



Néotectonique dans la confluence de l'Aube et de la Seine Hypothèse ou réalité ?

Pierre Benoit

► To cite this version:

Pierre Benoit. Néotectonique dans la confluence de l'Aube et de la Seine Hypothèse ou réalité ?. 2018.
hal-01666067v2

HAL Id: hal-01666067

<https://hal.science/hal-01666067v2>

Preprint submitted on 16 Mar 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

NEOTECTONIQUE DANS LA CONFLUENCE DE L'AUBE ET DE LA SEINE. HYPOTHESE OU REALITE ?

par Pierre Benoit¹,

Entre 1970 et 2010, quelques déformations souples et cassantes sont décrites, dans les terrasses alluviales de l'Aube, la Marne et la Seine.

L'exploitation ultérieure, en confluence de l'Aube et de la Seine, d'une terrasse weichsélienne entaillée à l'Holocène, présente une forte densité de déformations similaires. Les origines éventuelles sont multiples : choc météorite, éjection de biogaz, fusion de glace périglaciaire enfouie, glissements gravitaires dans des chenaux, séismes... Plusieurs origines peuvent également se juxtaposer.

Deux tranchées orthogonales, longues de 30 m et hautes de 2m, fournissent des données sur les relations entre les déformations, associant le plus souvent failles inverses, effondrements gravitaires et extension. Six autres tranchées de 15m de long complètent les observations portant sur plus de 40 hectares.

Les derniers terrains faillés sont de la base de l'holocène.

Il existe également des injections de dômes crayeux bréchifiés affectant parfois la base de l'holocène.

Enfin, les déformations, diminuent en intensité et nombre, en s'éloignant de notre zone d'étude sise à l'intersection de deux accidents géologiques du bassin de Paris (failles du Bray et de Saint Martin). Cela milite pour une origine principalement sismique. Deux séismes de faible intensité se sont par ailleurs produits dans cette zone depuis 1966

Mots clé : bassin de Paris, Weichselien, ssds, séismes.

NEOTECTONIC IN CONFLUENCE AUBE AND SEINE. HYPOTHESIS OR REALITY?

During the 1970s, some flexible and brittle deformations are described, mainly in the alluvial terraces of Aube, Marne and Seine.

The exploitation since 2010, at the confluence of the Aube and the Seine, of a Weichselian terrace cut during Holocene, presents a large number of deformations, flexible and brittle. The possible origins are multiple: meteorite shock, ejection of biogas, fusion of buried periglacial ice, gravitational slips in channels, earthquakes ... Several origins can also be juxtaposed.

Two orthogonal trenches, 30 m long and 2 m high, provide data on the relationships between deformations, most often associating inverse faults; gravitational collapses and extension. Six other trenches of 15m long complete the observations.

The last faulted lands are from the base of the Holocene.

There are also injections of brecciated chalky domes sometimes affecting the base of the Holocene .

Finally, the decrease of the deformations, both in intensity and number, moving away from our study area at the crossroads of two important geological Paris Basin (faults of Bray and Saint Martin) militate for a mainly seismic origin. Two low intensity earthquakes have occurred in this area since 1966.

Key words: Paris Basin, Weichselien, ssds, seismites.

(1) Laboratoire Aquanalyse-10380 Plancy l'Abbaye.

bp.cfa.pharmacie.troyes@orange.fr

Depuis les années 1970, des déformations souples et cassantes sont décrites dans les alluvions pléistocènes (Michel, 1972 ; Baize *et al*, 2007 ; Benoit *et al.*,2013) (fig. 1, 2 et 3).

Leur origine supposée fit l'objet de nombreuses hypothèses, souvent contradictoires, parfois complémentaires, que cela soit des effondrements karstiques, des glissements sur pergélisol, du thermokarst, voir une origine cosismique.

La mise en exploitation, depuis 2010, (Barthélémy *et al.*,1964 ; Bertran *et al.*, 2017) d'environ quarante hectares de terrasses alluviales, dans la zone de confluence de l'Aube et de la Seine, a permis la découverte d'un nombre impressionnant de déformations gravitaires et cassantes. Une campagne de panneaux électriques montra la prolongation de certains accidents dans la craie sous alluviale, tout autant que l'existence de nombreux paléochenaux colmatés par des limons fins ou une alternance de lits de sables et marnes (fig. 11 et 19).

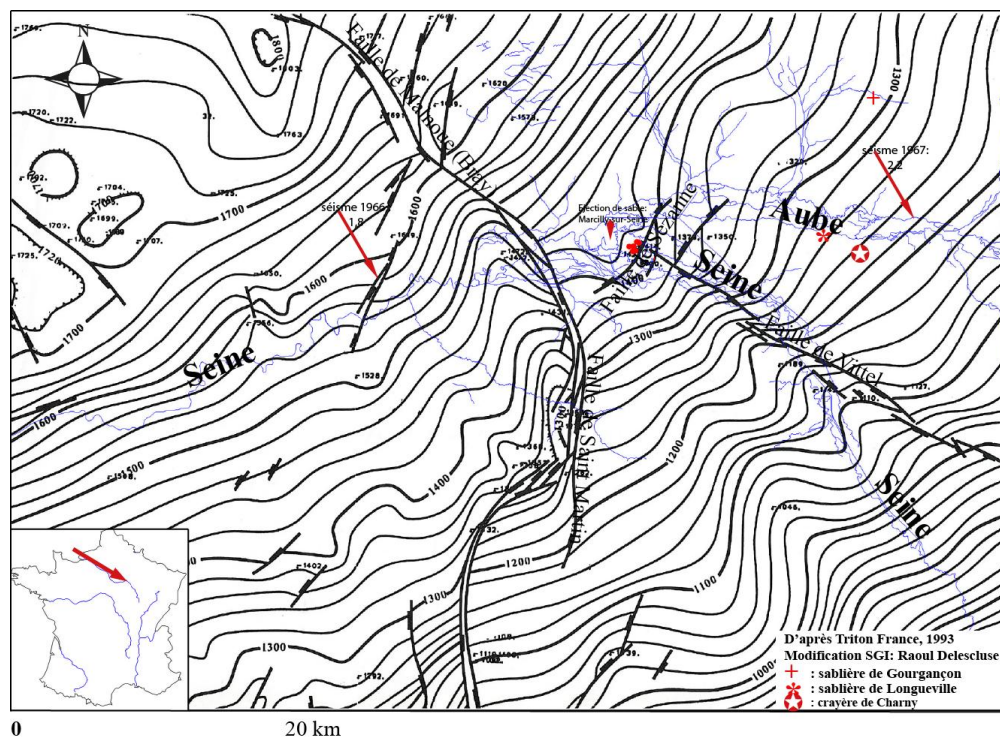


Fig. 1 : Schéma structural au toit du Callovien

En rouge, les limites externes de la sablière de Sauvage.

Fig.1: Schematic diagram at the roof of Callovien

In red, the outer limits of the Sablière de Sauvage.

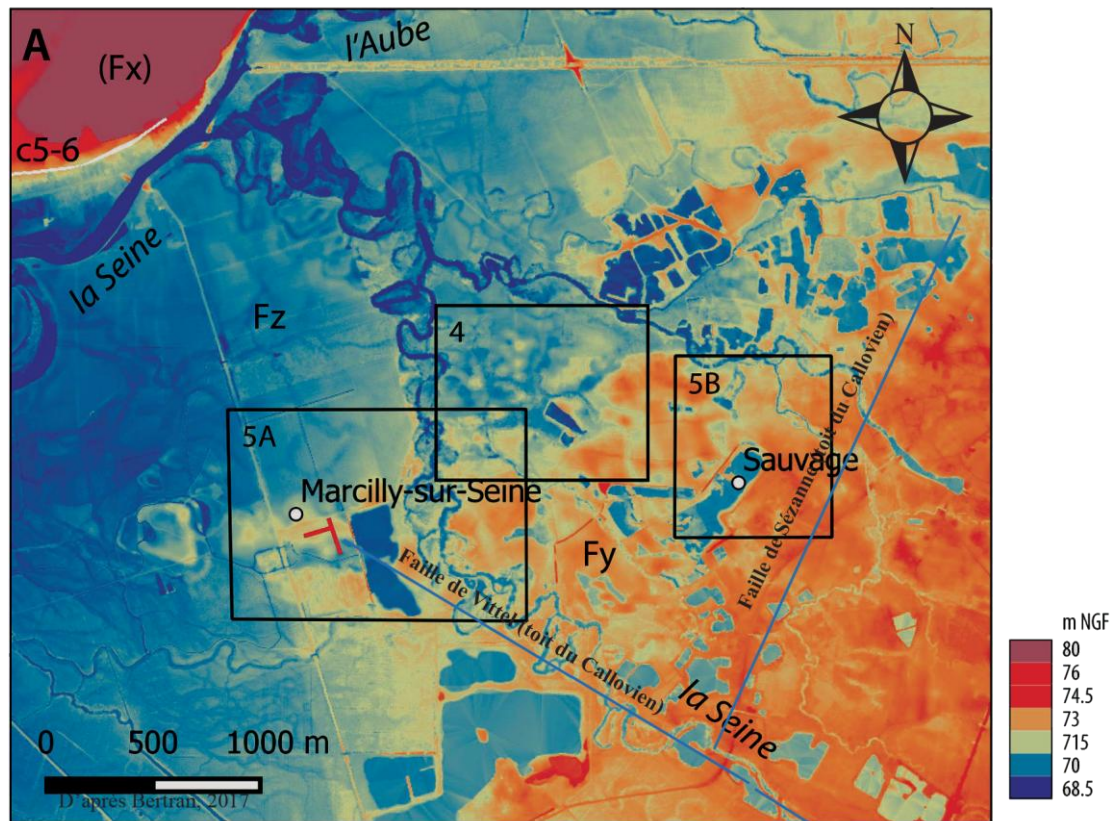


Fig. 2 : Position du site de Marcilly

En rouge, les deux principales tranchées étudiées. Il faut noter le réseau hydrographique Holocène très anastomosé et la dérive du cours de la Seine vers le Nord après traversée d'une zone plus haute, à l'aplomb de la faille de Vitte.

