

---

# Le fer des marais, encroûtement superficiel holocène utilisé sur les sites archéologiques de Sanguinet (Landes, France)

Nicole GOURDON-PLATEL (1)  
Bernard MAURIN (2)

*The Holocene bog iron hard-pan used as material in Sanguinet area (Landes, France)*

---

Géologie de la France, 2004, n° 1, 13-24, 3 fig., 1 tabl.

Mots-clés : Encroûtement, Minerai de fer des marais, Holocène, Sanguinet, Landes, Aquitaine, France.

Key words : Hard-pan, Bog iron ore, Holocene, Sanguinet, Landes, Aquitaine basin, France.

## Résumé

*L'étude d'une partie du matériel mis au jour sur les différents sites lacustres de Sanguinet est à l'origine de la découverte d'un matériau ferrifère, le fer des marais, jusque-là inconnu sur le Plateau des Landes de Gascogne. Celui-ci est composé de granules ferrifères et d'un ciment qui atteignent parfois respectivement 90 % et 85 % d'oxydes de fer : cet encroûtement superficiel constitue donc un minerai de fer. Les concrétions granulaires de fer des marais, renfermant quelques débris de végétaux, parfois épigénisés en fer, se seraient formées dans de petites cuvettes d'eau stagnantes à faible tranche d'eau. Exemptes d'apport détritique limono-argileux, les zones marécageuses piégeant ces encroûtements sont liées à l'édification des dunes littorales se mettant progressivement en place à partir du Sub-boréal ; ces massifs dunaires sont responsables de la formation des lacs côtiers landais qui ont ennoyé de vastes étendues. Les encroûtements granulaires de fer des marais qui n'ont toujours pas été retrouvés en place sont probablement situés sous les eaux des lacs ou dans les zones marécageuses en bordure orientale de ces lacs. À la fin de l'Âge de Fer (IV-I<sup>er</sup> siècle avant J.-C.) les Boïates, habitants du sud du Bassin d'Arcachon, ont collecté et utilisé ce minerai pour le réduire dans de petites structures afin de produire du fer ; ils l'ont également employé en blocs pour les substructions du fanum de Losa, car les*

*matériaux de construction étaient rares dans les Landes. Une analyse récente au <sup>14</sup>C de débris végétaux emprisonnés dans ce fer des marais donne un âge calibré (Ly-12142) de -2574 à 2294 avant J.-C.*

*Cet exemple aquitain montre qu'une induration ferrugineuse peut se former très vite sous climat tempéré, probablement en quelques centaines d'années, pour peu que les apports en fer soient suffisamment renouvelés.*

## Abstract

*The study of part of the material collected from the various Sanguinet lake sites leads to the discovery of a new bog iron ore unknown until now on the Landes Plateau. It is made up of bog iron, the amount of which sometimes reaches 90 % of iron oxides, and of cement which roughly contains 85 % of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : this hard-pan can thus be compared to an iron ore. Bog iron hard-pan containing some remains of plants (<sup>14</sup>C age : (Ly-12142) from 2574 to 2294 BC), epigenized into iron, would be hardened above ground in small stagnant swamps. Free from silty-argillaceous detrital contribution, the swampy zones trapping this bog iron is related to the accumulation of dunes, gradually setting up themselves during the Sub-boreal period, responsible of the formation of the coastal lakes. Bog iron hard-pan which was never found in situ, is probably located under water of the lakes or in the swampy zones in Eastern edge of these lakes. But more than 2000*

(1) CRPAA - CNRS - UMR 5060 Maison de l'Archéologie, Université Bordeaux 3, 33607 Pessac, France.

(2) Responsable des fouilles archéologiques du Lac de Sanguinet, CRESS, Espace Gemme, 40460 Sanguinet, France.

Manuscrit déposé le 29 janvier 2004, accepté le 5 avril 2004.

*years ago, Boïate people living in the southern part of the Arcachon Basin, used this material which they reduced in small structures to produce iron ; they also employed it in blocks for the construction of the Losa fanum, iron at that time not being lacking because its circulation was easy whereas the building materials were scarce in Landes.*

*This Aquitanian example shows that ferruginous hardpan can build up very quickly under temperate climate, probably in a few hundred years, if the iron inputs are sufficiently renewed. The vestiges left on the archeological sites attest that these inhabitants moved eastwards on increasingly higher zones, in consequence of the dunes cover accumulation, leading to the rising water-level of the Sanguinet Lake.*

## Introduction

Entreprises sur l'impulsion du Centre de Recherches et d'Études Scientifiques de Sanguinet (CRESS), les fouilles sub-aquatiques du lac de Cazaux-Sanguinet (Landes) ont fourni de précieuses informations sur la vie quotidienne des hommes de Put-Blanc, de l'Estey du large et de Losa ; elles sont mentionnées dans de nombreux articles et ouvrages dont Dubos et Maurin, 1985 ou Maurin, 1998a. Nous avons été amené à identifier des matériaux ferrifères qui ont été utilisés sur ces sites archéologiques.

Jusqu'à ces dernières années il semblait admis que c'était la garluche, grès ferrugineux local, qui avait été employée comme matériau de construction du fanum (temple) du village gallo-romain immergé de Losa. Mais de récentes observations ont rapidement permis de constater que les pierres de l'édifice, assez proches dans leur apparence à la garluche à cause de leur couleur rouille, sont en fait très différentes de celle-ci et une identification pétrographique précise s'imposait. Les blocs du fanum comparés aux matériaux trouvés à l'Estey du large, sur le site du village fortifié voisin du II-I<sup>er</sup> siècle avant J.-C., présentent des similitudes malgré leur altération différentielle dans l'eau.

Ces deux types de matériaux sont-ils identiques, minéralogiquement et chimiquement ? Leur genèse est-elle la même, et quelles sont les particularités géologiques de cet encroûtement ferrifère ? Les pierres ont-elles été apportées ou sont-elles d'origine locale et dans ce dernier cas quelle est la distribution géographique des affleurements ? Telles étaient les questions qui se posaient.

## Contexte archéologique

Les fouilles archéologiques sub-aquatiques de Sanguinet entreprises depuis 1978 par l'équipe du CRESS ont mis en évidence une chronologie d'occupation des trois sites : celui de Put-Blanc dont l'occupation s'est faite à

partir du I<sup>er</sup> Âge du Fer (750 av. notre ère), celui de l'Estey du large, à la fin de l'Âge du Fer jusqu'à la période romaine (de -300 av. jusqu'au début du I<sup>er</sup> siècle de notre ère) et enfin le site gallo-romain de Losa (du I<sup>er</sup> au IV<sup>e</sup> siècle après J.-C.).

Les vestiges archéologiques trouvés lors des fouilles sont une trentaine de pirogues monoxyles (Maurin, 1998b ; Maurin *et al.*, 1999), des céramiques, des scories métalliques, mais aussi des pierres de soubassement du temple du village de Losa, dans un environnement sableux. De ce fanum, seules subsistent les fondations, construites avec des pierres ferrifères confondues avec de la garluche avant nos travaux. Une voie romaine littorale qui reliait Bordeaux à Dax (fig. 1) franchissait la Gourgue par un long pont pour accéder au village gallo-romain.

Afin de reconstituer les activités des hommes durant ces périodes lointaines, l'une des expérimentations réalisée par J.C. Leblanc en 2001 a été de mener à bien une réduction dans un bas-fourneau, à partir des pierres prélevées dans les substructions du fanum. Outre l'obtention d'un massiot de métal, base de la production d'outils, cela a permis de confirmer la richesse de ce minerai de fer.

## Caractérisation des matériaux ferrifères

Les prélèvements de matériaux géologiquement inconnus sur les sites de Sanguinet nous ont amené, après des comparaisons avec la garluche, grès ferrugineux bien défini, à caractériser un nouveau type de concrétionnement de fer dans le domaine landais.

