

Les silicifications tertiaires en Anjou : caractérisations géologique, minéralogique et géochimique *

Jérôme MOUYOUNGOU (1)

Mots-clés : Silicification (Perron), Tertiaire (Meulière), Orthoquartzite.
Sarthe, Mayenne, Indre-et-Loire, Maine-et-Loire, Anjou.

Résumé

Dans le sud-ouest du bassin de Paris, on trouve d'importantes silicifications qui affectent des matériaux variés. Trois groupes de silicifications, étroitement liés à la nature du substrat géologique, peuvent se distinguer : les quartzites, les perrons et les meulières.

En Anjou, zone bordière du Massif armoricain, ces transformations s'observent principalement dans le Sénomien sablo-argileux et dans les dépôts lacustres de l'Éocène supérieur.

L'analyse des lames minces montre que les perrons et les meulières contiennent de nombreuses structures pédologiques qui témoignent d'une origine « météorique ». Les quartzites renferment peu de structures d'illuviation à l'exception de nourrissages de grains et de rares structures de bioturbation, leur origine serait liée aux paléonappes sous climat humide contrasté. La composition minéralogique de la plupart des silicifications est à dominante de microquartz, tandis que leur composition géochimique montre des teneurs variables en oxydes de titane, en général faibles pour les quartzites et assez élevées pour les perrons et les meulières. Cette étude confirme qu'on retrouve en Anjou les quatre périodes de silicification reconnues dans le Bassin parisien.

Abstract

In the south west of the Paris Basin important silicifications which affect varied materials are found. Three groups of silicifications, closely linked with the geological nature of the substratum, can be distinguished : quartzites, « perrons » and millstones.

In Anjou, a zone which borders on the edge of the Armorican Massif, these modifications are observed mainly in the sandy and clayey Senonian, and in the upper Eocene lake deposits. Thin section analysis of perrons and millstones show many pedological structures which reveal their weathering origin. Quartzites contain few illuviation structures with the exception of quartz grain overgrowths and fewer bioturbation structures. Their origin may be linked with underground paleosheets in humid and contrasted climate. The mineralogical composition of most silicification is essentially made up of microquartz, while their geochemical composition shows varying contents of titanium oxide which are generally low for the quartzites and rather high for perrons and millstones. This study confirms that in Anjou the four periods of silicification recognized in the Paris Basin are also to be found.

Introduction

Les silicifications de l'Anjou ont fait l'objet de peu de travaux comparativement au reste du bassin parisien où ces cuirassements ont été étudiés par plusieurs auteurs (réf. in Rasplus, 1982 et Thiry, 1981).

La plupart des grès blancs trouvés en Anjou seraient d'âge sénonien (Boulay, 1888 ; Welsch, 1897 a ; Yvard, 1978) ou éocène (Herbert, 1862 ; Crie, 1879 ; Couffon, 1908-1909 ; Lecointre, 1947 ; Denizot, 1949 et 1972).

Ces silicifications affectent des matériaux variés (argiles, sables, calcaires, conglomérats) et occupent des

positions géomorphologiques souvent différentes. La figure 1 montre quatre profils de référence, représentatifs des silicifications rencontrées en Anjou dans lesquelles peuvent être distingués les perrons (fig. 1 A), les quartzites (fig. 1 B, C) et les meulières (fig. 1 D).

1. - Les Perrons d'Anjou

A. Définition

Le terme perron, utilisé par de nombreux auteurs, désigne d'importantes silicifications qui affectent les matériaux argilo-siliceux sénoniens dans le sud-ouest du bassin parisien. Les perrons se présentent assez souvent en petits massifs d'épaisseur variable dont la longueur peut atteindre 4 mètres et plus (Rasplus, 1982).

(1) Université d'Angers, Faculté des Sciences, Laboratoire de Géologie, 2, boulevard Lavoisier, 49045 Angers.

* Manuscrit déposé le 23 janvier 1987, accepté le 11 février 1989.