Fig. 2: Position of the Marcilly site

In red, the two main trenches studied. It is necessary to note the Holocene hydrographical network very anastomosed and the drift of the course of the Seine towards the North after crossing a higher zone, in line with the fault of Vitte.

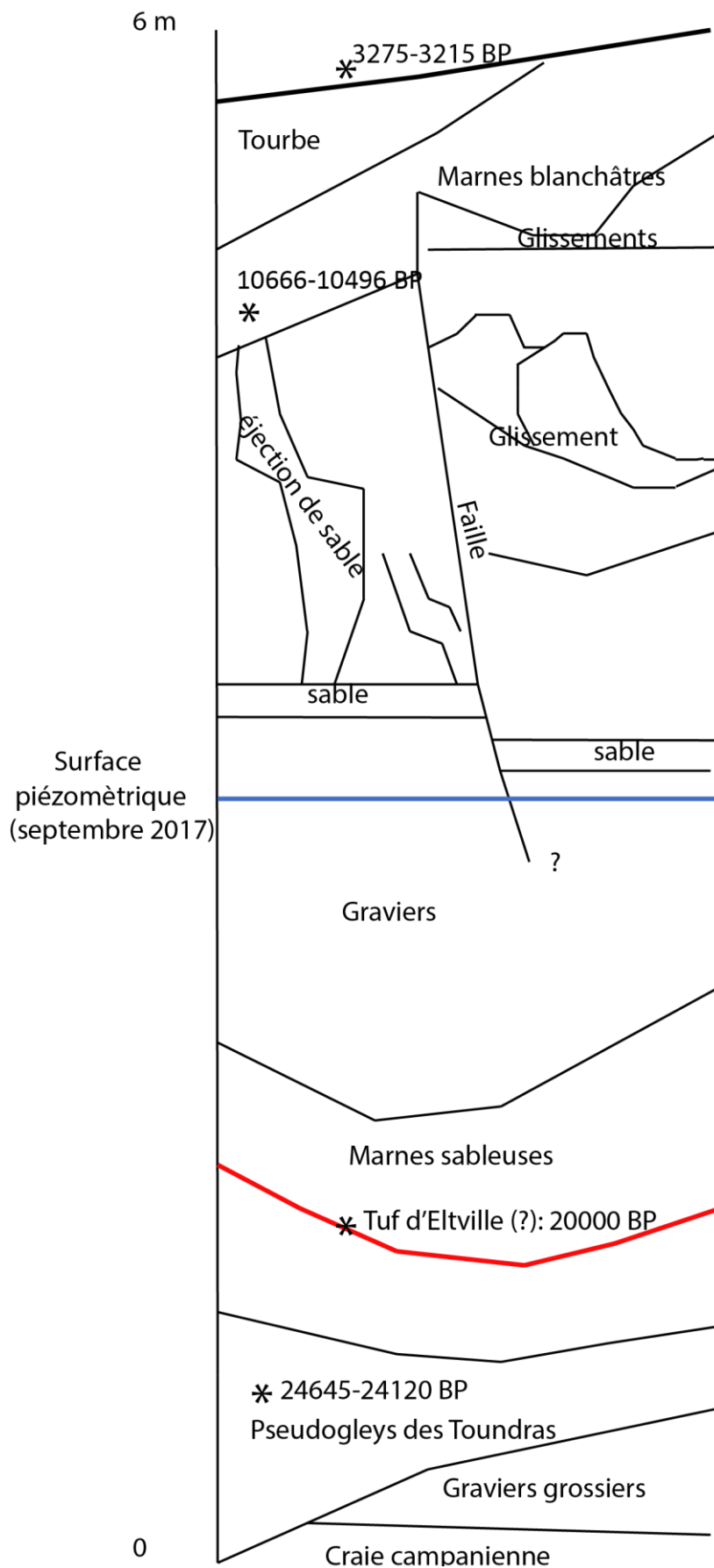


Fig. 3 : Log stratigraphique synthétique
 Fig. 3 : Synthetic stratigraphie log

STRATIGRAPHIE (fig. 3)

Le secteur d'étude correspond aux épandages fluviaux périglaciaires de galets jurassiques provenant de l'altération des calcaires kimméridgiens et portlandien, présents à 60 km à l'est. Reposant sur des craies du Campanien inférieur, ils se sont effectués dans un réseau en tresse, avec nombreux chenaux divaguants et de faible profondeur. Certains d'entre eux ont pu faire l'objet d'un colmatage par solifluxion de gley bleuâtre dit « gley des toundras » (Antoine *et al.*, 2009).

Le réchauffement du Bölling (14600-14100 BP) permettra la mise en place d'un réseau de paléochenaux entaillant le remplissage en tresse sous-jacent (Pastre *et al.*, 2000). Une dernière phase de chenalisation est apparue lors du réchauffement de l'Alleröd (12000-10800 BP) avec comblement des chenaux par des limons passant parfois vers le sommet à des sols organiques ou des tourbes. La base de ces derniers dépôts, enrichis en composés organiques, est souvent oblitérée par des calcifications issues des bicarbonates biogéniques. Un exemple de panneau électrique, sur le site de Sauvage, montre bien la structure chenalisée du remplissage (fig. 4). Les mesures sont effectuées avec un Terrameter Abem, protocole Schlumberger S64) (De la Taille, 2015), et électrode tous les deux m. Les coupes verticales (fig. 5, 8 et 9) corroborent ce modèle.

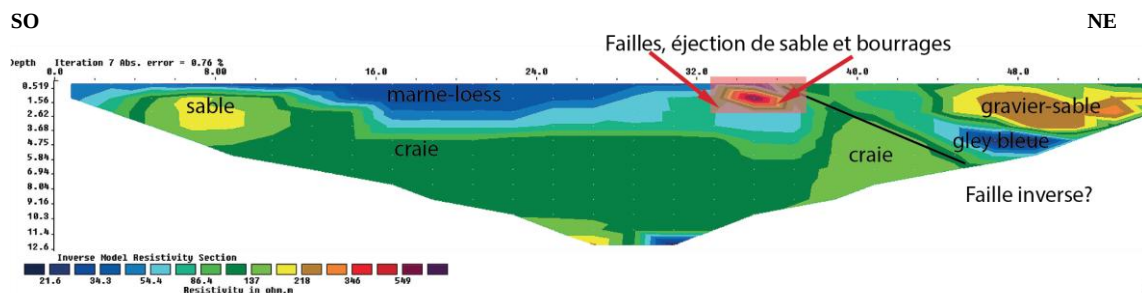


Fig. 4 : Panneau électrique au SE de la sablière de Sauvage.

Situé entre deux tranchées parallèles distantes de 15m, il leur est également parallèle. Le niveau marneux (m) sous alluvial, au NE peut correspondre à un niveau de gley des toundras. L'arrivée en surface de la faille supposée se manifeste, sur quinze m, par des failles normales, éjection de sable, bourrages et glissements souples de niveaux marneux centimétriques (Benoit *et al.*, 2013). On voit également un dôme de craie plus résistante (craie bréchifiée ?), associé à la faille inverse.

Fig. 4 : Electric panel SE of the Sablière de Sauvage.

It lies between two parallel trenches 15m apart and is parallel to them. The marly level (m) under alluvial, cannot correspond to a gley level of the toundras. The arrival at the surface of the supposed fault is manifested, over fifteen m, by normal faults, sand ejection, jams and soft slides of centimetric marl levels (Benoit *et al.*, 2013). We also see a dome of chalk more resistant (breched chalk?), associated with the reverse fault.

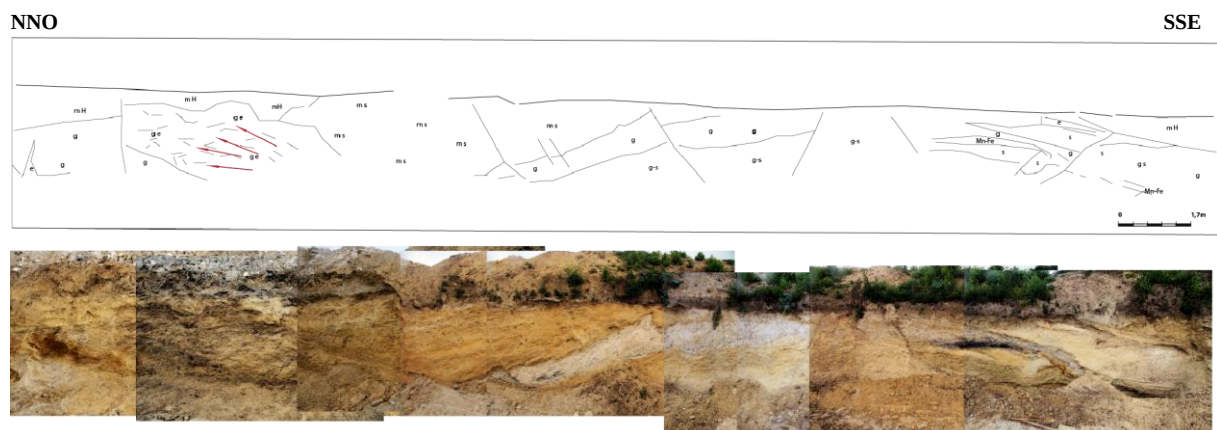


Fig. 5 : Coupe NNO-SSE du flanc E de la sablière de Marcilly.

e : éjection de sable. g : gravier. g s : gravier et sable. Mn : niveau à oxydes. m H : marne Holocène. ms : marne à niveaux de sable. Elle permet l'observation, au Nord, d'une injection verticale de sable (e), haute de 0,8m et d'un niveau de marnes de la base de l'holocène, faillé (fig.10). Il existe également un niveau d'apparence éjecté de sable et gravier (g s). Le niveau central de marnes (m s) est bréchifié et faillé. Son extrémité sud est affectée par une faille normale à rejet vertical de 0,25m, associée à un galet de craie fracturés (fig. 11 et 12).

