



Available online at www.sciencedirect.com

SCIENCE @ DIRECT®

C. R. Geoscience 337 (2005) 832–840



<http://france.elsevier.com/direct/CRAS2A/>

Géomatériaux (Métallogénie)

Les placers à silice ultrapure français : étude géotologique comparative

Laurent Désindes^{a,*}, Laurent Bailly^b, Jacques Leroy^a, Marc Lespinasse^a

^a UMR CNRS 7566 G2R, BP 239, 54506 Vandœuvre-les-Nancy cedex, France

^b BRGM, REM/MESY, BP 6009, 45060 Orléans cedex 2, France

Reçu le 7 octobre 2004 ; accepté après révision le 15 mars 2005

Disponible sur Internet le 28 avril 2005

Présenté par Zdenek Johan

Résumé

Les études géotologiques comparées de deux placers français à silice ultrapure pour l'électrometallurgie du silicium et du ferro-silicium de classe européenne, les gisements de Boudeau en Dordogne et de Thédillac dans le Lot, montrent une forte similitude en ce qui concerne les sources potentielles et le mode de transport des galets de quartz, tandis qu'un même processus de karstification sous couverture comme facteur déterminant dans la formation des gisements est observé. La principale différence réside dans le nombre d'étapes nécessaires à la constitution du piège. Cette étude comparative a permis la constitution de modèles dynamiques pour la genèse de ces concentrations économiques. *Pour citer cet article : L. Désindes et al., C. R. Geoscience 337 (2005).*

© 2005 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Abstract

French high-purity silica placers: comparative geotologic study. The comparative study of two French high-purity silica placers of European class suitable for the electrometallurgy of silicon and ferrosilicon, located at Boudeau and Thédillac, in the Dordogne and Lot departments respectively, indicates strong similarities as regards the sources and the transportation of quartz, as well as a same process of undercover karstification as a determining factor in the formation of the deposits. The main difference lies in the number of the stages necessary to the formation of the trap. This comparative study allows the constitution of dynamic models for the genesis of these economic quartz concentrations. *To cite this article: L. Désindes et al., C. R. Geoscience 337 (2005).*

© 2005 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Mots-clés : Placers de quartz ultrapur ; Galets fluviatiles ; Karstification sous couverture ; Corrosion cryptokarstique ; Lot ; Dordogne ; France

Keywords : High-purity quartz placers ; Fluvial gravels ; Undercover karstification ; Cryptokarstic corrosion ; Lot ; Dordogne ; France

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : laurent.desindes@g2r.uhp-nancy.fr (L. Désindes).

Abridged English version

1. Introduction and geologic context

The metalloid element silicon is a component of many current consumer products. The main ore of silicon is quartz, with a minimum purity of 99 wt% SiO₂. In France, two main types of deposit are mined: primary veins and detrital accumulations. The latter are the most profitable deposits, for three main reasons: extraction is facilitated by unconsolidated nature of the ore, its limited need for processing, and its optimal physical and chemical properties. To guide prospection works, a sedimentological and structural comparative study as well as a search for the primary source of the pebbles were therefore undertaken for the Boudeau (Dordogne department) and the Thédillac (Lot department) deposits, which are among the biggest European class deposits in France. The studied zones are localized on the border of the French Massif Central (Fig. 1) and are covered by the sheets of Thiviers [6] and Puy-l'Évêque [1] of the Geological Map of France at 1:50 000. Mesozoic rocks are mostly littoral in origin with a greater marine influence in the southern zone. These areas finally emerged at the end of the Late Cretaceous. During the Cenozoic, the two zones were the site of discontinuous formation of large quantities of autochthonous regoliths, and deposition of their allochthonous equivalents derived from the Massif Central and from the Pyrenees, with two periods of remarkable contributions, namely the Eocene and Oligocene. The high-purity silica placers are located in these detrital sets, dated [1,2] or reinterpreted [5] as Oligocene. Tectonic studies have shown that, in this region, deformation was particularly prominent between the Early Eocene and the Oligocene, i.e. during the Pyrenean orogeny [3,4].

2. Comparative study of the high-purity silica placers

The Boudeau deposit consists of a 10- to 50-m-thick accumulation of quartz blocks, cobbles, and pebbles in a reddish, sandy to sandy-argillaceous matrix, forming beds of less than a metre to several metres thick, alternating with sandy beds containing almost no pebbles. These intervals are locally finely structured and show cross beddings (Fig. 2B).

These primary depositional structures are well preserved only in the upper parts of the thickest sections of the deposit. They give way to almost vertical, more or less curved secondary structures, a metre or more apart, and to lobate or pocket-like features (Fig. 2F) at the base of the deposit and its less thick extensions. Working faces display numerous faults with reverse (Fig. 2E) and normal geometry. These brittle structures do not show a preferential strike and are rarely continuous from one bench to the next. They are generally marked by an alignment of gravels, which do not show any fracturation.