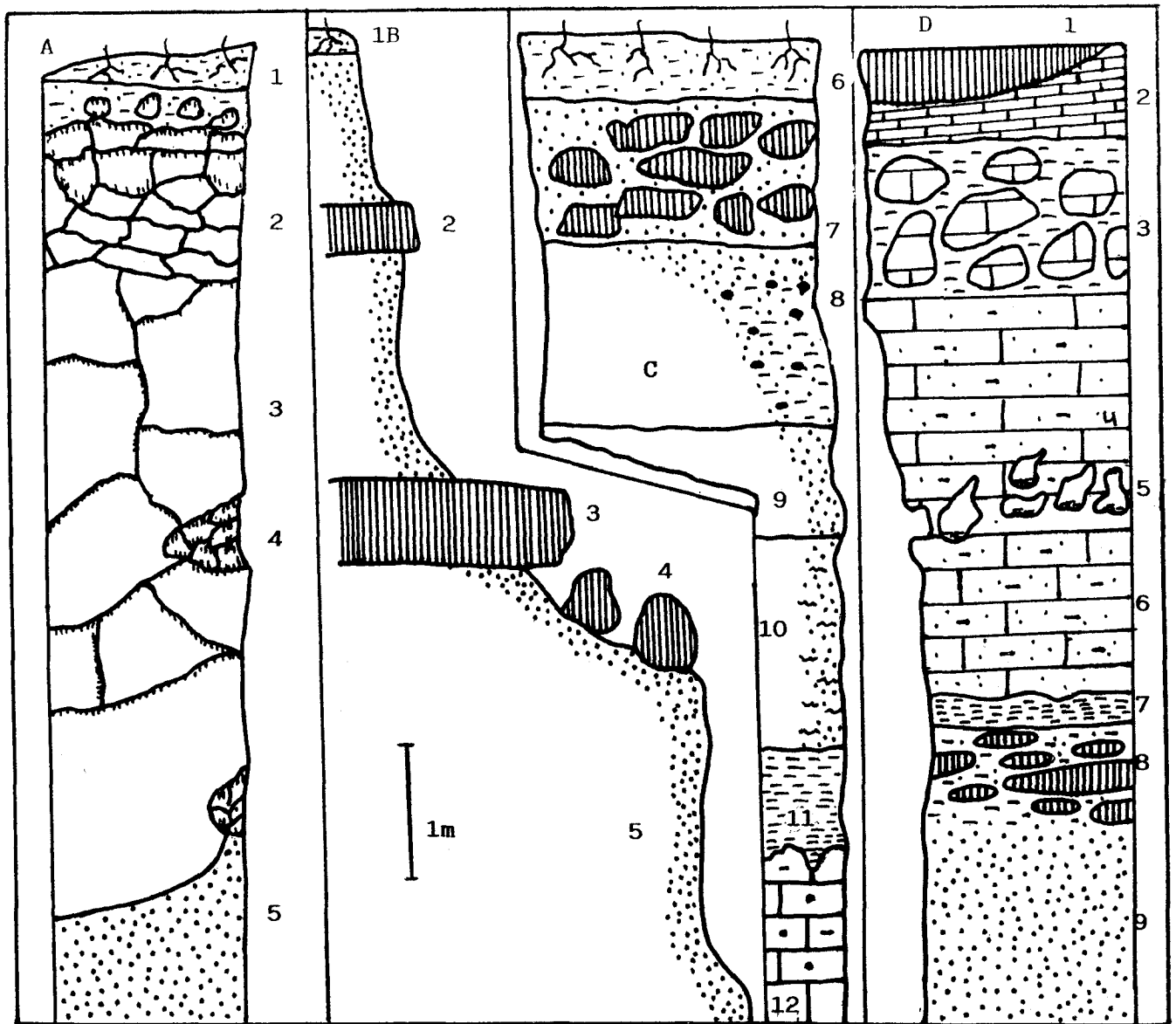


Fig. 1. - Profils types des silicifications trouvées en Anjou.

A. Perron : 1. Sol ; 2. Horizon altéré ; 3. Horizon sain ; 4. Volumes altérés ; 5. Sables sénoniens.

B.C. quartzites : 1.6. Sol ; 2.3. Dalles quartzitiques ; 4. Blocs quartzitiques ; 5. Sables sénoniens ; 7. Quartzite bréchifié ; 8.9.10. Horizons sableux à graviers (8) et raies argilo-ferrugineuses (10) ; 11. Argile de décarbonatation du Tuffeau ; 12. Tuffeau.