Vers le sud, deux niveaux sableux sont affectés par une faille inverse (fig.14) également avec craie fracturée (fig. 21). Il existe également un dyke de sable (e) sous les marnes holocènes.

Fig. 5: NNO-SSE section of the E side of the Marcilly pit.

e: ejection of sand; g: gravel. g s: gravel and sand. Mn Fe: oxides level. M H: Holocene mari. M s: mari with sand levels.

It allows the observation, in the North, of a vertical injection of sand (e), high of 0,8m and a level of maris of the base of the holocene, faulted (fig.10). There is also a level of appearance ejected from sand and gravel (g s)

The central level of maris (ms) is breched and faulted. Its southern end is affected by a normal 0.25 m vertical failure fault, associated with a fractured chalk pebble (fig. 11 and 12). Towards the south, two sandy levels are affected by an inverse fault (fig.14) also with fractured chalk (fig. 21). There is also a sand dyke under the holocene marls.

CADRE STRUCTURAL

La sismique pétrolière des années 1970 et 1980 permet d'avoir une bonne imagerie des accidents locaux, dont les failles de Malnoue, Saint Martin de Bossenay, Sézanne et Vittel (fig. 1). Les travaux récents, avec retraitement des profils sismiques anciens dans le cadre du programme *GéoCarbone* – PICOREF, précisent cette image. La faille de Vittel se poursuit au NO par la faille de Malnoue, puis celle du Bray. Elle sépare en deux unités la faille de Saint Martin de Bossenay, sensu lato : faille de Saint Martin au Sud et failles de Sézanne et Connantre au Nord (Brosse *et al*, 2010). La faille de Vittel traverse notre zone d'étude (fig. 1 et 2). Comme celles de Saint Martin et de Sézanne, elle affecte le toit de la craie (Piwakowski, 2010), (Brosse *et al*, 2010).

DATATIONS

Trois datations par C_{14} (activation neutronique) permettent le calage des coupes. S'y ajoute un fin niveau rouge noir, millimétrique, avec péridots (ferrosilite), enrichi en arsenic, baryum, fer, galium, manganèse, plomb, strontium, thorium et zirconium (fig. 6). Ce niveau, pourrait correspondre à « l'Eltviller tuff », daté de 20000 BP. Repéré en Allemagne de l'ouest, dans la vallée du Rhin et la Hesse, on le retrouve également dans le Limbourg néerlandais (Juvigné, 1999).

Les niveaux les plus anciens (24625-24120 BP, laboratoire Beta Analytic, beta-470451) antérieurs aux téphras supposés, correspondent à une marne bleue (gleys des toundras) bien visible en Allemagne et Belgique (Antoine *et al.*, 2009).

Les marnes terminales dont la base est holocène (10666-10496 BP, laboratoire Beta Analytic, beta-477497) passent vers le sommet à des sols organiques datés au 3240+/-35 BP (laboratoire du Radiocarbonate, Lyon-13851), âge corroborant la palynologie « Le pollen de pin (*Pinus*), le plus abondant, indique peut-être la présence de l'arbre sur place. Le tilleul (*Tilia*) et l'orme (*Ulmus*) évoquent une formation forestière de type chênaie mixte mais le pollen de chêne n'a pas été observé. Le noisetier (*Corylus*), bien représenté, peut participer à cette formation, en lisière, ainsi que l'aulne (*Alnus*), ce dernier en lien probable avec les cours d'eau (Seine, Aube).

Les herbacées sont peu représentées et il n'y a pas d'indication nette d'agriculture ». (fig. 10). Cet âge est confirmé par les mollusques. « Les spécimens de forme allongée sont des aquatiques de l'espèce *Stagnicola palustris*, sans valeur biostratigraphique. Les spécimens colorés sont terrestres. Appartenant du genre *Cepaea* pour lequel on connaît deux espèces, *C. nemoralis* et *C. hortensis*, très proches écologiquement et peuplant souvent les mêmes habitats de type lisière de forêts ou boisements clairs. Ces deux espèces thermophiles, apparaissant dans les séquences du Nord de la France à partir de l'Holocène, sont totalement absentes des dépôts tardiglaciaires ».

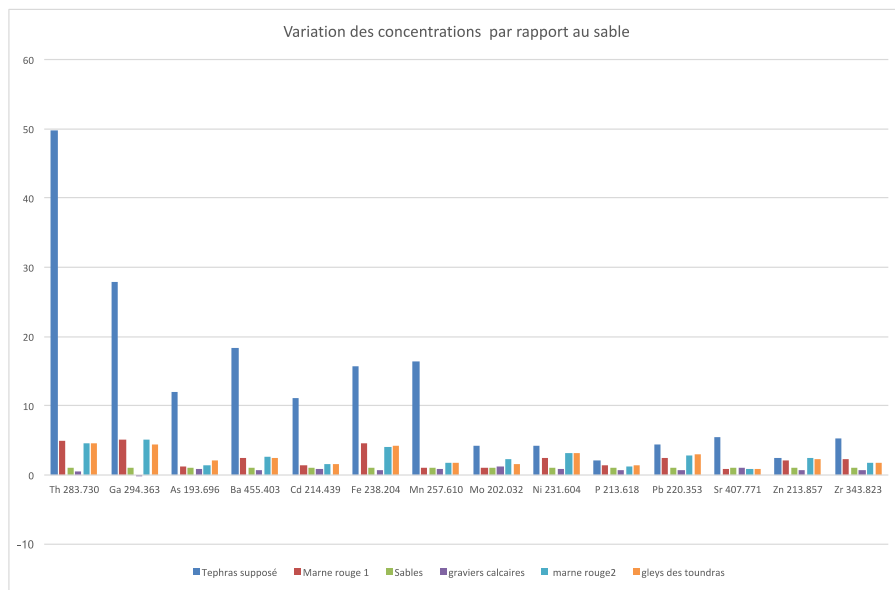


Fig. 6 : Variation de concentration en éléments minéraux par rapport au sable.
Fig. 6 : Concentration variation in mineral elements with respect to sand.

LES DEFORMATIONS

Elles vont de l'éjection de sable aux glissements gravitaires (fig.7) dans les paléochenaux. S'observent également des failles normales et inverses (fig.8).

Elles vont de l'éjection de sable aux glissements gravitaires (fig.7) dans les paléochenaux. S'observent également des failles normales et inverses (fig.8).

O

E

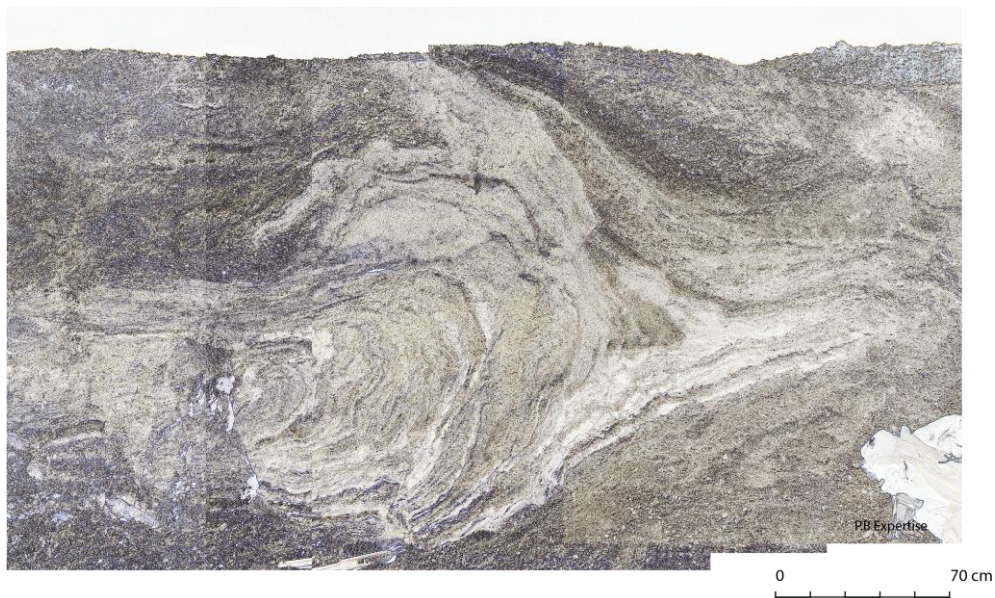


Fig. 7 : Détail vertical d'un glissement gravitaire à Marcilly -sur-Seine (Mars 2017).
 L'image est travaillée sous le logiciel Photoshop (filtre tracé des contours), afin d'accentuer les détails.