In Thédillac, the detrital formation accumulated on more than 20 m. The sedimentary structures and the morphology of the beds are identical and are most often preserved (Fig. 2D), except for rare zones slightly disturbed presenting secondary figures identical to the Boudeau ones. N0°E, N100°E and N150°E subvertical faults with weak normal or opposite geometry affect the working face in a continuous way (Fig. 2G).

At the top of the Boudeau deposit, large cone structures filled with orange brown argillaceous sands devoid of pebbles and cutting into the underlying horizons are observed (Fig. 2A). The bedrock is sporadically revealed by the presence of scattered limestone 'teeth' of a few to ten metres in diameter and from 5 up to more than 20 m high, or floating blocks several metres in size, disconnected from their roots within the detrital formation (Fig. 2A). It is constituted by oolitic and bioclastic limestones. The gravel formation becomes progressively more argillaceous at the limestone contact. The transition from the detrital formation to the limestone is characterized by a veneer of wine-coloured or variegated plastic clays, from tens of centimetres to metres in thickness. It has a sheeted structure, with thin lenses bounded by slickensides: nearly vertical on the flanks of the limestone 'teeth', they become distinctly multidirectional at the top. Beyond this argillaceous zone, a more or less penetrative, whitish, powdery weathering rim develops in some places at the expense of the limestone; it is composed of 'chalky' oolites and/or silts.

The Thédillac deposit, in the beginning of its mining, gives only little information about limestone bedrock. It is composed of micrites or dolomitic micrites [1]. The argillaceous weathering veneer is not present and the geometry of the bedrock seems to be less irregular.

3. *Geologic interpretations*

3.1. *Sources and depositional conditions*

Recent works on the different siliceous occurrences in the basement, combined with sedimentological studies suggest that the mobilizates of the Lower (mainly) and the Upper Gneiss Unit constitute the main source of pure pebbles for Boudeau [5] and Thédillac [2] (Fig. 1). The kinds of sedimentary structures, the weak dispersion pattern obtained from palaeocurrents, and the very low rate of preservation of fine-grained flood deposits, are typical of braided stream deposits.

3.2. *The trap*

In Boudeau, the panels with vertical pebbles and the destruction of primary structures suggest reworking by natural undermining. This seems to have been caused by a progressive dissolution of the bedrock, as evidenced by the limestone pinnacles draped in a residual silty-argillaceous envelope, and the floating blocks. This particular type of subsurface weathering is known as cryptokarstic corrosion [10,14]. It leads to the development of depressions into which the overlying formation progressively sinks, producing a readjustment, and a destruction of primary sedimentary structures in the detrital horizons. The various examples of collapse structures observed are commonly found in such a situation.

In Thédillac, undermining structures are absent, but the bedrock seems to be irregular. Astruc [1] tentatively explains this peculiarity by indicating that the gravel formation came in filling from an erosion channel whose sides and bottom were shaped by former karstifications. In complement, Salomon and Astruc [14] described the Eocene formation of cryptokarsts under siderolithic cover before the deposit of the Saint-Denis–Catus Formation. The exokarst would thus have been used as a guide and a receptacle for detrital filling. Be its influence direct as in Boudeau or indirect as in Thédillac, cryptokarstic corrosion seems to constitute a determining process in the genesis of high-purity silica placers.

Tectonics seems to have a minor role in Boudeau [5]. Faults observed in Thédillac show very little apparent displacements along probably pre-existing discontinuities. These accidents could allow a localised

deepening of the economic formation, without having a determining role.

4. *Dynamic models in regional context and conclusions*

Our observations suggest the following dynamic model for the formation of these economic accumulations.

It is necessary to have as a starting point a source of high-purity quartz. Metamorphic rocks seem to be the best candidates. Next there has been a concentration of the mobilizates by differential meteoric weathering of the metamorphic rocks. In a third stage, eustatic and/or tectonic activity, probably Oligocene in age, generated a topographical slope that led to stripping of the alterites, and energetic transport (clasts with impact scars) of a coarse-grained load in major braided rivers. Finally, accumulations of economic interest were made possible at the deposition site by a conjunction of conditions that were favourable to cryptokarstic corrosion: bedrock lithology, structural setting, and climatic conditions. In Thédillac, Eocene would have been characterized by a first detrital contribution and an important weathering phase responsible of an undercover karstification. The Oligocene period would then have seen the exhumation of this cryptokarst and the filling of the depression formed by a new fluvial spreading.

