

Rapport n° T/68024

Deux CPT 100 kN et une tomographie électrique à
PROFONDEVILLE, rue Fond de Vau

7 février 2012

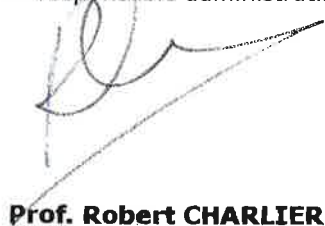
Demandé par ADELAIDE LAMBIN & JEAN S. LAMBIN
NOTAIRES ASSOCIES
GRAND RUE, 13
5640 - SAINT-GERARD

Pour le compte de *Idem*

Référence E-mail du 10 janvier 2012 de Mme Boulanger

Contenu du rapport 11 pages et 8 planches

Le responsable administratif



Prof. Robert CHARLIER

Le responsable scientifique



Chargé de cours Frédéric COLLIN

*Dans le cas où les matériaux n'ont pas été prélevés par ses soins, le Laboratoire n'accepte aucune responsabilité concernant l'origine des matériaux; il garantit seulement l'exactitude des résultats des essais qu'il a effectués.
La reproduction, même partielle, du présent procès-verbal est subordonnée à l'accord du laboratoire.*



1. Cadre géologique

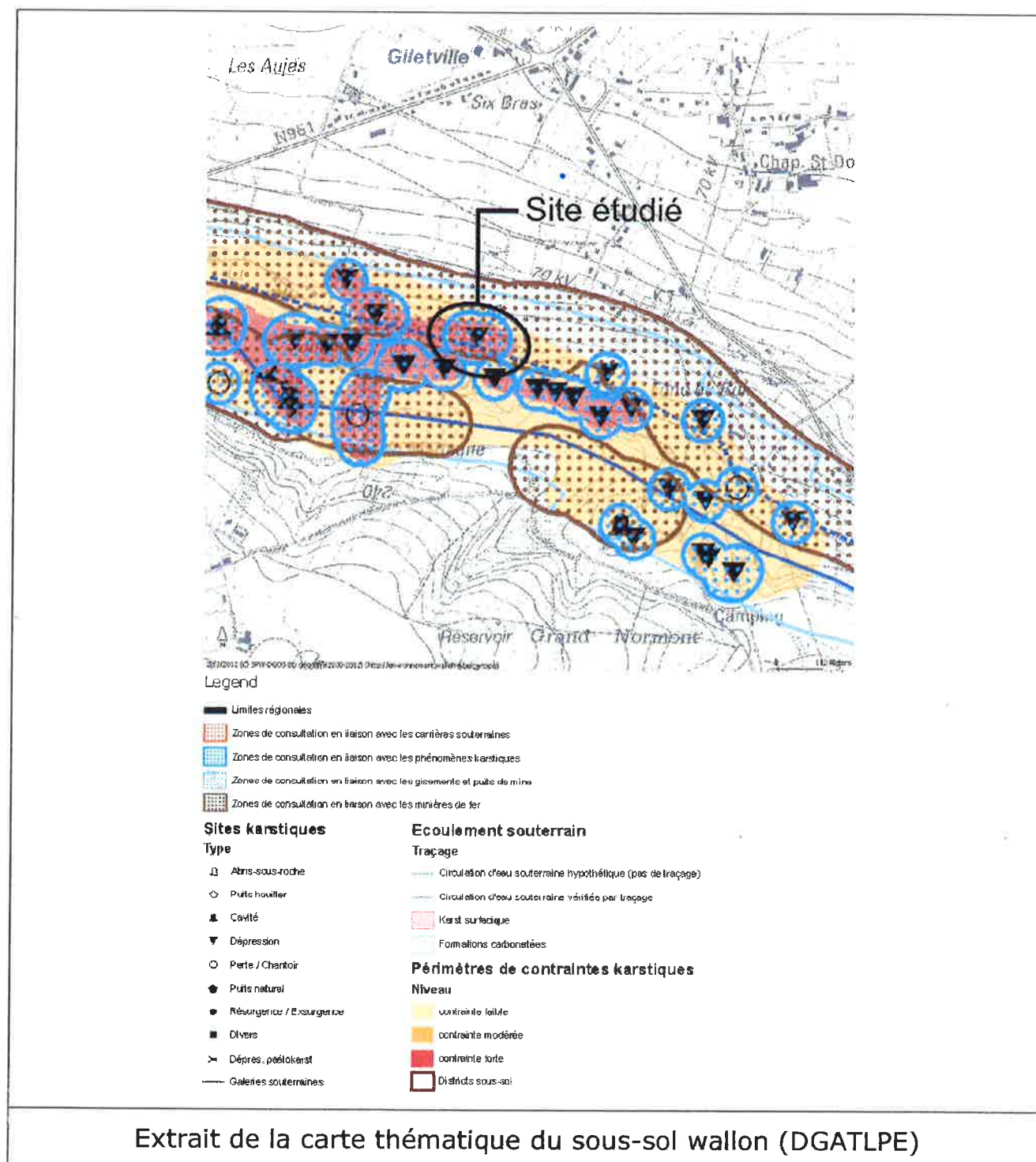
L'extrait de la carte géologique au 1/40000 n° 155 MALONNE – NANINNE (Stainier, 1901) indique que le site étudié se localise à l'emplacement de roches principalement calcaires (codifiées « Gva » sur la carte géologique) datant du Givetien (Dévonien moyen). Très récemment, ces roches calcaires ont été regroupées dans la Formation de Nèvreumont. Plus précisément, cette dernière se compose de shales en alternance avec des calcaires souvent dolomités, devenant très abondants vers le sommet. La carte géologique recense également la présence de gisement de fer au contact et à proximité de ce dernier, entre les formations de l'étage givetien et celles de l'étage couvinien. Ces gisements de fer peuvent avoir été potentiellement exploités par le passé.



