



Réalisation d'un schéma directeur
Archives Nationales de Fontainebleau

Diagnostic Structures

Complément au rapport initial suite à la 2^{ème} campagne de
sondages

BATIMENTS U1 & U2

Table des matières

1. OBJET.....	3
2. SYNTHÈSE DES RESULTATS DES SONDAGES	3
2.1. Sondages des sols.....	3
2.2. Suivi des évolutions des fissures	5
3. ANALYSE DES CAUSES POSSIBLES DES DESORDRES	8
3.1. Bilan des charges unitaires pour les Bâtiments U1/U2.....	8
3.2. Prise en compte des poussées des eaux et des argiles gonflantes	9
3.3. Historique du Chargement/Dechargement *(INDICE B du 10 AVRIL 2014)(*).....	10
3.4. Interpretation des désordres observés.....	11
3.6. Eléments complémentaires	18
4. SYNTHÈSE DES MESURES ET ESSAIS	19
5. CONCLUSION	19

1. OBJET

Le présent rapport vient en complément du rapport initial portant sur le diagnostic visuel et documentaire des bâtiments U1 et U2 du site des Archives Nationales de Fontainebleau.

Il fait suite au Rapport d'Etude Géotechnique du 17/02/2014 établi par GÉOTECHNIQUE APPLIQUÉE sur la base du cahier des charges de Setec bâtiment en date du 09/12/2013. **La présente mise à jour intègre les derniers essais de sol figurant au rapport de GÉOTECHNIQUE APPLIQUÉE en date du 05/05/2014.**

Il porte uniquement sur l'analyse des structures porteuses des bâtiments U1 et U2 au regard également des relevés de suivi des évolutions des fissures établis par GINGER CEBTP (DOSSIER BDP3.D.039 R4 du 25 Février 2014). **La présente mise à jour intègre les dernières mesures de fissures GINGER figurant au rapport de GÉOTECHNIQUE APPLIQUÉE en date du 05/05/2014**

2. SYNTHÈSE DES RESULTATS DES SONDAGES

2.1. SONDAGES DES SOLS

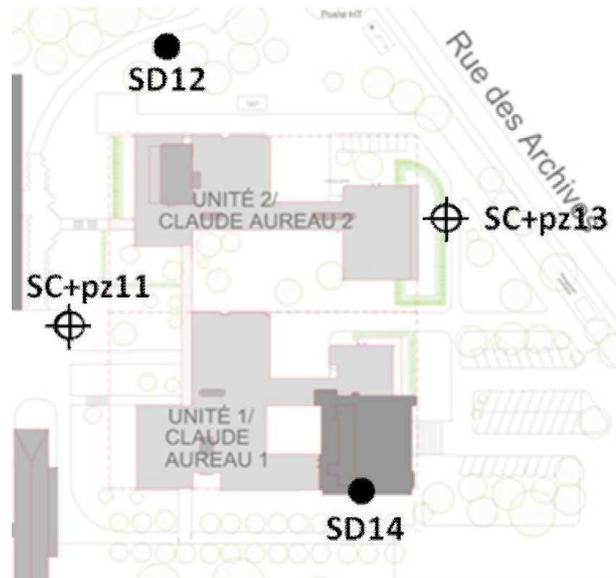
2.1.1. Contenu de la mission :

La mission d'étude géotechnique confiée au BET GÉOTECHNIQUE APPLIQUÉE est de type G1 PGC selon la norme NF P 94-500 de Novembre 2013 et portait sur les éléments suivants :

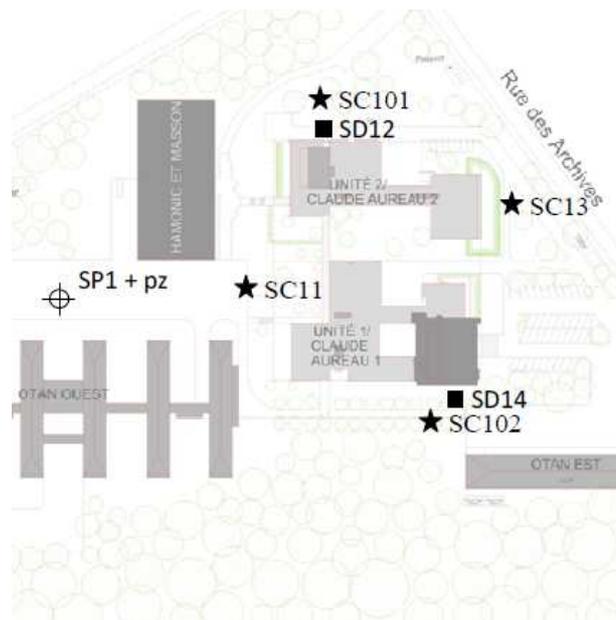
- Détermination de la nature des sols au droit du site,
- Localisation des circulations d'eau au moment de la campagne de sondages
- Définition du contexte géotechnique et hydrogéologique du site avec détermination des niveaux d'eaux EB (Eaux Basses), EH (Eaux Hautes) et EE (Eaux Exceptionnelles).