In terms of exploration, this model of ore formation has enabled the identification of potential targets in Boudeau, which are currently being evaluated by geophysical methods.

1. **Introduction**

Le silicium métal intervient dans la fabrication de nombreux produits de consommation courante. Le principal minerai de silicium est la silice sous sa forme la plus répandue, le quartz, dont la pureté minimale doit être de 99 poids % SiO₂. Deux grands types de gisements sont exploités en France : des gisements primaires hydrothermaux ou pegmatitiques [12] et des gisements secondaires correspondant à des accumulations de galets de quartz. Ces derniers sont les plus rentables du fait d'une exploitation facilitée par le caractère meuble du minerai, d'un traitement réduit et

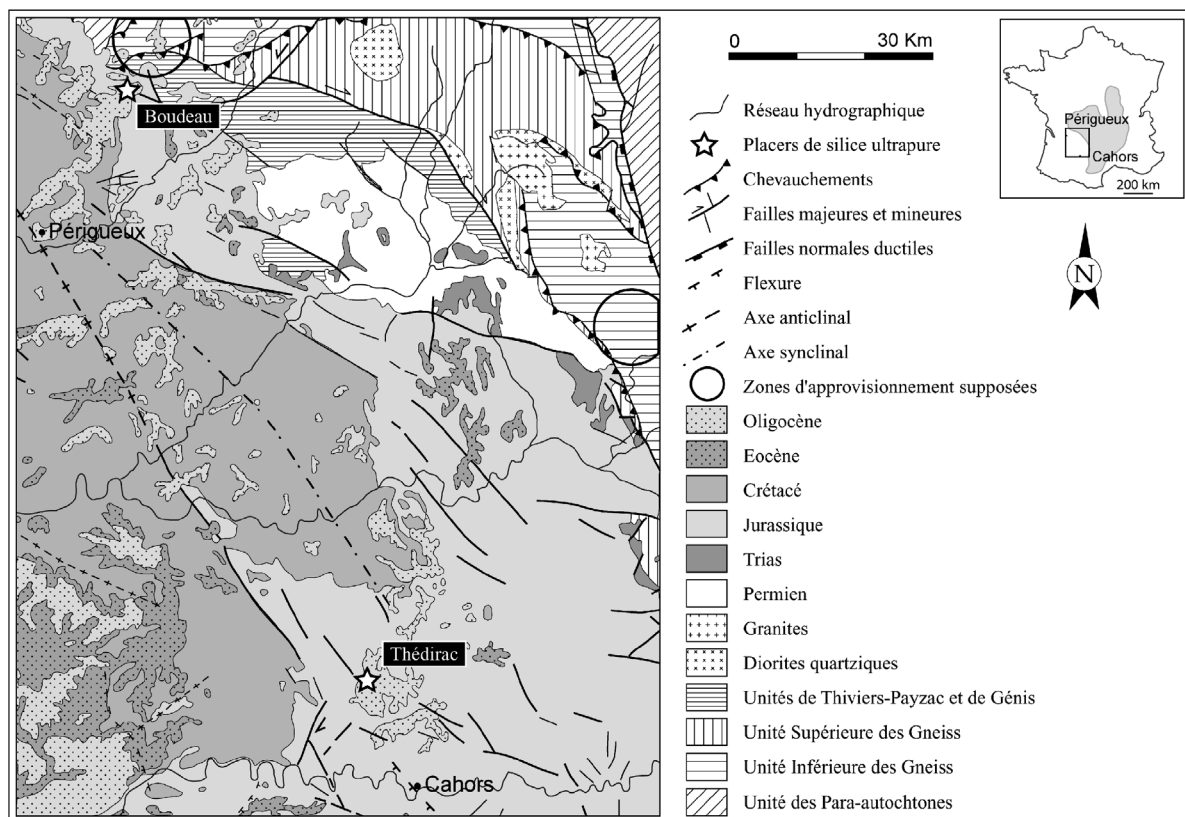


Fig. 1. Carte géologique simplifiée des zones d'étude, basée sur la carte géologique de France au 1:1 000 000, 6^e édition.

Fig. 1. Simplified geological map of the study areas, based on the 1:1 000 000 Geological Map of France, 6th edition.

de propriétés physiques et chimiques optimales dues à une présélection naturelle par altération météorique et transport, conduisant à l'élimination des discontinuités chimiques et mécaniques. Les deux plus importants placers exploités en France sont les gisements de Boudeau en Dordogne et de Thédillac dans le Lot.

Cependant, la situation actuelle devient préoccupante pour les producteurs de silicium, qui voient les ressources s'épuiser dans un marché qui augmente de 5 % par an. Il devient donc urgent de découvrir de nouveaux gisements. Comme pour n'importe quelle ressource minérale, trouver de nouveaux gisements implique de connaître leurs mécanismes de formation en étudiant des sites en exploitation, pour en déduire des guides de prospection pertinents. Une étude sédimentologique et structurale a donc été entreprise sur ces deux gisements de classe européenne.

