

ANNEXE 4 : ETUDE GEOTECHNIQUE

MISE EN PLACE D'UNE CENTRALE DE PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES

ÉTUDE GÉOTECHNIQUE DE CONCEPTION MISSION G2/AVP

Adresse du projet	Lieu-dit "Le Causse" 46500 RIGNAC
-------------------	--------------------------------------

Maître d'Ouvrage	SAS EnergieKontor France 19, Chemin de la Loge 31400 TOULOUSE
------------------	---

N° d'Affaire	Date	Etabli par	Vérfié par	Emission	Nb. Pages
S-2111-013	09 mai 2022	E. SALISSARD	A. MONTEIL	4 ^{ème}	66
S-2111-013	05 mai 2022	A. AFANOU	A. MONTEIL	3 ^{ème}	65
S-2111-013	22 décembre 2021	A. AFANOU	A. MONTEIL	2 ^{ème}	64
S-2111-013	16 décembre 2021	A. AFANOU	A. MONTEIL	1 ^{ère}	62

Récapitulatif des modifications apportées à la première version

<u>N° d'affaire</u>	<u>Date</u>	<u>Emission</u>	<u>Modifications apportées</u>
S-2111-013	16 décembre 2021	1 ^{ère}	Rapport initial
S-2111-013	22 décembre 2021	2 ^{ème}	Rapport initial avec prise en compte des observations de M. CARRE
S-2111-013	05 mai 2022	3 ^{ème}	Ajout solution pieux battus
S-2111-013	09 mai 2022	4 ^{ème}	Précisions pieux battus

RÉSUMÉ

La présente étude de sols a été réalisée préalablement à la création d'une centrale photovoltaïque sur la commune de RIGNAC (46). Elle indique les solutions techniques et les dispositions constructives à prendre en compte pour le dimensionnement des structures et leurs mises en œuvre.

Dans ce cadre, les conclusions de cette étude montrent que :

- **compte tenu des caractéristiques mécaniques des terrains, il pourra être envisagé la mise en œuvre :**
 - **de fondations superficielles par massif béton ancrées dans le calcaire ;**
 - **de pieux battus métalliques ancrés dans le massif calcaire après réalisation d'un préforage.**Aussi, la réalisation de ces fondations nécessitera de tenir compte de certaines dispositions constructives et autres modalités d'exécution (cf. § 5.2 et 5.3) ;

- au regard de la nature et des caractéristiques des terrains rencontrés, les travaux de terrassement éventuels et de fouilles de fondations nécessiteront l'utilisation d'engins de forte puissance de type grosse pelle mécanique associée à un BRH. Les travaux seront dans tous les cas réalisés selon les règles de l'Art et dans la mesure du possible par conditions météorologiques favorables (cf. § 6).

Par ailleurs, nous précisons que ce résumé vise à présenter de manière synthétique les conclusions de notre étude aux divers intervenants du projet. En aucun cas il ne pourrait servir seul de justification à la réalisation du projet. Il convient donc de se reporter à l'étude dans sa globalité.

SOMMAIRE

1. GÉNÉRALITÉS	5
1.1. Cadre de l'étude	5
1.2. Missions	5
1.3. Moyens d'investigations	5
2. DESCRIPTION DU PROJET	6
2.1. Documents remis	6
2.2. Caractéristiques du projet	6
3. CONTEXTES GÉOGRAPHIQUE ET ENVIRONNEMENTAL	6
3.1. Localisation et description du site	6
3.2. Risques majeurs naturels	8
a) Mouvements des sols – Retrait / Gonflement	8
b) Mouvements des sols – Glissement de terrains	8
c) Inondation	8
d) Cavités	8
e) Sismicité et liquéfaction	9
f) Radon	9
g) Amiante environnemental	9
3.3. Contextes géologique et hydrologique	10
3.4. Zone d'Influence Géotechnique	10
4. RÉSULTATS DES INVESTIGATIONS	10
4.1. Repérage et nivellement des sondages	10
4.2. Coupe géologique et caractéristiques mécaniques des sols	11
4.3. Régime hydrogéologique	13
5. GÉOTECHNIQUE – ADAPTATION SOLS / STRUCTURES	13
5.1. Principe de fondations	13
5.2. Fondations superficielles	14
a) Caractéristiques des fondations	14
b) Capacité portante	15
c) Tassements	15
d) Dispositions constructives	16
e) Sujétions d'exécution	16
5.3. Fondations de type pieu battu	16
a) Principes généraux	16
b) Choix de la méthode de calcul	16
c) Justification des pieux vis-à-vis de l'ensemble des sollicitations	17
d) Effet de groupe	18
e) Tassements	18
f) Sujétions d'exécution	18
6. TERRASSEMENTS ET FOUILLES	18
6.1. Généralités	18
6.2. Traficabilité	19
7. ANNEXES	19

1. GÉNÉRALITÉS

1.1. Cadre de l'étude

Dans le cadre du projet de création d'une centrale photovoltaïque sur la commune de RIGNAC (46), nous avons procédé à une reconnaissance des sols au droit de la zone destinée à recevoir le projet.

Cette étude résulte de l'acceptation de notre devis n° DEV05354 en date du 13/09/2021, pour lequel nous avons reçu mandat le 04/11/2021.

1.2. Missions

Conformément à notre offre, ce rapport correspond à une mission d'étude géotechnique de conception de type G2/AVP selon la norme AFNOR NF P 94-500 de novembre 2013 (cf. classification et enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique présentés en annexes).

Comme précisé dans cette norme, la mission G2/AVP est quant à elle mise en œuvre au stade de conception et permet de réduire les conséquences des éventuels risques géologiques en précisant les hypothèses géotechniques à prendre en compte et les principes généraux de construction.

Cette étude a pour objectifs :

- de caractériser la nature géologique des formations au droit du projet ;
- de détecter la présence éventuelle de niveaux d'eau dans le sol au cours des sondages ;
- de définir les types de fondations envisageables pour le projet ;
- de préciser les éventuelles contraintes géotechniques liées au site.

Nous rappelons ici que la norme NF P 94-500 définit l'enchaînement des missions géotechniques destinées à suivre les différentes phases d'élaboration et de réalisation d'un projet.

À ce titre, SOLINGEO reste à la disposition des intervenants pour la réalisation d'éventuelles études géotechniques complémentaires présentées dans la Norme.

Enfin, cette étude et les annexes qui s'y rapportent, forment un tout indissociable dont l'exploitation et l'utilisation doivent respecter les « Conditions d'exploitation du rapport » portées en annexe.

1.3. Moyens d'investigations

Afin de mener à bien nos missions, nous avons procédé à la réalisation des investigations suivantes :

- **29 essais pénétrométriques (PD1 à PD29)**, destinés à mesurer la résistance mécanique en continu des terrains traversés, distinguer les différents horizons constituant le sous-sol, évaluer l'homogénéité du site et si possible déterminer la position du toit d'une couche résistante ;
- **13 sondages à la pelle mécanique (PM1 à PM13)**, permettant la reconnaissance visuelle de la succession lithologique au droit du projet. Ces sondages ont été descendus au refus entre 0,15 m et 0,60 m de profondeur.