Rappelons que de nombreux travaux (Gourdon, 1973 ; Gourdon-Platel, 1975a ; Gourdon-Platel et Legigan, 1985 ; Gelpe *et al.*, 1985) s'accordent à définir la garluche comme une cuirasse de grès ferrugineux formée entre 9000 et 7500 BP au sein du Sable des Landes. Ce grès se caractérise par de très nombreux grains de quartz et quartzites (de 280 à 320 µm) émoussés d'origine éolienne ; contrairement aux alios, horizon B humo-ferrugineux dans un podzol, les garluches sont cimentées par les oxy-hydroxydes de fer [FeO(OH) et Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>] dont la concentration atteint de 20 à 25 % exprimés en oxydes ; ces grès sont de couleur brun-rouge avec un ciment inter-granulaire plus ou moins épais, essentiellement goethitique obstruant presque complètement les pores (fig. 2, photo 6). On observe ces garluches uniquement sur certaines berges des petits ruisseaux du plateau landais se jetant dans la Leyre ou à proximité des étangs côtiers. Elles ont souvent une épaisseur de 30 à 40 cm et peuvent former de larges encroûtements d'une dizaine de m<sup>2</sup>. D'extension très limitée mais existant sous une grande partie des Landes de Gascogne, ce grès forme un cuirassement de nappe situé

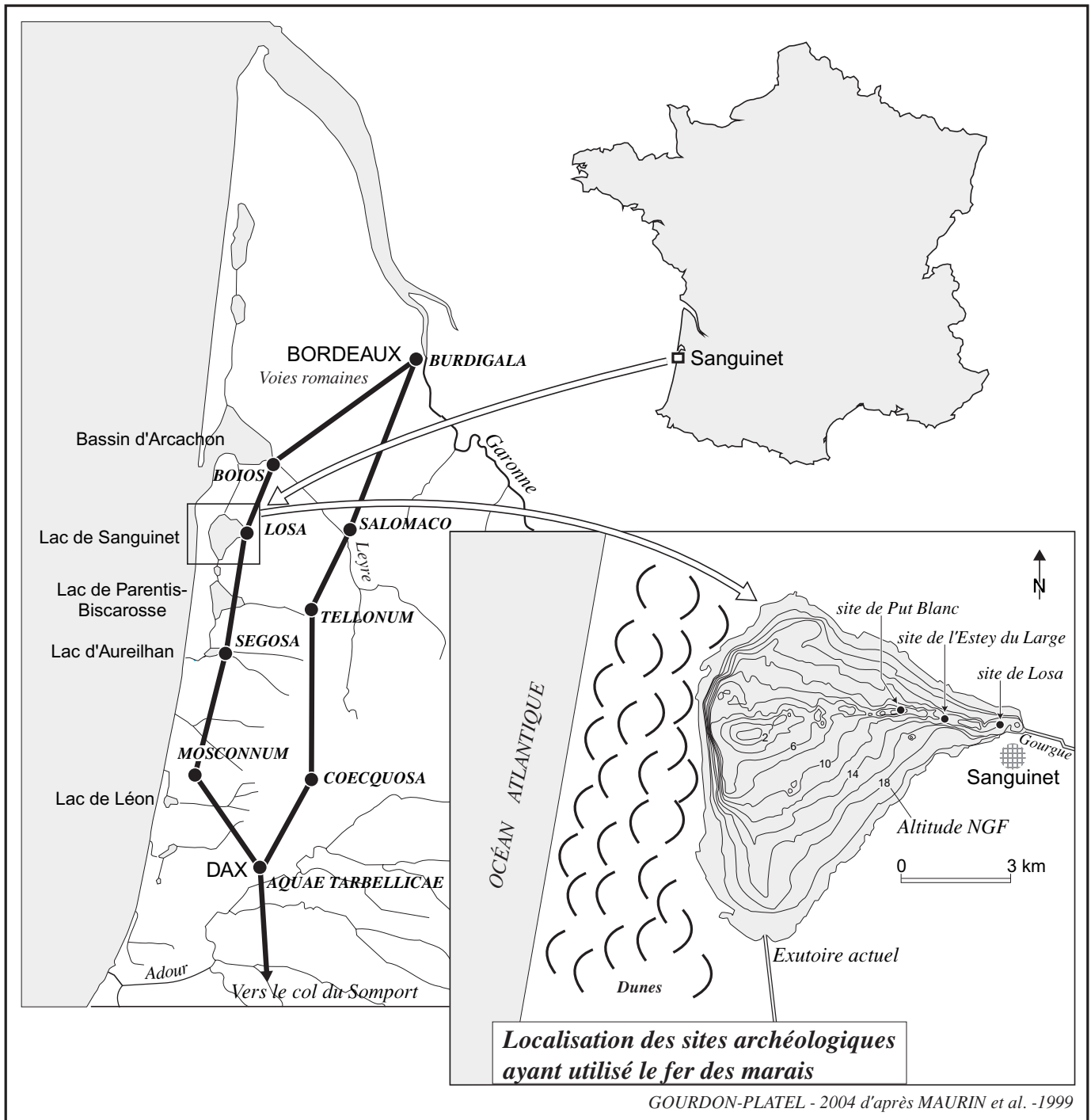


Fig. 1 - Situation des découvertes de matériaux ferrifères dans la partie orientale du Lac de Sanguinet.

Fig. 1 - Location of ferrigenous material occurrences within the eastern area of the Sanguinet lake.

sous les profils podzoliques généralisés sur le plateau landais (Gourdon-Platel, 1975a ; Gourdon-Platel, et Legigan, 1985 ; Gourdon-Platel, 2001). La surface supérieure de ces garluches est caractérisée par de grosses cavités circulaires, parfois remplies de sable non induré, alors que la face inférieure est perforée de petites tubulures, intérieurement gainées par les oxydes de fer bien cristallisés. Ces gaines correspondent à des manchons d'anciennes racines autour desquelles ont précipité les

oxydes de fer qui ont cimenté les grains de quartz lors du battement de la nappe d'eau. Ces garluches ont été utilisées comme matériau local de construction attesté depuis le XI<sup>e</sup> siècle mais aussi jusqu'au début du XX<sup>e</sup> siècle pour la production de fer dans de petites mais nombreuses installations métallurgiques (Jouannet, 1837 ; Gourdon-Platel, 1975b et 2001 ; Lescarret, 1988 et 2001 ; Glize, 2001).