2. Géologie régionale

Les zones d'étude se situent en bordure du Massif central, la première au nord-est de Périgueux et la seconde, plus distale, au nord de Cahors (Fig. 1). Elles sont couvertes par les feuilles Thiviers [6] et Puy-l'Évêque [1] de la carte géologique de France à 1:50 000.

Au nord, les dépôts sédimentaires, d'abord continentaux au Lias, sont restés globalement littoraux durant tout le Jurassique et le Crétacé supérieur, avec une alternance de phases marines transgressives, dont les plus importantes sont enregistrées au Toarcien et au Turonien, et de phases régressives à influences continentales [6]. Cette zone subit sa première émergence dès le Jurassique supérieur et sa dernière émergence à la fin du Crétacé supérieur. La zone sud est caractérisée par une plus forte contribution marine, du fait d'une

position plus éloignée du socle [1,2]. Durant le Cénozoïque, et de manière discontinue, les deux zones sont le siège de la formation de quantités importantes d'altérites autochtones et du dépôt quasi-continu de leurs équivalents allochtones en provenance du Massif central et des Pyrénées, avec deux périodes d'apports remarquables, l'une éocène et l'autre oligocène. Les placers à silice ultrapure sont situés dans ces ensembles détritiques datés [1,2] ou réinterprétés [5] oligocènes. Dans la zone sud, la formation détritique est connue sous l'appellation « formation de Saint-Denis-Catus » [1,2].

Sur un plan tectonique, les travaux ont montré que les déformations ont eu lieu surtout entre l'Éocène inférieur et l'Oligocène, durant l'orogénèse pyrénéenne, s'appuyant en partie sur le rejeu des accidents du socle hercynien [1–4,6,8,13].

3. Étude comparative des gisements de silice ultrapure

Le gisement de Boudeau est constitué d'une accumulation verticale de 10 à 50 m de puissance de blocs et galets de quartz dans une matrice sableuse à sablo-argileuse (kaolinites) rougeâtre, sous forme de lits inframétriques à métriques alternant avec des lits sableux pratiquement dépourvus de galets. Ces niveaux sont parfois finement structurés et présentent des litages obliques (Fig. 2B). L'éventail des directions de courant mises en évidence à partir de l'orientation statistique des galets, de leurs imbrications, des *clusters* et de la géométrie des faisceaux suggère un distributaire orienté N220°E environ. Ces structures primaires de dépôt ne sont bien préservées que dans les parties supérieures des zones les plus épaisses du gisement et disparaissent totalement en fond d'exploitation et dans les zones les plus minces. Elles font place à des structures secondaires très verticalisées ou arquées, de fréquence métrique, et à des figures lobées ou en poches (Fig. 2F). Des failles à géométrie inverse (Fig. 2E) et normale et des couloirs d'effondrements verticaux dont les épontes ne sont pas décalées ont également été observés. Ces structures cassantes, le plus souvent courbes, ne montrent pas de directions préférentielles et leur continuité est rarement assurée d'un gradin à l'autre. Elles sont le plus souvent mar-

quées par un alignement des galets, qui ne sont jamais fracturés.

À Thédillac, la formation détritique fertile s'accumule sur plus de 20 m de puissance dans la zone en cours d'exploitation. Les structures sédimentaires et la morphologie des faisceaux sont identiques et parfaitement conservées dans tout le gisement (Fig. 2D), à l'exception de rares zones faiblement perturbées présentant des figures secondaires identiques à celles observées à Boudeau. L'éventail des directions de courants est principalement compris entre N160°E et N200°E. Des failles N0°E, N100°E et N150°E sub-verticales à géométrie normale ou inverse, à faibles jeux apparents, affectent de manière continue le front de taille (Fig. 2G).