2. DESCRIPTION DU PROJET

2.1. Documents remis

Les documents suivants nous ont été transmis afin de procéder à cette étude :

Documents	Emetteur	Date	Echelle
Plan topographique	URBACTIS	09/05/2011	1/500
Plan de masse du projet		07/09/2021	1/1000

2.2. Caractéristiques du projet

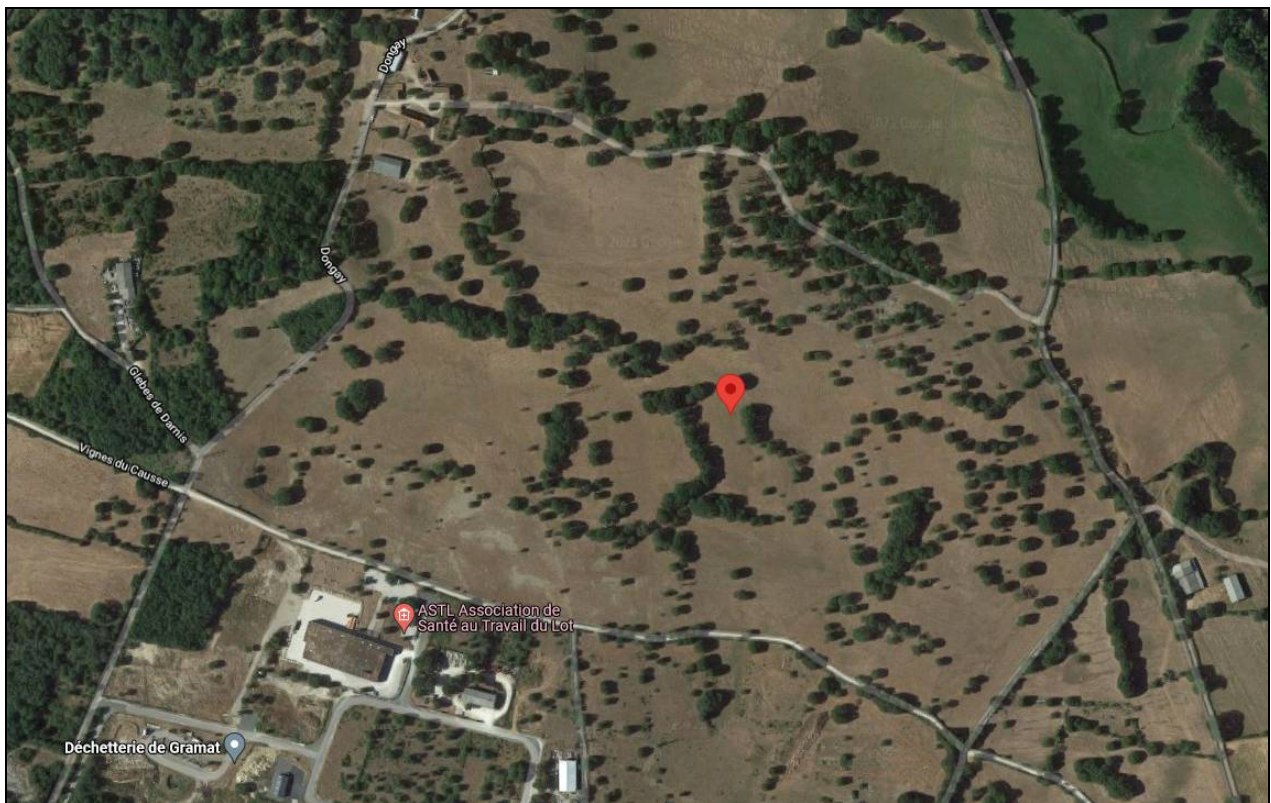
Le projet consiste en la création d'une centrale composée de tables photovoltaïques sur un terrain d'environ 21 ha.

Aussi, notre bureau d'études devra être informé de toutes modifications qui pourraient être apportées au projet et qui rendraient caduques les conclusions de cette présente étude.

3. CONTEXTES GÉOGRAPHIQUE ET ENVIRONNEMENTAL

3.1. Localisation et description du site

La zone étudiée est située au Sud-Est du cœur de la commune de RIGNAC (46), au lieu-dit "Le Causse" et au Nord de la déchèterie de Gramat. Le terrain est actuellement exempt de toute construction.



Vue aérienne

D'un point de vue topographique, le terrain concerné par le projet est positionné sur le flanc d'un causse calcaire. D'après la carte IGN, son altitude est comprise entre les cotes altimétriques de + 352 NGF et + 378 NGF. Son assiette est recouverte d'herbe rase et comporte une végétation arbustive épars.



L'accès à la zone d'étude s'est fait sans difficulté. Lors de nos investigations, nous n'avons détecté aucun réseau enterré au droit des sondages réalisés.

3.2. Risques majeurs naturels

a) Mouvements des sols – Retrait / Gonflement

D'après la carte du risque de « retrait/gonflement des argiles » sur la commune de RIGNAC (46), éditée par le BRGM, la parcelle étudiée se situe dans une **zone d'aléa nul ou non cartographiée**.

Aussi, à la date d'élaboration de cette étude, la commune de RIGNAC (46) n'a fait l'objet d'**aucun arrêté de catastrophes naturelles** relatif aux mouvements de terrains consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols.

Aucun PPRN (plan de prévention des risques naturels) lié aux mouvements de terrain par tassements différentiels n'a été élaboré sur la commune étudiée.

b) Mouvements des sols – Glissement de terrains

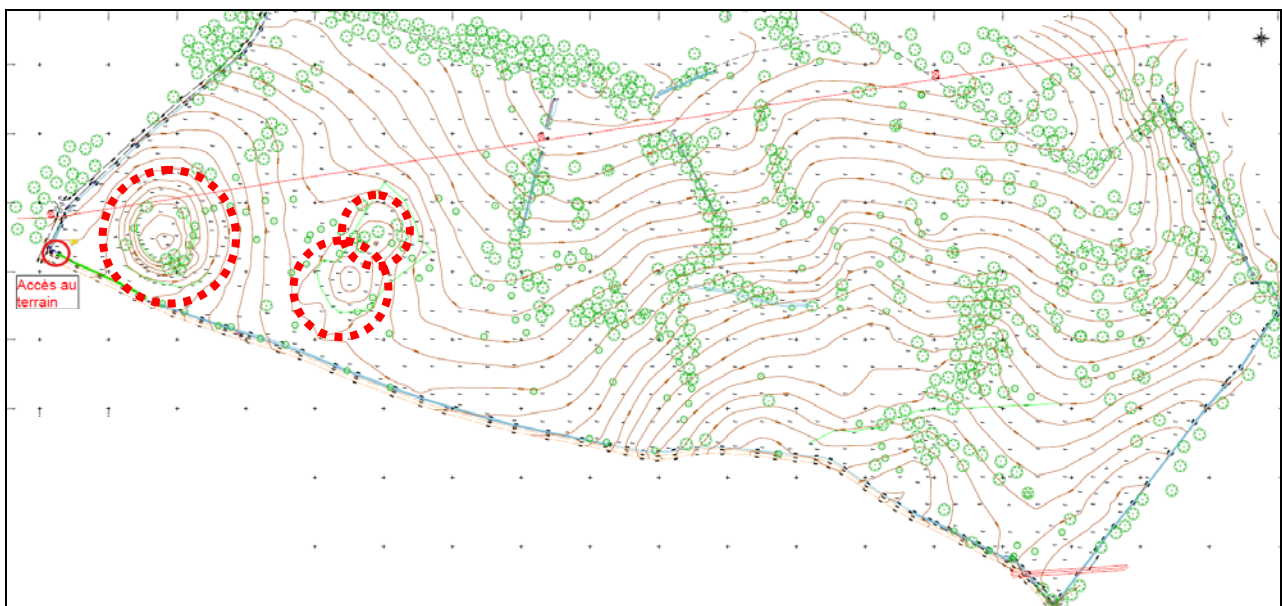
D'après la carte du risque de « Glissement de terrain » sur la commune de RIGNAC (46), éditée par le BRGM, la parcelle étudiée ne présente pas de risque vis-à-vis des glissements de terrains.

c) Inondation

Selon les cartes présentées sur le site du BRGM, le site n'est pas classé en zone inondable et n'est pas répertorié en zone sujette aux inondations de caves ou aux débordements de nappe.

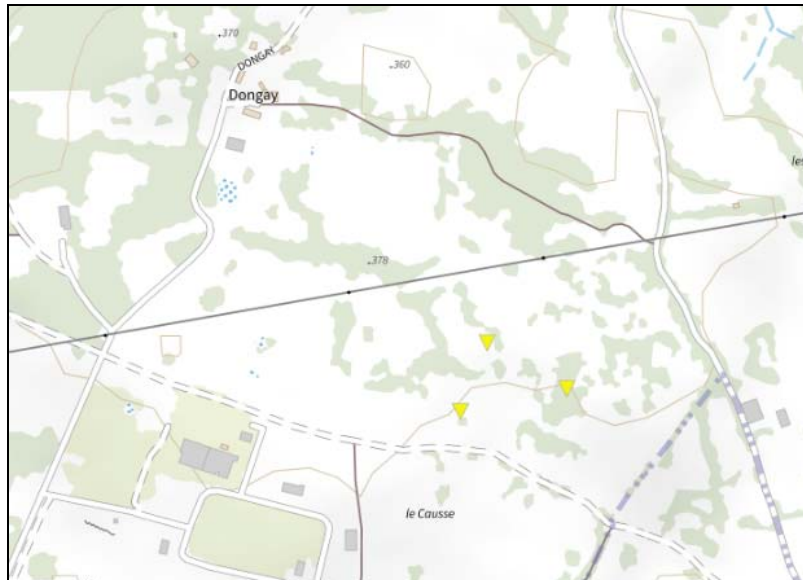
d) Cavités

Les formations calcaires sont fréquemment le siège de phénomènes karstiques. Au droit du site, il a été mis en évidence la présence de dolines de diamètre de l'ordre de 30 à 50 m en partie Sud-Ouest du site. Seule une étude spécifique basée sur des méthodes de prospection géophysique et des sondages destructifs ciblés permettrait de mieux appréhender ce risque et tout particulièrement dans le secteur de la zone des cavités identifiées plus bas.