DEVONIEN MOYEN	
ÉTAGE GIVETIEN (Gv)	
Gvb	Psammites, schistes, margines de Pons.
Gva	Calcaires à <i>Strophomena</i> <i>Burtini</i> .
ÉTAGE COUVINIEN (Cu)	
Cob	Gres, schistes rouges ou verts, margines à crinoides, coelenter.
Coc	Schistes rouges, grauwackes amarantes, psammites, gres, pontiligne de Taitte à élém. verdâtre.
DEVONIEN INFÉRIEUR	
ÉTAGE BURNOTIEN (Bt)	
Bt	Poudingue de Burnot à ciment rouge, gres et schistes rouges.
ÉTAGE CORLENCIEN (Cb)	
Cb3	Gres de Weym avec schistes souvent gris.
Cb2	Schistes rouges et gres rose d'Ause.
Cb1	Gres du bois d'Ause.
ÉTAGE GEDINIEN (G)	
Gd	Psammites et schistes de Pons.
Ga	Poudingue d'Orliet et arkose de l'ave.

Extrait de la carte géologique au 1/40000 n° 155 Malonne - Naninne

La carte thématique du sous-sol wallon proposée par la DGATLPE renseigne la présence de contraintes karstiques fortes. Ces dernières sont soulignées depuis la surface par la présence de nombreuses dépressions, dont certaines se retrouvent à l'emplacement du site étudié. Plusieurs pertes ont également été recensées dans un rayon inférieur à 1km autour du site. Ceci témoigne d'une karstification active des roches calcaires sous-jacentes au terrain étudié. Par ailleurs, la carte thématique du sous-sol révèle, tout comme la carte géologique, la présence de gisements de fer.



2. Prospection géophysique par tomographie électrique

2.1. Principe de la méthode

La tomographie électrique est basée sur le même principe que les sondages électriques : injecter dans le sol un courant électrique entre deux électrodes et mesurer la différence de potentiel induite entre une autre paire d'électrodes colinéaires. On peut en déduire une valeur de résistance, puis une résistivité apparente du sous-sol.

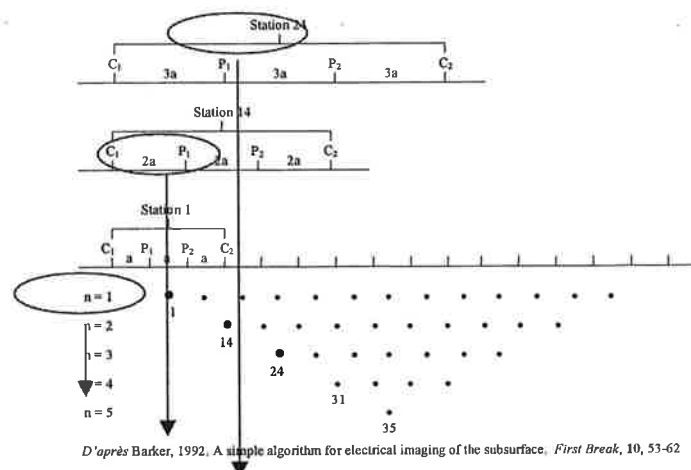
Le dispositif de mesure le plus fréquemment utilisé en prospection de résistivité électrique est le dispositif Wenner, dans lequel les électrodes de courant entourent les électrodes de potentiel, avec trois écartements entre électrodes identiques. Avec ce dispositif, les résistivités apparentes sont moins affectées par les variations latérales superficielles.

La première étape dans l'interprétation des données en tomographie électrique consiste à construire la pseudo-section qui est obtenue en reportant au centre du dispositif, à une profondeur dépendant de l'écartement utilisé entre électrodes, la valeur de résistivité apparente mesurée. Par rapport aux autres configurations, le dispositif Wenner rend les structures plus facilement reconnaissables sur la pseudo-section. Cette représentation conduit à une image fictive où ni les valeurs de résistivité, ni celles de profondeur ne sont correctes.

Pour obtenir une image quantitative, il est nécessaire d'inverser la pseudo-section obtenue pour obtenir les variations de résistivité locale réelle (et non apparente) en fonction de la profondeur vraie.

L'inversion des données est réalisée suivant un processus itératif qui vise à minimiser l'écart entre la pseudo-section mesurée et une pseudo-section recalculée à partir d'un modèle. Ce modèle est modifié à chaque itération jusqu'à atteindre une concordance acceptable entre données mesurées et données calculées, ou jusqu'à ce qu'aucune nouvelle amélioration ne soit possible. Les données sont calculées sur base d'un modèle à deux dimensions qui est supposé constant dans la troisième direction. Il est donc important d'orienter le profil perpendiculairement aux structures géologiques majeures.

