que l'on appelle classiquement « l'énigme des forts vitrifiés » (Comte, 2014), c'est-à-dire la compréhension du procédé

de vitrification ainsi que la raison de celle-ci.

Les forts vitrifiés ont intéressé également les pétrographes. Ainsi, il y a plus d'un siècle, en France, à une époque marquée par le débat sur l'origine du granite, G.A. Daubrée (1881) et A. Lacroix (1898) ont montré l'intérêt des forts vitrifiés en tant que modèles pour la fusion progressive de roches, sorte d'anatexie d'origine anthropique. Pour A. Lacroix : « *Indépendamment de l'intérêt archéologique que présentent ces forts vitrifiés, leur étude soulève diverses questions minéralogiques qui méritent un intérêt attentif. Quel que soit le procédé employé pour leur construction, ils sont constitués par des roches qui ont été amenées à la température de fusion d'une partie au moins de leurs éléments, puis ont été refroidis lentement. Le minéralogiste trouve donc là de véritables expériences synthétiques, effectuées sur un cube considérable de matériaux, et par suite plus démonstratives que les opérations de laboratoire qui ne peuvent être faites que sur une faible quantité de matière* ». On doit à P. De Wever (2003, 2012) d'avoir récemment attiré notre attention sur le phénomène des forts vitrifiés et sur les recherches pétrographiques anciennes qui y ont été consacrées.

L'énigme des forts vitrifiés

Âge

La datation des forts vitrifiés est délicate, en raison de leur réoccupation possible à diverses époques, et du fait que les méthodes physiques de datation sont mal adaptées à des roches qui ont été chauffées de façon inégale. Les archéologues s'accordent cependant pour situer le phénomène des forts vitrifiés à une période qui correspond au bronze final et à l'âge du fer, soit au premier millénaire av. J.-C.

Les procédés de vitrification

Les travaux archéologiques montrent que la vitrification est obtenue par la combustion d'un appareillage de poutres de bois qui arment les murs, de type *murus gallicus*. Ce sont des remparts faits d'un empilement de blocs avec une

¹ Dans sa thèse (2013), J.P. Vernioles dresse un inventaire détaillé des forts vitrifiés français et fait le point sur la problématique générale des forts vitrifiés.

anatexie anthropique

(commune de Plédran, Côtes-d'Armor)

●●● armature de poutres en bois (fig. 2), décrits par Jules César dans « *la Guerre des Gaules* ».

Mais les points suivants font débat : température pour atteindre la fusion, facteurs facilitants (tels que vent dominant ou usage de fondant), temps nécessaire en fonction des volumes fondus, quantité et qualité du combustible, main d'œuvre requise pour alimenter les foyers pendant de longues durées (Vernioles, 2007, 2013).

Autant de problèmes que l'archéologie expérimentale tente de résoudre. Ainsi des expériences de vitrification ont été réalisées en laboratoire sur de faibles volumes de roche. En outre deux expériences ont été réalisées en vraie grandeur (Childe et Thorneycroft, 1937 ; Ralston, 1986²). Elles visaient cette fois à atteindre la vitrification de portions de murs avec poutrage interne, reconstitués sur le modèle des murs anciens. Si leurs résultats furent décevants, elles ont cependant montré tout le soin et l'expérience que nécessitaient la préparation des foyers et le suivi de la combustion.

La raison des vitrifications

En dehors d'hypothèses extravagantes faisant intervenir des forces surnaturelles, en relation avec une certaine archéologie mystérieuse, trois groupes d'hypothèses sont retenus (Vernioles, 2013) :

- **l'intention constructive** : la vitrification permet de renforcer la solidité des remparts par soudure des blocs ;

- **l'intention destructive** : la vitrification survient lors d'un conflit, par incendie des fortifications de l'adversaire après la prise de la place ;

- **l'intention cultuelle** : les forts sont des sortes de sanctuaires, leur incendie et leur vitrification seraient des pratiques rituelles de l'époque celtique.

G.A. Daubrée (1881) insiste sur l'implication humaine dans la mise en œuvre de la combustion amenant à la vitrification : « *pour ramollir une roche aussi réfractaire que le granite, pour fondre son mica et quelques fois même son feldspath sur des épaisseurs de plusieurs mètres, il a fallu une intention formelle et, en outre, cette volonté a dû être servie par des efforts habiles et prolongés, ainsi que par une quantité considérable de combustible* » (voir encart).



Fig. 2. - *Murus gallicus* reconstitué, site du Camp de Péran.

