



## Sortie géologique du dimanche 19 novembre 2023 Paléohydrologies à l'origine des grès de Fontainebleau

Médard Thiry, MINES Paris, Université PSL, Centre de Géosciences,  
77305 Fontainebleau [medard.thiry@free.fr](mailto:medard.thiry@free.fr)

La sortie est dédiée à analyser comment les morphologies des corps silicifiés révèlent les conditions hydrologiques lors de leur formation. C'est un aspect complètement neuf ... il permet de démontrer l'existence d'épais sols gelés (permafrost) dans le Bassin de Paris au cours des périodes glaciaires quaternaires. En effet, en dehors des sols polygonaux superficiels (2-4 m de profondeur), on n'avait pas de critère pour démontrer par le terrain la présence de sols gelés profonds (10-50 m de profondeur, il n'y avait que les modèles hydrologiques qui permettaient d'en faire l'hypothèse.

### Le bassin de Paris c'est...

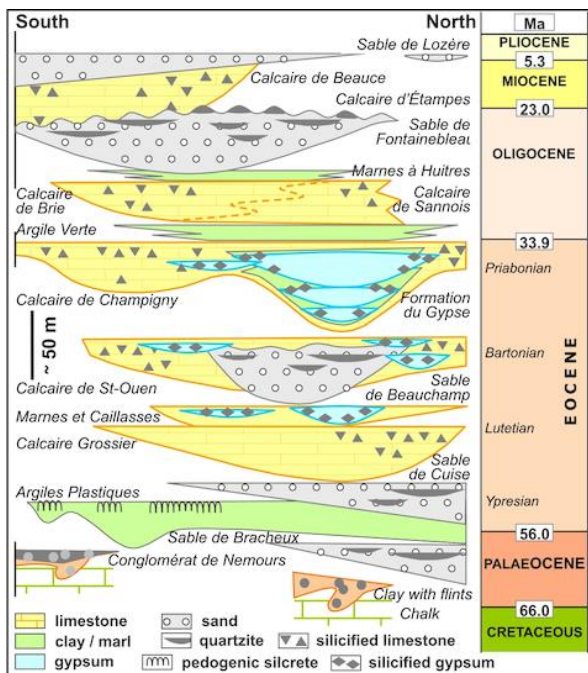


Fig. 1 - Les sédiments du bassin de Paris se caractérisent par une succession d'invasions marines qui schématiquement évoluent vers des dépôts lacustres plus ou moins confinés (voire évaporitiques). Il en résulte une alternance de dépôts continentaux et littoraux avec nombreuses variations latérales de faciès... et surtout beaucoup de temps de non-dépôt (émersion et altération). Par rapport à d'autres bassins tertiaires européens, ils sont notables par l'abondance des faciès silicifiés dans les sédiments de tout âge et faciès (sables, calcaires et gypse).