Nous rappelons toutefois que le substratum calcaire franc a été détecté à faible profondeur. De ce fait, au vu des charges pouvant être engendrées par le projet, le risque d'effondrement peut être considéré comme négligeable. Par ailleurs, en l'absence de complément d'étude spécifique, les charges roulantes lors des travaux devront être adaptées.

De plus, il a été répertorié, selon les données du BRGM, 3 cavités sur le site en lien avec la grotte du Dongay. Une campagne géophysique permettra d'obtenir des informations précises sur l'épaisseur et la continuité de la couche calcaire.



Cavités naturelles (source BRGM)

e) Sismicité et liquéfaction

Le zonage sismique édité par la Délégation aux risques majeurs du Ministère de l'Environnement, insère la parcelle dans une **zone 1**, caractérisée par une « sismicité très faible ». Les prescriptions parasismiques ne sont donc pas obligatoires.

f) Radon

Le radon est un gaz radioactif issu de la désintégration de l'uranium et du radium présents naturellement dans le sol et les roches. Il s'agit d'un gaz inodore et incolore. Au vu du risque sanitaire associé à l'inhalation de ce gaz, des dispositions sont à prendre en compte lorsque le projet est localisé sur une commune à risque.

D'après la cartographie établie par l'IRSN, le terrain objet de notre étude présente un potentiel radon de catégorie **1 (faible)**.

g) Amiante environnemental

D'après la carte présentée sur le site du BRGM, la parcelle est située en zone non concernée ou non analysée pour la susceptibilité amiante environnemental.

3.3. Contextes géologique et hydrologique

Les informations portées sur la carte géologique N° 833 au 1/50.000^{ème}, feuille de GRAMAT, indiquent que le terrain est géologiquement inclus au sein des calcaires dolomitiques, notés j0b-1a et altérés en tête. Cet ensemble calcaire est parfois marqué par l'intercalation de bancs marneux gris foncés.

De plus, il peut exister dans ce contexte géologique des réseaux karstiques que notre campagne de sondages n'a pas mis en évidence. Nous avons tout de même noté la présence d'une doline de diamètre de l'ordre de 50 m.

D'un point de vue hydrogéologique, les ressources des aquifères sont conditionnées par les facteurs principaux suivants : la pluie efficace (quantité d'eau de pluie qui ruisselle et s'infiltré dans le sol), les conditions d'alimentation aux limites de l'aquifère (relations avec les rivières, avec d'autres aquifères), la porosité et la perméabilité, la fracturation des calcaires, la solubilité des roches carbonatées (aptitude à la karstification), la structure des corps sédimentaires, et l'évolution géomorphologique des aires d'affleurement.

Enfin, la présence d'une faille d'orientation Ouest/Est est matérialisée sur la carte géologique, en partie Nord du site.

3.4. Zone d'Influence Géotechnique

Au vu de la topographie du secteur et des caractéristiques du projet, la zone d'influence géotechnique est limitée à la parcelle et ses abords immédiats.

4. RÉSULTATS DES INVESTIGATIONS

4.1. Repérage et nivellement des sondages

Les sondages ont été implantés par URBACTIS à partir des informations portées sur les plans qui nous ont été fournis au moment de la consultation. Leur position respective est repérée sur le plan de localisation porté en annexe.

Les cotes obtenues en NGF au droit de chaque sondage sont référencées dans le tableau ci-dessous :

Matricule	X insertion	Y insertion	Z insertion
PD1	1598209.065	4178128.174	365.943
PD2	1598314.709	4178087.704	359.645
PD3	1598246.825	4178009.237	355.806
PD4	1598181.138	4178038.717	359.920
PD5	1598186.213	4177938.551	354.839
PD6	1598104.177	4177979.615	354.409
PD7	1598110.493	4178079.668	358.498
PD8	1598023.394	4178028.707	356.497
PD9	1598027.794	4178119.176	361.051
PD10	1598112.751	4178168.852	366.471
PD11	1598307.472	4178179.919	363.018
PD12	1598267.429	4178250.390	365.790
PD13	1598195.451	4178209.263	370.321
PD14	1598115.022	4178258.691	372.747
PD15	1598026.176	4178219.114	369.142
PD16	1598029.539	4178309.127	375.175
PD17	1597930.231	4178268.461	375.575
PD18	1597922.327	4178169.485	369.083
PD19	1597823.039	4178169.211	371.906
PD20	1597820.229	4178269.491	377.347
PD21	1597733.858	4178198.147	370.478



PD22	1597732.992	4178298.616	373.658
PD23	1597626.702	4178329.341	372.046
PD24	1597654.571	4178259.226	368.948
PD25	1597664.099	4178189.102	367.640
PD26	1597662.118	4178098.195	366.955
PD27	1597585.988	4178128.659	364.241
PD28	1597585.666	4178197.860	363.306
PD29	1597561.393	4178258.276	365.398
PM1	1598199.228	4178109.887	364.522
PM2	1598221.458	4177973.731	355.131
PM3	1598044.468	4178017.196	355.627
PM4	1598321.937	4178140.706	361.999
PM5	1598097.550	4178279.342	374.038
PM6	1598007.768	4178139.364	364.592
PM7	1597880.509	4178150.110	369.069
PM8	1597848.094	4178276.426	378.034
PM9	1597728.955	4178171.768	369.044
PM10	1597653.486	4178136.820	366.851
PM11	1597578.959	4178158.187	362.366
PM12	1597547.272	4178227.189	362.340
PM13	1597670.540	4178326.007	372.707









Enfin, nous conseillons d'assurer avant le début des travaux, une correspondance des cotes du projet avec celles mentionnées ci-dessus.





4.2. Coupe géologique et caractéristiques mécaniques des sols

La coupe géologique représentative du sous-sol au droit du projet a été établie par interprétation des essais pénétrométriques (PD1 à PD29) et des sondages semi-destructifs à la pelle mécanique (PM1 à PM13) descendus au refus. Cette coupe interprétative et les caractéristiques mécaniques associées aux différentes formations définies sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Coupe géologique	Lithologie interprétative	Profondeur (m/TA)	q _d (MPa)	Etat de consistance
Substratum local altéré	<i>Argile à cailloux et blocs calcaires, marron foncé, légèrement humide.</i>	De 0,10 / 0,20 à 0,10 / 1,60	1,5 à 44,8	<i>Très mou à très dur</i>
Substratum local sain	<i>Calcaire franc, gris blanchâtre, sec.</i>	Au-delà de 0,10 / 1,60	> 20	<i>Très dur</i>

Sondage	Photo	Sondage	Photo
PM1		PM3	

<p>PM2</p>		<p>PM4</p>	
<p>PM5</p>		<p>PM6</p>	
<p>PM5b</p>		<p>PM7</p>	
<p>PM8</p>		<p>PM10</p>	

PM9		PM11	
PM12		PM13	

4.3. Régime hydrogéologique

Aucune venue d'eau n'a été constatée au droit de nos sondages et essais, aux profondeurs investiguées lors de notre intervention en novembre 2021. Néanmoins, des circulations anarchiques sont toujours possibles au sein des horizons superficiels, notamment en cas de précipitations importantes.

5. GÉOTECHNIQUE – ADAPTATION SOLS / STRUCTURES

5.1. Principe de fondations

Avant de présenter les solutions techniques à mettre en œuvre, nous précisons ici que la pérennité de l'ouvrage ne peut être assurée qu'en considérant un horizon d'assise unique, homogène tant en nature qu'en compacité, suffisamment porteur pour reprendre les charges induites par le projet.