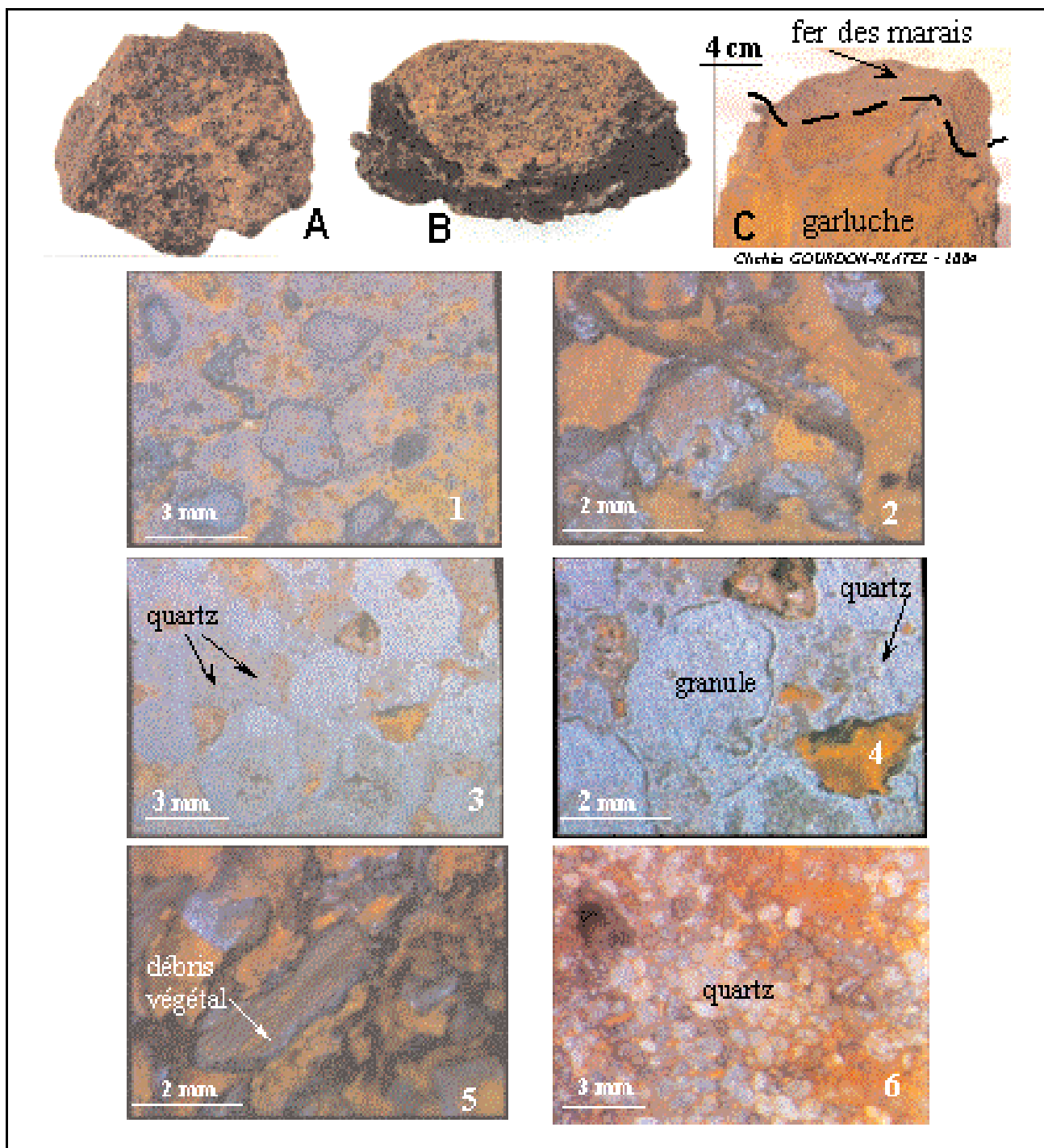


Fig. 2 - Macro et microfaciès du fer des marais granulaires du Lac de Sanguinet.

Échantillons macroscopiques :

A – Vue macroscopique d'un bloc de fer des marais de Losa à texture granulaire.

B – Fer des marais de l'Estey du large à cœur friable.

C – Bloc épars montrant le contact entre le fer des marais granulaires et la garluche, grès ferrugineux local.

Sections polies :

1 – Fer des marais de Losa constitué de granules ferrifères. 2 – Fer des marais de Losa à cassure fraîche avec aspect brillant. 3 et 4 – Section montrant les granules ferrifères bruns de Losa et des vacuoles remplies d'oxy-hydroxydes de fer. Présence de quelques grains de quartz entre les granules ferrifères. 5 – Détail de débris de végétal épigénisé par les oxydes de fer. 6 – Section de garluche de l'Estey du large montrant la grande abondance des grains de quartz cimentés par les oxydes de fer.

Fig. 2 - Macro and microfacies of the granular bog-iron ore of the Sanguinet Lake. Macroscopic samples : A – Macroscopic view of a block of bog-iron ore collected at Losa, with granular texture.

B – Bog-iron ore of l'Estey du large with friable core. C – Scattered block displaying the contact between the iron of the granular bog-iron and the garluche, local ferruginous sandstone. Polished sections :

1 – Bog-iron ore of Losa made up of iron-bearing granules. 2 – Same sample with displaying glinting aspect. 3 and 4 – Section of Losa showing brown iron-bearing granules and vacuoles filled with iron oxyhydroxides. Presence of some quartz grains between iron-bearing granules. 5 – Detail of plant remains epigenized by iron oxides. 6 – Garluche section displaying a great abundance of quartz grains bounded with iron oxides.

## Description pétrographique des encroûtements

À l'**Estey du large** deux types de matériaux ferrifères ont été trouvés lors des fouilles : quelques blocs de garluche et surtout des fragments d'encroûtements granulaires dont l'observation microscopique a confirmé l'aspect original. Ce sont des matériaux plus ou moins durs où les granules ferrifères de forme émoussée sont cimentés par des oxy-hydroxydes de fer brun-jaune. Ces granules sont entourés d'un cortex d'épaisseur infra-millimétrique brun-rouge, sur lequel de petits grains de quartz émoussés se sont incrustés (fig. 2 - photo B).

Dans les fondations du *fanum* de **Losa**, les blocs de construction, équarris en moellons (les plus gros faisant  $28 \times 22 \times 15$  cm) sont assez durs, mais avec une forte porosité et ne présentent pas d'altération écaillée épaisse malgré parfois une oxydation superficielle qui tâche les doigts (fig. 2 - photo A). Ces encroûtements ferrugineux à cassure brillante, observés à la loupe binoculaire sur surface polie sont formés de granules à cœur de goethite poreuse de 3 à 8 mm de diamètre, entourés d'un cortex dur de couleur brune (fig. 2 - photos 2, 3, 4), de débris de végétaux minéralisés et de quelques petits grains noirs ferromagnétiques, le tout relié par un léger ciment ferrugineux induré. Parmi les végétaux, on peut voir des limbes foliaires à cellules alignées, quelques rares pennules et pétioles de fougères et des éléments de tiges ligneuses (fig. 2 - photo 5). Parfois le cœur goethitique de granules présente la particularité d'être constitué de végétaux épigénisés en fer. Certains de ces granules à cortex rappellent assez des structures oncolitiques reliées entre elles ou encore des concrétions pisolithiques de type D « à glomérules » de la base du Tertiaire nord-aquitain (Gourdon-Platel, 1980).

Les espaces inter-granulaires sont vacuolaires, leurs parois sont tapissées de dépôts de goethite de couleur brun orangé qui ont souvent piégé de petits grains de quartz. Parfois, ces encroûtements sont accolés sur les blocs de garluche à texture typique (fig. 2 - photo C).

L'altération serait liée à leur séjour prolongé dans l'eau (2 à 3000 ans d'après les interprétations archéologiques). Malgré leur dureté, l'état granulaire des matériaux les rend cependant facilement effritables lors du sciage.

L'existence de ces débris organiques épars dans ce matériau ferrugineux original prouvant sa formation en surface, contrairement à celle de la garluche, nous a amené, en l'absence de toute référence régionale, à dénommer ces encroûtements granulaires « fer des marais ». Les faciès observés pourraient peut-être s'assimiler à des microbialites comme il en a été décrit dans d'autres gisements ferrifères plus anciens (Baele, 2003 ; Gall, 2003 ; Lagny, 2003).

## Caractérisation physico-chimique des encroûtements granulaires

### Minéralogie

L'identification cristalline obtenue par la diffraction de rayons X (DRX) a nécessité un broyage en poudre. Sur les spectres d'analyse des échantillons de Losa comme sur ceux de l'Estey du large, le bruit de fond est important, la cristallinité mauvaise et seule la goethite  $\alpha$  FeO(OH) s'identifie bien. Il n'y a pas d'hématite  $\alpha$  Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> détectée, à cause soit du manque de cristallinité, soit de la trop faible quantité de ce minéral, soit de la présence de matière amorphe d'origine organique combinée aux oxydes. Les minéraux magnétiques (maghémite  $\gamma$  Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, magnétite Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) mis en évidence par aimantation de la poudre sont également en trop faible quantité pour être détectée par les rayons X.

Expérimentalement, on constate que lorsque les matériaux ferrugineux de Losa sont broyés et chauffés à 320 °C, la DRX ne révèle pas les pics de goethite mais permet l'identification très nette des pics d'hématite ; au cours du chauffage il y a donc eu déshydratation et transformation de  $\alpha$  FeO(OH) en  $\alpha$  Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> donnant à la poudre une couleur rouge violacé.