Il a été réalisé :

- 2 sondages carottés (repérés SC11 et SC13) descendus à 25 m de profondeur avec prélèvement d'échantillons intacts sous gaine PVC pour analyse en laboratoire.
- Mise en place de piézomètres crépinés entre 10 et 25 m pour suivre le niveau de la nappe profonde.
- 2 sondages destructifs SD12 et SD14 forés au tricône diamètre 90 mm et descendus à 25 m de profondeur.
- Une série d'analyses en laboratoire sur échantillon intact comprenant :
 - 2 identifications GTR,
 - 2 essais de gonflement à l'oedomètre.



Sondages complémentaires figurant rapport de GEOTECHNIQUE APPLIQUÉE en date du 05/05/2014



2.1.2. Principaux enseignements de la mission :

Composition du terrain

- Remblais sur 2.00m de profondeur environ
- Colluvions et Sables de Fontainebleau remaniés entre 2.00 et 5.40m de profondeur environ
- Calcaire de Brie entre 5.40m et 17.00m de profondeur environ

Un niveau notable de marne argileuse a été observé entre 11.70m et 13.50m de profondeur au droit du sondage SC11 et entre 12.80m et 14.50m de profondeur au droit du sondage SC13.

Le rapport relève qu'au droit du sondage SC101, des niveaux argilo-marneux gonflants sont présents à des niveaux situés respectivement au dessus (67,60 à 67,00 NGF) et en dessous (65,60 à 64,80 NGF) de l'assise théorique du radier.

- Marne Verte et Blanche

Niveaux d'eaux de référence :

Les niveaux d'eaux mesurés correspondent à la nappe présente au sein du Calcaire de Brie.

- Niveau des Plus Hautes Eaux Exceptionnelles : 70,70 NGF soit à 9.15 m de profondeur (dans la hauteur du 4ème sous-sol)
- Niveau des Hautes Eaux : 69,70 NGF soit à 10.15m de profondeur (dans la hauteur du 4ème sous-sol)
- Niveau des Eaux Basses : 68,20 NGF soit à 11.65m de profondeur (dans la hauteur du 5ème sous-sol)

A noter qu'un suivi piézométrique mensuel sur 1 an des deux piézomètres mis en place est en cours : à la date des sondages la nappe au droit du site s'établissait à une profondeur de 10,95m (dans la hauteur du 5ème sous-sol) juste au-delà de la limite au niveau du cuvelage existant à (69,30 NGF).

Essais en laboratoire:

Une série d'essais en laboratoire a été réalisée sur deux échantillons prélevés dans les formations potentiellement gonflantes.

L'essai de gonflement réalisé en laboratoire sur les échantillons prélevés a mis en évidence un sol gonflant avec les paramètres mécaniques suivants :

- Echantillon issu du sondage SC13 : une pression de gonflement de 150 kPa (15 T/m²) avec une teneur en eau de 25% et un indice de plasticité de 35.
- Echantillon issu du sondage SC11 : une pression de gonflement de 200 kPa (20 T/m²) avec une teneur en eau de 33% et un indice de plasticité de 60.

Etant donné l'importance de ces indices, il est nécessaire de confirmer ces essais par 2 autres prélèvements carottés afin de fiabiliser le diagnostic quant à leur influence majeure sur les fissures constatées.

Les essais de gonflement réalisés en laboratoire réalisés et figurant dans le **rapport de GEOTECHNIQUE APPLIQUÉE en date du 05/05/2014** ont également mis en évidence un sol gonflant avec les paramètres mécaniques suivants :

- Echantillon issu du sondage SC101 : une pression de gonflement de 35 kPa (3.5 T/m²) avec une teneur en eau de 15 % et un indice de plasticité de 13.
- Echantillon issu du sondage SC102 : une pression de gonflement de **500 kPa (50 T/m²)** avec une teneur en eau de 32% et un indice de plasticité de 49.

2.2. SUIVI DES EVOLUTIONS DES FISSURES

2.2.1. Contenu de la mission :

La mission de GINGER CEBTP consiste en une campagne de repérage et d'instrumentation de fissures des Archives Nationales de Fontainebleau ainsi qu'un suivi des évolutions des fissures.

La mission de diagnostic confiée à Ginger CEBTP a été réalisée en deux phases :

- Une phase de recensement et cartographie des fissures (objet du rapport R BDP3.D.039 R1),
- Une phase d'instrumentation des fissures et de suivi du niveau de la nappe phréatique présente sur le site.

Le suivi concerne 30 jauges au droit de 15 fissures. Elles sont disposées afin de mesurer l'ouverture/fermeture des fissures ainsi que le cisaillement associé de la zone et ont été fixées par chevillage ou collage au support.