Fig. 7 : Vertical detail of a gravity slide at Marcilly-sur-Seine (March 2017).

The image is worked under the Photoshop software (contoured contour filter), In order to accentuate the details.

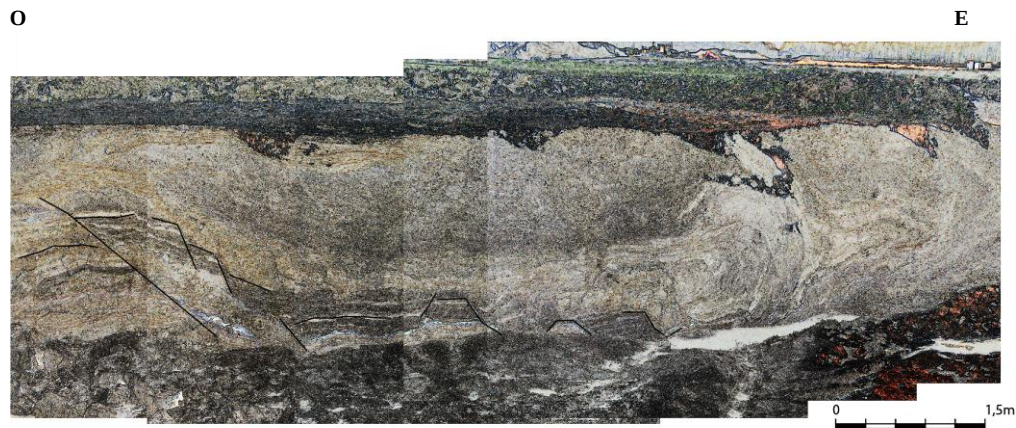


Fig. 8 : Vue d'ensemble d'un glissement (Mai 2017).

Le montage photographique permet l'observation d'une faille inverse, à l'ouest, génératrice de glissement vers l'Est. Des failles normales de distension s'observent à la base du glissement. Sur la droite, il existe un glissement compensatoire, vers l'Ouest. Les éjections de sable et couches redressées sont à l'aplomb du point de rencontre des deux glissements.

Fig. 8 : Overview of a slide (May 2017).

The photographie montage allows the observation of a reverse fault, to the West, generating sliding towards the East. Normal flaws of distension are observed at the base of the slip. On the right, there is a compensatory shift towards the west. The sand ejections and straightened layers are in line with the meeting point of the two landslides.

S'y ajoutent des plis dans les graviers et sable, voir un redressement des couches (fig. 9).

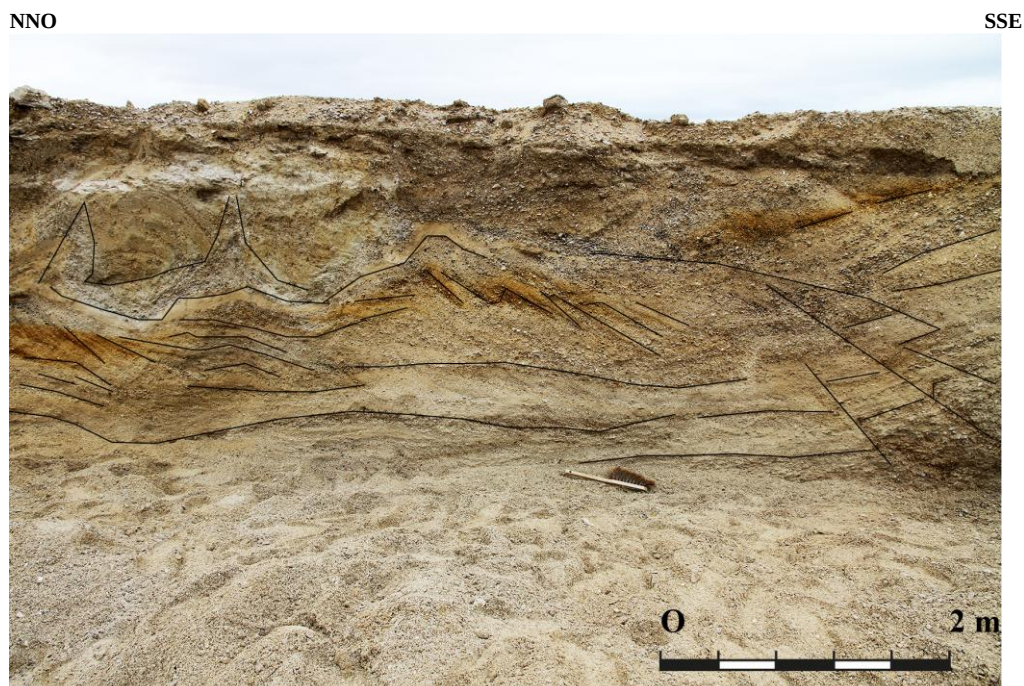


Fig. 9 : Glissement gravitaire sur faille inverse, au SSE.

Le glissement est à l'origine des redressements de couche, éjections de sables et structures en flamme affectant les niveaux sommitaux calcifiés à la base des tourbes (décapées pour l'exploitation).

Fig. 9 : Gravitational slip on inverse fault, with SSE.

Slippage is at the origin of layers straightening, sand ejections and flame structures affecting calcified top levels at the base of peat (stripped for exploitation).

Le sommet de la série présente sous sa base marneuse (10666-10496 BP) un niveau vertical de sable éjectés (0,85m de haut) (fig.10).

NNO

SSE

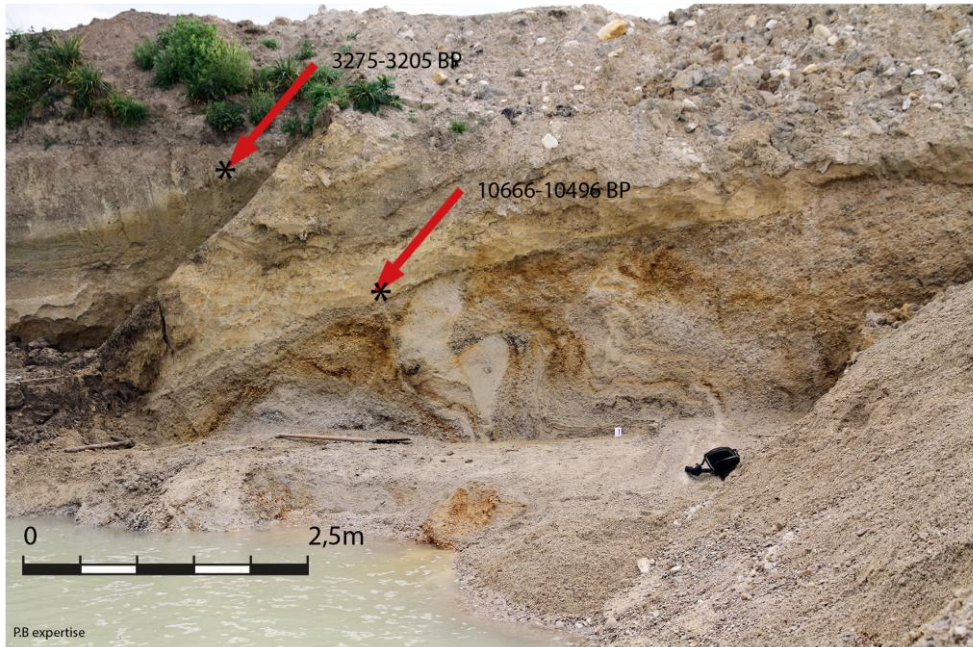


Fig. 10 : Éjection de sable, à la base de l'Holocène faillé.

La photo correspond à l'extrémité nord de la fig. 5. Il faut remarquer, à droite, la faille normale affectant la base de l'Holocène.

Fig. 10: Ejection of sand, at the base of the cut Holocene .

The photo corresponds to the northern end of fig. 5. On the right, we should notice the normal fault affecting the base of the Holocene.

On peut également trouver des galets de craie bréchifiée dans les alluvions, aux abords immédiats de plans de faille (fig. 11 et 12).

NNO

SSE



Fig. 11 : Plan de faille et galet de craie fracturé.

Fig. 11: Fault plane and fractured chalk pebble.

La photo correspond à la faille normale majeure de la figure n°5.



Fig. 12 : Galet de craie fracturé, détail.

Fig. 12: Broken chalk pebble, detail.

Enfin, il faut tout autant mentionner des dômes de craie éclatée sous-alluviale, remontant dans les marnes holocènes, associés à des failles et éjection de sable (fig. 4, 20 et 21).

LE POLYPHASAGE

Une faille inverse E-W (fig. 13 et 14), que l'on suit horizontalement sur plus de soixante mètres, se marque bien par éjections d'eaux chargées d'oxydes de fer, remontant jusqu'en surface. À son nord, on observe un paléo chenal marneux (fig. 5 et 10). Ce paléo chenal, passant latéralement à des sables et graviers, présente quatre failles normales affectant les marnes. Les graviers latéraux sont affectés par des déformations souples, indiquant des éjections de fluide. L'extrémité nord de la coupe présente une éjection verticale de sable, haute de 0,85m (fig. 10).