D. Meulière : 1. Lentille rose silicifiée ; 2. Dalles calcitiques à débit polyédrique ; 3. Encroûtement nodulaire ; 4. Calcaire crayeux tendre ; 5. Calcaire pulvérulent et argile dans les poches micro-karstique ; 6. Encroûtement feuilleté argilo-sableux à nodule siliceux ; 7. Argile de décarbonatation ; 8. Niveau à lentilles et nodules quartzitiques ; 9. Sables sénoniens de bas.

B. Caractères des perrons d'Anjou

1. Caractéristiques lithologiques

Ce sont des roches souvent massives, couvertes ou non par des sables sénoniens, et couramment affectées par des ferruginisations contemporaines ou postérieures à la silicification.

Ils présentent trois caractéristiques principales à l'affleurement :

- une couleur brun-jaunâtre à rouge ocre, en relation directe avec les oxydes de fer et de titane (Thiry, 1981).
- une cassure lustrée, très tranchante, à grains de quartz détritique peu ou pas visible à l'œil nu.
- des structures noduleuses, mono- ou polyenrobées,

semblables aux structures observées par Rasplus (1982) dans les perrons de Touraine.

2. Structures microscopiques

Les faciès communs des perrons montrent rarement les grains détritiques car ils sont souvent profondément altérés et intégrés dans la masse argilo-siliceuse ou siliceuse crypto-cristalline. En revanche, quelques zones moins silicifiées apparaissent formées de grains de quartz corrodés et fragmentés, noyés dans une matrice argilo-siliceuse riche en matière organique. On ne voit pas de nourrissage de grains, et des concentrations de squelette ainsi que des volumes délavés s'observent dans le fond matriciel, témoignant de conditions d'hydromorphie antérieure à la silicification.

La masse siliceuse des perrons apparaît constituée de faciès quartzeux cryptocristallins et microcristallins homogènes ou pseudobréchiques plus ou moins restructurés en mégaquartz secondaire. Elle montre souvent de nombreux nodules siliceux ou ferrugino-siliceux riches en leucoxènes. Ces nodules sont affectés par des fissurations radiales ou concentriques semblables à celles décrites par Brewer (1964) dans les sols.

A l'échelle macroscopique, on remarque assez souvent l'intégration de ces nodules dans des regroupements plus grands par dissolution de la matrice siliceuse et précipitation de silice dans les espaces internodulaires. De nombreux cutanes, souvent silicifiés en microquartz, coiffent la plupart des nodules.

La géotropie souvent normale de ces éléments indique le sens des percolations hydriques de haut en bas au cours des remaniements. Les cutanes tapissent aussi la base des vides dont la partie restante est comblée par des dépôts d'opale, de microquartz, de calcédonite ou d'oxydes de fer. De nombreux morceaux d'anciens cutanes (les papules) s'observent dans la plupart des perrons ; ils témoignent de l'existence d'organisations pédologiques antérieures et sont à relier à d'anciens horizons argilliques atteints par la silicification. Des fissurations attribuables à la dessiccation plus ou moins cimentées en microquartz ou en opale, affectent couramment ces perrons et témoigneraient de périodes d'intense évaporation au cours des derniers épisodes de silicification. Dans les zones ferruginisées, ces fentes de dessiccation et les fissures de dissolution sont tapissées d'oxydes de fer et de titane.

Le nourrissage des pseudogravelles et de quelques rares grains détritiques est centrifuge, contrairement à celui des vides et fissures qui est centripète. Ce nourrissage est constitué de microquartz dont la dimension augmente en s'éloignant du support ; dans les vides et les fissures il est souvent formé par la succession : microquartz ou lussatite-calcédonite-mégaquartz en position centrale.

3. Caractères minéralogiques et géochimiques

L'analyse minéralogique par diffractométrie de Rayons X montre que l'essentiel des perrons est constitué par du quartz avec des quantités faibles de smectites et de kaolinite. La goéthite est largement représentée dans les faciès ferruginisés, accompagnée parfois d'hématite et d'anatase.

L'analyse géochimique réalisée sur plusieurs échantillons de perrons montre leur pauvreté en éléments majeurs à l'exception de la silice. Le fer présente des quantités élevées dans les faciès ferruginisés. On note aussi des teneurs appréciables en titane (0,5 à 3 %). Parmi les éléments mineurs, seuls le baryum et le vanadium montrent des valeurs élevées (80 à 300 ppm).