Au vu du contexte géologique et des caractéristiques du projet, il pourra être envisagé la réalisation :

- **de fondations superficielles par massifs bétons ancrés dans le substratum calcaire ;**
- **de pieux battus métalliques ancrés dans le substratum calcaire, mis en œuvre après préforage.**

Leur réalisation nécessitera impérativement de respecter certaines dispositions constructives.

5.2. Fondations superficielles

a) Caractéristiques des fondations

Il conviendra de respecter un **ancrage minimal de 0,20 m dans le calcaire franc**, dont le toit a été atteint à partir de 0,10 / 1,60 m au droit de nos sondages et essais.

Dans tous les cas, l'encastrement des fondations devra également respecter la **profondeur minimale de mise hors-gel, soit 0,65 m par rapport à la plus proche surface exposée aux intempéries**.

Les fondations au droit du projet devront donc respecter les critères suivants :

Type de fondations	Massifs bétons									
Nature du sol d'assise	Calcaire franc									
Ancrage minimal dans le sol d'assise (m)	0,20 m									
Profondeur d'assise au droit de chaque sondage réalisé (m/TA)	PD1	PD2	PD3	PD4	PD5	PD6	PD7	PD8	PD9	PD10
	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
Cote d'assise (NGF.)	365,293	358,995	355,156	359,270	354,189	353,759	357,848	355,847	360,401	365,821

Type de fondations	Massifs bétons									
Nature du sol d'assise	Calcaire franc									
Ancrage minimal dans le sol d'assise (m)	0,20 m									
Profondeur d'assise au droit de chaque sondage réalisé (m/TA)	PD11	PD12	PD13	PD14	PD15	PD16	PD17	PD18	PD19	PD20
	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	1,70	0,65	0,90	0,65
Cote d'assise (NGF.)	362,368	365,140	369,671	372,097	368,492	374,525	373,875	368,433	371,006	376,697

Type de fondations	Massifs bétons									
Nature du sol d'assise	Calcaire franc									
Ancrage minimal dans le sol d'assise (m)	0,20 m									
Profondeur d'assise au droit de chaque sondage réalisé (m/TA)	PD21	PD22	PD23	PD24	PD25	PD26	PD27	PD28	PD29	PM1
	0,80	1,80	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	1,10	0,65	0,65
Cote d'assise (NGF.)	369,678	371,858	371,396	368,298	366,990	366,305	363,591	362,206	364,748	363,872

Type de fondations	Massifs bétons									
Nature du sol d'assise	Calcaire franc									
Ancrage minimal dans le sol d'assise (m)	0,30 m									
Profondeur d'assise au droit de chaque sondage réalisé (m/TA)	PM2	PM3	PM4	PM5	PM6	PM7	PM8	PM9	PM10	PM11
	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,75
Cote d'assise (NGF.)	354,481	354,977	361,349	373,388	363,942	368,419	377,384	368,394	366,201	361,616

Type de fondations	Massifs bétons									
Nature du sol d'assise	Calcaire franc									
Ancrage minimal dans le sol d'assise (m)	0,30 m									
Profondeur d'assise au droit de chaque sondage réalisé (m/TA)	PM12	PM13								
	0,65	0,65								
Cote d'assise (NGF.)	361,690	372,057								

b) Capacité portante

Conformément à la norme NFP 94-261 de juin 2013 (Justification des ouvrages géotechniques – Norme d'application nationale de l'Eurocode 7 – Fondations superficielles), il conviendra de vérifier que la charge verticale transmise par la fondation superficielle au terrain (Vd) est inférieure à la résistance nette du terrain sous la fondation superficielle :

$$V_d - R_0 \leq R_{v;d} \qquad R_{v;d} = \frac{R_{v;k}}{\gamma_{R;v}} \qquad R_{v;k} = \frac{A' q_{net}}{\gamma_{R;d;v}}$$

- Vd est la valeur de calcul de la charge verticale transmise par la fondation superficielle au terrain ;
- R₀ est la valeur du poids de volume de sol constitué du volume de la fondation sous le terrain après travaux et des sols compris entre la fondation et le terrain après travaux ;
- R_{v;d} est la valeur de calcul de la résistance nette du terrain sous la fondation superficielle ;
- γ_{R;v} est le facteur partiel à considérer, il est égal à 2,3 à l'ELS quasi-permanent et à l'ELS caractéristique, et à 1,4 à l'ELU pour les situations durables et transitoires ;
- R_{v;k} est la valeur caractéristique de la résistance nette du terrain sous la fondation superficielle ;
- q_{net} est la valeur de la contrainte associée à la résistance nette sous la fondation superficielle ;
- A' est la valeur de la surface effective de la semelle ;
- γ_{R;d;v} est le coefficient de modèle lié à la méthode de calcul utilisée pour le calcul de la contrainte q_{net} (1,20 pour les méthodes pressiométriques et pénétrométriques).

La contrainte q_{net} déduite des essais pressiométriques est déterminée à partir de la relation suivante :

$$q_{net} = k_p p_{le}^* i_\delta i_\beta$$

Avec :

- p_{le}* la pression limite nette équivalente ;
- k_p le facteur de portance pressiométrique ;
- i_δ le coefficient de réduction de portance lié à l'inclinaison du chargement, il vaut 1,0 si la charge est verticale ;
- i_β le coefficient de réduction de portance lié à la proximité d'un talus de pente β. Il vaut 1,0 si la fondation est suffisamment éloignée d'un talus (d>8B).

Compte tenu de la nature des sols d'assise, nous limiterons de manière générale les contraintes de calcul aux valeurs suivantes :

Etats	ELS <i>Quasi-permanent / Caractéristique</i>	ELU <i>Situations durables et transitoires</i>
R _{v;d}	400 kPa 400 kN pour A' = 1 m ²	650 kPa 650 kN pour A' = 1 m ²

Ces valeurs sont valables dans le cas de charges verticales centrées. Dans le cas où les charges seraient inclinées, il conviendrait d'appliquer un coefficient minorateur.

Il reviendra au Maître d'Œuvre ou au Bureau structures de vérifier que la contrainte à l'ELS précitée est suffisante pour reprendre les charges du projet.

c) Tassements

Compte tenu du fait que seuls des essais pénétrométriques ont été réalisés, les tassements ne peuvent pas être calculés.

Toutefois, sous réserve de l'homogénéité du sol d'assise et d'une exécution soignée des fondations, les tassements absolus à attendre pour une contrainte à l'ELS n'excédant pas celle précitée seront d'ordre millimétrique voire nuls.

d) Dispositions constructives

Le sol d'assise devra être homogène sous l'ensemble des appuis du projet, tant en nature qu'en capacité portante. Toute incertitude à ce sujet devra être levée.

Pour des raisons de bonne exécution et afin d'assurer un enrobage correct des armatures, **la largeur des semelles** les moins chargées ne sera **en aucun cas inférieure à 0,40 m**.

Enfin, nous précisons que l'intervention d'un BET structure pourra permettre d'affiner la réalisation du projet d'un point de vue des choix constructifs.

e) Sujétions d'exécution

Afin d'assurer un bon contact sol/béton, les fondations seront coulées pleine fouille, dès l'ouverture des fouilles, ce qui évitera une détérioration ou une décompression du sol d'assise.

Toute poche médiocre ou de moindre consistance détectée à l'ouverture des fouilles devra être purgée et remplacée par un béton coulé pleine fouille.

Selon la période des travaux, il conviendra de tenir compte de la présence d'éventuelles circulations d'eau en fond de fouille. La mise en place d'un dispositif adapté à la nature des sols et à l'importance des venues d'eau pourra donc être nécessaire pour assécher les fouilles (pompage), préalablement au bétonnage. Les eaux pompées seront évacuées hors du site vers le fossé ou le réseau d'évacuation des eaux pluviales.

Dans tous les cas, nous conseillons de réaliser les travaux selon les règles de l'Art et par temps sec.

5.3. Fondations de type pieu battu

a) Principes généraux

Ce principe consiste à reporter les charges par l'intermédiaire de pieux métalliques battus (classe 5, catégorie 13, dans le cas de pieux battus ouverts) ancrés dans les calcaires, en respectant une profondeur d'assise minimale d'au moins 1,2 m/TA. Des approfondissements du toit des calcaires sont à attendre localement. **Au vu des caractéristiques des sols d'ancrage, un préforage devra être réalisé.**

Le dimensionnement des fondations devra être établi dans le cadre de la mission G3 (à la charge de l'entreprise), notamment en fonction du matériau mis en œuvre dans l'espace annulaire (graves, coulis, ...).