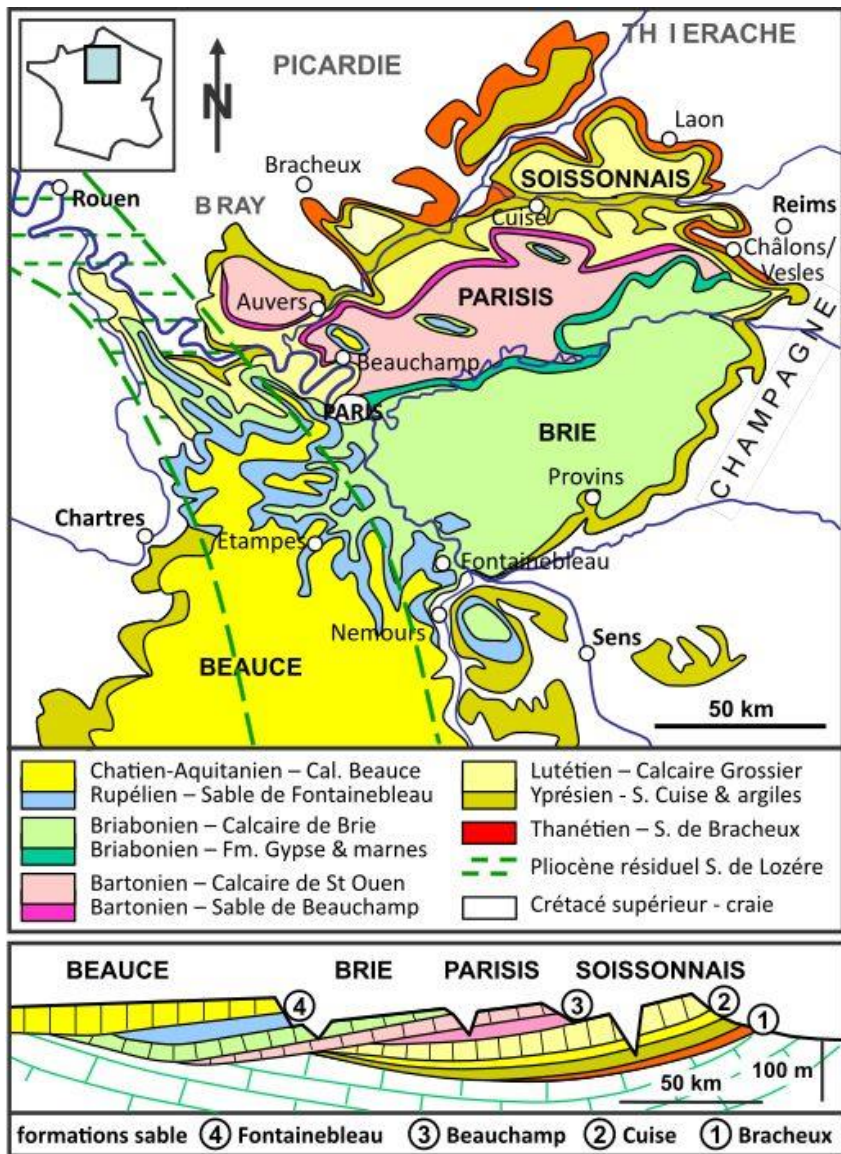


Fig. 2 - Les sédiments s'empilent avec une migration des dépôts centres (subsidence) du nord vers le sud. Les sables de Lozère (Mio-Pliocène) sont passés au-dessus des vallées de la Loire et de la Seine qui n'étaient pas encore entaillées. Toutes les incisions fluviales et le dégagement des plateaux sont post Pliocène. Toutes les géomorphologies actuelle du Bassin de Paris et les phénomènes qui sont liés aux incisions des rivières ont été acquises après le début des incisions il y a 2,5 Ma.

## Les bases acquises précédemment...

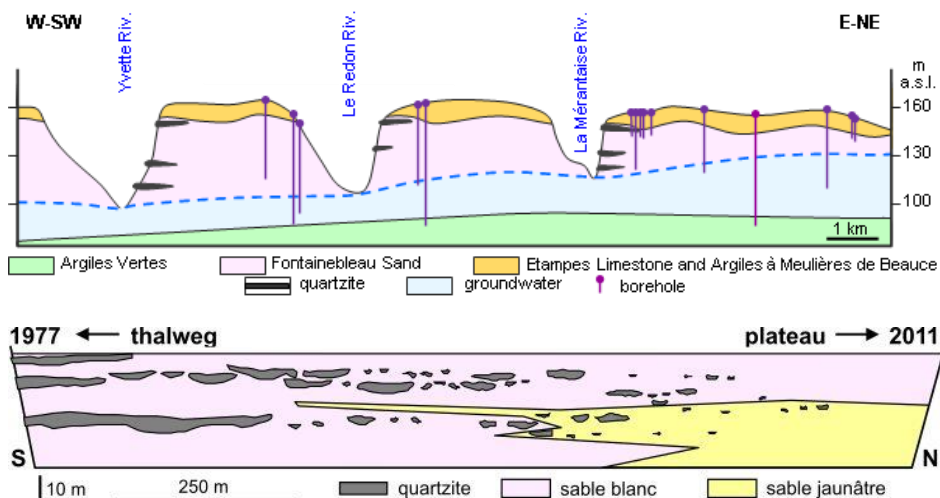


Fig. 3 - Le dépouillement de l'ensemble des sondages qui recoupent les sables de Fontainebleau (plus de 400), les coupes de détail réalisées lors de travaux d'infrastructures et les carrières d'exploitation des sables montrent que les dalles de grès quartzitiques n'existent que dans la zone d'affleurement des sables en bordure des plateaux et vallées (Thiry et al., 1988 ; Thiry et al. 2013).

**Les grès sont indépendants du dépôt des sables. Ils sont liés aux bordures des plateaux, et de ce fait sont donc post-incision des rivières et sont donc d'âge Plio-Quaternaire.** Cet argument suffit à leur datation. Néanmoins, cet âge a pu être précisé par la datation de Calcites de Fontainebleau incluses, donc antérieures à la silicification. Ces calcites sont liées aux périodes froides du Quaternaire, les plus récentes datent de 25 000ans, c'est-à-dire l'âge des peintures rupestres paléolithiques (Lascaux et Grotte Chauvet). !