Au sommet du gisement de Boudeau, des structures décimétriques coniques, aux flancs très redressés et comblées par des sables rubéfiés dépourvus de galets, viennent entailler les niveaux sous-jacents (Fig. 2A). En périphérie de ces cônes, la formation à galets présente des évidences d'effondrement, avec basculement de panneaux plurimétriques pouvant atteindre 70°. Ces cônes sont parfois beaucoup moins imposants et présentent des flancs peu redressés. Le substratum est révélé sporadiquement par la présence de « dents » calcaires éparées, dont la taille varie de quelques mètres à une dizaine de mètres de diamètre pour 5 à plus de 20 m de hauteur (Fig. 2C) et de blocs flottants calcaires plurimétriques désolidarisés de leur racine et emballés dans la formation détritique (Fig. 2A). Il est constitué par des calcaires oolithiques et bioclastiques d'âge Bajocien supérieur à Bathonien moyen [6]. La formation à galets devient de plus en plus argileuse en se rapprochant du contact avec le substratum. La transition avec les calcaires est caractérisée par une enveloppe d'argiles plastiques lie-de-vin ou versicolores (smectites et kaolinites en proportions variables), d'épaisseur décimétrique à métrique. Elle présente une structure en feuillets et lentilles, limités par des *slickensides*. Plutôt verticaux sur le flanc des « dents » calcaires, ces derniers deviennent nettement multidirectionnels à leur sommet. Au-delà de cette zone argileuse, parfois discontinue, se développe, aux dépens des calcaires, une frange d'altération plus ou moins pénétrative, blanchâtre et pulvérulente, composée d'oolites « crayeuses » et/ou de silts. Ces observations ont également été réalisées à l'échelle régionale

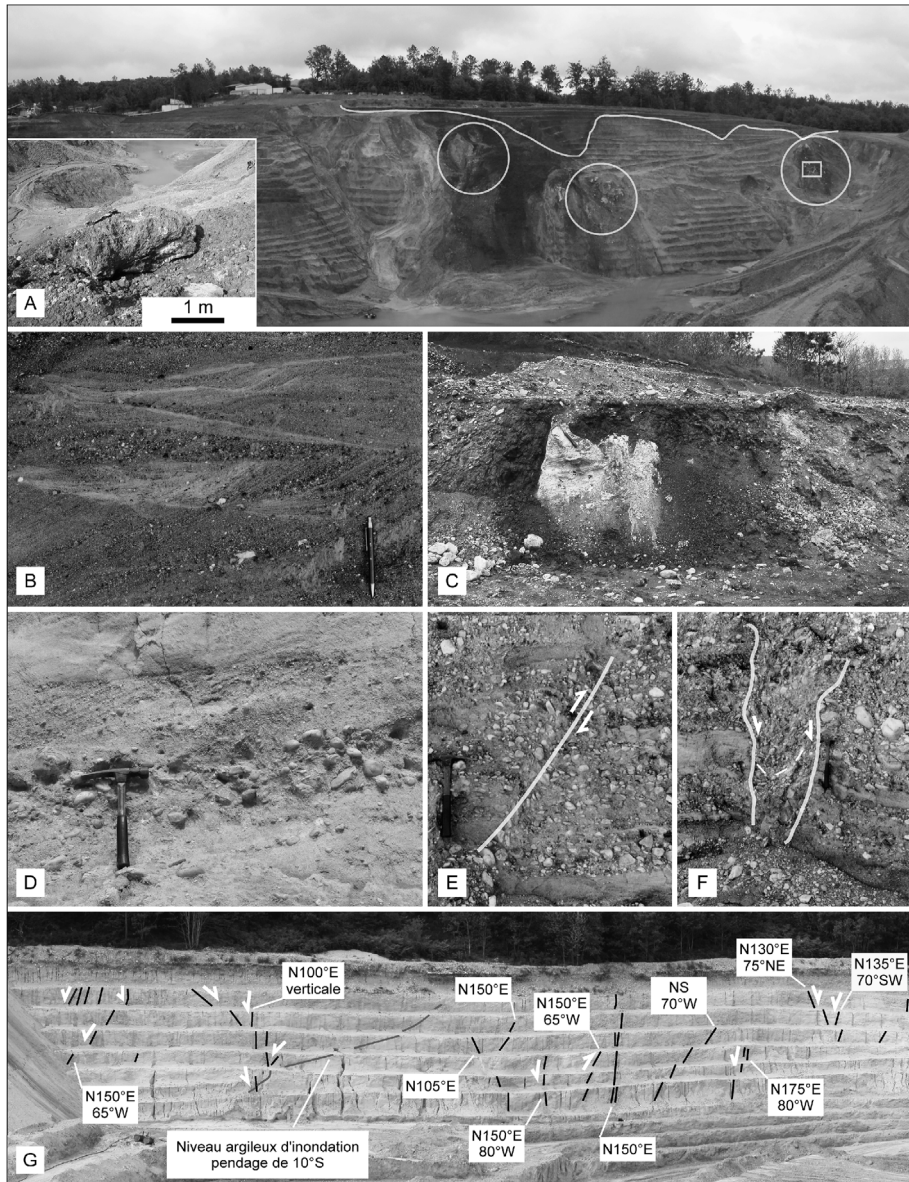


Fig. 2. Les placers à silice ultrapure de Boudeau et de Thédillac. (A) Vue du gisement de Boudeau : chaque gradin mesure 1,5 m environ. La ligne délimite les dolines estimées quaternaires. Les cercles indiquent les pointements calcaires. Le détail montre un bloc flottant effondré dont les contours sont corrodés. (B) Boudeau, litages obliques dans les niveaux fins. (C) Pinnacle de calcaire corrodé et enveloppe argileuse. (D) Thédillac, litages obliques, niveaux fins et grossiers. (E) Failles à géométrie inverse. (F) Figure de type *collapse*. (G) Vue du gisement de Thédillac : chaque gradin mesure 1,5 m environ. Les traits et les flèches montrent la trace et les jeux apparents des failles sur le front de taille. Il est possible de voir un niveau d'inondation légèrement basculé.