Des essais d'arrachement devront être prévus en phase d'exécution afin de justifier les pieux en traction.

b) Choix de la méthode de calcul

Nous présentons ci-après la procédure « modèle de terrain » qui consiste à déduire d'un modèle géotechnique du site les valeurs caractéristiques de la résistance de pointe et du frottement axial unitaire dans les différentes couches de sol.

Selon la norme NF P 94-262 (Eurocodes 7 – Fondations profondes), il convient de vérifier que :

- la valeur de calcul à l'ELS de la charge axiale F_d transmise par un pieu est inférieure ou égale à la valeur de calcul de la charge de fluage de compression $R_{c;d}$ tel que :

$$F_d \leq R_{c;d}$$

- la valeur de calcul à l'ELU de la charge de compression axiale $F_{c;d}$ est inférieure ou égale à la valeur de calcul de la portance $R_{c;d}$ tel que :

$$F_{c;d} \leq R_{c;d}$$

- la valeur de calcul à l'ELU de la charge de traction axiale $F_{t;d}$ est inférieure ou égale à la valeur de la résistance limite de traction $R_{t;d}$ tel que :

$$F_{t;d} \leq R_{t;d}$$

Selon les termes de la NF P94-262, les charges admissibles en compression sont données par les formules :

$$R = \Gamma_1.R_s + \Gamma_2.R_b, \text{ Avec :}$$

- $R = R_c; c; d$ à l'ELS ou $R = R_c; d$ à l'ELU
- R_b : résistance limite de pointe, avec $R_b = A \cdot k_p \cdot p_{le}^*$
- R_s : résistance limite en frottement latéral, avec $R_s = P \sum h_i \cdot q_{si}$
- A est la section du pieu et P son périmètre (pieu à section quelconque)
- k_p le facteur de portance, p_{le}^* la pression limite nette équivalente
- q_{si} le frottement latéral limite dans la couche i d'épaisseur h_i

Pour ce type de structures (panneaux photovoltaïques ancrés par pieux métalliques battus), les diamètres des pieux métalliques sont de manière générale bien inférieurs à 250 mm. En ce sens, **le terme de pointe (R_b) sera négligé et la capacité portante des pieux ainsi que leur résistance à la traction seront calculés uniquement à partir de la résistance en frottement (R_s).**

Pour la méthode pressiométrique, les coefficients de sécurité globaux (Γ_1 et Γ_2) retenus en compression sont les suivants :

Pieu Battu ouvert				
	ELS qp	ELS caract	ELU fond	ELU accid
Latéral (Γ_1)	0,503	0,615	0,719	0,791
Pointe (Γ_2)	0,503	0,615	0,719	0,791

Pour la méthode pressiométrique, les coefficients de sécurité globaux retenus en traction sont les suivants :

Pieu Battu ouvert				
	ELS qp	ELS caract	ELU fond	ELU accid
Latéral (Γ_1)	0,303	0,413	0,565	0,618
Pointe (Γ_2)	-	-	-	-

Ces paramètres seront adaptés en fonction de la méthode d'exécution effectivement mise en œuvre.

La détermination des paramètres de dimensionnement nécessite la réalisation de sondages pressiométriques.

Ces sondages pourront être réalisés dans le cadre d'une étude complémentaire (G2/AVP complémentaire ou G2/PRO) ou de la mission de suivi d'exécution, phase étude (mission G3, à la charge de l'entreprise de travaux).

Il conviendra de négliger les frottements latéraux sur minimum 0,5 m de profondeur, ou toute la hauteur du recouvrement argileux si son épaisseur est supérieure à 0,5 m.

c) Justification des pieux vis-à-vis de l'ensemble des sollicitations

Le dimensionnement des pieux devra également prendre en compte les efforts horizontaux, les moments et les efforts de traction.

Dans la conception de la structure, la liaison structure/pieux sera étudiée avec précision. Les pieux subissant de la traction seront notamment traités de manière particulière. Dans le cas de la réalisation d'un maillage réduit de pieux travaillant en traction, il est nécessaire de vérifier que les volumes élémentaires de sol associés à chacun des pieux n'interfèrent pas entre eux. Dans le cas le plus défavorable, on négligera la cohésion du terrain encaissant.

d) Effet de groupe

En cas de pieux très proches les uns des autres, l'interaction possible entre ces éléments doit être prise en compte.

Cette interaction impacte :

- le comportement transversal ;
- l'état limite de mobilisation globale du sol ;
- le frottement négatif.

L'effet de groupe est calculé sur la base de la NFP94-262 annexes H, I et J.

Toutefois, au vu du contexte, les pieux traversent une couche médiocre et sont ancrés dans un sol très résistant. Aussi, on pourra adopter une valeur du coefficient d'efficacité C_e égale à 1.

e) Tassements

Sous réserve d'une exécution soignée des pieux et du respect des hypothèses précitées, les tassements théoriques absolus seront très faibles.

f) Sujétions d'exécution

Les pieux seront réalisés selon les Règles de l'Art par une entreprise spécialisée et qualifiée en fondations profondes, conformément aux normes européennes d'exécution des pieux.

Il conviendra de prévoir soit une protection des pieux métalliques contre la corrosion, soit une épaisseur sacrificielle qui pourra être définie en fonction de la durée de vie de l'ouvrage dans le cadre des prochaines missions géotechniques.

Pour garantir l'ancrage minimal, l'entreprise devra prévoir des pré-forages avec du matériel adapté (trépan, carottage...).

Il conviendra notamment de prendre en compte :

- la forte compacité du substratum calcaire ;
- les variations du toit du sol d'ancrage (remontée ou approfondissement).

Des essais de traction seront effectués par l'entreprise chargée de l'exécution des fondations afin de contrôler la capacité du sol d'ancrage à reprendre les charges ELS et ELU. Ces essais seront validés par un géotechnicien dans le cadre de la mission G4.

Des essais de contrôle ou de conformité pourront être réalisés afin de garantir la bonne exécution des fondations.

6. TERRASSEMENTS ET FOUILLES

6.1. Généralités

Le projet ne nécessite pas de terrassements autres qu'un simple reprofilage du terrain naturel (+/- 0,30 m par rapport au terrain actuel).

Dans tous les cas, les terrassements devront être réalisés selon les règles de l'Art.

Les terrassements éventuels et les fouilles de fondations nécessiteront l'emploi d'engins de forte puissance de type grosse pelle mécanique associée éventuellement à un BRH.

6.2. Traficabilité

Nous conseillons de réaliser les travaux par temps sec et de maintenir autant que possible la plateforme de travail au sec à tout moment.

7. ANNEXES

- Plan de localisation des sondages
- Sondages semi-destructifs PM1 à PM13
- Essais pénétrométriques PD1 à PD29

ΛΥΛΥΛΥΛ

SOLINGEO reste à votre disposition pour tout renseignement complémentaire.

Fait à MONTAUBAN le 09/05/2022

Rédigé par

Elian SALISSARD

SOLINGEO SARL
350 Avenue du Danemark
ZA Albasud
82000 MONTAUBAN
Tél. 05 63 27 28 79 / Fax 05 31 60 69 86
519 836 803