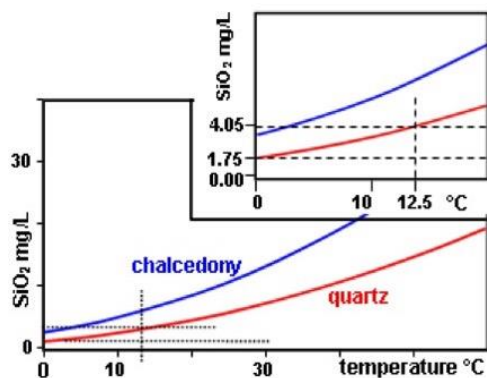


Fig. 4 - Solubilité de la silice en fonction de la température (quartz et calcédoine sont des formes minéralogiques de la silice). La moitié de la silice dissoute précipite quand la température passe de 12 à 2°C.

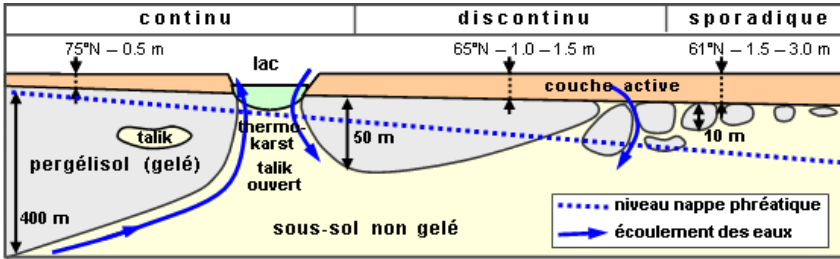


Fig. 5 - Schéma d'un permafrost et ses variations latitudinales (ou au cours des variations climatiques). Quand le permafrost s'épaissit, une partie de l'eau de la nappe gèle, il y a augmentation de volume et par conséquent de la pression au sein de la nappe. Les écoulements peuvent se faire par différents circuits et des fracturations sont susceptibles de se produire. D'après Dobinski (2012).

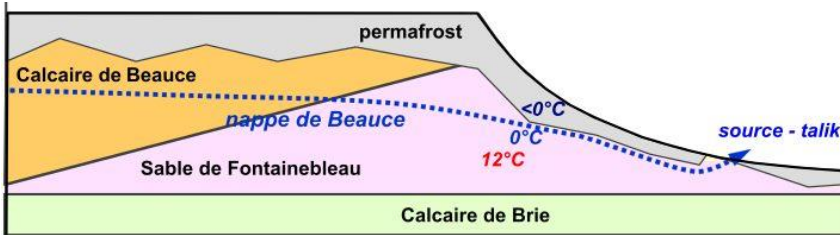


Fig. 6 - Schéma hydrologique et thermique du talus du plateau de Beauce pendant les périodes froides du Quaternaire. A précipitation de la silice intervient par refroidissement de l'eau de la nappe au contact des sols froids et/ou du permafrost. D'après Thiry et al. (2013).

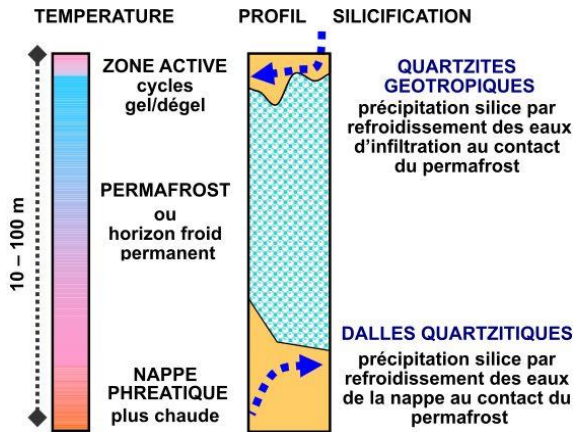


Fig. 7 - Deux fronts froids peuvent être envisagés : sous le permafrost où se forment les dalles de grès, mais aussi au sommet du permafrost, à la base de la zone active qui dégèle en été et dont l'épaisseur augmente lors des réchauffements climatiques.



## Carrière du Bois de l'Abesse à Treuxy-Levelay (77)

La carrière du Bois de L'Abesse se situe à la sortie est de Darvault (77). Elle a été exploitée jusqu'au début des années 1970 pour ses sables blancs. En 2022 elle a fait l'objet d'un projet de comblement présenté par Eiffage. Une campagne d'opposition menée par **Environnement Bocage Gâtinais**, affilié à France Nature Environnement Seine-et-Marne, a démarré sur les chapeaux de roue et Eiffage a annoncé 3-4 semaines plus tard que la Société renonçait au projet, pour des raisons techniques d'accès. Une solution de classement du site est à l'étude.