Le Camp de Péran

Le Camp - ou Fort - de Péran, (Crevola et Thomas, 2013), classé monument historique, est situé sur la commune de Plédran, à 5 km, au sud de Saint-Brieuc (Côtes-d'Armor). Il est remarquable à plusieurs égards :

- de forme ellipsoïdale (134 x 110 m), il présente une double enceinte, un talus externe de matériaux argileux et un rempart interne de blocs de roches, entièrement vitrifié. Ce cas est unique en France ; le volume vitrifié serait de 4 000 m³ ; ce qui aurait nécessité 30 000 m³ de bois (Vernioles, 2013) ;

- des campagnes de fouilles pluridisciplinaires (Nicolardot et Guigon, 1991) ont conduit à une description détaillée de la structure du fort et à la découverte de pièces de mobilier ;

- on estime actuellement qu'il daterait du deuxième âge du fer (La Tène III), bien que des datations par des méthodes physiques et par le mobilier archéologique aient montré une occupation par les *Vikings* ;

- il est facilement accessible car situé à proximité d'une artère importante (D 700). Une portion de mur de type *murus gallicus* (fig. 2) a été reconstituée par le Centre des Monuments Historiques. ●●●

² Cette expérience a été réalisée dans le cadre d'une émission de télévision britannique (Arthur C. Clarke's mysterious World).



Fig. 3. – Granitoïde à divers stades de fusion avec portion spongieuse.



Fig. 4. – Granitoïde à divers stades de fusion avec portion spongieuse avec empreintes végétales probables.



Fig. 5. – Granitoïde avec apparition d'amas vitreux sombres.

●●● Les roches employées pour la construction des murs du Camp de Péran proviennent de son environnement immédiat. Le Camp de Péran est établi sur le granitoïde de Ploufragan d'âge paléozoïque basal (inférieur). Très altéré en surface, ce granitoïde à grain fin, de composition granodioritique à tonalitique, contient des enclaves d'encaissant gneissique, parfois de grande dimension. Il est traversé par des filons métriques de quartz blanc et de dolérites d'âge carbonifère moyen (feuille Saint-Brieuc à 1/50 000). Parmi les matériaux des murs, granitoïdes et quartz blancs sont plus abondants que les gneiss. Les dolérites sont rares.

Actuellement plusieurs portions importantes de murs vitrifiés sont dégagées de leur couverture végétale et permettent d'observer la fusion plus ou moins avancée des granitoïdes et des gneiss. Les divers blocs, de forme arrondie ou anguleuse, atteignant une vingtaine de cm, sont disposés sans orientation particulière. Ils sont cimentés par du verre bulleux, de couleur brun sombre à noir (fig. 1), ce qui confère à ces murs l'aspect d'une brèche à gros éléments.

Quelques aspects de l'anatexie des roches du Camp de Péran

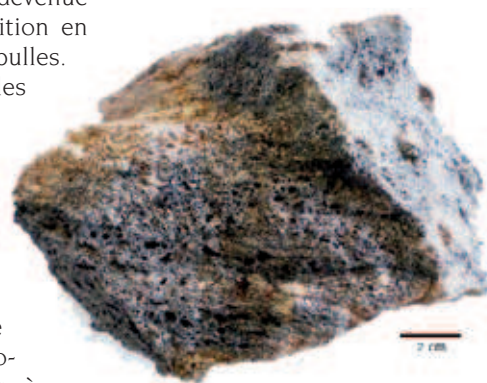
Les illustrations choisies pour cette présentation montrent différents aspects du phénomène de vitrification : la fusion progressive des roches va jusqu'à la fusion totale, puis la ségrégation d'un liquide, produit de la fusion - présent sous forme de verre après refroidissement -, sa collecte et sa migration permise par sa mobilité, amènent la soudure des blocs. On relèvera certaines analogies structurales avec les types classiques de migmatites (agmatites) (Mehnert, 1968). Deux autres exemples de vitrification provenant de sites écossais, Fort de Borrodale (fig. 10) et Fort de Dunagoil (fig. 11), sont également présentés.