### Composition chimique

La détermination de la composition élémentaire des concrétions granulaires répond à des critères d'ordre quantitatif liés aux analyses en fluorescence X couplée en microscopie électronique à balayage (MEB du CRPAA). L'observation texturale est complétée par l'analyse de l'échantillon en contraste électronique à fort grossissement.

• Sur les *encroûtements granulaires indurés de Losa préparés en surface polie*, l'analyse micro-élémentaire est effectuée à plusieurs échelles sur diverses zones bien caractéristiques de quelques micromètres carrés (fig. 3) :

- l'analyse portant sur une large surface ( $9,4 \times 7,7$  mm) étudiée à très faible grossissement ( $\times 12$ ) présente une concentration d'environ 81 % de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en moyenne, de 15 % de SiO<sub>2</sub> sous forme de quartz essentiellement et de 2 % d'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Il y a un très faible taux de titane (TiO<sub>2</sub> < 0,4 %) et il faut noter l'absence de manganèse (MnO<sub>2</sub> < 0,1 %, correspondant au seuil de détection).

- à grossissement moyen ( $\times 100$ ), quelques granules de 3 mm (G1, G2, G3) ont été analysés au MEB afin d'évaluer leurs concentrations maximales exprimées en oxydes : les valeurs en oxydes de fer sont plus fortes (entre 85 et 89 % de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) et inversement celles de SiO<sub>2</sub> diminuent avec 7 à 10 % sous forme de quartz et 1,5 à 3,1 % d'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Les granules ferrifères présentent une certaine homogénéité chimique. Il n'y a pas d'alcalin ; le titane et le manganèse

sont en dessous du seuil de détection ; il faut également noter le taux important de phosphore concentré dans les granules ferrifères avec 1 à 1,6 % dosés en  $P_2O_5$ . La présence de cet élément n'a pas encore été expliquée mais son origine serait peut-être liée aux débris de végétaux inclus dans le fer des marais. Parfois les ciments intergranulaires (zones A et B observées  $\times 200$ ) révèlent également de fortes concentrations en  $Fe_2O_3$  (84-86 % au maximum) mais les taux de phosphore sont plus faibles (0,4-0,5 % de  $P_2O_5$ ) que dans les granules.

• **À l'Estey du large, les surfaces polies** montrent des concrétions à granules ferrifères hétérogènes. Deux larges surfaces (S1 et S2 avec granules et ciment inter-granulaire) ont été analysées à très faible grossissement ( $\times 12$ ) pour donner la meilleure représentativité possible de l'échantillon (fig. 3) ; les variations chimiques rendent compte de l'hétérogénéité de ces surfaces avec 42 à 52 % de  $Fe_2O_3$ , de 38 à 51 % de  $SiO_2$  dû aux nombreux quartz, de 3 à 5 % d' $Al_2O_3$  et des teneurs élevées de  $P_2O_5$ , valeurs comprises entre 1,3 et 2,4 % ; les concentrations en oxydes de titane et de manganèse sont inférieures au seuil de détection, ainsi que celles des alcalins ( $<1$  %). Certaines concrétions renferment des granules de 1 à 3 mm (G1 à G7) riches en oxy-hydroxydes de fer avec des teneurs de 56 à 79 % exprimés en  $Fe_2O_3$  ; d'autres concrétions révèlent exceptionnellement des taux de 35 % de  $Fe_2O_3$  lorsqu'il y a présence de grains de quartz émoussés disposés entre les granules ferrifères ; les teneurs en  $SiO_2$  sont de 14 à 59 % (dues à l'abondance de petits quartz piégés à la périphérie des granules) et de 2,8 à 10,5 % en  $Al_2O_3$  ; les taux exprimés en  $P_2O_5$  varient de 0,9 à 2,2 %, les plus riches teneurs pouvant être corrélées aux plus fortes concentrations en fer. Dans les concrétions granulaires à cœur friable, la cimentation inter-granulaire analysée dans 7 zones, présente des concentrations très variables, confirmant la grande variété de faciès des encroûtements de l'Estey du large (seuls les deux extrêmes I2 et I3 ont été reportés dans le tableau, fig. 3). Les taux obtenus oscillent entre 15 et 70 % de  $Fe_2O_3$  et entre 20 et 82 % de  $SiO_2$ , sous forme de quartz. La concentration en  $Al_2O_3$  est souvent relativement élevée (jusqu'à 6,2 %) et les teneurs en oxyde de manganèse sont inférieures au seuil de détection. Celles en  $P_2O_5$  varient de 1,1 à 2,4 %.

• Pour comparaison, des analyses par Fluorescence X sur poudre ont été effectuées en 2001 au BRGM à Orléans à partir d'échantillons broyés de 40 g environ (analyses sur 1 g). Elles concernent une concrétion granulaire de fer des marais provenant du site de l'Estey du large. Il faut noter que par cette méthode, il est possible d'évaluer la perte au feu à 1000 °C (perte d'eau et de produits volatils) ; alors que les valeurs de perte au feu sont de 4 à 5 % pour les garluches (ce qui confirme des travaux antérieurs, Gourdon-Platel, 2001) celles portant sur les divers faciès d'encroûtements de fer de marais atteignent 13 à 16 %.

Les concentrations atteignent 71 % de  $Fe_2O_3$  (contre un maximum de 79 % de  $Fe_2O_3$ , obtenus avec le MEB du CRPAA), 10 % de  $SiO_2$  et 1,2 % d' $Al_2O_3$  ; les valeurs en oxydes de manganèse sont voisines de 0,1 % et les taux de  $P_2O_5$  sont toujours élevés avec 1,5 % (fig. 3). Une autre concrétion à cœur dur de fer des marais (non trouvé en place mais provenant du secteur de Saugnacq-et-Muret, quelques kilomètres à l'est de Sanguinet) a révélé des teneurs en oxydes de fer voisines de 60 %. Ces résultats représentent des taux relatifs minorés car ils tiennent compte des taux de perte au feu.

• Par ailleurs signalons que la douzaine d'analyses réalisées il y a quelques dizaines d'années à l'ex-CEGET/CNRS par attaque chimique tri-acides sur 40 g de garluches broyées en poudre (Gourdon, 1973 ; Gourdon-Platel, 1975a, 1975b ; Gourdon-Platel et Legigan, 1985) révèle des moyennes de :

$$Fe_2O_3 = 19,5 \text{ \% (avec des extrêmes de 15,7 à 25,5 \%)}$$

$$SiO_2 = 73,2 \text{ \%}$$

$$Al_2O_3 = 2,2 \text{ \%}$$

valeurs sensiblement retrouvées par fluorescence X en surface polie par Castet en 1995 sur ce même type de grès ferrugineux. Vu l'homogénéité de ces grès ferrugineux, les résultats obtenus au CEGET sont fort comparables aux analyses en fluorescence X effectuées au BRGM, sur les garluches de Sanguinet et de Lilaire-Le Muret ; mais l'attaque tri-acides est une méthode trop longue et coûteuse qui n'est plus utilisée.

Suite à ces microanalyses, on peut donc conclure que les encroûtements granulaires à cœur friable de l'Estey du large et ceux à cœur dur de Losa correspondent à un même matériau présentant une grande variation de cimentation, ayant évolué différemment sous eau. Seules n'auraient été employées pour les fondations du fanum de Losa que les parties les plus dures des encroûtements. À l'Estey du large, ne resteraient surtout que des fragments friables. Les blocs à cœur dur y sont en très faible proportion car la grande majorité a dû être utilisée comme minerai de fer à la période pré-romaine.