2. Les quartzites

Du nord au sud de l'Anjou on connaît de nombreux gisements gréseux parfois quartzitiques à l'affleurement ou sous une épaisseur variable de sable sénonien (Denizot, 1972 ; Yvard, 1978). Ces quartzites occupent

souvent les parties hautes de la topographie où ils sont parfois associés à des horizons humiques d'origine pédologique.

Caractères généraux des quartzites de l'Anjou

1. Caractères physiques

Les dalles quartzitiques présentent de nombreux points communs qui permettent de les distinguer des perrons :

- une couleur gris-blanc, rarement brun rouge,
- une cassure souvent grenue à grains de sable détritiques tranchés ou contournés. Cette cassure est parfois lustrée indiquant une bonne agrégation des grains.
- un grain souvent calibré et homogène (inférieur à 300 μm), mais pouvant être localement plus grossier (graviers, galets siliceux et débris de spongiaires quartzifiés).

Leur dureté est variable, allant du grès tendre au quartzite très induré. Des débris de fossiles végétaux indéterminés sont couramment rencontrés dans certains quartzites. Le désilicification superficielle de ces dalles conduit à des morphologies contournées, avec des crevasses et des bourrelets. Leur désagrégation donne des blocs chaotiques ou épars, souvent déplacés sur les pentes par gravité.

2. Structures microscopiques

Dans la plupart des quartzites étudiés, le squelette apparaît formé de grains de quartz souvent corrodés, cimentés par une matrice microquartzreuse et/ou siliceuse amorphe, en disposition intertextuelle. Ces grains contiennent des granules et des pigments d'oxyde de titane et leur pourtour est souvent souligné par un liseré d'impuretés. Le nourrissage des grains est souligné par des auréoles mono- ou polylamellaires complètes ou partielles ; il n'est observable que pour certains types de quartzites.

D'une manière générale les quartzites formés sous couverture sédimentaire présentent peu de structures d'illuviation, à l'exception de quelques vides ovoïdes à parois lisses ou illuviées en microquartz. En revanche, les quartzites formés par pédogenèse superficielle montrent des cutanes, souvent silicifiés en microquartz ou en opale, ainsi que des fragments de cutanes parfois intégrés dans le fond matriciel. Dans cette catégorie, on observe aussi des structures tubulaires (pédotubules) soit à remplissage siliceux sans dichotomie, soit à remplissage en cupules emboîtées, témoignant d'une « ambiance biopédogénétique » au cours de la silicification.

3. Caractères minéralogiques et géochimiques

L'analyse effectuée sur plusieurs échantillons de quartzites montre qu'ils sont essentiellement formés de quartz associé à de faibles quantités de smectites et de feldspaths potassiques. La kaolinite n'est décelable qu'en très faible proportion dans quelques faciès. Les colorations de certains quartzites sont attribuées aux oxydes de fer ou de titane, sous forme de goéthite et

anatase et/ou de leurs formes amorphes. Les sables meubles encaissant les dalles quartzitiques montrent des quantités faibles de smectites, kaolinite, feldspaths et micas.

Du point de vue géochimique, ces quartzites montrent une grande pauvreté en éléments majeurs, à l'exception bien sûr de la silice (> à 90 %) et du fer dont les valeurs de 2 à 3 % dans la plupart des faciès augmentent de façon logique dans les faciès ferruginisés (30 à 60 %). Dans tous les faciès quartzitiques, le titane est décelable en quantité appréciable (1 à 2 %). Parmi les éléments mineurs, seuls le baryum et le vanadium montrent des valeurs élevées (> 50 ppm). Ces éléments, dont les teneurs sont faibles dans les sables (10 à 15 ppm), sont à relier aux paléo-nappes qui auraient favorisé leur concentration en les piégeant dans les zones de battement hydrique.

3. Les meulière

A. Description

Les silicifications de type meulière affectent la plupart des faciès calcaires lacustres des bassins de Noyant au nord de l'Anjou et de Champigny au sud. L'âge des calcaires est rapporté au Ludien (Couffon, 1908 ; Denizot, 1972). Cependant certains auteurs pensent qu'en Anjou ces faciès carbonatés lacustres auraient un âge marinésien (Thiry, 1981).

Deux types de silicification affectent ces faciès :

— à la base une silicification précoce se traduit soit par une légère grésification qui affecte le contact entre les sables sénoniens et les calcaires de Noyant, soit par un développement d'accidents siliceux (Cherts et rognons de silex) en lits parallèles à la stratigraphie dans les niveaux inférieurs du calcaire de Champigny.