Les granitoïdes

Ils peuvent être simplement rubéfiés par la chaleur ou en voie de fusion. Ils deviennent d'abord poreux, saccharoïdes puis spongieux et bulleux. Dans un stade avancé de fusion, la roche devient pâteuse et montre une véritable ébullition (fig. 3 et 4) par vaporisation de l'eau interstitielle et déstabilisation des minéraux hydroxylés. Dans certains blocs de granitoïde on peut voir le liquide de fusion, maintenant sous forme de verre, apparaître en divers points de la roche constituant de petits « nids » sombres à microbulles, englobant des cristaux anciens (fig. 3). Il peut se rassembler pour former des amas sombres à grosses bulles, contrastant alors avec le fond de la roche plus clair et homogène (fig. 5). (Idem) ●●●

●●● Les gneiss

Comme pour les granitoïdes, la roche devenue poreuse et saccharoïde montre l'apparition en divers points d'un verre sombre à microbulles. Certains échantillons sont remarquables en ce que le verre sombre se présente en lits réguliers, millimétriques, bulleux et parallèles au litage originel (fig. 6). Il faut remarquer qu'ici les lits vitreux, qui représentent un leucosome, sont noirs et bulleux. Cette structuration est présente jusqu'à l'échelle infra-millimétrique sous forme de films de verre (non visibles sur la photographie). Elle témoigne d'une fusion à l'échelle des grains et du drainage du liquide suivant des surfaces d'anisotropie préexistantes. Elle évoque les classiques migmatites « lit par lit », mais dans ces dernières, litage et fusion sont nés simultanément. ●●●



© G. Crevola, 2013

Fig. 6. – Échantillon de gneiss à lits de verre sombre bulleux, parallèles au litage.

Fig. 7. – Fragments de quartz blanc soudés par du verre bulleux.



© G. Crevola, 2013

Fig. 8. – Fractures dans un bloc de quartz à patine rose, injectées par du verre sombre.



© G. Crevola, 2013



© G. Crevola, 2013

Fig. 9. – Verre bulleux, localement à bulles étirées.



© Jim Bain, Wikimedia Commons

Fig. 10. – Mur vitrifié, fort de Borrodale, Écosse. On remarquera le verre sombre et bulleux qui soude des blocs de roches stratifiées.

© Bute Museum, 2017.



© R. Collier, Creative Commons Licence, 2011.



Fig. 11. – Vue d'ensemble du mur vitrifié à Dunagoil. Coulée de verre « en tripes », Dunagoil Fort, Kilchattan Bay (Écosse).

●●● **Les quartz**

Ils se présentent en blocs anguleux de couleur blanche à jaunâtre mais aussi parfois gris bleuté. La disposition et la forme de certains de ces blocs montrent qu'ils ont été fragmentés sous l'effet de la chaleur. Ils sont alors soudés par du verre (fig. 7 et 8), ce qui évoque les migmatites de type « agmatite ». Alors que les autres types d'associations minérales subissent une fusion, les quartz gardent leur forme et ne sont pas affectés, en raison d'une température de fusion supérieure aux températures atteintes dans ce processus. On peut les considérer comme l'équivalent des « résistors » des migmatites, c'est-à-dire des roches réfractaires à l'anatexie.

Les dolérites

Elles n'ont pu être échantillonnées, mais on se référera aux observations de A. Lacroix (1898), qui distinguait plusieurs stades de fusion progressive caractérisés par la proportion du verre et par des modifications de la texture et de la minéralogie. Il en résultait, après refroidissement, une gamme de roches distinctes, issues d'une même roche de départ (ou roches « homogènes »). Ces observations « expérimentales » lui démontraient que dans les roches magmatiques les assemblages minéralogiques dépendent des conditions physiques de cristallisation, résultat important pour l'époque.

Le verre

Par son aspect pâteux et boursoufflé il rappelle les scories volcaniques ou les scories de métallurgie (fig. 4 et 11). Ceci avait d'ailleurs conduit certains archéologues anglais à interpréter jadis les forts vitrifiés écossais comme

d'origine volcanique. Le verre se présente souvent comme une éponge bulleuse enserrant des fragments de roches. Il montre une certaine mobilité, s'insinuant entre les blocs ou dans leurs fissures, présentant des figures d'écoulement, avec parfois des bulles étirées (fig. 9 et 11).

Les verres des forts écossais et français (Daubrée, 1881 ; Youngblood *et al.*, 1978 ; Friend *et al.*, 2008) peuvent être considérés comme des buchites, c'est-à-dire des roches qui ont subi une fusion partielle - ou totale - par métamorphisme thermique d'ultra-haute température, à pression ambiante, ou métamorphisme « de combustion ».

Ils sont comparables aux roches fondues lors d'incendies dans les houillères ou de combustions dans les terrils (Thiéry *et al.*, 2013) ou aux enclaves de socle ramonées par les basaltes (Crevola et Thomas, 2013). Le verre, refroidi rapidement, a subi une trempe et seuls quelques minéraux aciculaires ou dendritiques ont pu se développer. Suivant la composition de la roche de départ, les principaux minéraux néoformés suivants ont été observés : diopside, hypsthène, spinelle, magnétite, tridymite.