## Mise en place du fer des marais

### Contexte géomorphologique

Dans la caractérisation des encroûtements de fer des marais, la mise en évidence d'un piégeage de quelques grains de quartz émoussés à ronds associés à quelques débris de végétaux est d'un grand intérêt pour identifier la provenance de ces matériaux et expliquer leur formation en milieu lacustre.

fer des marais  
analyses par Fluorescence X couplée au MEB, sur surface polie (CRPAA 2001)

% massique	SiO2	Al2O3	Fe2O3	TiO2	MnO	MgO	K2O	Na2O	CaO	P2O5
<b>LOSA</b>										
surface (× 12)	15,08	2,07	80,73	0,38	0,01	0,34	0,22	0,12	0,57	0,49
<b>granules (× 100)</b>										
G 1	9,61	3,07	85,73	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	1,60
G 2	9,23	1,54	88,22	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	1,01
G 3	7,26	2,5	89,18	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	1,07
<b>ciment inter-granulaire (× 200)</b>										
A	11,32	1,74	86,19	0,10	0,10	0,10	0,20	<0,10	<0,10	0,55
B	12,27	1,99	84,11	0,43	<0,10	0,35	<0,10	<0,10	0,44	0,43
<b>ESTEY du LARGE</b>										
<b>surface (× 12)</b>										
S1	38,16	4,98	52,03	0,5	0,33	0,25	0,05	1,02	0,63	2,35
S2	50,54	3,03	42,78	0,59	0,23	0,40	0,22	0,27	0,66	1,27
<b>granules</b>										
G1 (× 250)	28,78	10,55	60,45	1,32	0,02	0,39	0,55	0,42	0,56	1,94
G2 (× 100)	38,24	3,11	56,03	0,05	0,26	0,34	0,09	0,02	0,63	1,22
G3 (× 150)	13,92	5,30	77,34	0,16	0,10	0,34	0,06	0,32	0,38	2,07
G4 (× 100)	11,35	5,91	79,06	0,84	0,01	0,03	0,14	0,13	0,38	2,19
G5 (× 100)	59,00	2,85	35,01	0,43	0,03	0,20	0,66	0,56	0,33	0,94
G6 (× 200)	13,36	5,78	77,28	0,11	0,16	0,05	0,60	0,14	0,38	2,14
G7 (× 200)	21,18	3,56	72,79	0,32	0,20	0,01	0,08	0,15	0,23	1,53
<b>ciment inter-granulaire</b>										
I2 (× 100)	81,78	0,87	15,0	0,31	0,05	0,17	0,19	0,19	0,27	1,15
I3 (× 150)	20,28	5,27	70,42	0,16	0,08	0,17	0,10	0,42	0,78	2,43

garluche et fer des marais  
analyses par Fluorescence X sur poudre (BRGM 2001)

% massique	SiO2	Al2O3	Fe2O3	TiO2	MnO	MgO	K2O	Na2O	CaO	P2O5	Perte au feu 1000 °C
garluche SANGUINET	71,1	1,80	22,1	0,12	0,01	0,01	0,01	0,03	0,07	0,01	4,17
garluche LILAIRE	70,9	0,8	22,18	0,05	0,02	0,20	0,23	0,20	0,10	0,07	5,00
fer des marais SAUGNACQ et MURET, friable	24,00	1,20	59,50	0,05	0,06	0,20	0,19	0,30	0,10	1,47	13,7
fer des marais, dur ESTEY du LARGE	10,10	1,20	71,17	0,05	0,12	0,20	0,07	0,20	0,10	1,51	15,8

Fig. 3 - Analyses chimiques comparatives du fer des marais et de la garluche.

Fig. 3 - Comparative chemical analysis of the swamp-iron duricrust and "garluche".

La couverture sableuse de l'actuel Plateau Landais est le stade ultime d'une série de sédimentation de dépôts silicoclastiques alternant avec des phases de reprises, déjà bien établie par de nombreux auteurs (Legigan, 1979 ; Dubreuilh *et al.*, 1995 ; Klingebiel et Platel, 2001 ; Platel et Klingebiel, 2001). Régionalement, la Formation du Sable des Landes *s.s.*, faite de sables hydro-éoliens blanc jaunâtre essentiellement quartzeux attribués au Pléistocène supérieur (notés NF2 sur la carte géologique à 1/50 000 et en particulier celle de La Teste où se situe Sanguinet, Karnay *et al.*, 1992 ) recouvre la Formation de Castets, à sables fins quartzeux et feldspathiques blanchâtres, fluviatiles du Pléistocène inférieur (NF1) ; ceux-ci surmontent des argiles silteuses, micacées, gris-bleu du

sommet de la Formation d'Onesse (Pléistocène inférieur) (Platel, 1991). Or, dans les encroûtements de fer des marais, il n'y a pas de micas, peu de feldspath, mais quelques quartz émoussés à ronds et de rares minéraux noirs opaques ; cela permet d'affirmer que ce sont bien des grains de sable quartzeux issus de la Formation du Sable des Landes *s.s.* qui ont été piégés dans ce concrétionnement, surtout en tapissant les pores (fig.4).

On sait qu'à partir du début du Pré-boréal (10 300 ans BP), le climat régional s'est radouci et le modelé topographique actuel a pris forme par suite de la remontée progressive du niveau de l'Océan atlantique. Il semble que ce soit entre 9 000 BP et 7 500 BP durant le Boréal que la

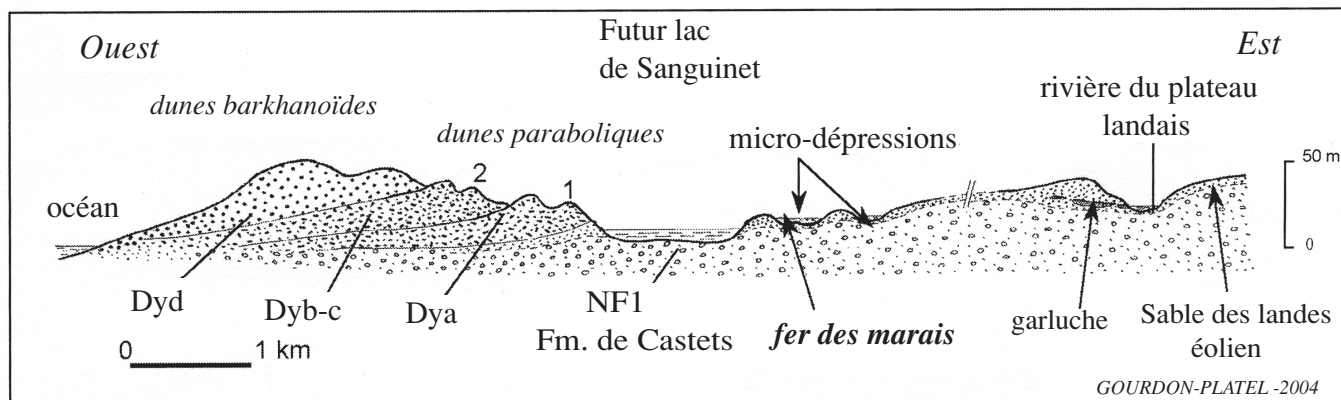


Fig. 4 - Schéma hypothétique sur la situation du fer des marais dans la séquence-paysage du proto-lac de Sanguinet.

Fig. 4 - Hypothetic scheme for the bog-iron ore location within the landscape around the old Sanguinet lake.

garluche s'est formée, lors d'une phase de réchauffement climatique, la nappe d'eau baignant la partie sommitale du Sable des Landes (Gourdon-Platel, 2001).

Précisons que des études géomorphologiques (Froidefond, 1982 ; Lalanne, 1999 ; Platel et Klingebiel, 2001) montrent que la dynamique progradante des champs de dunes dès la période Sub-boréale a provoqué la montée de la nappe phréatique avec le blocage des eaux dans les dépressions des futurs lacs côtiers ; cette progradation serait responsable de la migration vers l'est et de plus en plus haut des habitants de Put-Blanc (occupation du site entre 2 800 et 2 400 ans BP), de ceux de l'Estey du large (entre 2 500 et 2 100 ans BP) et enfin de l'abandon de Losa au début de notre ère (4<sup>e</sup> siècle) (Maurin, 1998a). En effet, c'est aux alentours de 4 000 ans BP (LIFE, 1997 ; Tastet et Pontee, 1998 ; Platel et Klingebiel, 2001 ; Clavé, 2001) que s'est faite la mise en place de dunes paraboliques envahissant la plaine landaise, alternant avec la formation de paléosols où des troncs de pins ont pu être datés (Froidefond, 1982 ; Clavé, 2001). Sur tout le littoral aquitain la morphologie dunaire a entraîné la formation de zones marécageuses au pied des édifices éoliens puis de lacs de forme triangulaire comme le lac de Cazaux-Sanguinet par exemple (fig. 4). Ces marais drainaient des eaux où le fer dissous était complexé par les ferro-bactéries ; Clarke *et al.*, 2002.