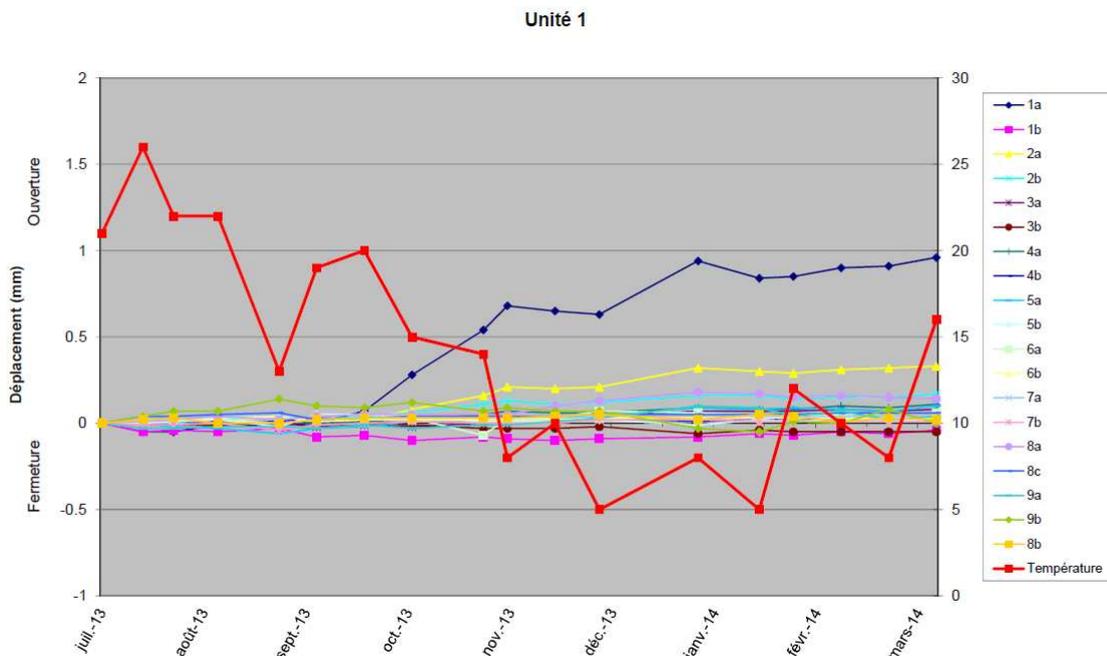
Ces jauges, sont relevées tous les 15 jours.

Les données actuelles couvrent la période entre le 19 Juillet 2013 et le **23 Mars 2014**.

L'instrumentation a été mise en place pour une durée de 11 mois.

2.2.2. Principales informations issues du suivi à ce jour (extrait du rapport du 29 Avril 2014):

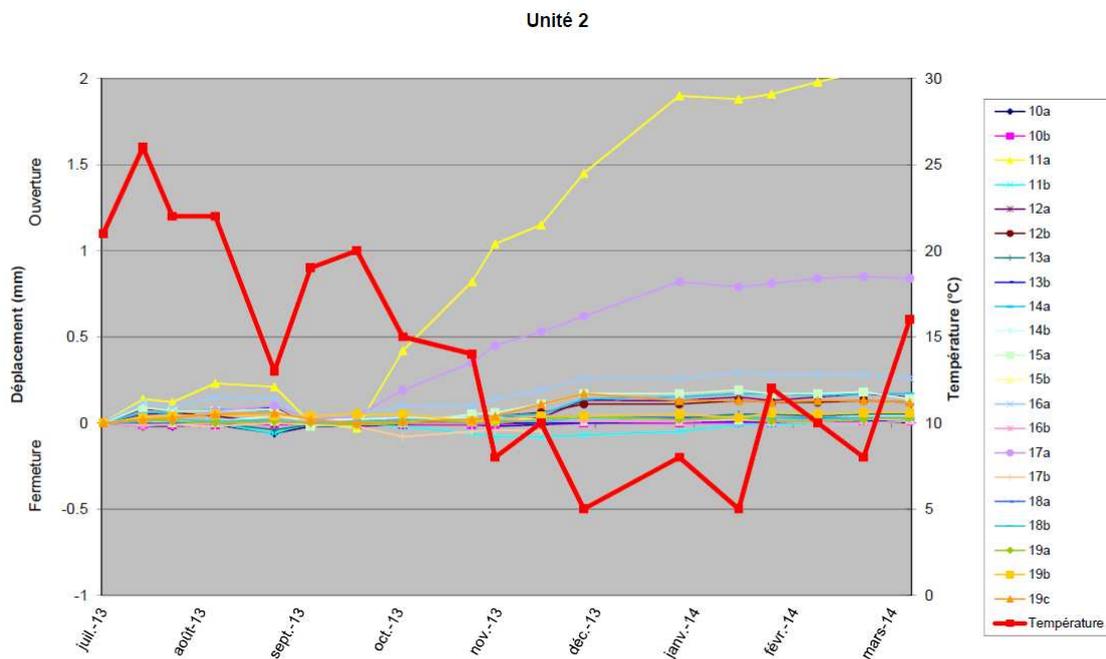
Unité 1



La jauge 1a qui atteint une ouverture résiduelle de **0,96mm en Mars 2014 (soit une évolution de 0.06mm par rapport à février 2014)**. Les jauges 1b, 2a et 9b présentent des variations légèrement plus marquées que les autres.