Vérifié par

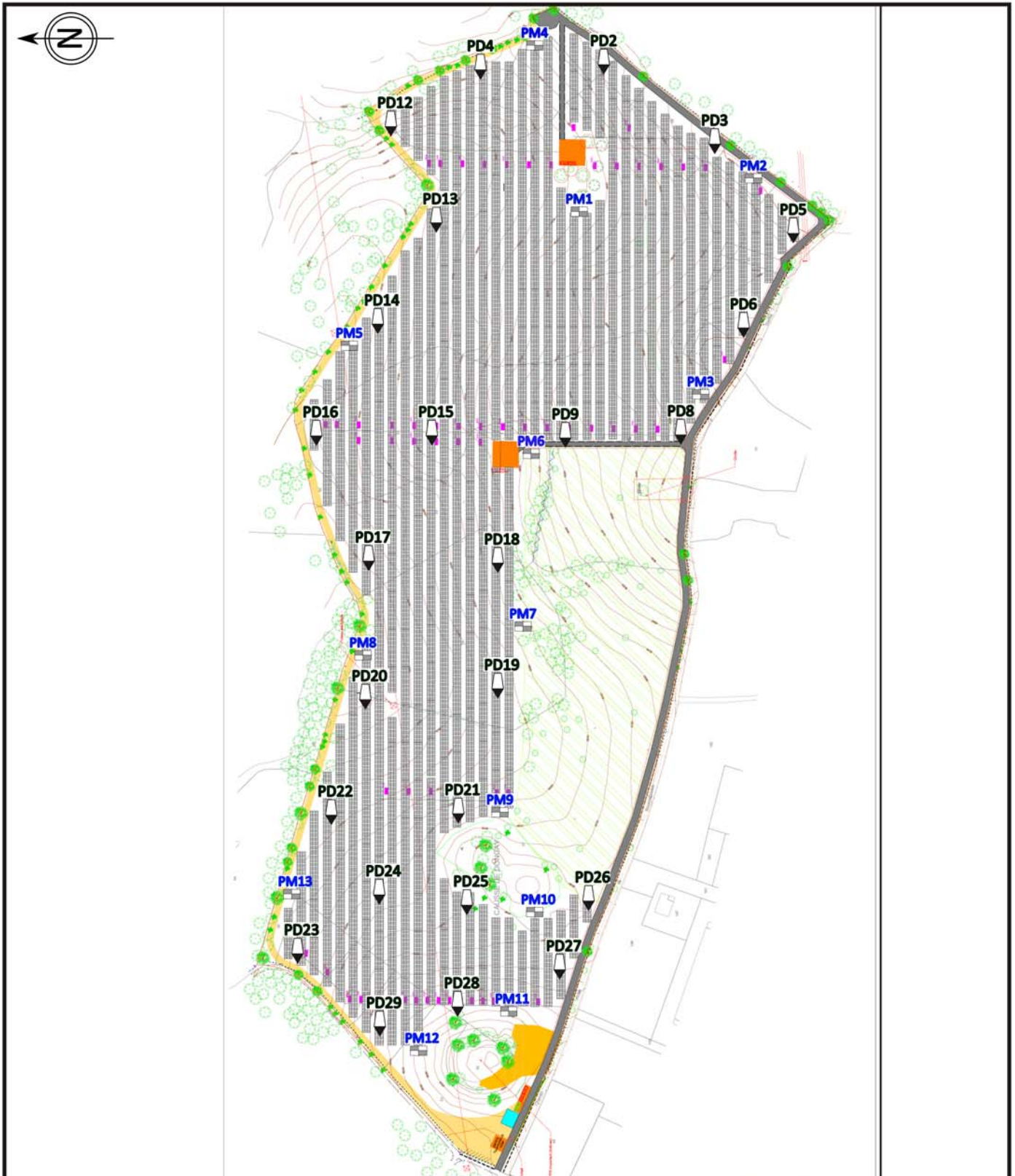
Arnaud MONTEIL

SOLINGEO SARL
350 Avenue du Danemark
ZA Albasud
82000 MONTAUBAN
Tél. 05 63 27 28 79 / Fax 05 31 60 69 86
519 836 803

PLAN DE LOCALISATION DES SONDAGES



Adresse chantier : Lieu- dit "Le Causse" 46500 RIGNAC
Maître d'Ouvrage : SAS EnergieKontor France
N° de dossier : S-2111-013



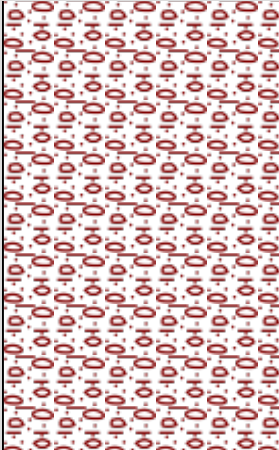

Légende :
(sans échelle)

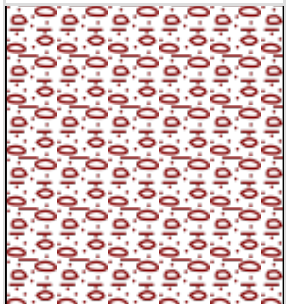



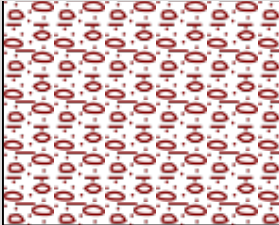
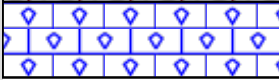
Sondage pénétrométrique type B

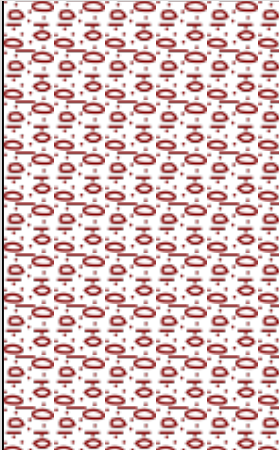



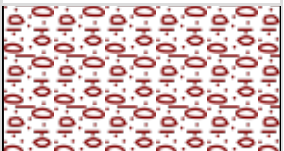

Sondage à la pelle mécanique

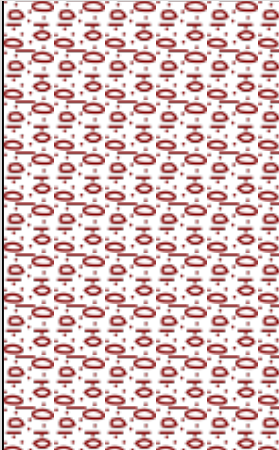

Prof. (m)	Prof. (m)	Figuré	Description	Observations de forage	Outils de forage	Niveaux d'eau (m)	Numéro d'échant
0			Argile à cailloux et blocs calcaires, marron foncé, légèrement humide.	Tenue des parois	Godet		
0.05				Moyenne			
0.1							
0.15							
0.2							
0.25							
0.3	0.3		Calcaire, gris blanc (refus).	Bonne			
0.35	0.35						
0.4							
0.45							
0.5							
0.55							
0.6							
0.65							
0.7							
0.75							
0.8							
0.85							
0.9							
0.95							
1							
1.05							
1.1							

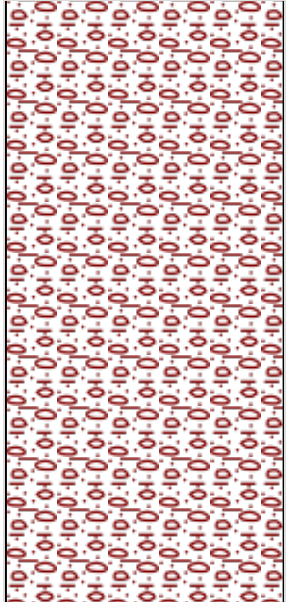

Prof. (m)	Prof. (m)	Figuré	Description	Observations de forage	Outils de forage	Niveaux d'eau (m)	Numéro d'échant
0			Argile à cailloux et blocs calcaires, marron foncé, légèrement humide.	Tenue des parois	Godet		
0.05				Moyenne			
0.1				Calcaire, gris blanc (refus).			
0.15							
0.2	0.2						
0.25	0.25						
0.3							
0.35							
0.4							
0.45							
0.5							
0.55							
0.6							
0.65							
0.7							
0.75							
0.8							
0.85							
0.9							
0.95							
1							
1.05							
1.1							

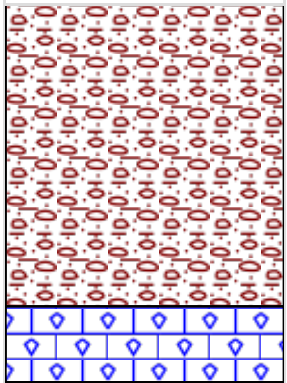
Prof. (m)	Prof. (m)	Figuré	Description	Observations de forage	Outils de forage	Niveaux d'eau (m)	Numéro d'échant
0			Argile à cailloux et blocs calcaires, marron foncé, légèrement humide.	Tenue des parois	Godet		
0.05				Moyenne			
0.1			Calcaire, gris blanc (refus).	Bonne			
0.15	0.15						
0.2	0.2						
0.25							
0.3							
0.35							
0.4							
0.45							
0.5							
0.55							
0.6							
0.65							
0.7							
0.75							
0.8							
0.85							
0.9							
0.95							
1							
1.05							
1.1							