### Origine du fer dans les eaux

Revenir sur l'origine du fer dans les eaux de la nappe phréatique durant la période couvrant le Boréal au début du Sub-atlantique est important pour comprendre les mécanismes. On sait que la Formation du Sable des Landes s.s. renferme des minéraux lourds dont l'altération a pu se produire sous l'action des eaux acides des nappes d'eau riches en acides organiques ; mais il faut minimiser la quantité de fer ferreux mis en solution, car sauf sur le littoral landais où seules quelques strates très isolées, riches en minéraux opaques titanifères et grenat sont connues, le pourcentage pondéral des minéraux lourds est bien faible pour toutes les fractions granulométriques ; il

représente en moyenne 0,6 % de la fraction sableuse, avec parmi les minéraux lourds ferrifères, la staurotite, le grenat almandin, la tourmaline, l'augite, des hornblendes et des opaques (Gourdon-Platel, 2001).

En réalité, il faut surtout prendre en compte le fait que le complexe sableux quaternaire et les épandages deltaïques pliocènes sont parfois peu épais (Dubreuilh *et al.*, 1995 ; Klingebiel et Platel, 2001) et que les Sables fauves du Miocène riches en glauconie (K, Na) (Fe, Al, Mg)<sub>2</sub> (Si, Al)<sub>4</sub> O<sub>10</sub> (OH)<sub>2</sub> altérée et en micas sont sûrement les plus importantes sources d'approvisionnement en fer (Gourdon-Platel, 2001). Par altération les sables verts à glauconie ont évolué en sables roux car les ions Fe<sup>2+</sup> libérés de la glauconie ont favorisé l'imprégnation des sables et leur ont donné une couleur brun-rouille avec une teneur en oxydes de fer de 6 à 10 %. Ces apports potentiels en fer dissous dans des eaux acides, facilement complexables avec les matières organiques, seraient à l'origine de l'enrichissement en fer de la nappe phréatique grâce aux ferro-bactéries qui peuvent oxyder les ions Fe<sup>2+</sup> disponibles en solution et les précipiter sous forme d'hydroxyde de fer au fond de cuvettes marécageuses. C'est par assèchement de ces cuvettes dans lesquelles flottaient quelques débris de végétaux, que se seraient formés les encroûtements de fer des marais. De nos jours, après le drainage du massif landais, les fluctuations annuelles de la nappe phréatique varient de 1 à 1,50 m et le débit dans les crastes et les fossés naturels n'est élevé qu'au moment des crues. En été, les eaux deviennent stagnantes, les ions Fe<sup>2+</sup> et la matière organique en décomposition se concentrent par évapo-transpiration.

### Datation de l'encroûtement

#### Chronologie relative

Parmi les matériaux remontés des substructions du fanum de Losa, quelques blocs présentent deux faciès en quasi continuité : l'un avec une texture typique de garluche et l'autre avec un faciès granulaire de fer des marais (fig. 2, photo C).



L'une des faces des blocs présente des tubulures ferrugineuses effilées caractéristiques de la face inférieure d'une garluche et le contact entre faciès se fait par une ligne d'induration discontinue avec de grosses cavités où il y a pénétration d'un encroûtement granulaire de fer des marais. On peut déduire de ces observations que le cuirassement s'est fait sur la surface supérieure de la garluche. Ces éléments de polarité permettent donc d'établir une chronologie relative : les encroûtements de fer des marais se sont formés postérieurement à l'induration de la cuirasse de nappe qu'est la garluche et après leur mise à nu par décapage de la partie supérieure du sol sableux mais avant 2 500 BP, époque de leur première utilisation par les habitants de l'Estey du large.

### Chronologie absolue

Par ailleurs, nous avons utilisé les débris de végétaux piégés dans les blocs de fer des marais pour en connaître son âge absolu par analyse du radiocarbone. Cette datation au  $^{14}\text{C}$  qui a été effectuée à Lyon (Ly 12142) au Centre de Datation par RadioCarbone a donné un âge calibré de 2 574 à 2 294 avant J.-C. (soit  $3\,945 \pm 50$  BP) donc bien contemporain de l'édification des dunes paraboliques. Cet encroûtement s'est donc concrétionné près de 1 500 ans avant leur première utilisation

### Genèse du fer des marais

Alors que quelques ouvrages généraux nous renseignent sur les conditions de mobilisation du fer, sur les mécanismes de formation des matériaux ferrifères (Meyer, 1987 ; Tardy et Roquin, 1998 ; Cornell et Schwertmann, 2003) et sur les processus d'accumulation en fonction du contexte géomorphologique (Wyns, 2002), d'autres auteurs comme Boulvain (2003) évoquent plus précisément le fer des marais, dépôt s'observant entre autres dans les lacs et marais des latitudes moyennes du Canada.

Mais déjà dans ses travaux (1947), Strakov argumentait sur les conditions de formation et les facteurs de localisation des minerais de fer de lacs et de marais en Europe du Nord en liaison avec un contexte géomorphologique, où alternaient des dépressions et des reliefs mous. Dans les marais tourbeux de Finlande, le fer des marais est connu mais c'est surtout au Québec, près de Sherbrooke, au sud du lac Magog, dans le marais d'eau douce de Katevale, que le fer des marais est le plus mentionné de par son abondance (Groupe l'Île du Marais de Katevale, 2003). Il correspond à des dépôts de fer impur se formant dans les tourbières et les marais par oxydation chimique ou biochimique du fer en solution. C'est la définition qu'en donne Schut dans le glossaire inclus dans le site SISCAN (Système d'information sur les sols du Canada). Dès le XIII<sup>e</sup> siècle, des Vikings installés à l'Anse aux Meadows à Terre-Neuve, faisaient réduire le minerai

local pour obtenir du fer qui était ensuite travaillé pour la fabrication de clous ou de rivets pour les bateaux. D'après Bernard (1992) l'exploitation du fer des marais de la région des Trois-Rivières et de Drummondville au Québec (Milot, 1984) est en fait la seule exploitation qui va déboucher sur l'implantation d'une véritable industrie sidérurgique. Surtout représentée par les forges de la Mauricie, cette période se termine au début du XX<sup>e</sup> siècle. Lachance (1995) signale aussi de l'ocre dans les Basses Terres du Saint-Laurent au Québec : la région renferme de l'ocre connue également sous le nom de fer des marais, mais cet ocre provient de l'accumulation d'hydroxydes de fer dans les marécages et dans les tourbières. Une faible quantité a été extraite de la mine Sainte-Clothilde de Horton et ce fer des marais exploité de façon artisanale a été utilisé comme minerai de fer.

En Aquitaine, dans tout le secteur littoral de la plaine landaise, depuis près de 10 000 ans, des eaux humo-ferrugineuses se sont infiltrées dans les sols sableux dont la porosité est de l'ordre de 30 % et ont provoqué la concentration des oxy-hydroxydes de fer à proximité des débouchés de petits esteyes (ruisseaux landais) dans les dépressions. Celles-ci ne recevaient pas d'apports d'éléments détritiques limono-argileux et les bactéries ont dû jouer un rôle important dans le pourrissement des végétaux. Ces ferruginisations répondent à un mécanisme d'accumulation à bilan positif (pour reprendre le terme de Wyns, 2002) avec gain de matière dans une cuvette de petite dimension (de l'ordre de 100 m) ; dans ces micro-dépressions, le fer en solution se concentre, atteignant un degré de sursaturation lié à l'évaporation.