### Disposition des quartzites



Fig. 8 – Vue d'ensemble de la carrière. Les sables jaunes sur la coupe N-S résultent de l'éboulement des sables sommitaux qui sont oxydés. Le front de taille E-S au premier plan est formé de sables blancs et de masses quartzitiques séparées qui apparaissent sombre en raison des lichens qui s'y développent.

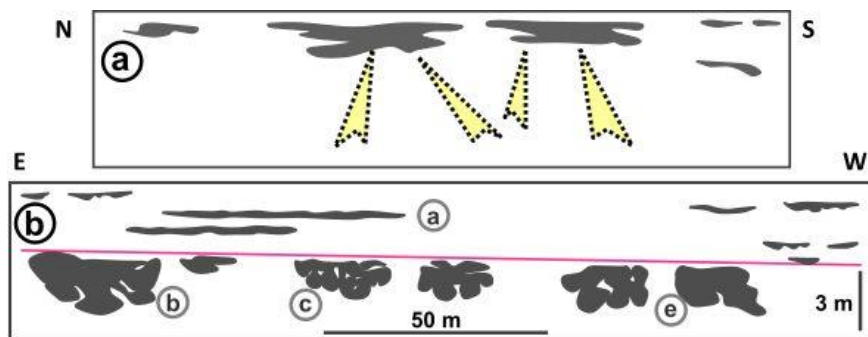


Fig. 9 – Schéma de la disposition des masses quartzitiques des deux fronts de taille. Les corps silicifiés sont allongés selon la direction N-S, en direction de la vallée qui se développe au Nord de la carrière. Ainsi les lentilles de quartzites montrent des morphologies différentes selon le front de taille: (a) dalles apparemment régulières et allongées sur le front N-S et (b) corps cylindriques sur le front E-W. Les lettres (a-e) réfèrent aux figures de la figure 10. Le trait rouge souligne l'inclinaison de l'ensemble des sommets des masses quartzitiques vers le NW.