Les mouvements les plus accentués sont relevés au 5e sous-sol de l'Unité 1, tant dans le suivi de la respiration de la fissure (ouverture/fermeture ; jauges 1a et 2a) que dans le suivi du cisaillement de la zone (1b).

Unité 2



Des mouvements importants sont observés sur les jauges 11a et 17a qui atteignent respectivement une ouverture résiduelle **de plus de 2 mm pour la 11a** et **de plus de 0,8mm pour la 17a**.

Les mouvements les plus accentués de l'Unité 2 sont relevés au 3e sous-sol (17a et 17b) et au 5e sous-sol (11a), tant dans le suivi de la respiration de la fissure (jauges 11a et 17a) que dans le suivi du cisaillement de la zone (17b).

Les mouvements des fissures liées à la **jauge 11a** sont **très importants** au regard de la durée du suivi.

3. ANALYSE DES CAUSES POSSIBLES DES DESORDRES

3.1. BILAN DES CHARGES UNITAIRES POUR LES BATIMENTS U1/U2

Bâtiment U1 :

Le bâtiment « unité 1 » est en béton armé et a été construit en 1977.

Le bâtiment est un R+2 avec 5 niveaux de sous-sol.

Son bilan de charges unitaires estimé est le suivant :

Bâtiment U1:

Niveau & Nature des locaux	Charges Permanentes G (en t/m ²)	Surcharges d'Exploitation Q (en t/m ²)	Charge Mini ELS (en t/m ²)	Charge Maxi ELS (en t/m ²)
En toiture du 2ème étage : étanchéité lourde	0,750	0,150	0,75	0,90
2ème étage : salle de réunion avec locaux de direction	0,950	0,400	0,95	1,35
1er étage : salle de lecture (295m ²), salle de conférence (120 m ²), bibliothèque (130 m ²)	0,950	0,400	0,95	1,35
RDC : Hall d'honneur, cafétéria, salle de transit et Quai, bureaux et locaux annexes	1,200	0,400	1,20	1,60
1er sous-sol : locaux d'archives, ateliers, chaufferie, galeries techniques	1,000	0,500	1,00	1,50
Du 2ème au 4ème sous-sol : locaux d'archives cloisonnés (surface variant de 185 à 255 m ²), circulations de desserte, escaliers encloués.	3,000	1,950	3,00	4,95
5ème sous-sol Radier bas épaisseur 0,75m : locaux d'archives cloisonnés (surface variant de 185 à 255 m ²), circulations de desserte, escaliers encloués.	2,508	0,650	2,51	3,16

BILAN DES CHARGES UNITAIRES GLOBALES

Bâtiment déchargé : Charge minimale 10,4

Bâtiment surchargé : Charge Maximale 14,8

Bâtiment U2 :

Le bâtiment « unité 2 » est en béton armé et a été construit en 1984.

Le bâtiment U2 est à RDC avec 5 niveaux de sous-sol.

Son bilan de charges unitaires estimé est le suivant :

Bâtiment U2:

Niveau & Nature des locaux	Charges Permanentes G (en t/m ²)	Surcharges d'Exploitation Q (en t/m ²)	Charge Mini ELS (en t/m ²)	Charge Maxi ELS (en t/m ²)
En toiture du RDC : étanchéité lourde	0,750	0,150	0,75	0,90
RDC : Hall d'honneur, cafétéria, salle de transit et Quai, bureaux et locaux annexes	1,075	0,400	1,08	1,48
1er sous-sol : un local d'archives, un local bandothèque, une salle informatique, une chaufferie, galeries techniques, des bureaux et locaux annexes	1,000	0,500	1,00	1,50
Du 2ème au 4ème sous-sol : locaux d'archives cloisonnés (surface variant de 185 à 255 m ²), circulations de desserte, escaliers encloués.	2,700	1,950	2,70	4,65
5ème sous-sol Radier bas épaisseur 0,90m : locaux d'archives cloisonnés (surface variant de 185 à 255 m ²), circulations de desserte, escaliers encloués.	2,883	0,650	2,88	3,53

BILAN DES CHARGES UNITAIRES GLOBALES

Bâtiment déchargé : Charge minimale **8,4**

Bâtiment surchargé : Charge Maximale **12,1**

Nota :

Pour la détermination du poids total des archives nous avons estimés les valeurs et paramètres suivants :

- Linéaire de 6 boîtes x 25 kg/m² =150 kg/m²
Sur 6 hauteurs ; soit 6 x 150 kg/m² =900 Kg/m²
- Foisonnement espacement 80cm / (80cm+50cm)=0.615
Soit une charge équivalente de 0.615*900=550kg/m²
- Poids propre des ossatures = 100 kg/m²
Soit une **charge d'exploitation équivalente à l'« archivage »** de 550kg/m²+100Kg/m²=**650kg/m²**.

Cette charge est moins importante que la charge de 1t/m² prise en compte lors de la conception du projet.