Il existe également, vers le sommet des coupes, un niveau plissé de sables fins, reposant sur des sables gris horizontaux (fig. 15). La base de l'holocène est affectée (fig. 10 et 15).

SSE

NNO



Fig. 13 : Faille inverse affectant la base de l'Holocène.

h : marne holocène

La faille inverse se suit horizontalement à travers le mur du site, sur près de 65m, se retrouvant dans la fig.14.

Fig. 13 : Inverse flaw affecting the base of the Holocene.

h : holocene marl

The reverse fault that follows horizontally across the wall of the site, nearly 65m, found in fig. 14.

NNO

SSE

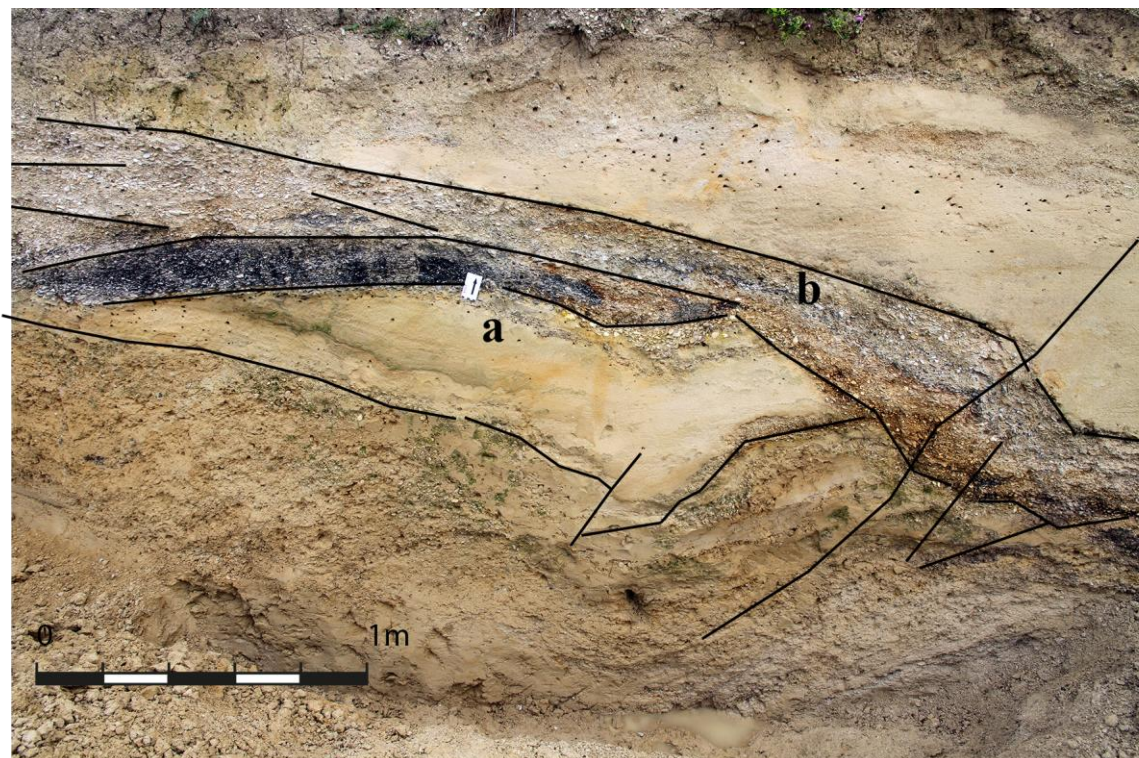


Fig.14 : Faille inverse polyphasée.

La faille est la prolongation orientale (65m) de l'accident de la fig. 13.

Le niveau déformé de sable (a) comporte des clastes marneux. Le niveau (b), scellant la déformation, est également faillé. La photo correspond à l'extrémité sud de la fig. 5.

Fig.14: Polyphase inverse fault .

The fault is the eastern extension (65m) of the accident in fig. 13.

The deformed level of sand (a) has marly clasts. The level (b), sealing the deformation, is also faulted .

The photo corresponds to the southern end of fig.5.

O

E

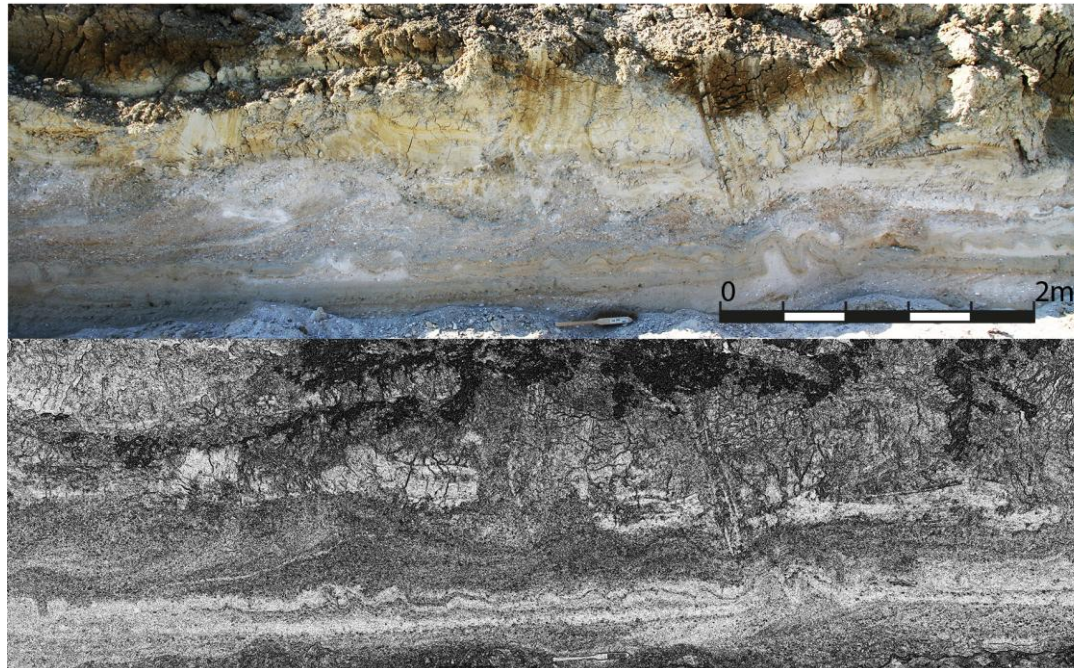


Fig. 15 : Niveau déformé affectant la base de l'Holocène.

L'image du bas correspond au même cliché, après traitement informatique accentuant les détails.

Il faut également remarquer le passage vertical rapide des marnes à de la tourbe brune holocène, vers le sommet ouest et au centre.

Fig.15: Deformed level affecting the base of the Holocene.

The bottom Image corresponds to the same shot, after computer processing highlighting the details.

Also noteworthy is the rapid vertical passage of marls to holocene brown peat, to the western summit and to the center.

Ce polyphasage local des déformations est également visible au NE, à Sauvage, Longueville et Gourgauçon (Benoit *et al*, 2013).

DISCUSSION

L'abondance des déformations visibles sur les sites de Marcilly et Sauvage pose de nombreuses questions.

De prime abord, cette abondance locale est elle-relée à une recherche plus détaillée d'un phénomène réparti de façon aléatoire ou indique-t-elle un phénomène purement local ?

Se pose également la question de leur âge. S'y ajoute une dernière interrogation sur leur origine.

REPARTITION

Les seuls plis avec failles décrits dans le quaternaire du bassin de Paris (Michel, 1971) sont à Vimpelles, à 29 km au SO de la faille de Malnoue, à la Motte Tilly, à 15 km au SO de cet accident et Chelles, à 9 km au SO du dit accident. Les déformations décrites par Coulon, en 1994, se focalisent dans notre secteur d'étude. D'autres travaux plus récents (Baize *et al.*, 2007 ; Benoit *et al.*, 2013) indiquent des failles inverses et normales en quantité plus importante, dans un rayon de 30 km au NE de Marcilly-Sauvage. Leur intensité décroît très fortement en s'éloignant de ces deux sites. Ainsi, les effondrements et plis gravitaires, métriques à Marcilly, deviennent décimétriques à Gourgauçon, à 30 km au NE.

Les éjections massives de sables se focalisent sur Marcilly, Sauvage et Clesles (Benoit *et al*, 2013). Les failles disparaissent au Nord de Gourgauçon (Mégnyen *et al.*, 1977) où certaines affectent une éjection de sable datée de 13650 BP par OSL (Benoit *et al*, 2013) (fig. 16).