De nos jours, il est possible d'observer annuellement à la périphérie des cuvettes d'eau stagnante près du lac, un dépôt pelliculaire millimétrique d'oxyhydroxydes de fer sur les grains sableux de ces zones marécageuses. Dans les Landes, la géochimie des eaux de surface révèle des concentrations en ions  $\text{Fe}^{2+}$  de l'ordre de 1,3 mg/l et exceptionnellement dans de petites cuvettes mal drainées, des valeurs de 13,5 mg/l durant la période estivale (Gourdon, 1973). La charge des eaux en matières organiques peut parfois atteindre dans des microcuvettes des teneurs de 19,2 mg/l avec un pH acide de 5,5. Les nettes fluctuations de concentration entre la crue et l'étiage de la nappe et le métabolisme de ferro-bactéries (*Gallionella ferruginea*, *Leptothrix ochracea*) enrobant les débris végétaux présents dans le marécage sont responsables de la précipitation des ions  $\text{Fe}^{2+}$  sous forme d'hydroxyde de fer  $\text{FeO}(\text{OH})$ . Dans les fossés du massif landais, les micro-organismes prolifèrent dans les eaux de la nappe et les végétaux immergés prennent une teinte rouille.

Autour de ces dépressions confinées, les associations végétales ont un caractère acidophile avec présence de roseaux, joncs, graminées, fougères colonisant un sous-

bois de bruyères, de genêts, d'ajoncs, de pins sylvestres et de chênes (fig. 4). En l'absence d'apport argileux, le fer des marais a dû se former en donnant une cuirasse ferrugineuse avec des granules à cortex concentrant entre 35 à 90 % de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , le ciment inter-granulaire atteignant parfois 85 % d'oxydes de fer. En résumé, vu sa forte teneur en fer et son encroûtement granulaire ce matériau peut prendre le nom de minerai de fer des marais.

### Conclusion : à la redécouverte d'un minerai de fer oublié

L'identification des matériaux ferrugineux, associés aux mobiliers et céramiques mis au jour par les plongeurs du CRESS sur les sites lacustres de Losa, de l'Estey-du-large et de Put-Blanc, ennoyés sous le lac de Sanguinet au niveau de la rive gauche de la Gourgue, a permis de mettre en évidence un encroûtement de fer, apparemment non décrit à ce jour. Composé de granules ferrifères, ce matériau peut fréquemment atteindre 60 % de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  et même exceptionnellement 90 %. Il ne renferme pas ou très peu de grains de quartz tapissant parfois les parois des pores. Ce n'est pas un grès ferrugineux et il n'a aucune affinité génétique, malgré sa couleur brun-rouille, ni avec les garluches renfermant au maximum 25 % de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , ni avec les alios (horizon humo-ferrugineux avec 1 % de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), tous deux formés au sein du Sable des Landes. Au contraire, ces encroûtements granulaires se seraient formés sous une fine tranche d'eau dans des cuvettes marécageuses piégeant des débris végétaux et c'est pour cette raison qu'ils sont dénommés fer des marais. Certains faciès pourraient présenter des structures à microbialites.

La distribution géographique de ces encroûtements au sein de micro-dépressions ne peut se concevoir qu'en faisant intervenir le modelé topographique local : sur le littoral aquitain, à partir de 4 000 BP, la zone marécageuse s'étend N-S par suite du blocage par les dunes paraboliques des petits ruisseaux coulant vers l'océan ; le fer des eaux stagnantes des micro-dépressions se concentre de plus en plus par complexation avec les acides humiques grâce aux ferro-bactéries et atteint le seuil de saturation. Dans les

cuvettes asséchées, l'induration du fer des marais semble totale vers 3 500 - 3 000 BP puisque les habitants des sites de Sanguinet ont utilisé abondamment ce matériau à partir du 2<sup>ème</sup> Âge du fer. Cet exemple aquitain montre qu'une induration ferrugineuse peut se former très vite sous climat tempéré, probablement en quelques centaines d'années, pour peu que les apports en fer soient suffisamment renouvelés. Les vestiges laissés sur les sites archéologiques montrent que ces habitants se sont déplacés vers l'est et sur des zones de plus en plus hautes par suite de l'évolution du massif de dunes entraînant la montée des eaux du lac.

Sur ces encroûtements locaux, il n'existe aucune référence citée par les archéologues ni les historiens, si ce n'est qu'au début du XIX<sup>e</sup> siècle on peut lire dans un texte de Jouannet (1837) qu'un « minerai en grains » (donc différent de la garluche) était mis à part et payé plus cher (donc plus riche en fer) lors de la collecte des minerais employés dans les forges réparties sur tout le plateau des Landes et de Gironde ; ceci explique peut-être le fait que de nos jours on ne découvre plus aucune concrétion en place, d'autant plus que les affleurements potentiels sont maintenant ennoyés suite à la remontée des eaux des lacs landais. On peut alors penser que c'est probablement sous les eaux des lacs ou dans les zones marécageuses en bordure orientale des lacs de Cazaux-Sanguinet, Biscarrosse ou d'Aureilhan que pourraient être redécouverts les gisements des encroûtements granulaires de fer de marais.

### Remerciements

Cette étude n'a pu être menée qu'avec le concours des plongeurs du CRESS (Sanguinet) que nous remercions pour leurs prélèvements sub-lacustres. C'est grâce à J. Evin et à C. Oberlin (CNRS, Lyon) que la datation par radiocarbone a été réalisée et grâce à Ph. Poirier (Univ. Montpellier) que les débris végétaux ont été identifiés. La présente note a bénéficié des suggestions constructives faites par Ph. Freyssinet (BRGM, Orléans) et par un lecteur anonyme. Qu'ils soient tous vivement remerciés.

### Références bibliographiques

- Baele J-M. (2003) - Dépôts de microbialite quartzo-ferrugineuse en relation avec une évolution supergène dans le Crétacé supérieur du Bassin de Mons (Belgique). 9<sup>ème</sup> Congrès français de Sédimentologie – Livre des résumés, 2003, Pub. ASF, Paris, n° 38, 20-21.
- Bernard P. (1992) - Extractions minières métalliques 8510 : minéraux exploités par le Québec Iron & Titanium-Québec (site : [www.mcc.gouv.qc.ca](http://www.mcc.gouv.qc.ca)).
- Boulvain F. (2003) - Éléments de sédimentologie et de pétrologie sédimentaire, 89 p. version 2003 (site : [www.ulg.ac.be/geosed.htm](http://www.ulg.ac.be/geosed.htm)).
- Castet R. (1995) - Biganos : un site à vocation industrielle. In : « Le delta de la Leyre », Actes du colloque : Le Teich (21-23 octobre 1993). *Travaux et colloques scientifiques* n° 1, 111-116. - Édit. Parc Nat. Reg. des Landes de Gascogne.
- Clarke M., Rendell H., Tastet J.P., Clavé B., Massé L. (2002) - Late Holocene sand invasion and North Atlantic storminess along the Aquitaine Coast, southwest France. *The Holocene*, 12, 2, 231-238.
- Clavé B. (2001) - Évolution des paléo-environnements côtiers à l'Holocène : Exemple de l'Aquitaine septentrionale. Thèse de Doctorat, Univ. Bordeaux I, 310 p.
- Cornell R.M., Schwertmann U. (2003) - The Iron Oxides. Structure, Properties, Reactions, Occurrences and Uses, 2<sup>ème</sup> édition, Hardcover, 664 p.
- Dubos B., Maurin B. (1986) - Le site protohistorique sublacustre de l'Estey du large. *Bull. Soc. Bordeaux, Dax*, 2<sup>ème</sup> tr., 57-72.
- Dubos B., Maurin B. (1985) - Losa, village gallo-romain. *Aquitania*, tome 3, 71-89.