La figure suivante montre le principe de la construction de la pseudo-section pour un dispositif Wenner :



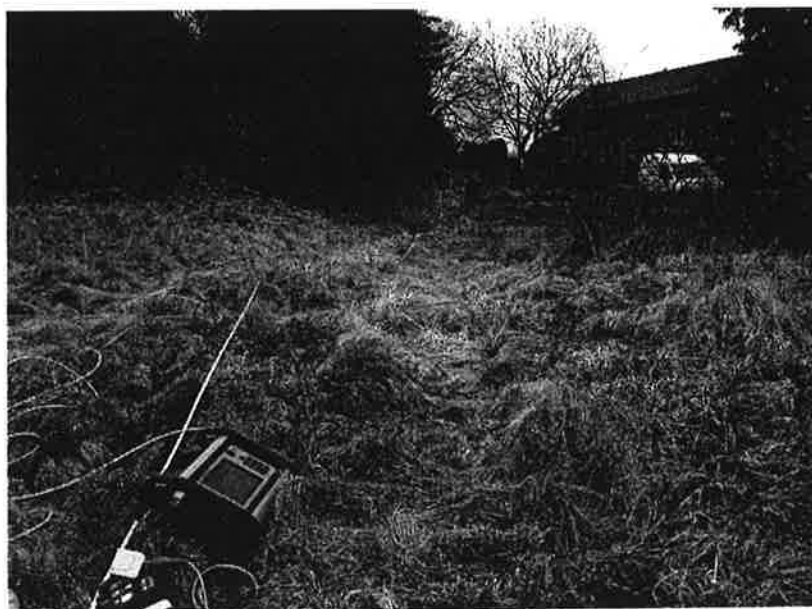
2.2. Description du matériel

Avec le matériel utilisé (ABEM Electrode Selector ES464, Terrameter SAS100), le dispositif consiste en 4 câbles comportant chacun 16 sorties espacées de maximum 5 mètres, sur lesquelles se branchent les électrodes.

Le dispositif compte 64 électrodes avec un écartement maximum entre électrodes égal à 20 fois l'écartement minimal utilisé. Par conséquent, la profondeur d'investigation maximale est de 10 fois l'écartement entre deux électrodes, soit 50 mètres si les électrodes sont espacées de 5 mètres.

2.3. Photos du site







2.4. Mesures et résultats

Le programme de mesures a consisté à réaliser un profil, comme figuré sur le schéma de la planche 1. Le dispositif de 64 électrodes a été mis en œuvre avec un écartement constant de 1,5 mètre, ce qui représente une longueur totale de 94,5 m et une profondeur d'investigation d'environ 15 mètres.

Les résultats de l'inversion de la pseudo-section sont représentés à la planche 2.

Depuis l'WNW vers l'ESE le long du profil, les observations suivantes peuvent être mises en évidence :

- de 16,5 à 28,5 m : présence d'une zone vers 2 m de profondeur caractérisée par des résistivités électriques très faibles, ne dépassant pas 90 $\Omega.m$, et ce sur plusieurs mètres de profondeur. Cette zone correspond probablement à un édifice karstique souterrain partiellement ou totalement comblé par un matériau argileux expliquant les faibles valeurs de résistivité électrique mesurées. Cette zone se localise à proximité immédiate sous la dépression observable en surface.
- de 28,5 à 54 m : présence d'une couche de 2 à 6 m d'épaisseur depuis la surface présentant des résistivités électriques s'échelonnant entre 90 et 150 $\Omega.m$. L'essai de pénétration statique n°1 a permis de confirmer la lithologie probablement limoneuse des sédiments composants cette couche. Ces sédiments se sont probablement mis en place récemment (durant le Quaternaire) dans d'anciennes poches surfaciques de dissolution du calcaire sous-jacent.
- de 72 à 94,5 m : présence d'une zone caractérisée par des résistivités électriques très faibles, inférieures à 100 $\Omega.m$, et ce même en profondeur. Ces faibles valeurs de résistivité électrique peuvent être engendrées par la présence de sédiments argileux.
- de manière générale : pour l'entièreté du profil, les valeurs de résistivité électrique du calcaire sont assez faibles pour ce type de roche. En effet, elles ne dépassent que très rarement la valeur de 250 $\Omega.m$. Ceci pourrait témoigner d'un état altéré du calcaire ou de la présence d'une composante argileuse au sein de ce calcaire.

3. Essais au pénétromètre statique Hyson 200 kN

3.1. Description

Deux essais de pénétration au cône ont été réalisés le 6 février 2012 à PROFONDEVILLE, rue Fond de Vau, aux emplacements schématisés à la planche 1.

Ces essais ont été réalisés à l'aide d'une machine de pénétration de 170 kN de force maximum, limitée à 100 kN, munie d'un cône de type M1 de 10 cm² de section et de 60° d'ouverture, enfoncé à la vitesse de 2 cm/s. Les mesures sont effectuées tous les 20 cm.

Les résultats sont consignés dans les tableaux et les diagrammes.

3.2. Interprétation

Les angles de frottement interne φ et φ' sont calculés par la méthode du Pr De Beer (*Données concernant la résistance au cisaillement déduites des essais de pénétration en profondeur, Géotechnique, juin 1948*) dans l'hypothèse d'un terrain sans cohésion.