SSO

NNE

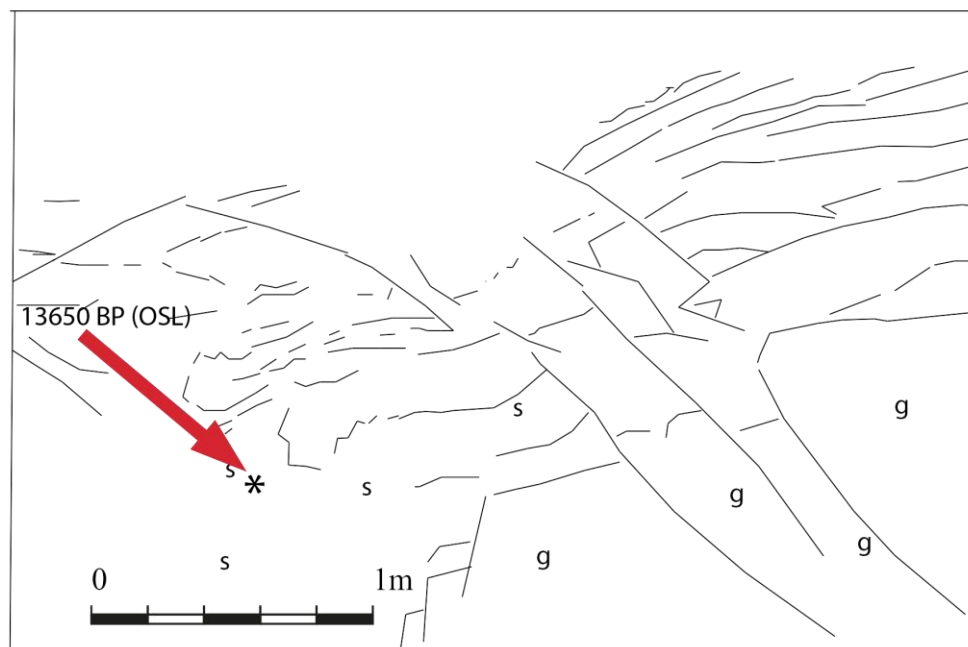


Fig. 16 : Failles inverses et normales, à Gourgauçon (2011).

s: sable éjecté. g : grès et boue de craie

La photo montre une importante masse de sables éjectés, datés de 13650 BP (OSL), avec polyphasage de la fracturation.

La carte géologique au 1/50000 indique localement un accident important visible par micro paléontologie (Mégnyen *et al*, 1977).

Fig. 16: Inverse and normal flaws, in Gourgauçon (2011).

s: sand ejected. g: grès and chalk mud

The photo shows a large mass of sands ejected, dated 13650 BP (OSL), with polyphase fracturing.

The 1/50000 geological map indicates locally a significant accident visible by micro paleontology (Mégnyen *et al*, 1977).

AGE DES DEFORMATIONS

Les premières déformations, souples, affectent la globalité d'un paléo chenal creusé dans des pseudogleys (24000 BP) (fig. 7 et 8). Elles lui sont donc postérieures. Le matériel affecté présente des déformations souples, indiquant un niveau sous-aquatique peu induré ou un mollisol périglaciaire. La bordure Est de cet important glissement gravitaire (fig. 7) montre un niveau de paléosol affecté par le glissement (fig. 17). Ce paléosol recouvert de sable et gravier est à rapprocher de ceux décrits dans le bassin de Paris (Pastre *et al.*, 2000). Il est daté du réchauffement fini glaciaire de l'Alleröd (12000 BP).

L'existence de niveaux de battements de nappe, soulignés par des sels manganiques noirs et des niveaux rouges d'oxydes ferriques, correspond à une période plus tempérée, ayant permis la dégradation microbienne (Bonneau et Souchier, 1979) et solubilisation d'un niveau porteur (niveau rouge supposé tuf d'Eltviller). Ces niveaux colorés étant également affectés de plis, la déformation s'avère postérieure au réchauffement de l'Alleröd ou du Bölling. Une faille normale affecte également la base de l'holocène (fig. 10). Enfin, un niveau de déformations souple, à la base des marnes holocènes, est visible en de nombreux points, à Marcilly (fig. 15).

ORIGINE

Les déformations nombreuses observées correspondent au sigle anglo-saxon ssds (soft sediment deformation structure). Leurs causes sont multiples (Shanmugam, 2016). De surcroît, plusieurs causes peuvent fournir les mêmes effets.

Cela peut être un glissement sur pente induit par choc : effondrement latéral de thermokarst (Morgenstern *et al.* 2013), effondrement karstique, choc météorite, éjection de gaz, glissement cosismique...

L'hypothèse d'effondrement karstique n'est pas envisageable, de par la proximité de l'aquifère.

L'existence d'un polyphasage ne permet pas de retenir un choc par objet extra-terrestre.

L'hypothèse d'effondrement de thermokarst a été développée récemment (Vanvliet *et al.*, 2016). Cependant, diverses constatations infirment cette idée. De prime abord, l'existence d'un polyphasage est difficilement explicable par cette hypothèse. L'importance des déformations cassantes se suivant horizontalement, pour certaines (fig. 13 et 14), sur plus de soixante m, est fort étonnante dans un secteur jamais recouvert par les glaciers quaternaires. Par ailleurs, l'âge des déformations correspond au fini-glaciaire et à la base de l'holocène. Enfin, la carte produite par ces auteurs présente des thermokarst supposés se focalisant aux abords immédiats des grands accidents géologiques locaux, alors même qu'une origine périglaciaire donnerait une répartition uniforme des déformations dans les vallées de l'Aube et de la Seine. L'éjection de biogaz, pouvant s'être formé et accumulé dans les gleys de toundras, s'avère totalement insuffisante à elle seule pour expliquer la totalité des déformations

Reste en lice l'origine cosismique (Russell *et al.*, 2002)

La sismique pétrolière (fig. 1) montre les accidents profonds, aux abords immédiats du site. Un profil sismique réflexion haute résolution (tir tous les cinq m), perpendiculaire à la faille de Sézanne, recoupe le toit de la craie campanienne sous-alluviale, à Sauvage (Piwakowski, 2010).

Des déformations similaires à celles observées localement, associées à de la sismicité, sont signalées dans la littérature. À 350 km au NE, dans la région de Liège, de nombreuses éjections de sables, d'origine cosismique, sont décrites (Desmoulins, 1996). Des éjections de sables, déformations souples et failles sont également indiquées en Turquie, dans un environnement néogène fluvio-lacustre (Taşgin et Türkmen, 2009) en relation avec des failles actives.

Le contrôle structural de la Seine par la faille de Vittel (fig.1) (Becaterello *et al*, 2011), (Obert *et al*, 1992) sur plus de dix km, à l'est de Marcilly, tout autant que la diminution des déformations en s'éloignant de Marcilly-Sauvage (Baize *et al.*, 2007) puis leur âge, fini glaciaire et holocène basal, militent également pour une origine cosismique.

Dans le détail, la coupe Est de Marcilly, longue de 28m, apporte de nombreuses indications étayant cette hypothèse (fig. 5).

Au sud, une faille inverse polyphasée (figures 13 et 14) affecte un niveau noir manganique et présente des clastes marneux dans les sables. Cette faille se suit horizontalement sur plus de soixante m, affectant la base de l'holocène. Le centre de la coupe présente une faille normale fracturant un galet de craie (fig. 11 et 12). À gauche (Nord) de cette faille, il existe un niveau marno-sableux, fortement bréchifié, également avec trois failles normales. Ce niveau a glissé vers le Nord, entraînant des éjections dans les graviers. L'extrémité Nord de la coupe présente à la fois une faille normale affectant la base de l'holocène et une importante éjection verticale de sable (fig.10).

Deux hypothèses, cosismiques, peuvent expliquer la structure observée :

- Une faille inverse s'enracinant dans la craie, comme le suggère le profil électrique (fig. 4), avec distension à l'arrière et glissement gravitaire ;
- Un glissement après choc sismique (Aslop et Marco, 2013), (fig. 18), avec création conjointe de distension et compression (fig. 19).

Les glissements gravitaires Est-Ouest (fig. 7, 8 et 17) peuvent s'expliquer selon cette dernière hypothèse. La faille inverse visible à l'ouest a induit un glissement des couches supérieures, avec extension compensatrice à l'est, également source de glissement. L'éjection centrale est liée à la collision frontale de ces deux glissements.

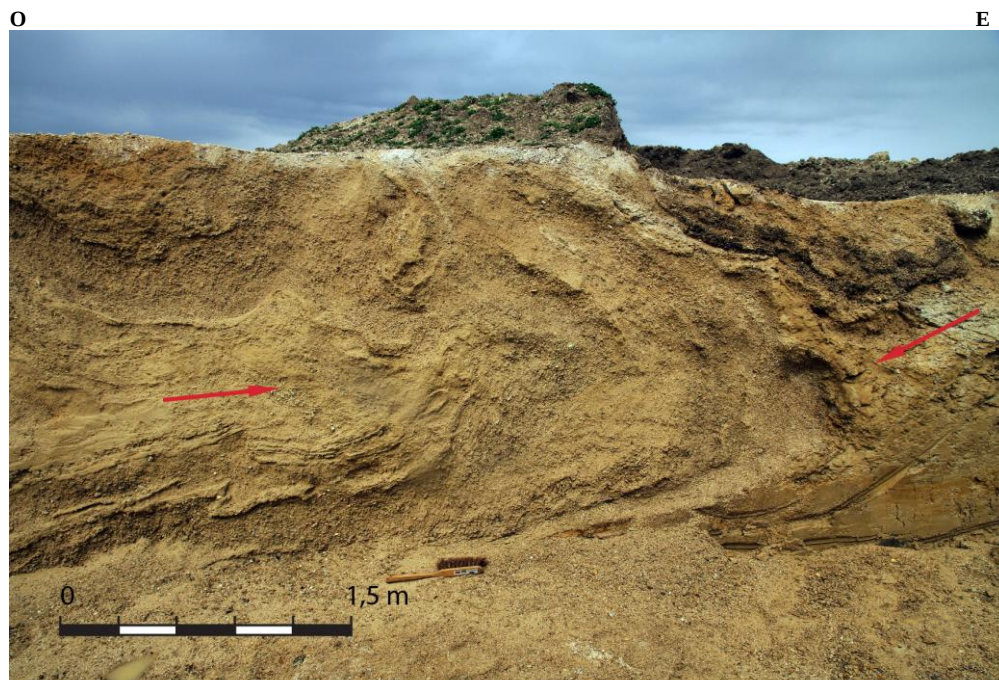


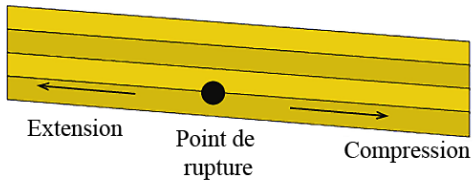
Fig. 17 : Extrémité E de la coupe de la fig. 7

La photo montre le redressement des couches, dans la zone de collision des glissements vers l'E et l'O. Les flèches indiquent le sens du glissement. Il faut remarquer également le niveau de paléosol Alleröd, au-dessus de la flèche droite, affecté par le glissement gravitaire.