— une silicification ou calcitisation tardive en dalles, d'origine pédologique, observées sur les versants de certains vallons.

La dissolution sélective de ces niveaux supérieurs aboutit à l'individualisation de faciès pseudobréchiques, « cellulés » et rognonneux, très caractéristiques des formations de Noyant. Le front de décarbonatation s'enfoncé dans le profil, donnant de nombreuses poches microkarstiques dans lesquelles s'accumulent des argiles et des calcaires pulvérulents. Ces poches sont le siège des néosilicifications (Thiry, 1981) sous forme de calcédonite ou de lutécite et de petits quartz hipyramidés (Menillet *et al.*, 1980 ; Thiry, 1981). Dans les meulière plus évoluées observables vers le centre du bassin parisien, ces poches seraient le siège de néogénèses de kaolinite (Menillet, *et al.*, 1980).

Tout au sommet des formations carbonatées, des phénomènes de brunification ou d'humidification subactuels ont conduit à la différenciation de petits sols bruns et de rendzines.

Les silicifications précoces de base (grésification et chertisation ou silexisation) sont interprétées comme étant subcontemporaines du dépôt, alors que les transformations complexes supérieures seraient plus tardives.

B. Structures microscopiques

Les faciès gréseux de base montrent un squelette composé essentiellement de grains de quartz corrodés ou microdivisés, cimentés par une matrice microquartzéuse plus ou moins abondante. Ces faciès sont dépourvus de structures d'illuviation ; en revanche ils contiennent des nodules probablement ferrugineux, mono- ou polynucléés à couronne lisse ou fibro-radiée. Lorsque ces nodules sont partiellement dissous on observe, soit la couronne seule (parfois fragmentée), soit un cœur métallique induré, seul ou avec quelques récurrences de la couronne. Dans les faciès purement calcaires les cœurs des nodules sont souvent dissous et remplacés par une sparite fine. Ces faciès calcaires ont souvent un fond matriciel homogène formé de rares grains de quartz noyés dans une matrice micritique. Ils sont perturbés d'une part par des dissolutions de micrite accompagnées de nourrissages sparitiques des grains et des vides et, d'autre part, par des pseudomorphoses de certains grains par une sparite fine. On observe aussi des récurrences pseudo-gravellaires de micrite dans les niveaux très sparitisés.

De nombreux revêtements argileux et des structures tubulaires parsèment la plupart des faciès calcaires supérieurs témoignant ainsi de leur origine pédologique. Les niveaux silicifiés apparaissent formés de silice cryptocristalline avec quelques plages microquartzéuses issues des recristallisations de silice dans les vides de dissolution des pseudogravelles micritiques.

Le front de silicification, souvent ondulé, est souligné par des digitations siliceuses en « langue » qui s'enfoncent dans le calcaire micritique et par des concentrations opaques riches en matière organique.

Ces faits montrent que la silicification « per descensum » évolue par remplacement de la micrite par une silice cryptocristalline avec balayage des impuretés organiques et argileuses qui s'accumulent dans les niveaux inférieurs. Ces impuretés organiques issues de la pédogénèse (acides humiques et acides fulviques) déterminent une acidité potentielle importante utilisée pour les dissolutions en profondeur. Les grains de quartz détritiques dans les niveaux silicifiés sont réorganisés en silice moins cristallisée. A la base du front de silicification, ces quartz sont pseudomorphosés ou nourris par du calcium chassé lui-même des horizons silicifiés. Le mécanisme meulière serait le couple « dissolution/précipitation » qui aboutit à des désilicifications et des néosilicifications calcédonieuses et quartzéuses ainsi qu'à des néogénèses de kaolinite dans les niveaux inférieurs des profils de meulière. Ce mécanisme est conforme à celui décrit par Menillet (1980).

C. Caractères minéralogiques et géochimiques

Les faciès gréseux à la base et silicifiés au sommet sont constitués de quartz accompagné de smectites et de traces de calcite.

Les faciès non silicifiés ont une composition semblable avec en plus de l'attapulgite et de la sépiolite.

Bien que la kaolinite et l'illite n'aient pas été décelées, elles existent dans des meulière plus évoluées

que l'on observe vers le centre du bassin de Paris (Menillet, *op. cit.*).