La force portante admissible (d'une fondation superficielle) peut être estimée par la plus petite des deux valeurs suivantes :

$$0,5 q_f \text{ ou } q_a = q_e + 0,25 (q_f - q_e)$$

Dans cette formule, q_e est la contrainte limite des états élastiques calculés suivant la formule de Fröhlich (*Druckverteilung in Baugrunde, 1934*), qui s'écrit dans le cas d'un sol sans cohésion :

$$q_e = \gamma' z \left[\frac{\pi}{\text{ctg } \varphi' - \left(\frac{\pi}{2} - \varphi' \right)} + 1 \right]$$

q_f est la contrainte limite des états plastiques calculée par la formule de Prandtl-Cauchot (*A. Caquot, Equilibre des massifs à frottement interne, 1934*), qui s'écrit dans le cas d'un sol sans cohésion :

$$q_f = \gamma' z \text{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi'}{2} \right) e^{\pi \text{tg} \varphi'}$$

avec : γ' le poids volumique apparent du sol, diminué le cas échéant de la poussée d'Archimède, pris égal à 16 ou 10 kN/m³,

z la profondeur sous le niveau du sol,

π 3,14159...

φ' l'angle de frottement interne défini plus haut,

e 2,71828

Les valeurs de la force portante résultant de ce modèle simple ne tiennent pas compte des dimensions de la fondation et des propriétés du sol sous le niveau considéré. Elles ne sont données qu'à titre indicatif et n'engagent pas notre responsabilité.

En termes de lithologies, les CPT 1 et 2 montrent des résultats très différents. Ces différences témoignent d'une forte hétérogénéité du sous-sol.

Le CPT 1 présente l'alternance des couches suivantes, depuis la surface :

- une couche de 1 m d'épaisseur de remblais ou de sédiments meubles contenant quelques blocs rocheux. Ces derniers se marquent par des résistances à la pointe ponctuellement très élevées.
- une couche de 4,6 m d'épaisseur de limon.
- à 5,6 m de profondeur, le sommet d'une couche plus résistante, probablement du calcaire.

Le CPT 2 présente quant à lui de nombreuses augmentations ponctuelles de la résistance à la pointe, depuis la surface jusqu'à la fin de l'essai à 6,8 m de profondeur. Ceci témoigne probablement de la présence d'un matériau rocheux très déconsolidé.

4. Conclusion

La carte des thématiques du sous-sol wallon met en évidence la présence de nombreux édifices karstiques au sein des calcaires appartenant à la Formation de Nèvremon, et classe l'emplacement du terrain en zone à contraintes karstiques fortes. Ces phénomènes karstiques ont été confirmés à l'emplacement du site étudié par la tomographie électrique. Cette dernière illustre localement la présence probable de cavités karstiques et de dissolution intense du calcaire. Par ailleurs, l'état de déconsolidation de la roche calcaire en surface a pu être confirmé par le CPT 2. Le CPT 1 quant à lui présente une couche de près de 6 m d'épaisseur de limon surmontant le calcaire. Cette différence de lithologie témoigne d'une hétérogénéité importante du sous-sol du terrain étudié.

Au vu de ces observations et de ces conclusions, une étude complémentaire sur l'hétérogénéité du site ainsi que sur les caractéristiques mécaniques de la roche semblent nécessaires afin de mesurer le degré de constructibilité du terrain. Une étude plus détaillée du sous-sol au droit l'habitation semble également nécessaire afin de vérifier l'homogénéité mécanique du terrain ainsi que l'absence d'éventuelles karstifications en profondeur.

Les fondations du bâtiment devraient être conçues de manière à pouvoir absorber sans désordres d'éventuels tassements différentiels, en faisant usage d'un radier général ou d'une conception équivalente de la structure (murs de fondation en blocs de béton armés, par exemple). Il conviendra en outre de prendre les dispositions voulues pour limiter le risque de réactivation karstique. En particulier, on évitera toute infiltration d'eau dans le sol à proximité du bâtiment et on accordera une attention particulière à l'étanchéité des systèmes d'adduction et d'évacuation des eaux.

PENETROMETRE DE 100 kN

CPT 1

Chantier : PROFONDEVILLE, rue Fond de Vau

Pointe type M1

Date : 6/02/2012

Opérateur : AG

Niveau du sol : -

Nappe non repérée

Profondeur mètres	Rés. Pointe qc (MPa)	Frott. total Qst (kN)	Angle frott. (degrés)	F. portante (MPa)
0.20	0.6	0.54	31.6	0.03
0.40	2.0	1.54	34.0	0.08
0.60	11.0	3.60	40.0	0.23
0.80	2.0	5.60	30.5	0.12
1.00	28.0	2.20	41.8	0.48
1.20	2.6	8.20	29.7	0.16
1.40	2.9	16.30	29.5	0.19
1.60	3.4	14.97	29.5	0.21
1.80	2.1	16.27	24.8	0.15
2.00	1.1	17.27	18.2	0.09
2.20	1.1	17.27	17.3	0.09
2.40	1.6	16.17	20.1	0.12
2.60	2.1	17.34	21.8	0.16
2.80	1.2	17.24	15.9	0.10
3.00	1.2	17.24	15.3	0.10
3.20	1.3	18.14	15.4	0.10
3.40	1.2	18.24	13.9	0.10
3.60	1.7	18.80	17.0	0.14
3.80	1.4	19.10	14.5	0.11
4.00	2.0	18.50	17.6	0.16
4.20	1.7	19.80	15.5	0.14
4.40	1.2	21.30	11.2	0.10
4.60	1.5	23.07	13.3	0.12
4.80	1.7	21.87	14.2	0.14
5.00	2.1	22.47	15.9	0.17
5.20	2.6	25.97	17.6	0.21
5.40	2.9	26.67	18.3	0.23
5.60	5.1	27.53	22.9	0.39
5.80	50.1	2.53	36.6	1.54
6.00	32.1	20.53	34.4	1.26
6.20	60.1	50.53	37.3	1.75