## Morphologie des corps quartzitiques

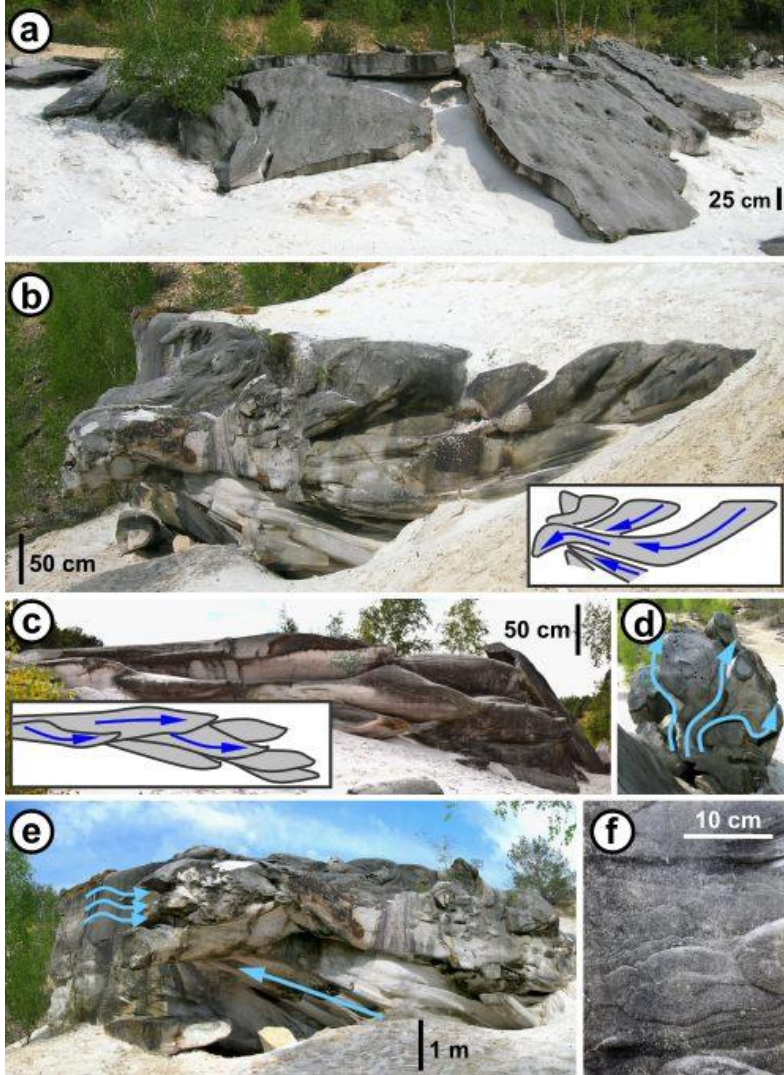


Fig. 10 – Morphologies des lentilles quartzitiques. (a) lentille supérieure horizontale. (b) & (c) lentilles fusiformes et courbées, agglomérées en masses complexes. L'encart schématise les fuseaux et les flèches indiquent les chemins d'écoulements de la nappe nourricière. (d) vue frontale de (c) avec les flèches indiquant les écoulements nourriciers autour des lentilles. (e) assemblages de fuseaux quartzitiques avec des directions différentes. (f) détail de lamines silicifiées verticales superposées qui suggèrent des écoulements laminaires le long de la paroi quartzitique (situation sur la gauche de la vue précédente). La numérotation des figures correspond aux lettres de la figure 9b.

## Morphologie des quartzites et dynamique périglaciaire

Les morphologies des quartzites peuvent être interprétées dans le contexte de l'installation graduelle des conditions périglaciaires (Fig. 11).

- (1) A l'installation des conditions glaciaires, la partie supérieure des terrains se refroidissait, mais ne gelait pas. La nappe phréatique restait libre et l'eau de la nappe s'écoulait horizontalement vers les sources. La silice précipitait quand la surface phréatique venait en contact avec les sables froids. C'est ainsi que se sont formées les dalles horizontales (Fig. 11a).
- (2) Un permafrost se développa à mesure que les conditions glaciaires prévalaient. Les chemins d'écoulement persistaient en raison du flux constant d'eau chaude vers les sorties de source. Mais la descente du permafrost imperméable selon une surface irrégulière contraignait les écoulements à contourner irrégularités. C'est le long de ces écoulements "contrariés" que se sont formés les fuseaux plus ou moins convergents et inclinés. (Fig. 11b)
- (3) A mesure que le permafrost s'épaississait, les écoulements phréatiques ont fini par être "piégés" et se faisaient par des "conduites forcées" (taliks) au sein du permafrost (fig. 11c). À ce stade, les anciennes masses de quartzite ont pu avoir été partiellement enfermées dans le pergélisol et, selon le débit des eaux et leur température, une sorte d'équilibre dynamique a pu s'établir entre la silicification du sable contre la paroi froide du quartzite et le dégel du pergélisol adjacent. Des écoulements laminaires et d'orientations variées ont pu se former tout autour des corps quartzitiques, tels ceux de la figure 10f.
- (4) Avec l'approfondissement du permafrost les chemins d'écoulement vers les vallées gelaient et se fermaient progressivement. Le gel de la partie supérieure de l'aquifère, avec augmentation du volume de l'eau au passage eau-glace, conduisit alors à une surpression au sein de l'aquifère jusqu'à provoquer une fracturation hydraulique (Fig. 11d). Des chemins d'écoulement complexes, étroits, et de toute directions ont pu s'ouvrir et la silice y précipiter au contact du permafrost. Ce sont des phénomènes de ce type qui expliquent la formation de dalles inclinées (Fig.12), les spectaculaires morphologies tortueuses, avec des parois silicifiées incurvées et anastomosées relativement étroites, de 2 à 30 cm d'épaisseur, qui délimitent et entourent des volumes de sable non aggloméré de la taille d'un décimètre à un mètre (Fig. 13a-c), ainsi que des structures pendantes, dressées ou formant des piliers entre des dalles relativement régulières (Fig. 13).

Les dalles de grès horizontales prédominent dans le nord, dans la zone d'affleurement des Sables de Fontainebleau le long de l'escarpement du Plateau de Beauce, sous une couverture calcaire réduite ou même sans couverture calcaire (nord de la Forêt de Fontainebleau). Des masses de grès plus irrégulières, avec des formes courbes et des concavités sont fréquentes plus au sud, sous une couverture calcaire d'environ 10 m d'épaisseur le long des vallées qui incisent le plateau de la Beauce. Enfin, les morphologies "exotiques" se trouvent principalement dans les sites les plus méridionaux (secteur de Pithiviers) plus profonds des Sables de Fontainebleau (Fig. 14).