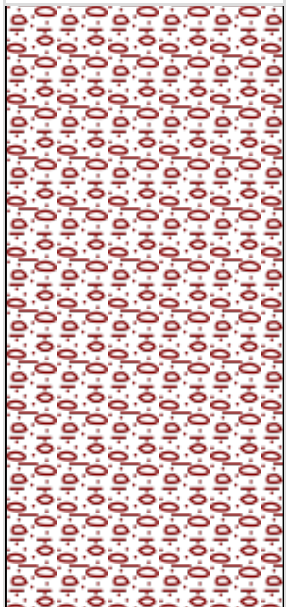

Prof. (m)	Prof. (m)	Figuré	Description	Observations de forage	Outils de forage	Niveaux d'eau (m)	Numéro d'échant
0			Argile à cailloux et blocs calcaires, marron foncé, légèrement humide.	Tenue des parois	Godet		
0.05				Moyenne			
0.1							
0.15							
0.2							
0.25							
0.3	0.3		Calcaire, gris blanc (refus).	Bonne			
0.35	0.35						
0.4							
0.45							
0.5							
0.55							
0.6							
0.65							
0.7							
0.75							
0.8							
0.85							
0.9							
0.95							
1							
1.05							
1.1							

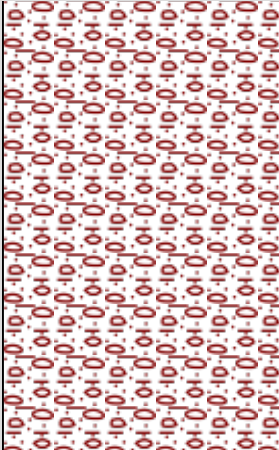

Prof. (m)	Prof. (m)	Figuré	Description	Observations de forage	Outils de forage	Niveaux d'eau (m)	Numéro d'échant
0			Argile à cailloux et blocs calcaires, marron foncé, légèrement humide.	Tenue des parois	Godet		
0.05	Moyenne						
0.1	0.1		Calcaire, gris blanc (refus).	Bonne			
0.15	0.15						
0.2							
0.25							
0.3							
0.35							
0.4							
0.45							
0.5							
0.55							
0.6							
0.65							
0.7							
0.75							
0.8							
0.85							
0.9							
0.95							
1							
1.05							
1.1							

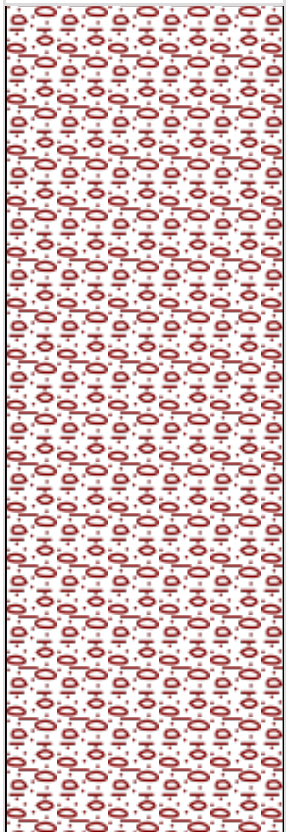

Prof. (m)	Prof. (m)	Figuré	Description	Observations de forage	Outils de forage	Niveaux d'eau (m)	Numéro d'échant
0			Argile à cailloux et blocs calcaires, marron foncé, légèrement humide.	Tenue des parois	Godet		
0.05				Moyenne			
0.1							
0.15							
0.2							
0.25							
0.3	0.3		Calcaire, gris blanc (refus).	Bonne			
0.35	0.35						
0.4							
0.45							
0.5							
0.55							
0.6							
0.65							
0.7							
0.75							
0.8							
0.85							
0.9							
0.95							
1							
1.05							
1.1							

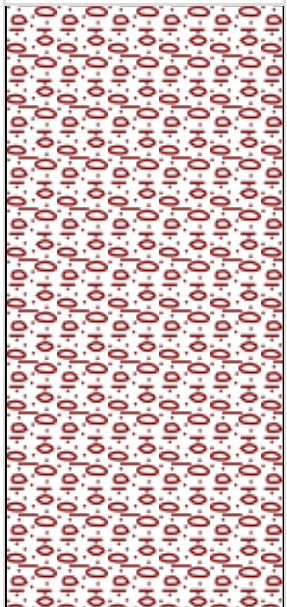

Prof. (m)	Prof. (m)	Figuré	Description	Observations de forage	Outils de forage	Niveaux d'eau (m)	Numéro d'échant
0			Argile à cailloux et blocs calcaires, marron foncé, légèrement humide.	Tenue des parois	Godet		
0.05				Moyenne			
0.1							
0.15							
0.2							
0.25							
0.3							
0.35							
0.4	0.4		Calcaire, gris blanc (refus).	Bonne			
0.45	0.45						
0.5							
0.55							
0.6							
0.65							
0.7							
0.75							
0.8							
0.85							
0.9							
0.95							
1							
1.05							
1.1							

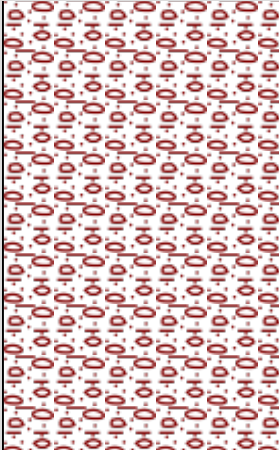
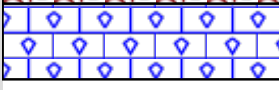
Prof. (m)	Prof. (m)	Figuré	Description	Observations de forage	Outils de forage	Niveaux d'eau (m)	Numéro d'échant
0			Argile à cailloux et blocs calcaires, marron foncé, légèrement humide.	Tenue des parois	Godet		
0.05				Moyenne			
0.1				Calcaire, gris blanc (refus).		Bonne	
0.15							
0.2	0.2						
0.25	0.25						
0.3							
0.35							
0.4							
0.45							
0.5							
0.55							
0.6							
0.65							
0.7							
0.75							
0.8							
0.85							
0.9							
0.95							
1							
1.05							
1.1							

Prof. (m)	Prof. (m)	Figuré	Description	Observations de forage	Outils de forage	Niveaux d'eau (m)	Numéro d'échant
0			Argile à cailloux et blocs calcaires, marron foncé, légèrement humide.	Tenue des parois	Godet		
0.05				Moyenne			
0.1							
0.15							
0.2							
0.25							
0.3							
0.35							
0.4	0.4		Calcaire, gris blanc (refus).	Bonne			
0.45	0.45						
0.5							
0.55							
0.6							
0.65							
0.7							
0.75							
0.8							
0.85							
0.9							
0.95							
1							
1.05							
1.1							