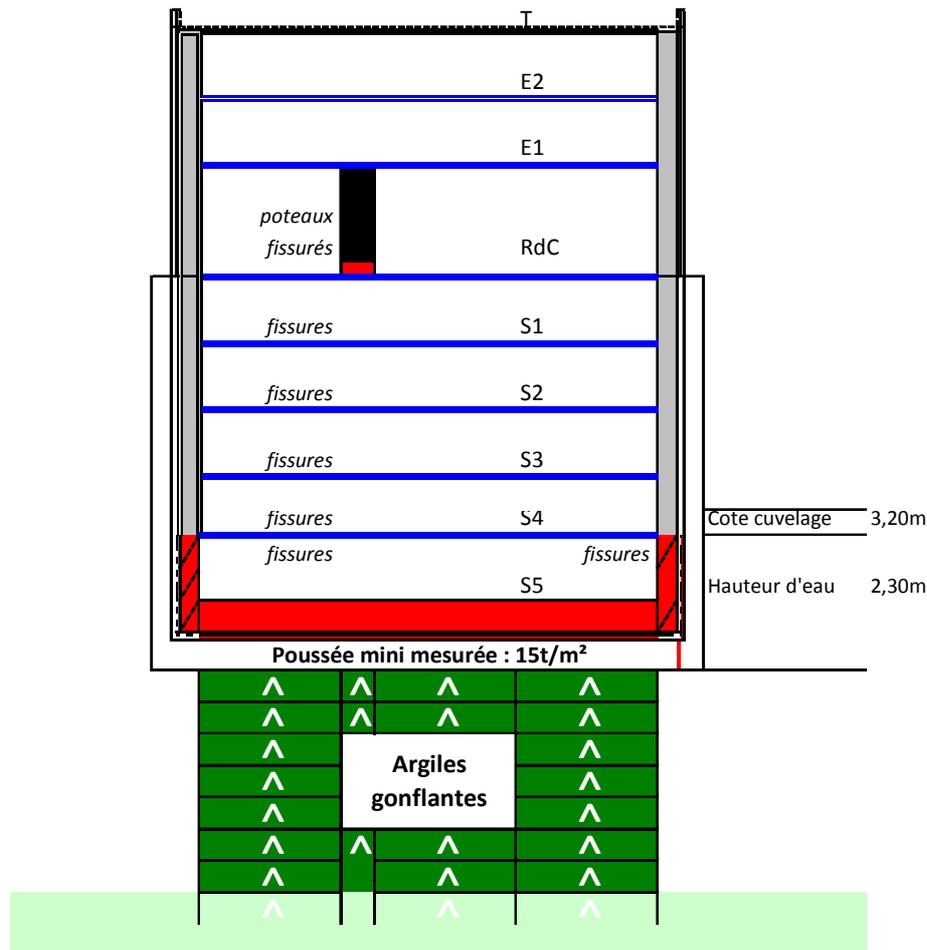
Ceci peut avoir un impact quant au poids réel de l'ouvrage chargé surtout vis à vis des soulèvements.

3.2. PRISE EN COMPTE DES PUSSEES DES EAUX ET DES ARGILES GONFLANTES

Au vu des sondages réalisés nous allons considérer à minima les données suivantes :

- Pousée des argiles gonflantes : 15t/m²
- Pousée hydrostatique de la nappe d'étiage (niveau normal mesuré à 68.92 NGF) : 2.30 t/m².

Soit une pousée combinée de 17.30 t/m².



Au final nous obtenons globalement et pour les 2 cas de chargements minimaux (sous son poids uniquement) et maximaux (archives saturées) les 2 valeurs résiduelles suivantes :

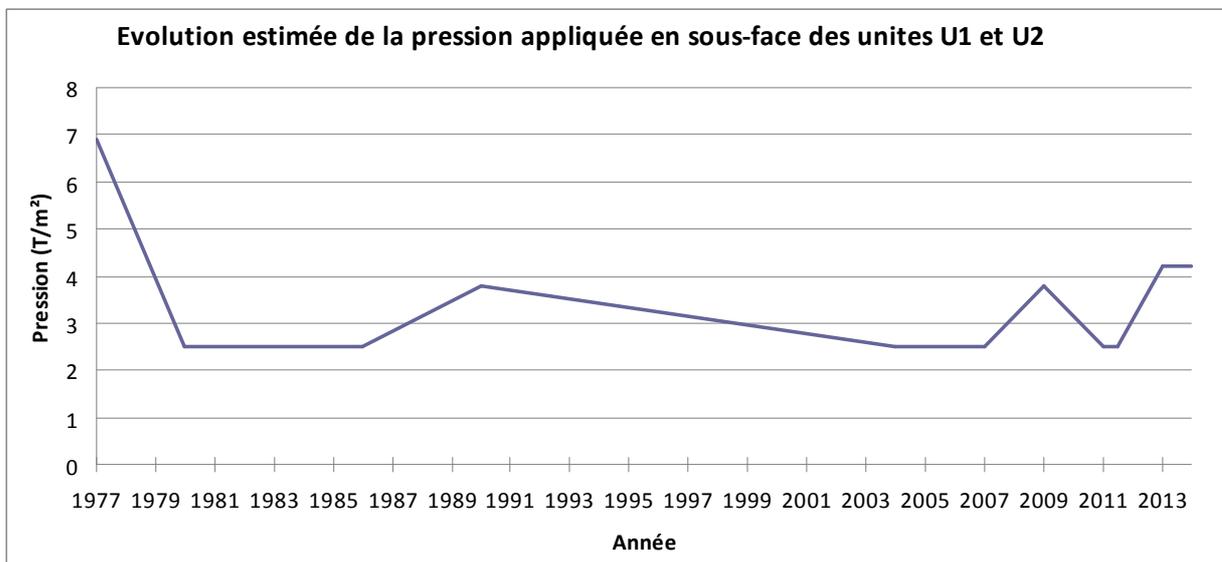
- **Bâtiment entièrement vide** : une **poussée** sous radier du bâtiment de $17.3-10.4= \underline{6.9 T/m^2}$
- **Bâtiment chargé à saturation** : une **poussée** sous radier du bâtiment de $17.3-14.8= \underline{2.5 T/m^2}$