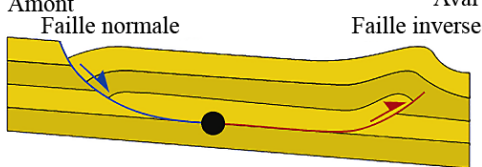
Fig. 17 : End E of the section of fig. 7

The photo shows the straightening of the layers, in the collision zone of the sliding towards the E and the O. The arrows indicate the direction of the slip. Note also the level of Paleosol Alleröd, above the right arrow, affected by gravity slip.

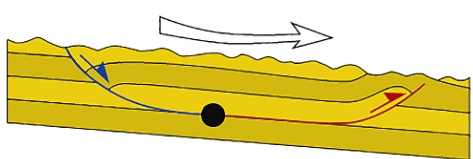
a, Initiation



b, Glissement



c, Arrêt et érosion



d, Nouveau dépôt et compaction

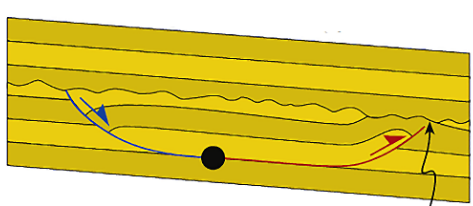


Fig. 18 : Origine des glissements, sur faible pente (d'après Aslopp et Marco, 2013)
Fig.18 : Origin of landslides, on low slope (from Aslopp and Marco, 2013)

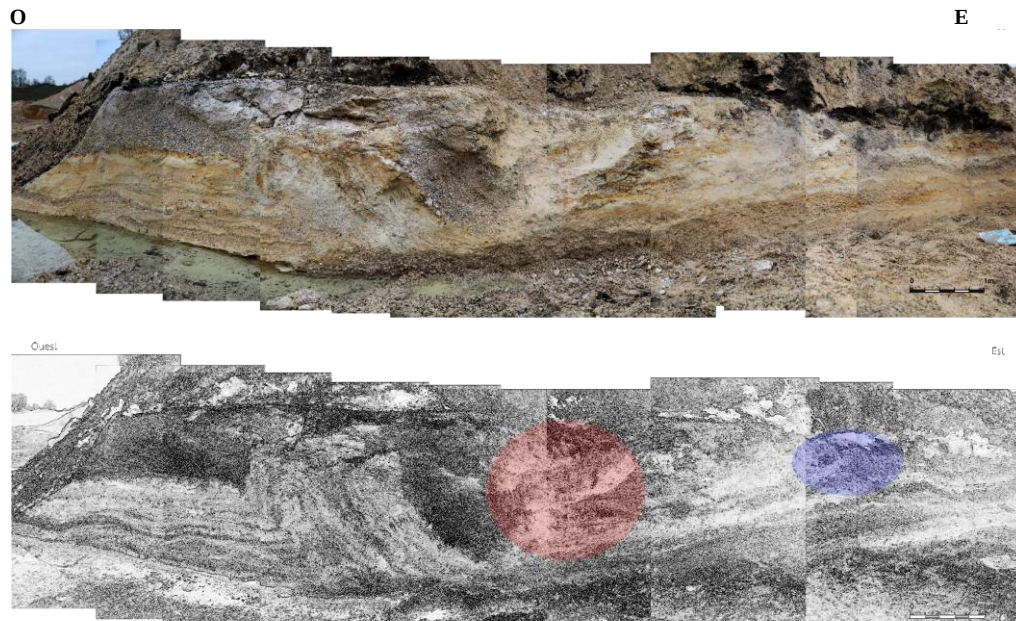


Fig. 19 : Bréchification, éjections et glissements tardifs.

Le montage photographique est à 10 m au N d'un dôme de craie sous-alluvial. L'image travaillée sous le logiciel Photoshop permet une meilleure observation au centre d'une importante éjection de sable (en rose). En bleu, des tourbes (Alleröd ou boréales) sont entraînées dans les niveaux inférieurs liquéfiés. Au centre gauche, il faut remarquer un important glissement gravitaire fracturant un niveau calcifié sommital.

Fig. 19 : Brecification, ejections and late landslide

The photographie montage is 10 m N of a sub-alluvial chalk dome. The image worked under the Photoshop software allows

a better observation in the center of a large ejection of sand (in pink). In blue, peats (Alleröd or boreal) are driven into the liquefied lower levels. In the left center, there is an important gravitational shift fracturing a calcified summit level.

Cette hypothèse est également étayée par l'existence de nombreux dômes de craie campanienne éclatée et injectés dans la masse alluviale (fig.4, 20 et 21). La craie à forte microporosité (35%) (Mégny, 1978) (Bergues et Charpentier, 2000) présente une très faible porosité matricielle. Elle est saturée d'eau ne pouvant s'échapper. Cette eau d'imprégnation, incompressible, est à l'origine d'une bréchification hydraulique lors d'un séisme, avec explosion sous alluviale et création du choc initiateur du glissement (fig.18). L'existence d'injection per ascensum, en coup de poing, de gravier et sables dans les marnes périglaciaires confirme cette hypothèse (fig.22).



Fig. 20 : Craie hydrofracturée injectée dans la base des marnes holocènes. Site de Sauvage, 2010

Cette injection induit un effondrement gravitaire au SO, éjection de sable et faille inverse au centre, affectant un niveau coloré par les oxydes de fer (rouge) et de manganèse (noir).

Fig. 20: Hydrofractured chalk injected into the base of the holocene marls. Sauvage site, 2010

This injection induces a gravitational collapse at SO, ejection of sand and reverse fault at the center, affecting a level colored by the oxides of iron (red) and manganese (black).



Fig. 21 : Galet de craie injecté de sable, aux abords d'un faille inverse (fig. 5 et 14).
Fig.21: Chalk pebble of sand-injected, near an opposite fault (fig. 5 and 14).

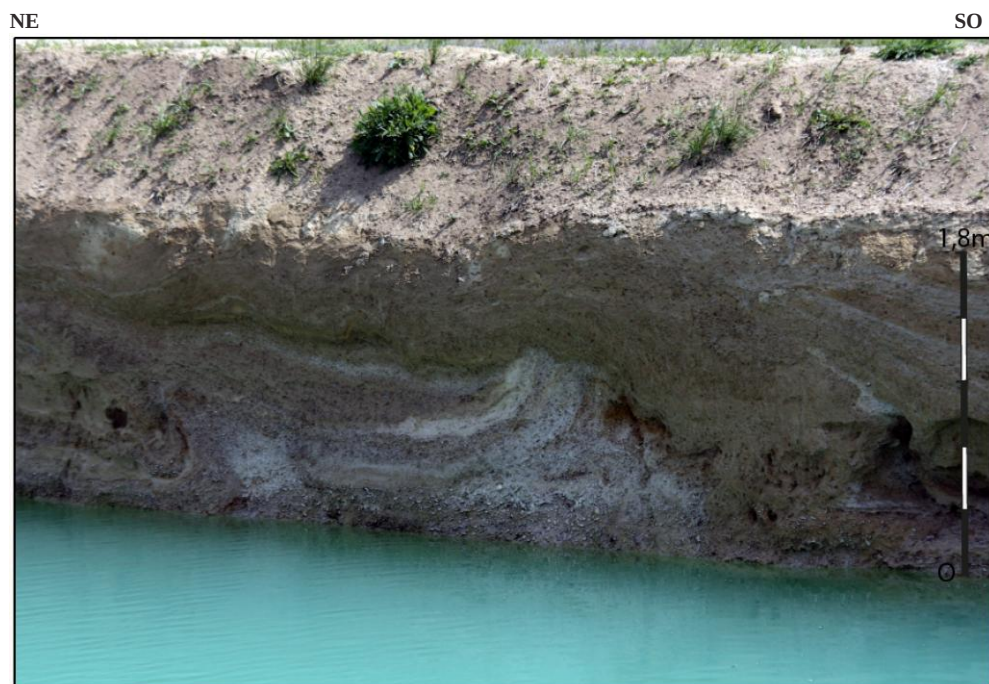


Fig. 22 : Injection dans les marnes fini-weichseliennes (Sauvage, 2010).
 L'injection « per ascensum » crée une faille inverse, à gauche du cliché (NE).
Fig. 22: Welchselian marl injection finished (Sauvage, 2010).
 The "per ascensum" injection creates a reverse flaw, to the left of the snapshot (NE).