Fin de l'essai -

PENETROMETRE DE 100 kN

CPT 2

Chantier : PROFONDEVILLE, rue Fond de Vau

Pointe type M1

Date : 6/02/2012

Opérateur : AG

Niveau du sol : -

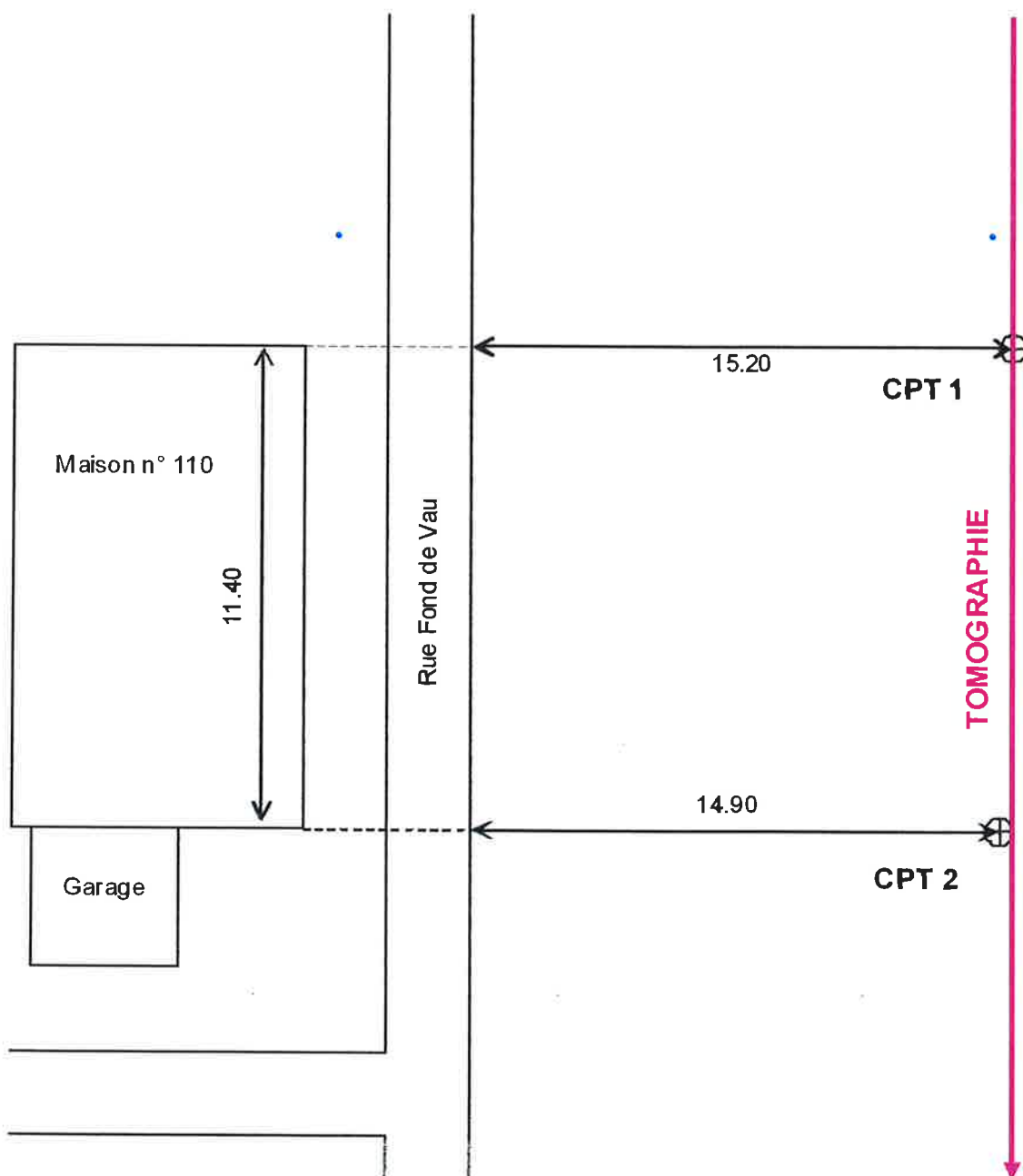
Nappe non repérée

Profondeur mètres	Rés. Pointe qc (MPa)	Frott. total Qst (kN)	Angle frott. (degrés)	F. portante (MPa)
0.20	1.3	0.14	35.4	0.05
0.40	1.1	1.54	31.2	0.06
0.60	1.4	3.20	30.3	0.09
0.80	0.4	3.60	18.7	0.04
1.00	3.8	3.20	32.6	0.18
1.20	0.3	3.40	11.9	0.03
1.40	5.8	1.20	33.2	0.26
1.60	3.9	0.97	30.3	0.23
1.80	12.5	0.00	35.6	0.43
2.00	22.1	0.00	37.7	0.60
2.20	0.8	21.57	13.9	0.06
2.40	3.5	16.87	26.6	0.24
2.60	8.1	7.54	31.6	0.42
2.80	1.6	17.84	18.7	0.13
3.00	2.0	15.64	20.2	0.16
3.20	2.1	20.34	20.0	0.16
3.40	28.1	14.34	36.5	0.88
3.60	11.7	17.80	31.7	0.59
3.80	5.5	39.00	26.6	0.38
4.00	14.7	29.80	32.5	0.70
4.20	7.7	34.80	28.4	0.51
4.40	3.7	38.80	22.3	0.28
4.60	6.5	35.07	26.4	0.45
4.80	7.7	32.87	27.4	0.53
5.00	36.1	22.47	35.7	1.21
5.20	10.3	44.27	28.8	0.66
5.40	8.5	46.07	27.3	0.59
5.60	23.1	47.53	32.9	1.03
5.80	5.7	62.93	23.6	0.43
6.00	5.5	57.13	23.0	0.41
6.20	6.7	63.93	24.4	0.49
6.40	7.7	58.93	25.3	0.56
6.60	3.5	61.20	18.3	0.28
6.80	60.1	50.60	36.7	1.82