3.3. HISTORIQUE DU CHARGEMENT/DECHARGEMENT *(INDICE B DU 10 AVRIL 2014)(*)

Nous essayons ci-après d'apprécier les divers cycles de chargement /déchargement au vu des éléments tangibles quant aux dates « marquantes » de l'exploitation des unités 1 et 2 ; à savoir :

- 1977 : livraison de U1
- 1978 : Début du remplissage U1
- 1984 : Livraison de U2
- 1986 : Début de l'équilibrage des remplissages entre U1 et U2 (déchargement d'archive pour U1)
- 1990 : U2 est au même niveau de remplissage qu'U1. U1 se remplit à nouveau
- 2004 : U1 est plein - les arrivées d'archives sont mises en attente de la livraison du bâtiment Transitoire
- 2006 : Livraison du bâtiment transitoire
- 2007 : Equilibrage des archives U1/U2/TR (déchargement de U1)

- 2011 : Remplissage total de U1 - arrivées d'archives en attente de la livraison de Pierrefitte
- 2012 : Livraison de Pierrefitte (Déchargement massif d'archives)



Au vu de ce graphique il ressort que :

- Des poussées alternées tendant à soulever l'ouvrage se sont exercées depuis le début de la construction de l'unité 1 et ont continué lors de la construction de l'unité 2 et ce pendant 13 ans environ.
- Sur une période de 17 ans entre 1990 à 2007 la poussée permanente a baissée régulièrement à une valeur minimale de l'ordre de 2.5 T/m² suivie d'une période de chargement / déchargement entre 2007 et 2013.

On note aussi que depuis 2011 la poussée augmente suite au déchargement des unités 1 et 2 pour atteindre celle de 1990 soit 4 T/m² environ.

(*)INDICE B DU 10 AVRIL 2014 : Cet historique est conservatoire et basé sur le fait que les Unités U1 et U2 restent le plus chargé possible et le plus-longtemps possible afin de montrer que ces bâtiments on toujours été soumis à une pression ascendante pour laquelle ils n'ont pas été conçus.

3.4. INTERPRETATION DES DESORDRES OBSERVES

Au vu des éléments ci-dessus et vu la nature des nombreuses fissures réparties sur les différents niveaux en sous-sols et en étages, en particulier au niveau :

- des pieds de poteaux au rez-de-chaussée,
- des jonctions poteau-plancher-dalle dans les sous-sols (en particulier au R-5),
- des voiles béton dans les sous-sols (en particulier au R-5).

Etant donné que certaines fissures sont anciennes et que le phénomène semble se développer avec le déchargement des archives vers le site de Pierrefitte-sur-Seine, il y a une forte probabilité que les fissures proviennent des contraintes verticales induites par le cycle Gonflement /Retrait des argiles gonflantes combiné à une fluctuation de la nappe.

L'analyse de l'ouverture des joints de dilatation et de l'orientation des fissures indique un mouvement d'ensemble des bâtiments du bas vers le haut.

Les parties latérales enterrées du bâtiment ont tendance à s'ouvrir vers l'extérieur mais sont « retenues » par le sol qu'elles mobilisent en frottement, les parties en surface sont « poussées vers l'extérieur sous l'action du soulèvement des poteaux induit par l'effet de « pistonement du radier ».

Les variations de pression, et donc les variations de déformées structurales depuis 36 ans génèrent une fatigue générale, particulièrement des aciers, qui met en jeu la pérennité du bâtiment sans qu'il soit possible d'évaluer une date précise de rupture par fatigue.