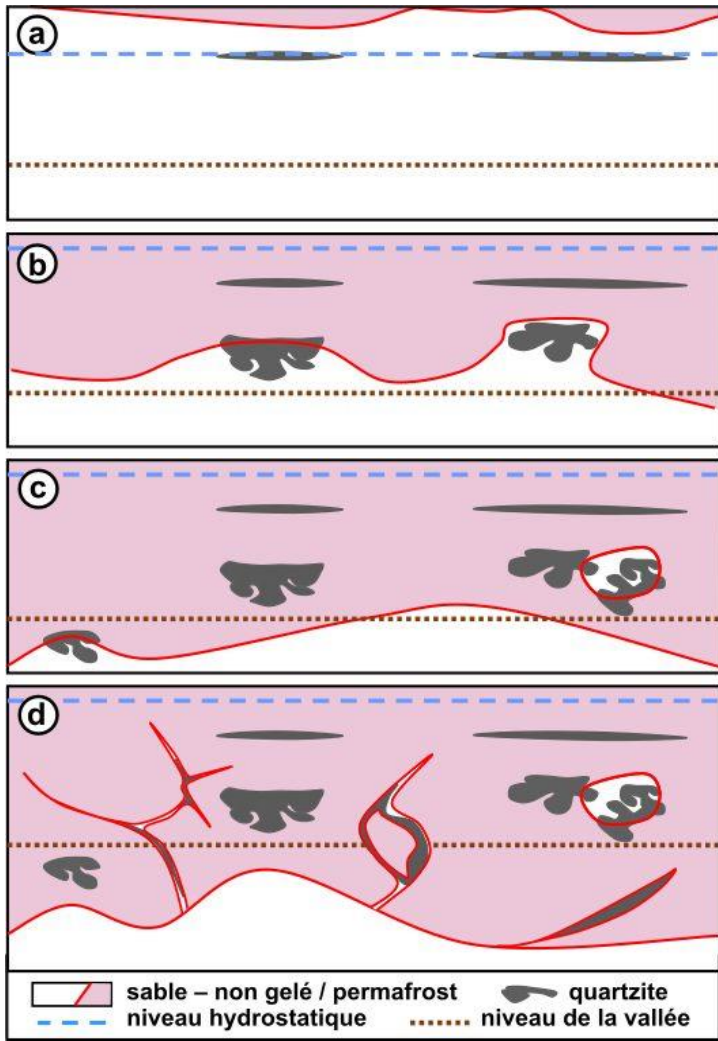


Fig. 11 – Schéma des arrangements thermiques et hydrologiques le long des flancs de vallée quand l'environnement froid se développait. (a) le permafrost n'a pas atteint la nappe, mais le front froid sous le permafrost a induit la silicification du sable en dalles horizontales. (b) avec l'approfondissement du permafrost les corridors de décharge de la nappe dans les vallées restent fonctionnels, mais le front du permafrost induit des écoulements qui montent et descendent contre le permafrost imperméable qui forme barrière. (c) avec l'approfondissement du permafrost certains couloirs d'écoulement peuvent être isolés au sein du permafrost. (d) avec l'approfondissement du permafrost sous le niveau des vallées et l'augmentation de la pression par suite du gel des eaux aquifères, des fracturations hydrauliques peuvent se produire et les écoulements de nappe peuvent devenir artésiens.





Fig. 12 – Dalles de quartzite superposées, entre lesquelles s'intercale une dalle inclinée d'environ 20°. Carrière de l'Huilerie, Chapelle-la-Reine (Seine-et-Marne), front d'exploitation en 1995.