G. A. Daubrée soulignait en 1881 le double intérêt des forts vitrifiés : « *On voit qu'en dehors de l'intérêt que présentent les forts au point de vue technique et archéologique, ils sont remarquables aussi pour le minéralogiste et le géologue, à raison de l'influence de la chaleur sur la formation de plusieurs phases minérales... Ainsi, il y a bien des siècles, les constructeurs des forts vitrifiés, précurseurs inconscients dans une voie féconde, reproduisaient, à leur insu, des matériaux que l'on n'est parvenu à imiter dans les laboratoires que dans ces derniers temps* ». (cf encart). ●●●

●●● Quelques données pétrologiques

Plusieurs études géochimiques de roches et de verres associés ont concerné des forts écossais et quelques forts français (Daubrée, 1881 ; Youngblood *et al.*, 1978 ; Friend *et al.*, 2008 ; Wadsworth *et al.*, 2016). Un premier acquis est que la fusion ne nécessite pas l'adjonction d'un fondant destiné à en abaisser la température. Un autre point était de savoir si les résultats des études expérimentales du système granitique (Tuttle et Bowen, 1958 ; Winkler, 1966) étaient transposables aux verres des forts vitrifiés. En fait, ici, cette anatexie particulière s'effectue en surface avec des durées de chauffe très longues et elle est différente d'un type de roche à l'autre. En général, les compositions des verres s'écartent de celles des liquides anatectiques obtenus dans les travaux expérimentaux. D'autre part des essais de fusion ont été destinés à déterminer la température de début de fusion mais aussi sa durée et sa progression à l'échelle de la roche comme du mur

entier. Des températures de début de fusion de 1 000 à 1 250°C, variables suivant les cas, ont été observées.

Il faut remarquer que la plupart de ces travaux venaient en appui aux études archéologiques, avec comme principal but assigné, la résolution de la controverse : intention constructive - intention destructive.

Notre propos était de mieux faire connaître, sur l'exemple du Camp de Péran, le curieux phénomène des forts vitrifiés et de présenter quelques roches particulières issues de cette anatexie anthropique, qui intéresseront les géologues par leurs analogies avec les migmatites de l'anatexie profonde. Cette revue nous aura également permis d'évoquer les travaux pertinents de précurseurs comme G.A. Daubrée et A. Lacroix. Par ailleurs, l'étude des forts vitrifiés nous conduit au questionnement sur le savoir-faire perdu et les desseins des populations celtiques qui les ont édifiés.

■ G. Crevola

Gabriel-Auguste Daubrée (1814-1896)



NDLR : G.A. Daubrée a présidé par deux fois, en 1864 et 1879, la Société Géologique de France.

Directeur de l'École des Mines de Paris de 1862 jusqu'à sa retraite en 1884, G.A. Daubrée fut une figure majeure de la géologie et de la société pendant le Second Empire. Son étude des eaux de Plombières attira l'attention de Napoléon III, familier avec l'impératrice Eugénie de la station thermale vosgienne. Il fut ainsi introduit auprès des têtes couronnées et devint l'ami de l'Empereur du Brésil Dom Pedro II, qui lui demanda d'envoyer au Brésil un minéralogiste expérimenté pour y fonder une École des Mines sur le modèle de celle de Paris. Ce fut Henri Gorceix, un élève de Pasteur, et l'École des Mines de Ouro-Petro. Nommé professeur au Muséum un an avant d'être aussi nommé à l'École des Mines, G.A. Daubrée assura un équilibre calculé entre les deux établissements, le Muséum se réservant les météorites, l'École des Mines la géologie (et minéralogie) expérimentale. Reconnu comme le fondateur de cette nouvelle discipline, grâce au traité qu'il publia en 1879, Daubrée poursuit en minéralogie (synthèse des minéraux), les travaux de Jacques Joseph Ebelmen (1814-1852), son collègue à l'École Polytechnique et au Corps des Mines. Ebelmen, trop tôt disparu, procédait par voie sèche (céramique, pierres précieuses). Daubrée y ajoute l'action de l'eau, inaugurant une tradition qui, au travers de J. Wyart et P. Sabatier, perdure encore aujourd'hui. C'est dans ce cadre qu'il s'intéresse aux forts vitrifiés, reconnaissant avec humilité les limites de ses recherches. Il adopte certes une hypothèse constructive, mais reconnaît que « *cette substance vitreuse, ..., très fragile, ... ressemblant à un verre de bouteille, ... qui empâte les morceaux de quartzite* » fragilise la roche au lieu de la consolider. Le problème reste entier, et n'a guère avancé depuis.

■ J. Touret