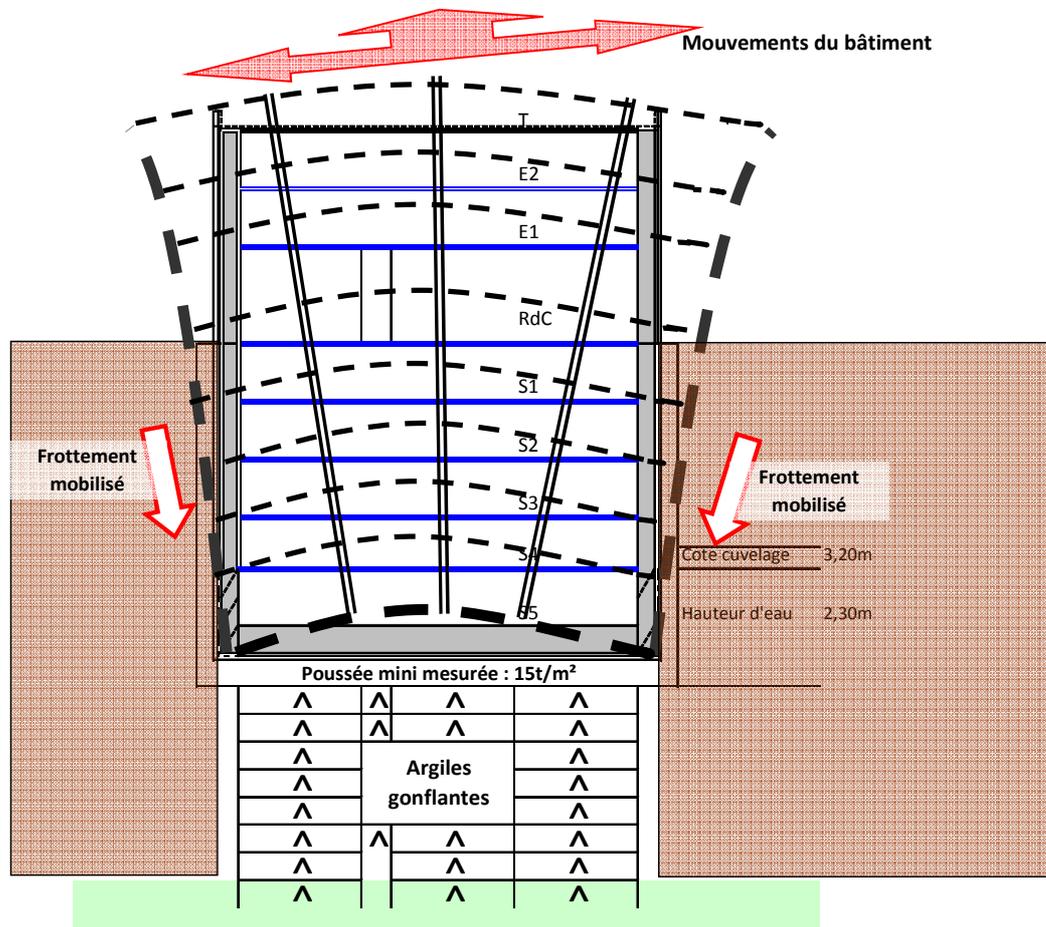


Schéma de principe de déformation du bâtiment sous pression de gonflement

3.5. APERÇU DES DESORDRES

Pieds de poteaux au rez-de-chaussée



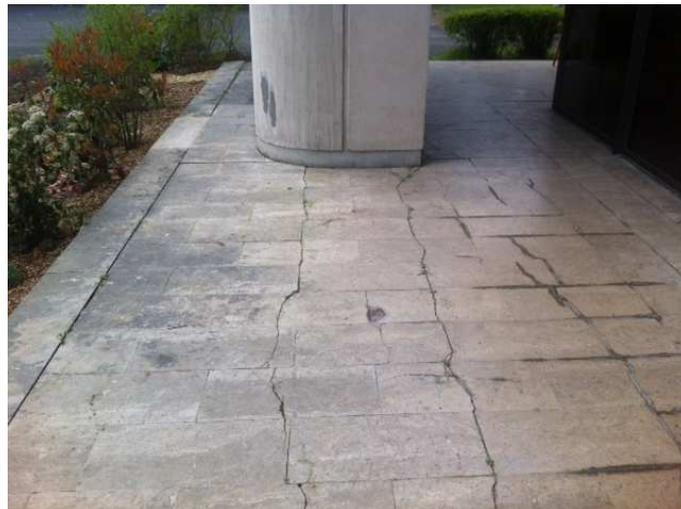
Jonctions poteau plancher-dalle dans les sous-sols (en particulier au R-5),



Voiles béton dans les sous-sols (en particulier au R-5).



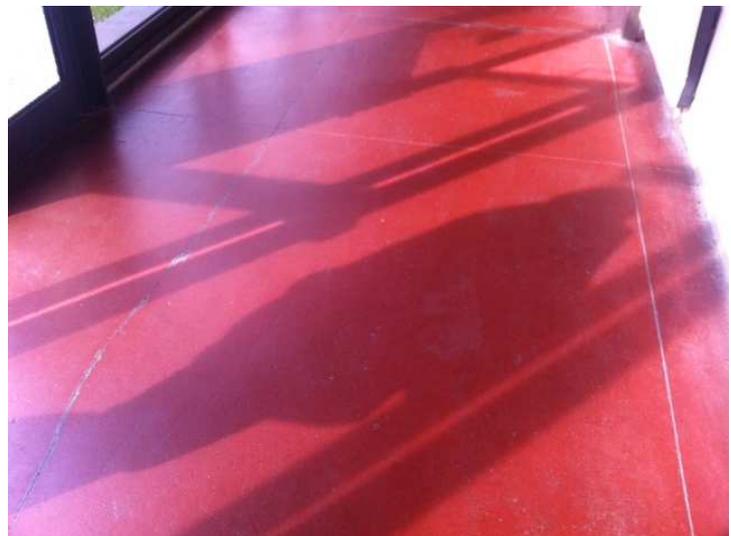
Voiles et planchers béton au niveau RDC.