- Dubreuilh J., Capdeville J.P., Farjanel G., Karnay G., Platel J.P., Simon-Coinçon R. (1995) – Dynamique d'un comblement continental durant le Néogène et le Quaternaire : l'exemple du Bassin d'Aquitaine. *Géologie de la France*, Éditions BRGM, Orléans, n° 4, 3-26.
- Froidfond J.M. (1982) - Processus d'évolution d'un littoral sableux au cours de l'Holocène. Application au domaine aquitain, présentation d'une méthode de géomorphologie dynamique et quantitative. Thèse d'état, Univ. Bordeaux I, 273 p.
- Gall J.C. (2003) - Géomicrobiologie. In : Les bactéries (coord. : Lagny Ph., Michel J.C.), *Géochronique*, Éditions SGF–BRGM, n° 86, 16-21.
- Gelpe J., Gourdon-Platel N., Legigan P. (1985) - Alios landais. In : « La Grande Lande. Histoire naturelle et géographie historique », Actes du colloque de Sabres (novembre 1981) - Édit. CNRS et Parc Nat. Reg., 69-82.
- Glize E. (2001) - Autour de la mine et du haut-fourneau. In : « Ressources Minérales du sol et du sous-sol des Landes de Gascogne », Actes du colloque de Brocas (mars 2000), *Travaux et colloques scientifiques*, n° 3, 133-138. PNR Landes de Gascogne édit.
- Gourdon N. (1973) - Étude de quelques concentrations en oxydes de fer dans diverses formations continentales du Bassin Aquitain. Essai de classification. Thèse de Doctorat 3<sup>e</sup> cycle, Univ. Bordeaux III, 2 t., 189 p.
- Gourdon-Platel N. (1975a) - Les alios et les garluches dans le Sable des Landes. *Bull. Soc. linn. Bordeaux*, t. V, n° 9-10, 79-87.
- Gourdon-Platel N. (1975b) - Les minerais de fer en Aquitaine et leur intérêt historique. *Bull. Soc. linn. Bordeaux*, t. V, n° 4-6, 11-25.
- Gourdon-Platel N. (1980) - Les cuirasses de fer pisolithiques du Tertiaire continental de la bordure nord-aquitaine : typologie des pisolithes et hypothèses sur leur formation. *Rev. de Géomorphologie dynam.*, t. XXIX, n° 4, 129-142.
- Gourdon-Platel N. (2001) - Minerais de fer des Landes de Gascogne : garluches et autres grès ferrugineux. In : « Ressources minérales du sol et du sous-sol des Landes de Gascogne », actes du colloque de Brocas (mars 2000), PNR Landes de Gascogne édit., 89-104.
- Gourdon-Platel N., Legigan P. (1985) - Garluches de la Grande Lande. In : « La Grande Lande. Histoire naturelle et géographie historique », Actes du colloque de Sabres (novembre 1981) - Édit. CNRS et Parc Nat. Reg. 69-80.
- Groupe de L'Île du Marais de Katevale (Québec) (2003) - Guide des milieux humides : Marais de Katevale, version 2003, (site : [ecoroute.uqcn.ca/envir.htm](http://ecoroute.uqcn.ca/envir.htm)).
- Jouannet F. (1837 à 1843) - Statistiques du Département de la Gironde, édit. Dupont, Paris. Tome 1-1837, 429 p., Tome 2-1839, 409 p., Tome 3-1843, 458 p.
- Karnay G., Dubreuilh J., Bouchet J.M. (1992) - Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille La Teste (849) et notice explicative, 52 p., Éditions BRGM, Orléans.
- Klingebiel A., Platel J.P. (2001) - Histoire géologique et structures profondes du triangle landais. In : « Ressources minérales du sol et du sous-sol des Landes de Gascogne », actes du colloque de Brocas (mars 2000), *Travaux et colloques scientifiques*, n° 3, PNR Landes de Gascogne édit., 11-33.
- Lachance F. (1995) – L'exploitation industrielle de l'ocre en Mauricie, 1850-1968, Québec. *Maîtrise*, 121 p., Univ. du Québec à Trois Rivières, Canada.
- Lagny Ph. (2003) - Bactérie et métallogénèse. In : Les bactéries (coord. : Lagny Ph., Michel J.C.), *Géochronique*, Éditions SGF–BRGM, n° 86, 21-23.
- Lalanne R. (1999) - Variation du niveau de l'océan et du lac de Sanguinet au cours des derniers millénaires. *Bull. Soc. de Borda*, Dax, 1<sup>er</sup> trimestre, 91-97.
- Leblanc J.C. (2001) - Les évolutions technologiques de la sidérurgie ancienne au charbon de bois en Europe jusqu'à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle. In : « Ressources minérales du sol et du sous-sol des Landes de Gascogne », Actes du colloque de Brocas (mars 2000), PNR Landes de Gascogne édit., 105-113.
- Legigan P. (1979) - L'élaboration de la formation du Sable des Landes, dépôt résiduel de l'environnement sédimentaire pliocène-pléistocène centraquitain. Thèse État Sciences, Bordeaux I, *Mémoire Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine*, n° 9, 428 p.
- Lescarret J.P. (1988) - La métallurgie. In : « Les landes et l'homme. Évolution naturelle et évolution dirigée des Landes de Gascogne », édit. PNR Landes de Gascogne, Centre d'Animation Graoux, 101-109.
- Lescarret J.P. (2001) - Un maître de forges landais : Dominique Larreillet. In : « Ressources minérales du sol et du sous-sol des Landes de Gascogne », actes du colloque de Brocas (mars 2000), *Travaux et colloques scientifiques*, n° 3, PNR Landes de Gascogne édit., 115-125.
- LIFE (1997) - Coastal change climate and instability : programme européen 97 env/UK000510 sur l'étude des changements et de l'instabilité de la zone littorale, Sanguinet lake, 12 p.
- Maurin B. (1998a) - 3000 ans sous les eaux. Bilan de 20 ans de recherches archéologiques subaquatiques dans le lac aquitain de Cazaux-Sanguinet. Édit. Gaïa, 40250 Larbey, 122 p.
- Maurin B., Dubos B., Lalanne R. (1999) - L'enceinte protohistorique de l'Estey du large, site archéologique sublacustre de Sanguinet. *Aquitania*, t. 15, 73-107.
- Meyer R. (1987) - Paléoolérites et paléosols. L'empreinte du continent dans les séries sédimentaires. *Manuels et Méthodes*, Éditions BRGM, Orléans, n° 13, 164 p.
- Millot M. (1984) - Les forges de Drummondville, 1880-1911 : fin d'une industrie artisanale au Québec. *Maîtrise* 338 p., Univ. du Québec à Trois Rivières, Canada.
- Platel J.P. (1991) - Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille Parentis-en-Born (847) et notice explicative, 63 p., Éditions BRGM, Orléans.
- Platel J.P., Klingebiel A. (2001) - Les sables dans les Landes : géologie et ressources industrielles. In : « Ressources minérales du sol et du sous-sol des Landes de Gascogne », Actes du colloque de Brocas (mars 2000), *Travaux et colloques scientifiques*, n° 3, PNR Landes de Gascogne édit., 173-186.
- Strakov N.M. (1947) - Les faciès de minerais de fer et leurs analogues dans l'histoire de la terre. Essai d'analyse historico-géologique du processus sédimentaire. *Trudy Inst. geol. Nauk., Ser. geol. S.S.S.R.*, n° 22, traduction n° 612, Éditions BRGM, Orléans, 265 p.
- Schut P.H. (2003) - Glossaire du site SISCan (Système d'information sur les sols du Canada).
- Tardy Y., Roquin C. (1998) - Dérive des continents. Paléoclimats et altérations tropicales. *Mémoires et Documents du BRGM*, Éditions BRGM, Orléans, 484 p.
- Tastet J.P., Pontee N. (1998) - Morpho-chronology of coastal dunes in Medoc. A new interpretation of holocene dunes in southwestern France. *Geomorphology*, 25, 93-109.
- Wyns R. (2002) - Climat, eustatisme, tectonique : quels contrôles pour l'altération continentale ? Exemple des séquences d'altération cénozoïques en France. *Bull. Inf. Bass. Paris*, vol. 39, n° 2, 5-16.