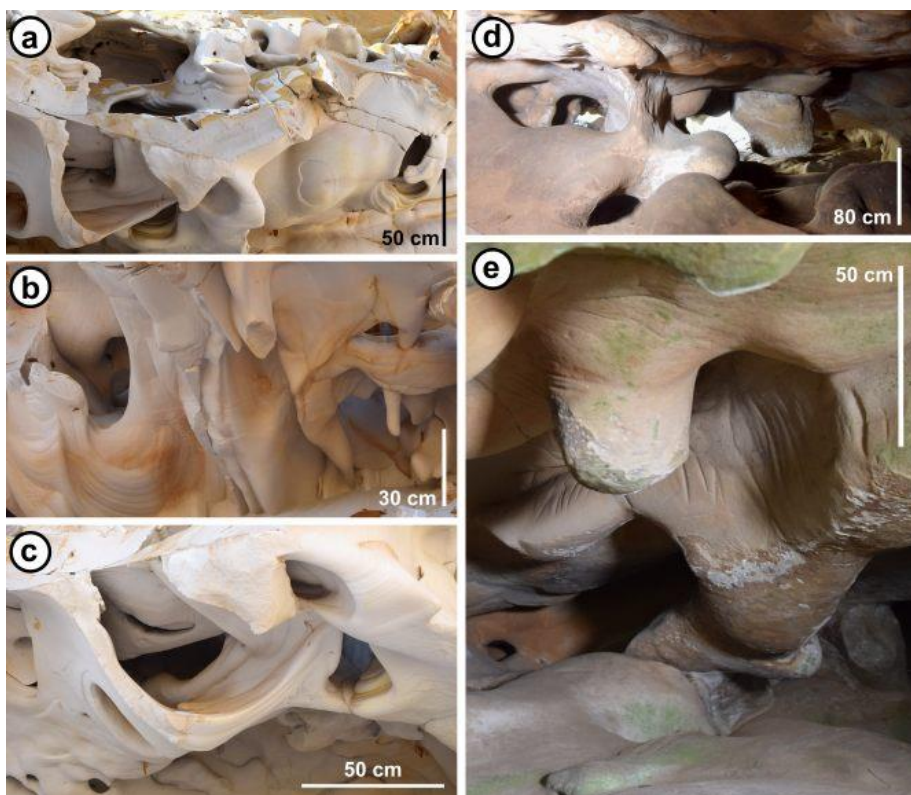


Fig. 13 – Corps quartzitiques aux morphologies complexes. (a-c) parois quartzitiques contournées qui entourent et délimitent des poches de sable non consolidé qui se sont vidées à l'ouverture de la carrière, laissant des creux, avec mélange et entrecroisement de structures horizontales et verticales. Sablière de Roncevaux, Buthiers (Seine-et-Marne). (d-e) piliers et pendants connectant deux dalles quartzitiques superposées, abri Prinvaux, Boigneville (Essonne).

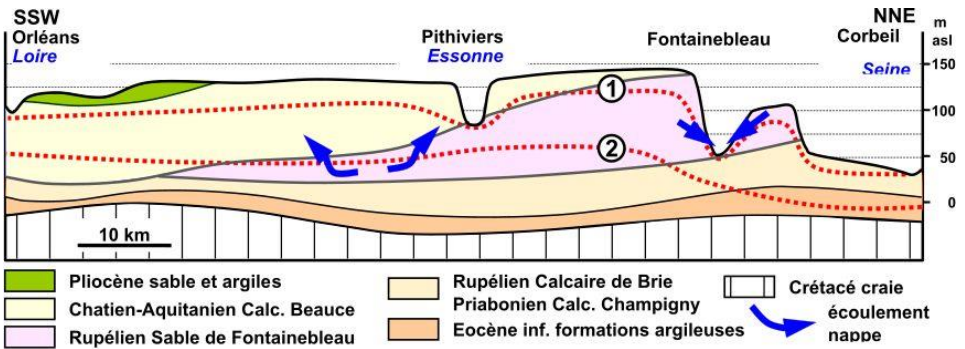


Fig. 14 – Coupe géologique schématique montrant l'approfondissement du front froid avec le temps. (1) pas de permafrost au début des glaciations qui conduit à la formation de dalles quartzitiques horizontales au niveau de la nappe. (2) permafrost épais pendant le maximum glaciaire avec gel des écoulements vers les vallées et de ce fait augmentation de la pression et fracturation hydraulique qui amène la formation de masses quartzitiques irrégulières. D'après Thiry et Milnes, 2023).