Fin de l'essai -

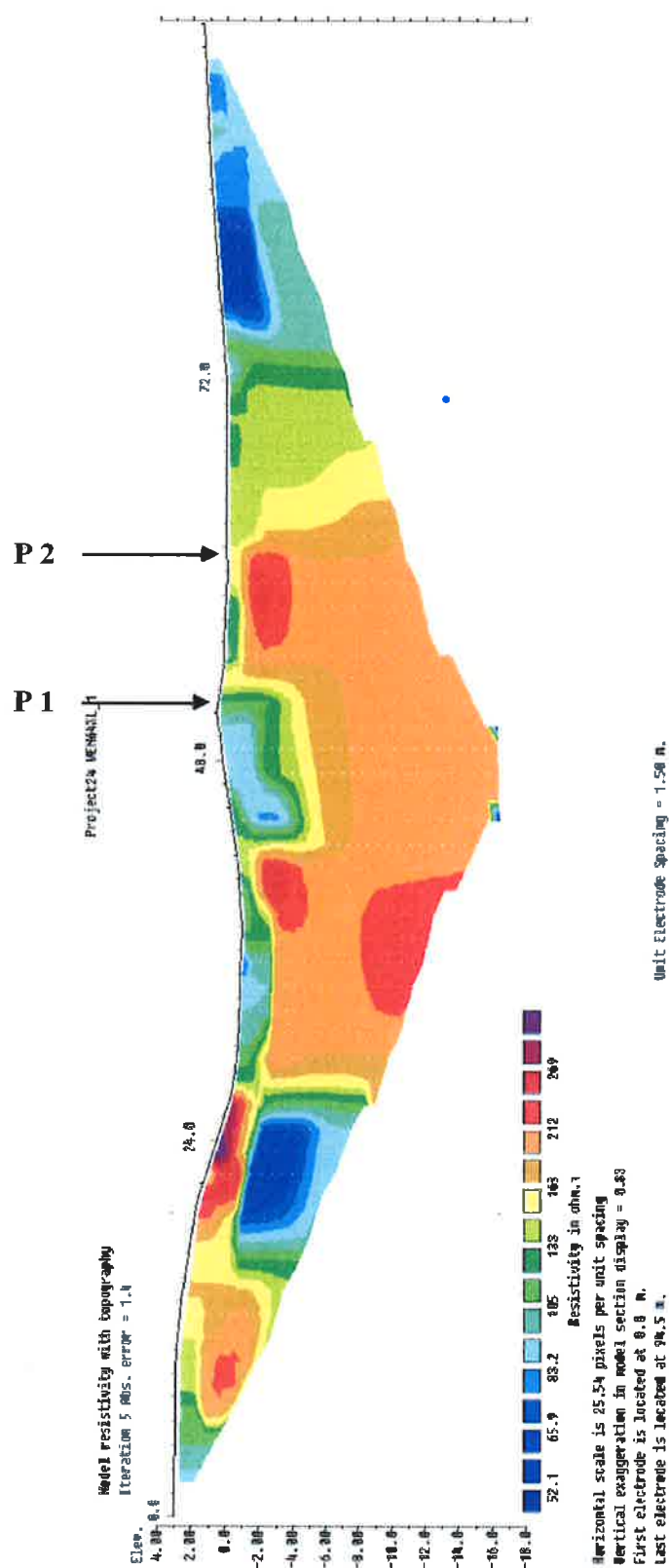
PLAN DE SITUATION

PROFONDEVILLE, rue Fond de Vau



Cotes en mètres
Dessin non à l'échelle

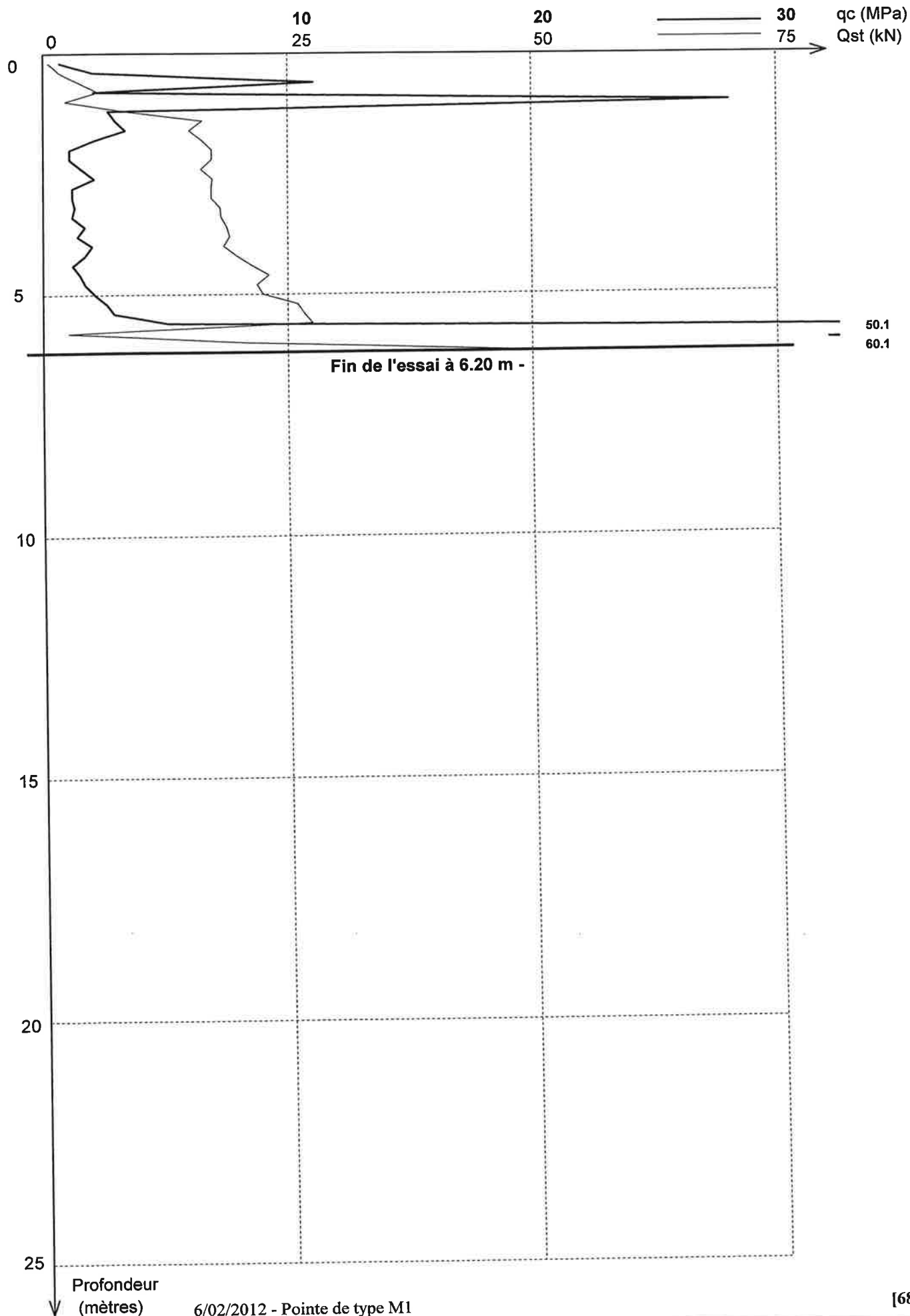