Fig. 2. Boudeau and Thédillac high-purity silica placers. (A) View of the Boudeau deposit: each bench is about 1.5-m high. The line delimits dolines considered Quaternary. Open circles indicate limestone outcrops; detail shows a floating, subsided block with corroded edges. (B) Boudeau, cross-beddings in fine-grained horizons. (C) Pinnacle of corroded limestone and argillaceous veneer. (D) Thédillac, cross-beddings, fine and coarse-grained horizons. (E) Faults with reverse geometry. (F) Collapse-type feature. (G) View of the Thédillac deposit: each bench is about 1.5-m high. Lines and arrows show the trace and the apparent displacements of faults in the working face. One can see an inundation level slightly rocked.

dans des gisements satellites et à la faveur de travaux routiers [5].

Le gisement de Thédillac, encore en début d'exploitation, n'a livré que peu d'informations sur le substratum calcaire, si ce n'est la présence de quelques « pointements », de dimension similaire à ceux de Boudeau. Il s'agit de calcaires micritiques à dolomictiques d'âge Portlandien [1]. Il n'existe aucune frange d'altération argileuse au contact des calcaires et la géométrie du substratum semble moins irrégulière.

4. La source des galets et le mode de transport

Dans les deux exploitations, les galets et les blocs sont très majoritairement siliceux. Ils ont un diamètre plus important à Boudeau (de 30 à 400 mm, 80 mm en moyenne) qu'à Thédillac (60 mm en moyenne). Le degré d'éroulement des galets est plus élevé à Thédillac. Ils présentent très souvent des traces de chocs acquises durant le transport. La matrice sablo-graveleuse est plus grossière à Boudeau, avec un diamètre moyen des éléments de 3 mm, contre moins de 2 mm à Thédillac. Ces différences morphométriques s'expliquent par le caractère plus proximal du système de Boudeau par rapport aux sources potentielles. Les caractéristiques macroscopiques et microscopiques des quartz des deux gisements sont fortement similaires. Des travaux sur les différentes occurrences siliceuses situées dans le socle, en amont des gisements, ont permis de distinguer cinq types principaux : les filons de quartz hydrothermaux, les quartz pegmatitiques, les quartzites, les exsudats métamorphiques et les filons de basse température, de type brèches tectoniques hypersilicifiées. Les investigations et les typologies macroscopiques et microscopiques ont montré que les exsudats contenus dans les unités inférieure (surtout) et supérieure des gneiss du Sud limousin (Fig. 1) semblent constituer la principale source des galets de Boudeau [5] et de Thédillac [2], tandis que les filons ne représentent que des sources accessoires.

Le mode de transport a été identique dans les deux zones. Les différentes figures sédimentaires observées, la faible dispersion des paléocourants déduits et le faible taux de préservation des dépôts fins d'inondation, sont caractéristiques de dépôts de cours d'eau en tresse.

5. Caractérisation du piège

À Boudeau, la formation de couloirs de galets verticalisés et l'effacement des structures primaires sont caractéristiques d'un remaniement par soutirage. Ce dernier semble être provoqué par une dissolution progressive du substratum, dont les pinacles calcaires, drapés d'une enveloppe argilo-silteuse résiduelle, et les blocs flottants sont les témoins. Ce type particulier d'altération sous couverture est connu sous le nom de corrosion cryptokarstique [10,14]. Il conduit au développement de dépressions dans lesquelles la formation de couverture s'enfoncé progressivement, provoquant un réajustement et une destruction des structures sédimentaires primaires et conduisant à l'apparition d'une morphologie du substratum faite de dômes et de creux, très irrégulière et d'échelles variables [5]. Les différentes figures de type *collapse* et les failles à géométrie normale et inverse se rencontrent fréquemment dans un tel contexte. Ce processus d'altération est amplifié dans les zones caractérisées par une disposition structurale propice à la concentration et à la circulation des fluides de nappes alluviales. La surface enveloppe des points culminants de la formation fertile en demi-dôme et la nette divergence des circulations endokarstiques actuelles [5] montrent que Boudeau a constitué et constitue toujours une importante zone de drainage.