Les faciès siliceux montrent des faibles teneurs en CaCO_3 (1 à 6 %). En revanche, ces valeurs sont assez élevées dans les horizons calcaires non silicifiés (34 à 40 %) et très élevées dans les niveaux non décarbonatés (78 %). Les teneurs en fer sont plus fortes dans les faciès siliceux (0,7 à 1,23 %) que dans les faciès calcaires (0,23 à 0,35 %). La valeur maximale de 1,23 % a été obtenue dans le faciès gréseux de base et serait probablement liée aux nodules ferrugineux microscopiques présents dans ces faciès. Le titane montre des valeurs comprises entre 0,5 et 0,8 %. Les autres éléments majeurs manganèse, aluminium, sodium, potassium sont présents en faible quantité dans tous les faciès.

Les variations de la teneur en calcium très élevée dans les faciès calcaires (62 à 70,8 %), faible dans les niveaux siliceux (0,5 à 2,1 %) sont sans doute liées à des lessivages au niveau des zones silicifiées. Le calcium chassé migre dans des horizons inférieurs, donnant ainsi des pseudomorphoses calcitiques de quartz détritiques et/ou de pseudogravelles apatitiques, ainsi que des remplissages de vides.

Le magnésium, dont les valeurs atteignent 0,25 % dans les faciès siliceux et 1,5 à 2 % dans les faciès non siliceux, serait lié aux argiles fibreuses (sépiolite, attapulgite) ou aux carbonates (Trauth, 1977 ; Menillet, 1980).

Comme précédemment parmi les éléments mineurs dosés, seuls le baryum et le vanadium montrent des valeurs appréciables (30 à 80 ppm).

4. Discussion

Les silicifications connues dans le bassin de Paris sous des appellations particulières (perrons, grès à sabalites, grès ladères, meulrières) ont fait l'objet de nombreuses études depuis le début du siècle ainsi qu'en témoigne l'abondante bibliographie.

Le but recherché est surtout la caractérisation géologique, géochimique et pédologique de ces silicifications afin de les replacer dans un contexte stratigraphique régional et de les relier à des époques dont les climats étaient favorables à leur genèse.

L'âge des silicifications climatiques qui affectent des horizons de surface ne peut être déterminé que lorsqu'elles sont recouvertes de formations bien datées (Thiry, 1981). Dans ce cas, l'âge obtenu est au mieux celui de la fin de la période de la silicification qui peut être plus ou moins longue.

Ces types de silicifications qui affectent des altérites, ou des horizons pédologiques (Brewer, 1964), ou encore des formations sédimentaires, présentent des micro-organisations pédologiques caractéristiques du milieu de genèse. Ces micro-organisations renseignent également sur la durée, plus ou moins grande, de l'évolution de la silicification. L'origine de la silice peut être autochtone par autosilicification (Rasplus, 1982) ou provenir de la dissolution d'un matériel détritique biogène ou terrigène.

Par exemple, le nourrissage intense des grains en lamelles mono- ou polyaoléaires, traduit une durée d'évolution longue qui pourrait occuper toute une période géologique. Ce type de nourrissage suppose un renouvellement constant des solutions siliceuses, diluées et pauvres en impuretés, capables de réaliser ces accroissements ordonnés. Ces conditions, qui ne seraient réalisées que dans des climats humides contrastés sont en général celles de milieux hydromorphes semi-ouverts. La grande durée d'évolution se remarque aussi dans certains perrons dont le polyenrobage des nodules par ségrégation d'éléments est très caractéristique. Selon Rasplus (1982), l'évolution de ce type de perron a pratiquement couvert une ou plusieurs époques géologiques. Dans d'autres cas plus rares (perrons sans nodules ou à éléments monoenrobés), la durée d'évolution a sans doute été moins grande.

D'autre part, certains grès à fossiles végétaux silicifiés, tels que les célèbres grès à sabalites (Crie, 1879 ; Denizot, 1972) supposent une grande rapidité de la silicification pour permettre la conservation des structures végétales. L'observation des grès à Sabalites à Saint-Saturnin ne révèle pas la continuité de la silicification dans le temps car les canaux des végétaux sont restés vides, après destruction de la matière végétale. Deux hypothèses peuvent être émises pour expliquer ce genre de silicifications à caractère « instantané » :

— La silicification s'est effectuée par des apports rapides et abondants de silice cimentant les matériaux hôtes, sous l'influence de solutions hydrothermales. Cependant, le fait que ces silicifications soient assez répandues dans l'espace et le manque d'exemples subactuels rendent cette hypothèse peu probante.