TOMOGRAPHIE ELECTRIQUE



Cotes en mètres
Dessin non à l'échelle

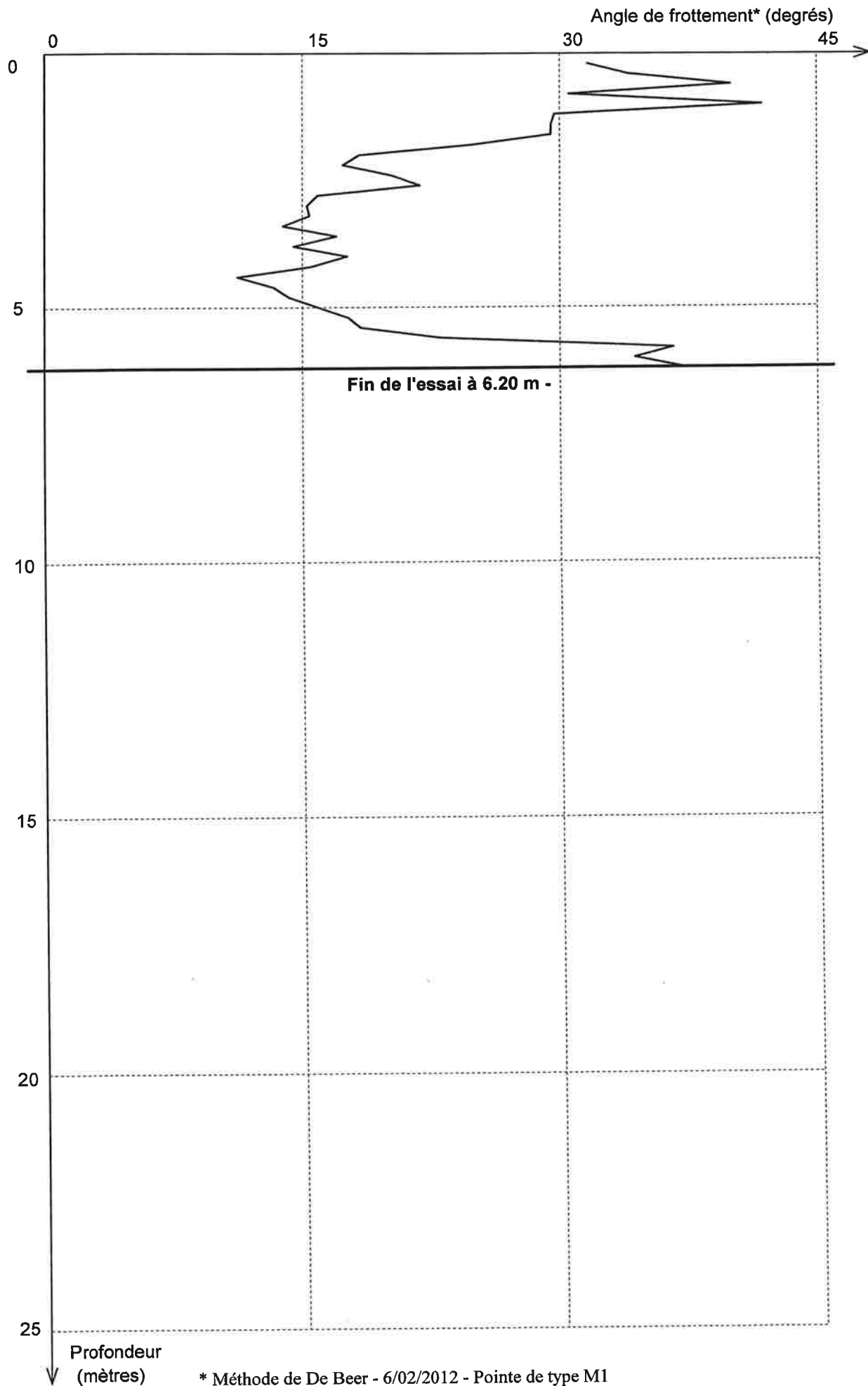
PENETROMETRE DE 100 kN

CPT 1



PENETROMETRE DE 100 kN