CONCLUSION

L'importante perméabilité des craies sous alluviales explique aisément leur fracturation hydraulique cosmique. Cette fracturation explosive induit de nombreux glissements gravitaires dans des sédiments gorgés d'eau (paléochenaux ou mollisol périglaciaire), tout autant que des failles dans les sédiments plus indurés. Les déformations par le froid du fini

glaciaires sont totalement insuffisantes pour expliquer toutes nos déformations et leur répartition géographique très localisée. Les déformations nombreuses observées sur les sites de Marcilly et Sauvage apparaissent donc liées, majoritairement, à des séismes. La dernière activité sismique enregistrée dans la série remonte à la base de l'Holocène (fig. 10, 13 et 15). Cette activité tectonique serait à relier à des jeux récents des failles de Saint Martin de Bossenay et Vittel-Bray) (fig. 1). Cette dernière, considérée comme un accident majeur du bassin de Paris (Briaïs, 2015) se marque bien sous la Brie par une forte remontée du toit de la craie (Mégny, 1979). Elle oriente également le cours de la Seine (fig. 1) sur près de 11 km entre Méry-sur-Seine, à l'Est et Marcilly, au Nord-Ouest (Obert *et al.*, 1992). L'intensité des déformations, tout autant que leur répartition spatiale et verticale, s'estompant dans un rayon de 30 km, indiquent deux séismes de magnitude supérieure à 5 (Obermayer *et al.*, 2002). Une légère activité sismique existe encore actuellement (Cara *et al.*, 2015).

REMERCIEMENTS

Ils s'adressent tout particulièrement à la société Morgagni Zeimett et à son personnel, nous ayant largement favorisé le travail sur le site de Marcilly. Il faut également remercier Madame Nicole Limondin-Lozouet, pour la détermination de la malacofaune, Madame J. Argant, pour l'examen palynologique, Laurence Le Calonnec pour les diagraphies aux rayons X et le laboratoire Aquanalyse pour les mesures par ICP des raies d'émissions des éléments majeurs et traces, sur sable, limon, marnes bleues et niveau rouge (possible tephras d'Eltville) (fig. 6).

BIBLIOGRAPHIE

- **ANTOINE P., ROUSSEAU D-D., MOINE O., KUNESCH S., HATTE' C., LANGE A., TISSOUX H., ZÖLLER L.,** (2009) - Rapid and cyclic aeolian deposition during the Last Glacial in European loess: a high-resolution record from Nussloch, German. *Quaternary Science Reviews* xxx, p. 1-19.
- **ALSOP G., MARCO S.,** (2013) - Seismogenic slump folds formed by gravity-driven tectonics down a negligible subaqueous slope. *Tectonophysics* 605, 48–69
- **BAIZE S., COULON M., HIBSCH C., CUSHING M., LEMEILLE F., HAMARD E.,** 2007-Non-tectonic deformations of Pleistocene sediments in the eastern Paris basin, France. *Bull. Soc.Géol.Fr*, v. 178, n°3, p. 367- 381.
- **BARTHÉLEMY R., LACOT R., MARCHAND J., RIVEREAU J.C.,** (1965) - Carte géologique détaillée de la France - Romilly-sur-Seine au 1/50000 n° XXVII-16. Service de la carte géologique de la France.
- **BECCALETTO L., HANOT F., SERRANO O., MARC S.,** (2011) - Overview of the subsurface structural pattern of the Paris Basin (France): Insights from the reprocessing and interpretation of regional seismic lines. *Marine and petroleum Geology*, vol. 28, p. 861-878.
- **BENOIT P., MEGHRAOUI M., GRISONI J.M.,** (2013) - Quaternary faulting in the central Paris basin: Evidence for coseismic rupture and liquefaction. *4 th international INQUA Meeting on Paleoseismology, Actice tectonics and Archeology (PATA), Aachen, Germany*, p. 1- 4.

- **BERGUE J., CHARPENTIER J.P.,** (2000) - Caractéristiques physiques et mécaniques de la craie du bassin de Paris. *Bull. inf. Bass. Paris*. Vol. 37, n°2, p.120-124.
- **BERTRAN P. BENOIT P., FONT M.,** (2017) - Compte-rendu de terrain Coupe de Marcilly-sur-Seine.
- **BROSSE E., BADINIER G., BLANCHARD F., CASPARD E., COLLIN P.Y., DELMAS J., DEZAYES C., DREUX R., DUFOURNET A., DURST P., FILLACIER S., GARCIA D., GRATALOUP S., HANOT F., HASANOV V., HOUEL P., KERVEVAN C., LANSIART M., LESCANNE M., MENJOZ A., M. MONNET M., MOUGIN P., NEDELEC B., POUTREL A., RACHEZ X., RENOUX P., RIGOLLET C., RUFFIER-MERAY V., SAYSET S., THINON I., THORAVALE A., VIDAL-GILBERT S.,** (2010)- Selection and Characterization of Geological Sites able to Host a Pilot-Scale CO₂ Storage in the Paris Basin (GéoCarbone-PICOREF). *Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP*, vol. 65, n°3, p. 375-403.
- **BONNEAU M., SOUCHIER B.,** (1979) - Constituants et propriétés du sol. *Pédologie*. Masson, p.30.
- **BRIAIS. J.,** (2015) - Le Cénozoïque du bassin de Paris : un enregistrement sédimentaire haute résolution des déformations lithosphériques en régime de faible subsidence. Thèse Sciences de la terre. Université de Rennes, p. 80.
- **CARA M., CANSI Y., SCHLUPP A., ET AL.,** (2015) - SI-Hex: a new catalogue of instrumental seismicity for metropolitan France. *Bulletin de la Société Géologique de France* 186 (1), p. 3-19.
- **COULON, M.,** (1994) - Mise en évidence et approche microtectonique des déformations quaternaires en Champagne : implications géodynamiques et conséquences hydrographiques. In: *Workshop Morphogenèse cénozoïque de l'Europe de l'Ouest*. Groupe Fr. Géomorph., Rennes, 1 p.
- **DEMOULIN A.,** (1996) - Clastic dykes in east Belgium. Evidence of upper Pleistocene strong earthquakes west of the lower Rhine rift segment. *Journal of the Geological Society, London*, vol.153, p. 803-810.
- **DE LA TAILLE C.,** (2015) - Évaluation de l'activité tectonique quaternaire des failles du Jura méridional (France). Thèse de Docteur de l'Université Grenoble Alpes, 76-91.
- **JUVIGNE E.,** 1999 – Tephrostratigraphie du Quaternaire, en Belgique. *Geologica Belgica* 2/3-4, p. 73-87.
- **MEGNIEN, F., DUTIL, P. & MONCIARDINI, C.,** (1977) - Carte géologique de la France au 1/50 000, notice explicative de la feuille de Fère-Champenoise. Edition BRGM, Orléans.
- **MÉGIEN C.,** (1979) - Hydrogéologie du centre du bassin de Paris. Mémoire BRGM n°98, 353, p. 368-369.
- **MICHEL J.P.,** (1972) - Le Quaternaire de la région parisienne. Thèse de Docteur es Sciences naturelles, Université de Paris VI, 465 p.
- **MORGENSTERN A., ULRICH M., GÜNTHER F., ROESSLER S., FEDOROVA I.V., RUDAYA N.A., WETTERICH S., BOIKE J., SCHIRMEISTER L.,** (2013) - Evolution of thermokarst in east Siberian ice-rich permafrost: A case study. *Geomorphology* 201, p. 363-379.
- **OBERT D., DEFFONTAINES B., GELY J.P.,** (1992)- Adaptation du réseau hydrographique aux structures et à l'évolution néotectoniques. Applications au Bassin Parisien . *Bull. Inf. Géol. Bass. Paris*, volume 29, n°4, p. 85-95.

- **OBERMEIER S., POND C., OLSON, S., GREEN, R.,** (2002) - Paleoliquefaction studies in continental settings. *Ancient seismics*. Geological Society of America, special paper 359, p. 13-27.
- **PASTRE J. F., LEROYER C., LIMONDIN-LOZOUET N., CHAUSSÉ C., FONTUGNE M, GEBHARDT A., HATTÉ CH., KRIER V.,** (2000) - Le Tardiglaciaire des fonds de vallées du Bassin Parisien (France) [The Late-Glacial from the Paris basin floodplains (France)]. *Quaternaire*, vol. 11, n°2, Le Tardiglaciaire en France septentrionale, p. 107-122.
- **PIWAKOSWKI B.,** (2010) - Reconnaissance géophysique de la subsurface par méthode de sismique haute résolution sur le site de Sauvage-Marne. *Service d'activités industrielles et commerciales (SAIC)*. Rapport interne. École Centrale de Lille, 10 p.
- **TASGIN C., İBRAHİM TÜRKMEN I.,** (2009) - Analysis of soft-sediment deformation structures in Neogene fluvio-lacustrine deposits of Çaybağı Formation, Eastern Turkey. *Sedimentary Geology* 218, p.16–30.
- **RUSSELL L., WHEELER J.,** (2002) – Distinguishing seismic from nonseismic soft-sediment structures: Criteria from seismic-hazard analysis. *Ancient seismics*. *Geological Society of America*, special paper 359, p. 1-11.
- **SHANMUGAM G.,** (2016) - The seismite problem. *Journal of Palaeogeography*, 5(4), p. 318-362
- **VAN VLIET-LANOE, B., BRULHET, J., COMBES, P., DUVAIL, C., EGO, F., BAIZE, S. & COJAN, I.,** (2016) - Quaternary thermokarst and thermal erosion features in northern France: origin and palaeoenvironments. *Boreas*. 10.1111/bor.12221. ISSN 0300-9483.