Ouverture des joints de dilatation



Fissuration et soulèvement des planchers (au RDC)



3.6. ELEMENTS COMPLEMENTAIRES

La consultation des documents et pièces marché retrouvés dans les DOE des archives nationales fait apparaître des éléments qui confirment que la présence d'argiles potentiellement gonflantes était connue avant la construction des unités 1 et 2. Mais la pression de gonflement n'a pas été quantifiée.

En ce qui concerne les phénomènes de gonflement, selon FONCAPSOL : "

 " Nous rappelons que les échantillons des marnes vertes de Romainville ont mis en évidence une pression hydrostatique interne élevée développée en présence d'eau et entraînant une tendance au gonflement de ce matériau. Cette pression est actuellement équilibrée par la charge des terrains sus-jacents. Au déchargement, un gonflement se produira donc de façon différentielle en relation, d'une part, avec la situation verticale de ce matériau par rapport au fond de fouille, d'autre part avec sa position géographique au centre ou en périphérie de la fouille "

La courbe théorique donnant l'allure de l'amplitude du tassement, en fonction de l'avancement des travaux, montrera, à l'ouverture de la fouille, un gonflement rapide de type "élastique", puis un gonflement de type hydrodynamique, d'autant plus accentué que le fond de fouille sera laissé à l'air libre.

Ensuite, lors de l'édification des structures, on observera un tassement de remise en place également rapide qui compensera incomplètement le gonflement initial.

 Il y a donc un tassement résiduel dont l'amplitude, dans le cas où les marnes vertes affleurent directement au fond de fouille, serait de l'ordre de 2 cms. environ (cette valeur n'étant qu'un ordre de grandeur grossièrement estimé.)

En fait, l'amplitude du gonflement résiduel pourra être très sensiblement diminué par l'élimination de l'eau de la Formation de Bré à l'intérieur de la fouille, par la mise en place d'un béton de propreté, enfin par l'édification des structures dès que possible après réception du fond de fouille.

Ces précautions étant observées, on remarquera donc essentiellement un phénomène de gonflement rapide de type élastique et des tassements de remise en place des couches ayant subi ce même gonflement.

En l'absence d'eau, l'ordre de grandeur de ces tassements de remise en place serait de 1 à 1,5 cm.

Par ailleurs il est confirmé que certaines fissures étaient déjà apparues dès 1980 après la construction de l'unité 1 et avant achèvement des travaux de l'unité 2.



**Relevés entre
1980 et 1982**

4. SYNTHÈSE DES MESURES ET ESSAIS

Les 4 essais de sol ont bien mis en évidence des argiles gonflantes dans les zones de sondages et au pourtour des unités 1 et 2.

Les pressions de gonflement des argiles vont de 35kPa (3.5t/m²) jusqu'à une valeur très élevée de 500 kPa (50 t/m²).

A noter que les estimations faites ci-dessus ont démontré qu'il y a déjà un soulèvement suivi de désordres structuraux des 150 kPa de pression de gonflement.

Repérages des sondages et pression de gonflement



Par ailleurs les mesures effectuées par GINGER jusqu'au 24 Mars 2014 (soit juste avant la fermeture des unités 1 et 2) ont confirmé que les ouvertures des fissures continuent de manière permanente confirmant les mouvements structuraux des Unités 1 et 2.

5. CONCLUSION

Au vu :

- De l'analyse faite ci-dessus il est évident que le bâtiment est en phase active de déplacement sous l'action combinée des argiles gonflantes, des fluctuations de la nappe d'eau et du déchargement des locaux d'archives.
- De l'ouverture de certaines fissures pour lesquelles nous sommes déjà bien au delà de ce qui est admissible (à titre de comparaison les Eurocodes limitent les fissures à 0,3 mm alors que certaines fissures existantes sont à plus de 0,8mm **voire au-delà de 2 mm**).
- De la nature des sollicitations cycliques, de la propagation des fissures et de leur ouverture progressive qui à mesure des cycles affaiblit les armatures du béton armé. Celles-ci tendent à se plastifier et finiront par céder à une date impossible à déterminer à ce jour.
- Que ces bâtiments subissent depuis l'origine des contraintes pour lesquelles ils n'ont pas été conçus.
- **Les pressions de gonflement mesurées sont importantes (jusqu' 50 t/m²) et peuvent engendrer de très gros désordres structuraux entraînant la ruine des bâtiments.**

Nous estimons qu'il y a un risque portant sur la stabilité structurelle de l'ouvrage.

Ce risque imprévisible dans son ampleur et dans le temps peut porter atteinte à la sécurité des personnes.