— La deuxième hypothèse, qui paraît la plus plausible, fait appel à un phénomène climatique : lorsque l'aridité atteint son maximum, provoquant un épuisement total des nappes par évaporation, les eaux abandonnent rapidement leur « charge siliceuse », qui cimente alors le sédiment hôte. Ceci expliquerait aussi certaines silicifications massives superficielles que l'on observe dans le bassin de Paris (Thiry, 1981) et à Noirmoutier (Borne, 1986). Ces silicifications « rapides » ont souvent peu ou pas de grains nourris et un ciment faiblement cristallisé qui peut recristalliser ultérieurement.

Enfin, certaines silicifications subcontemporaines de la sédimentation apparaissent formées par circulation des eaux interstitielles provoquant des dissolutions et des dépôts de silice. Ces silicifications « pseudo-diagenétiques » ne présentent pas d'organisations pédologiques d'illuviation, mais contiennent néanmoins quelques structures de bioturbation. Dans le cas où cette silicification s'effectuerait tardivement il est peu probable qu'elle préserve les structures sédimentaires très vulnérables en milieu superficiel.

Un autre phénomène souvent observé dans certains profils est la superposition de plusieurs dalles quartzitiques qui peut s'expliquer par une variation du niveau hydrique « silicifiant » ou par une superposition de pédogenèse. Les deux hypothèses sont envisageables ; la première peut se justifier par l'enfoncement progressif du niveau des nappes au cours du démantèlement des surfaces topographiques ; la seconde est renforcée par l'association courante des quartzites avec les horizons humiques. Nous manquons encore actuellement d'arguments décisifs pour déterminer de façon précise l'âge des silicifications.

On est amené à admettre quatre périodes reconnues favorables aux silicifications et qui sont parfois en liaison avec des surfaces stratigraphiques : Éocène inférieur, Éocène Supérieur (Bartonien), Oligocène (Stampien), Miocène.

Cependant la présence de galets de quartzites dans certaines silicifications de l'Éocène inférieur suppose l'existence de silicifications antérieures à l'Éocène (Sénonien à Paléocène ?).

Conclusion

Les silicifications d'Anjou peuvent être classées en cinq groupes en fonction des microstructures et du milieu de formation :

1. des silicifications « pseudo-diagénétiques » précoces, pénécotemporaines des dépôts (grésifications, chertisation et silexisation par circulation d'eau interstitielle).
2. des silicifications par pédogenèse profonde qui sont des silicifications de nappes à évolution très longue qui présentent de nombreux nourrissages de grains.
3. des silicifications de nappe « asséchée », par induration de la « charge siliceuse » cimentant les matériaux hôtes. Ces silicifications ont un ciment essentiellement constitué d'opale ou de cristobalite.
4. des silicifications mixtes, liées à une longue évolution hydromorphe puis à un assèchement du milieu.
5. des silicifications par pédogenèse superficielle à évolution plus ou moins longue, présentant des structures d'illuviation (cutanes, papules, nodules mono- ou polylobés).

Références bibliographiques

ALIMEN H. (1936). - Étude sur le stampien du Bassin de Paris. *Mém. Soc. Géol. Fr.*, n° 31 (Nouvelle série), 303 p., 4 pl., h.-t.

BORNE V. (1986). - Le Paléogène du Bassin de Challans-Noirmoutier (France). Doctorat d'Université, Nantes, 268 p.

BOULAY (Abbé) (1888). - Notice sur les plantes fossiles des grès tertiaires de Saint-Saturnin (M-et-L). *Journal de botanique*, **3**, pp. 121-126.

BREWER (1964). - Fabric and mineral analysis of soils. J. Wiley and sons, New York, 470 p.

CAYEUX L. (1906). - Structure et origine des grès du Tertiaire parisien. *Mém. Serv. Carte Géol. Fr.*, (Études gîtes min. de la France), 161 p.

CHOLLEY A. (1938). - Surfaces meulériisées dans la région parisienne (extrait des rapports de la commission pour la cartographie des surfaces d'aplanissement tertiaires), pp. 74-78. Congrès international de géographie, Amsterdam.