## Les morphologies quartzitiques géotropiques

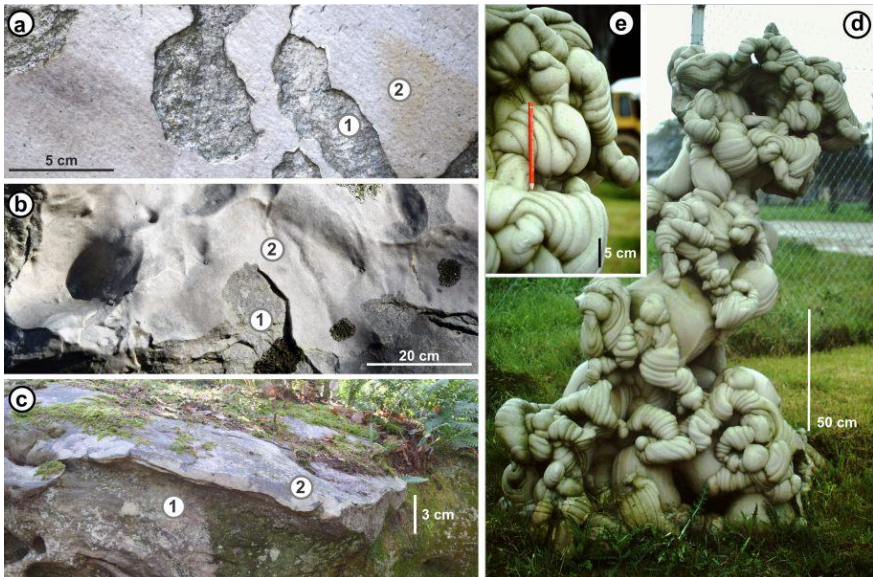


Fig. 15 – Silice secondaire précipitée en environnement vadose. (a) dépôt de silice lustrée sur fracture verticale, Noisy-sur-Ecole (Seine-et-Marne). (b) idem et pénétrant des conduits pseudokarstiques, Boigneville, (Essonne). (c) dépôt secondaire limitée aux creux au sommet des masses quartzitiques, Buthiers (Seine-et-Marne), (Thiry, 2017). (d) gogottes à enveloppes botroïdales à géotropisme vertical (concrétion présentée la tête en bas), carrière de Maintenon (Eure et Loir). (e) détail. (1) quartzite primaire, (2) silice secondaire.

Ces dépôts de silice secondaire avaient été observés et décrits dès nos premiers travaux sur les grès de Fontainebleau (Thiry et al., 1984). Le mécanisme de précipitation de la silice sous les climats actuels posait un problème. A défaut, il avait été fait l'hypothèse de l'intervention de complexes silico-organiques qui se dégradent progressivement lors de leur infiltration (Thiry et al., 2017). Le schéma des silicifications périglaciaires quaternaires ouvrait la voie à leur interprétation (Fig. 16) et par là montrait aussi la cohérence du modèle avec toutes les observations. De plus, le modèle des silicifications périglaciaires démontre la première fois, par des observations "indirectes", la présence d'un permafrost profond sur le Bassin de Paris pendant les périodes glaciaires.

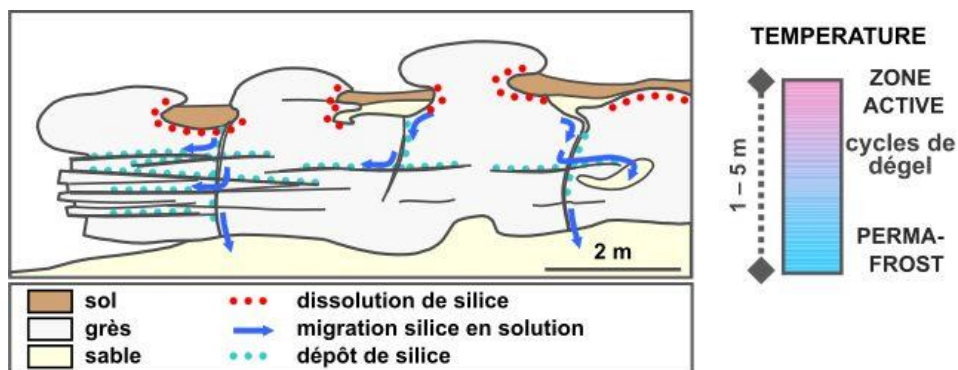


Fig. 16 – Schéma de la mobilité de la silice pendant l'altération des quartzites. Le dépôt de la silice secondaire sur les fractures verticales et horizontales se fait par refroidissement des solutions au cours de leur infiltration, indiquant qu'une zone froide persiste en profondeur.

## REFERENCES

- Dobiński W. 2012. Permafrost. The Contemporary Meaning of the Term and its Consequences. Bulletin of Geography, Physical Geography Series 5(1): 29-42.
- Thiry M, Bertrand-Ayrault M, Grisoni JC, Ménillet F, Schmitt JM. 1988. Les grès de Fontainebleau : silicification de nappes liées à l'évolution géomorphologique du bassin de Paris durant le Plio-Quaternaire. Bull. Bull. Soc. géol. Fr. 8(6): 419-430.
- Thiry M, Schmitt J-M, Innocent C, Cojan I. 2013. Sables et Grès de Fontainebleau : que reste-t-il des faciès sédimentaires initiaux ? 14ème Congrès Français de Sédimentologie, Paris 2013, Trois excursions géologiques en région parisienne, Livre d'excursions, Publication ASF 74 : p. 37-90.
- Thiry M., Liron M.N., Dubreucq P., Polton C. 2017. Curiosités géologiques du massif de Fontainebleau, Guide géologique, BRGM Éditions Orléans.
- Thiry M. 2023 (à paraître). Quaternary periglacial silicifications in the Paris Basin. Bull. Soc. géol. Fr.