À Thédillac, les traces de soutirage sont très mineures. Cependant, le substratum peu altéré en surface semble également assez irrégulier. Comment expliquer alors conjointement la conservation des structures sédimentaires et le caractère irrégulier du substratum, laissant supposer une karstification sous couverture ? Astruc [1] répond en partie à cette question, en indiquant que la formation à galets est venue en comblement d'un couloir d'érosion dont les flancs et le fond ont été façonnés par des karstifications antérieures. L'auteur ne précise pas la nature de ces karstifications mais, compte tenu des apports détritiques et des grandes phases d'altération paléogènes, la karstification sous couverture semble très vraisemblable. En complément, Salomon et Astruc [14] ont décrit, dans la région, la formation de cryptokarsts éocènes sous couverture sidérolithique, puis certainement sous couverture des altérites crétacées, avant le dépôt de la formation de Saint-Denis-Catus. Après décapage par érosion fluviale, ce karst aurait ainsi

servi de guide et de réceptacle à l'épandage détritique. Il est à noter que la zone de Thédillac est également propice à la concentration des circulations des fluides de sub-surface, car elle s'inscrit dans une série de cuvettes synclinales d'axes NW–SE, elles-mêmes inscrites dans un synclinorium quercynois [2].

Que son influence soit directe comme à Boudeau, ou indirecte comme à Thédillac, la corrosion cryptokarstique semble constituer un processus déterminant dans la genèse des placers à silice ultrapure.

Qu'en est-il maintenant du rôle de la tectonique ? À Boudeau, elle ne semble avoir joué aucun rôle majeur [5]. Les failles observées à Thédillac (Fig. 2G) sont l'expression du jeu ou du rejeu, durant l'orogénèse pyrénéenne, d'accidents parfois plus anciens. Les déplacements apparents sont le plus souvent inférieurs au mètre. Ces petites failles proviendraient d'un léger rejeu de discontinuités préexistantes du substratum et n'ont pas eu un rôle déterminant dans la formation du gisement.

Les structures coniques de Boudeau, supposées quaternaires (tests palynologiques en cours), sont interprétées comme des dolines. Les cônes aux flancs très redressés sont caractéristiques de dolines d'effondrement attestant une jonction avec un endokarst, tandis que les cônes aux flancs peu redressés sont issus de la dissolution des calcaires ou de phénomènes de suffosion [7]. Ces structures en cône et la découverte de cavités plurimétriques en dôme au cœur de la formation à galets à Boudeau indiquent que l'endokarst a été actif après le dépôt et que son activité perdure aujourd'hui. Il a pu également jouer un rôle améliorant lors du dépôt, en permettant des surépaississements localisés par effondrement de cavités endokarstiques. Astruc [1] a cartographié des dolines dans la zone de Thédillac à l'aplomb des calcaires et de la formation à galets. Leur dispersion et les soutirages très localisés dans le gisement indiquent également une activité de l'endokarst.

6. Modèles dynamiques ramenés au contexte régional

Pour le gisement de Boudeau, il était nécessaire de disposer au départ d'une source de quartz de grande pureté, les roches métamorphiques semblant être les meilleures roches mères. Ensuite est intervenue une

concentration des exsudats de quartz par alternance de dépôts, re-mobilisations et altérations météoriques différentielles successives, sous des climats paléocènes et éocènes très humides. Astruc [2] favorise également cette hypothèse pour les formations à galets du Lot. Dans un troisième temps, une activité eustatique et/ou tectonique, probablement oligocène, a généré un gradient topographique à l'origine du décapage des altérites et du transport énergétique (galets percutés), en continu, d'une charge grossière dans de grands cours d'eau en tresse. L'apport massif a été facilité par une période de rhexistase, avec des climats oligocènes plus arides [1,13]. Enfin, l'accumulation d'intérêt économique sur le lieu de dépôt a été rendue possible grâce à une conjonction de conditions favorables à la corrosion cryptokarstique, tardi-oligocène ou miocène [5,11] : la lithologie du substratum, poreux, avec assez peu d'insolubles, le dispositif structural et les conditions climatiques miocènes très humides. Ce processus a été amplifié grâce à l'apport continu de matériaux du socle.

Pour le gisement de Thédillac, la période éocène aurait été caractérisée par un premier apport détritique suivi d'une importante phase d'altération des terrains créacés, à l'origine du développement d'un karst sous couverture. L'Oligocène aurait alors vu l'exhumation de ce cryptokarst et le comblement de la paléo-dépression ainsi formée par un nouvel épandage fluvial. L'hypothèse d'un premier cryptokarst éocène peut également être proposée à Boudeau, certains auteurs en faisant état dans le Périgord [6,9,11]. Il est cependant difficile, par manque d'arguments de terrain, de trancher quant à la surimposition de deux épisodes d'altération cryptokarstique dans cette zone.