COUFFON O. (1908). - Les grès à Sabalites andegavensis en Anjou. *Bull. Société d'Études Scientifiques d'Angers*, **38**, pp. 9-28.

COUFFON O. (1909). - Les grès à Sabalites andegavensis en Anjou : Supplément. - *Bull. Société Scientifique d'Angers*, **39**, pp. 21-31.

CRIE L. (1879). - Recherche sur la végétation de l'Ouest de France à l'époque tertiaire. Bibliothèque de l'École Pratique des Hautes Études. Tome XVIII, art. n° 2, 72 p.

DENIZOT (1949). - Éocène et Oligocène du Beaugeois. *Bull. Serv. Cart. Géol. Fr.*, n° 226, **40**, VII, pp. 57-60.

DENIZOT (1972). - La Géologie angevine dans le cadre de la Loire. *Bull. Soc. Sci. Anjou*, n.s., **8**, pp. 69-82.

ESTÉOULE-CHOUX J., ESTÉOULE J., LOUAIL J. (1969). - Sur la présence d'un dépôt à kaolinite et à gibbsite entre le Bajocien et le Cénomani en Maine-et-Loire. *C.R. Acad. Sci. Fr.*, **268**, pp. 891-893.

HEBERT E. (1854). - Observations sur l'argile plastique et les assises qui l'accompagnent dans la partie méridionale du Bassin de Paris et leurs relations avec les couches tertiaires du Nord. *Bull. Soc. Géol. Fr.* (2), pp. 418-442.

HEBERT E. (1862). - Sur l'Argile à silex, les Sables marins tertiaires et les calcaires d'eau douce du Nord-Ouest de la France. *Bull. Société Géologique de France* (2), **39**, pp. 445-464, 4 fig., 1 pl.

LECOINTRE G. (1947). - Géologie Régionale de la France ; la Touraine. - Paris, Hermann, 250 p.

LOUAIL J. (1975). - La transgression crétacée en Vendée et les communications par le détroit de la basse-Loire, 3^e R. *Ann. Sci. Terre Montpellier*, 237 p.

MENILLET F. (1980). - Les lithofaciès des calcaires de Beauce (Stampien Supérieur et Aquitaniens) du Bassin de Paris (France). *Bull. BRGM Fr.* (2), Section IV, 1, pp. 15-45.

MENILLET F., THIRY M., TOURENO J. (1980). - Le Tertiaire continental du Sud-Est du Bassin de Paris : argiles kaoliniques et silicifications. *Bull. Inf. Géol. Bass. Paris*, n° 4-5, Excursion B14 du 26^e Congr. Géol. Intern., 12 p.

MILLOT G. (1964). - Géologie des Argiles. Altérations sédimentaires. Géochimie éd. Masson et Cie.

POMEROL Ch., FEUGEUR L. (1968). - Guides géologiques régionaux. Bassin de Paris. Ile-de-France.

RASPLUS L. (1982). - Contribution à l'étude géologique des formations continentales détritiques tertiaires du Sud-Ouest du Bassin de Paris. *Sci. Géol., Mém.*, n° 66, 227 p.

SMALE D. (1973). - Silcretes and associated silica diagenesis in Southern Africa and Australia. *J. Sed. Petr.*, **43**, n° 4, pp. 1077-1083.

THIRY M. (1981). - Sédimentation continentale et altérations associées : calcifications, ferruginisations et silicifications. Les argiles plastiques du Sparnacien du Bassin de Paris. *Sci. Géol., Mém.*, n° 64, 173 p.

THIRY M., SCHMITT J.M. (1983). - Silicifications et paléosilicrètes dans les formations argilo-sableuses tertiaires du Bassin de Paris. *Int. coll. CNRSS, Petrology of Weathering and Soils, Fiels trip*, July 8, Paris, 33 p.

VATAN A. (1947). - La sédimentation continentale tertiaire dans le Bassin de Paris méridional. Ed. Toulousaines de l'Ingénieur, 215 p.

WELSCH J. (1897). - Sur l'âge des grès à Sabalites andegavensis de l'Ouest de la France. *C.R. Séances Académie des Sciences*, **125**, p. 667, 2 déc. 1897.

YVARD J.C. (1978). - Problèmes des « Grès à Sabals » de l'Anjou et du Maine.