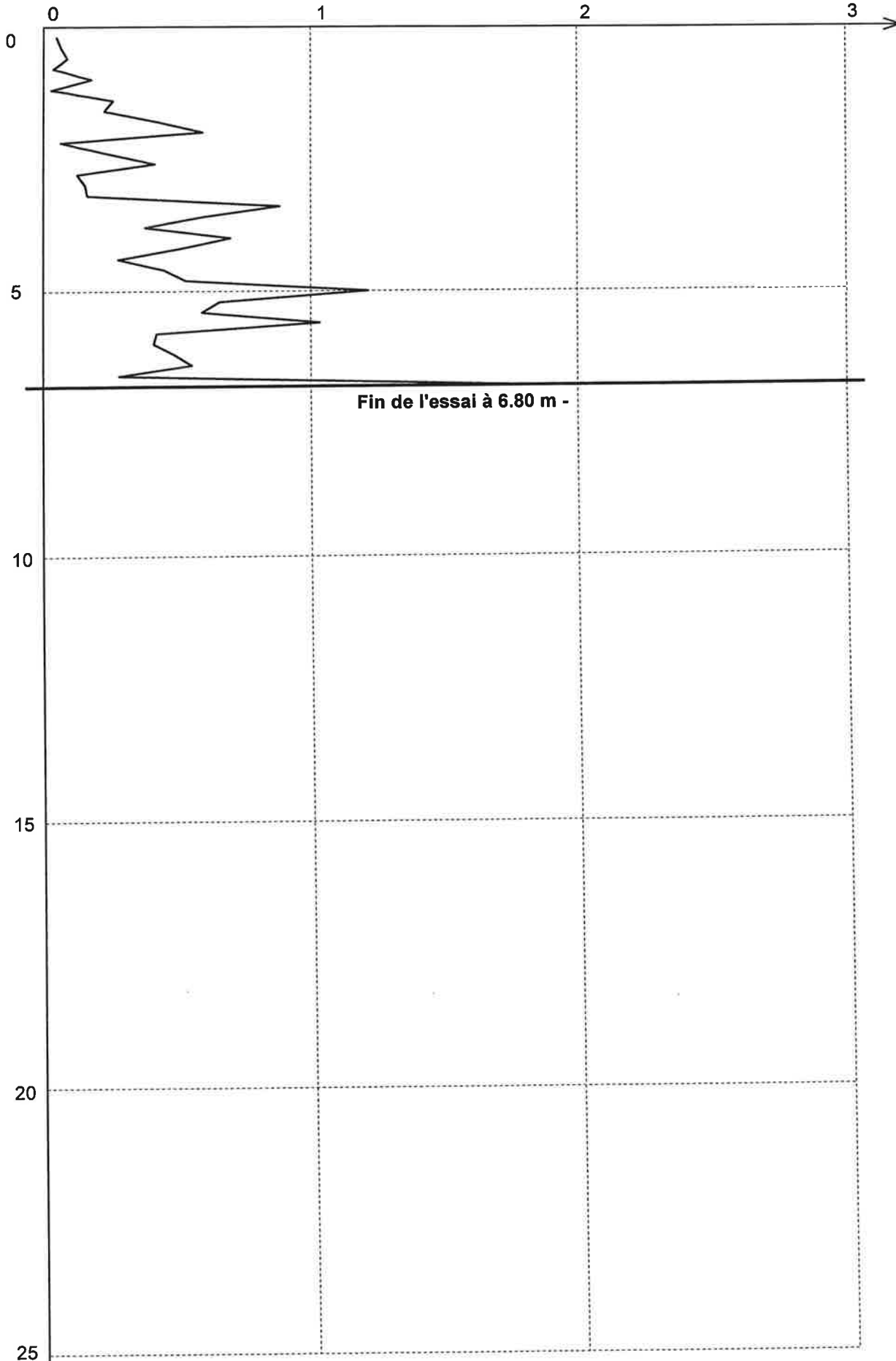
CPT 1



PENETROMETRE DE 100 kN

CPT 2

Force portante (MPa)



Fin de l'essai à 6.80 m -

Profondeur
(mètres)

6/02/2012 - Pointe de type M1

[68024]