7. Conclusions

Cette étude a permis de proposer un mécanisme d'altération sous couverture, la corrosion cryptokarstique, comme facteur déterminant, direct ou indirect, dans la genèse des placers de silice ultrapure. Elle a également mis en évidence des similitudes et des différences entre les gisements et permis d'affiner les guides de prospection. Des cibles potentielles ont été identifiées en Dordogne et une mission géophysique est prévue pour valider le modèle de gîte. Les premiers travaux réalisés sur l'origine probable des galets de

quartz suggèrent que les exsudats de l'unité inférieure des gneiss du Massif central constituent l'essentiel du gisement. Cette hypothèse est en cours de vérification par des méthodes géochimiques.

Remerciements

Nous souhaitons remercier MM. d'Agier, Linglois, Masurel et Pouliquen, de la société DAM, pour leur accueil et leurs précieux conseils durant cette étude. Nous tenons également à remercier Marc Durand pour sa relecture pertinente du manuscrit.

Références

- [1] J.G. Astruc, Notice explicative de la Carte géologique de la France au 1:50 000, feuille Puy-l'Evêque 856, BRGM, Orléans, 1986.
- [2] J.G. Astruc, Le paléokarst quercynois au Paléogène, altérations et sédimentations associées, Doc. BRGM 133, Orléans, 1988.
- [3] J.-L. Blès, D. Bonijoly, C. Castaing, Y. Gros, Successive post-Variscan stress fields in the French Massif Central and its border (western European Plate): comparison with geodynamic data, *Tectonophysics* 169 (1989) 79–111.
- [4] D. Bonijoly, J.-L. Blès, Histoire tectonique du Quercy (bordure nord-est du bassin d'Aquitaine, France) : géométrie, cinématique et chronologie des déformations cassantes, *Bull. Soc. géol. France* 5 (1983) 775–784.
- [5] L. Désindes, M. Durand, L. Bailly, S. Jaillet, V. Bouchot, M. Lespinasse, M. Pouliquen, J.-M. Ostermann, J. Leroy, Genesis of the Dordogne (France) high-purity silica placers, *Int. J. Earth Sci.*, submitted for publication.
- [6] J.-P. Floc'h, P.-L. Guillot, J.-P. Platel, P. Pouchan, J.-P. Raynal, M. Recoing, P. Roger, E. Sellier, J.-P. Texier, Notice explicative, Carte géologique de France au 1:50 000, feuille Thiviers 735, BRGM, Orléans, 1979.
- [7] D. Ford, P. Williams, *Karst Geomorphology and Hydrology*, Chapman and Hall, London, Glasgow, Weinheim, New York, Tokyo, Melbourne, Madras, 1989.
- [8] J.-P. Gély, K. Sztràkos, La tectonique pyrénéenne à l'Oligocène : une phase majeure de déformation en compression méconnue du Bassin aquitain (France), *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. IIA* 332 (2001) 507–512.
- [9] N. Gourdon-Platel, J. Dubreuilh, Les ferruginisations et les argiles associées au paléokarst tertiaire du Périgord (Dordogne, France), in: J.N. Salomon, R. Maire (Eds.), *Karsts et évolutions climatiques*, Presses Universitaires de Bordeaux, Bordeaux, 1992, pp. 449–460.
- [10] S. Jaillet, Un karst couvert de bas-plateau : le Barrois, structure, fonctionnement, évolution, thèse, université Bordeaux-3, 2000.
- [11] J. Nicod, *Karsts, paléo-géomorphologie, paléo-environnements. Panoramas des recherches récentes en France (1992–2001)*, *Géomorphologie : relief, processus, environnement* 3 (2002) 253–268.
- [12] J.-F. Pasquet, La silice ultra-pure ; recherche de sources d'approvisionnement. Rapport BRGM n° 30609 GEO SGN 90, document non publié, 1990.
- [13] P. Renault, R. Simon-Coinçon, J.G. Astruc, Problèmes des causses du Quercy, in: J.-N. Salomon, R. Maire (Eds.), *Karsts et évolutions climatiques*, Presses universitaires de Bordeaux, Bordeaux, 1992, pp. 469–496.
- [14] J.-N. Salomon, J.-G. Astruc, Exemple en zone tempérée d'un paléo-cryptokarst tropical exhumé, in: J.-N. Salomon, R. Maire (Eds.), *Karsts et évolutions climatiques*, Presses Universitaires de Bordeaux, Bordeaux, 1992, pp. 431–445.