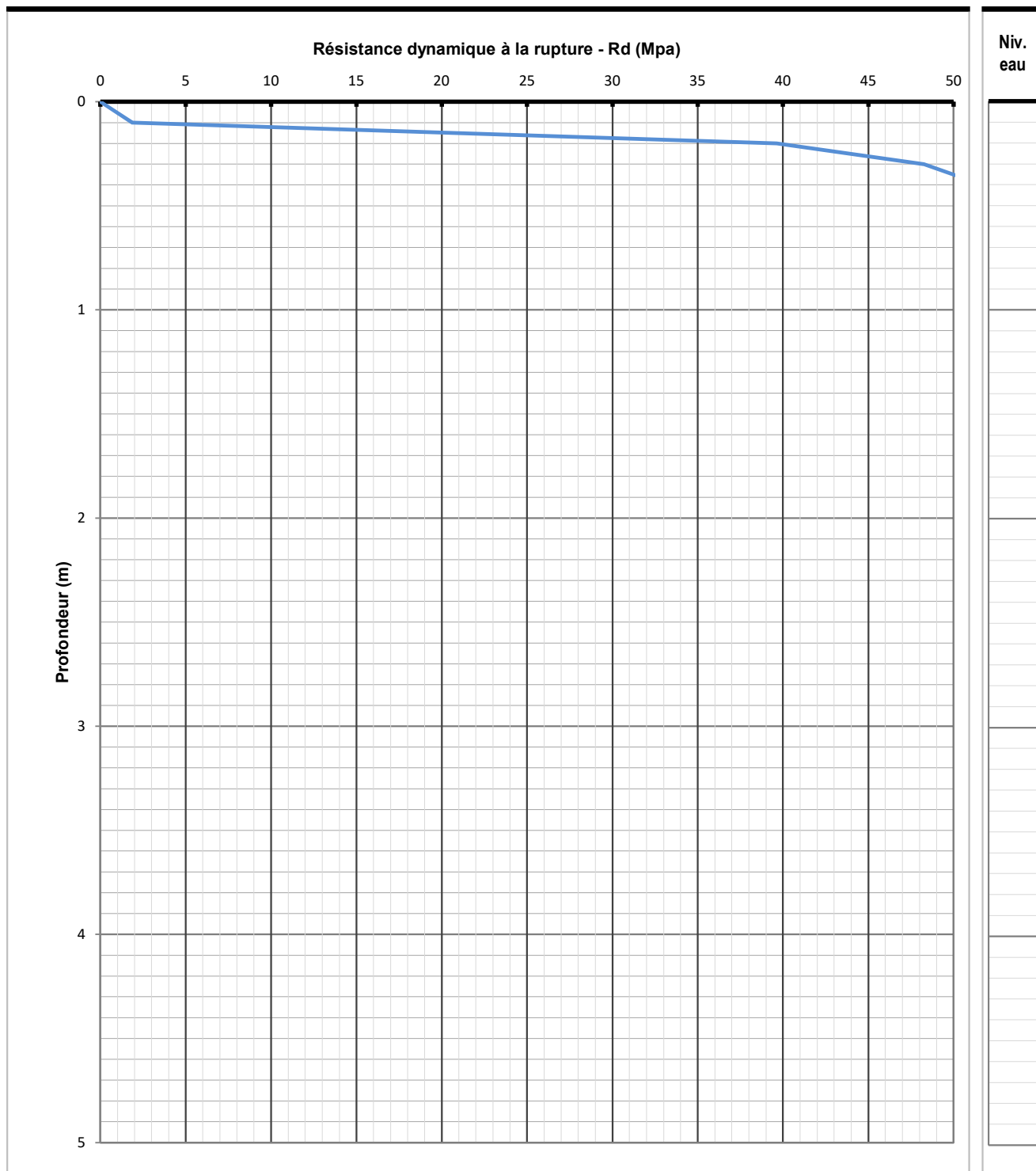
Prof. (m)	Prof. (m)	Figuré	Description	Observations de forage	Outils de forage	Niveaux d'eau (m)	Numéro d'échant
0			Argile à cailloux et blocs calcaires, marron foncé, légèrement humide.	Tenue des parois	Godet		
0.05							
0.1				Moyenne			
0.15							
0.2							
0.25							
0.3	0.3		Calcaire, gris blanc (refus).	Bonne			
0.35	0.35						
0.4							
0.45							
0.5							
0.55							
0.6							
0.65							
0.7							
0.75							
0.8							
0.85							
0.9							
0.95							
1							
1.05							
1.1							

Prof. (m)	Prof. (m)	Figuré	Description	Observations de forage	Outils de forage	Niveaux d'eau (m)	Numéro d'échant
0			Argile à cailloux et blocs calcaires, marron foncé, légèrement humide.	Tenue des parois	Godet		
0.05							
0.1							
0.15							
0.2							
0.25							
0.3							
0.35							
0.4							
0.45							
0.5							
0.55	0.55		Calcaire, gris blanc (refus).	Bonne			
0.6	0.6						
0.65							
0.7							
0.75							
0.8							
0.85							
0.9							
0.95							
1							
1.05							
1.1							

Prof. (m)	Prof. (m)	Figuré	Description	Observations de forage	Outils de forage	Niveaux d'eau (m)	Numéro d'échant
0			Argile à cailloux et blocs calcaires, marron foncé, légèrement humide.	Tenue des parois	Godet		
0.05				Moyenne			
0.1							
0.15							
0.2							
0.25							
0.3							
0.35							
0.4	0.4		Calcaire, gris blanc (refus).	Bonne			
0.45	0.45						
0.5							
0.55							
0.6							
0.65							
0.7							
0.75							
0.8							
0.85							
0.9							
0.95							
1							
1.05							
1.1							

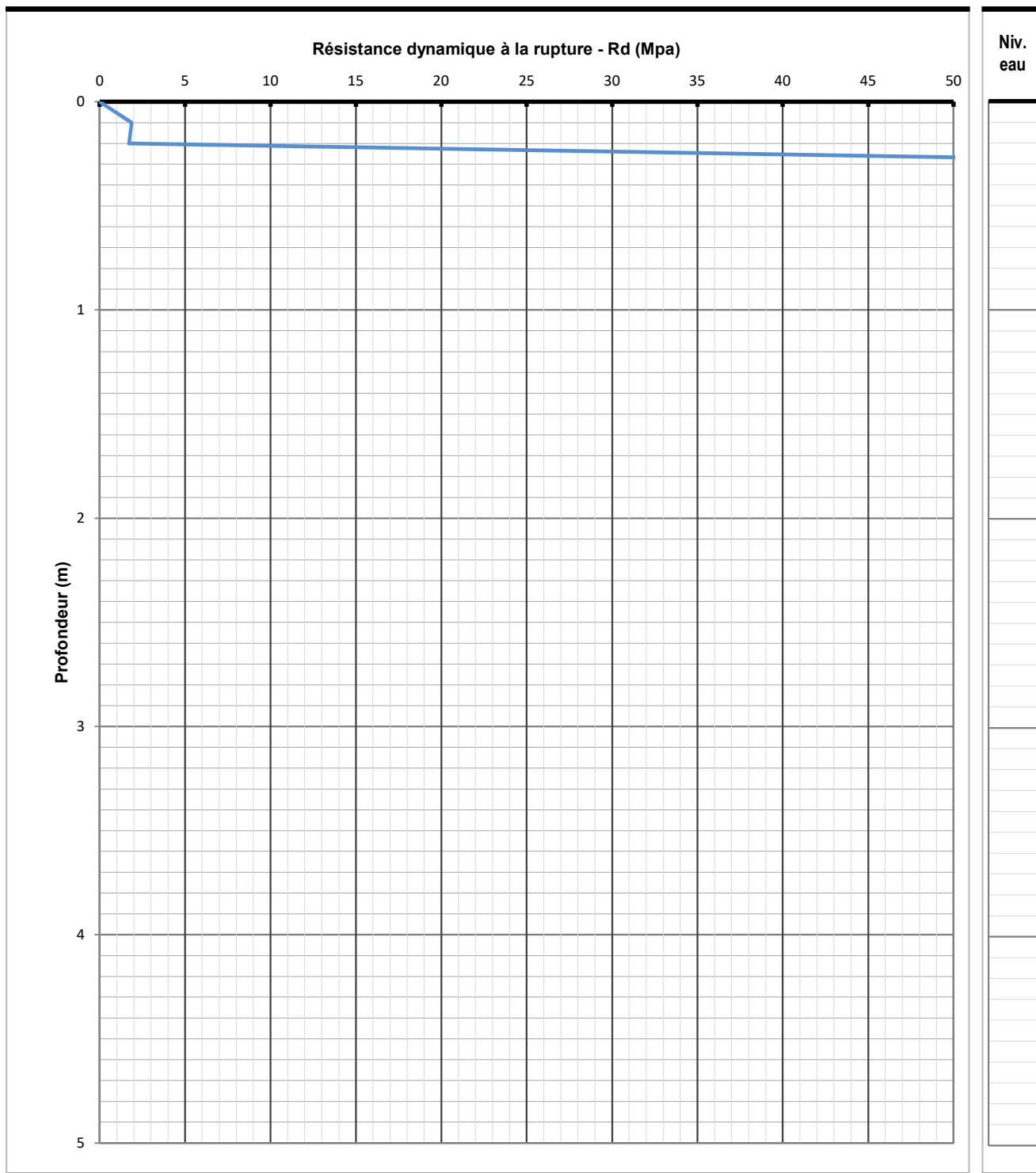
Prof. (m)	Prof. (m)	Figuré	Description	Observations de forage	Outils de forage	Niveaux d'eau (m)	Numéro d'échant
0			Argile à cailloux et blocs calcaires, marron foncé, légèrement humide.	Tenue des parois	Godet		
0.05							
0.1				Moyenne			
0.15							
0.2							
0.25							
0.3	0.3		Calcaire, gris blanc (refus).	Bonne			
0.35	0.35						
0.4							
0.45							
0.5							
0.55							
0.6							
0.65							
0.7							
0.75							
0.8							
0.85							
0.9							
0.95							
1							
1.05							
1.1							

SONDAGE AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD
TYPE B - Norme NF P 94-115



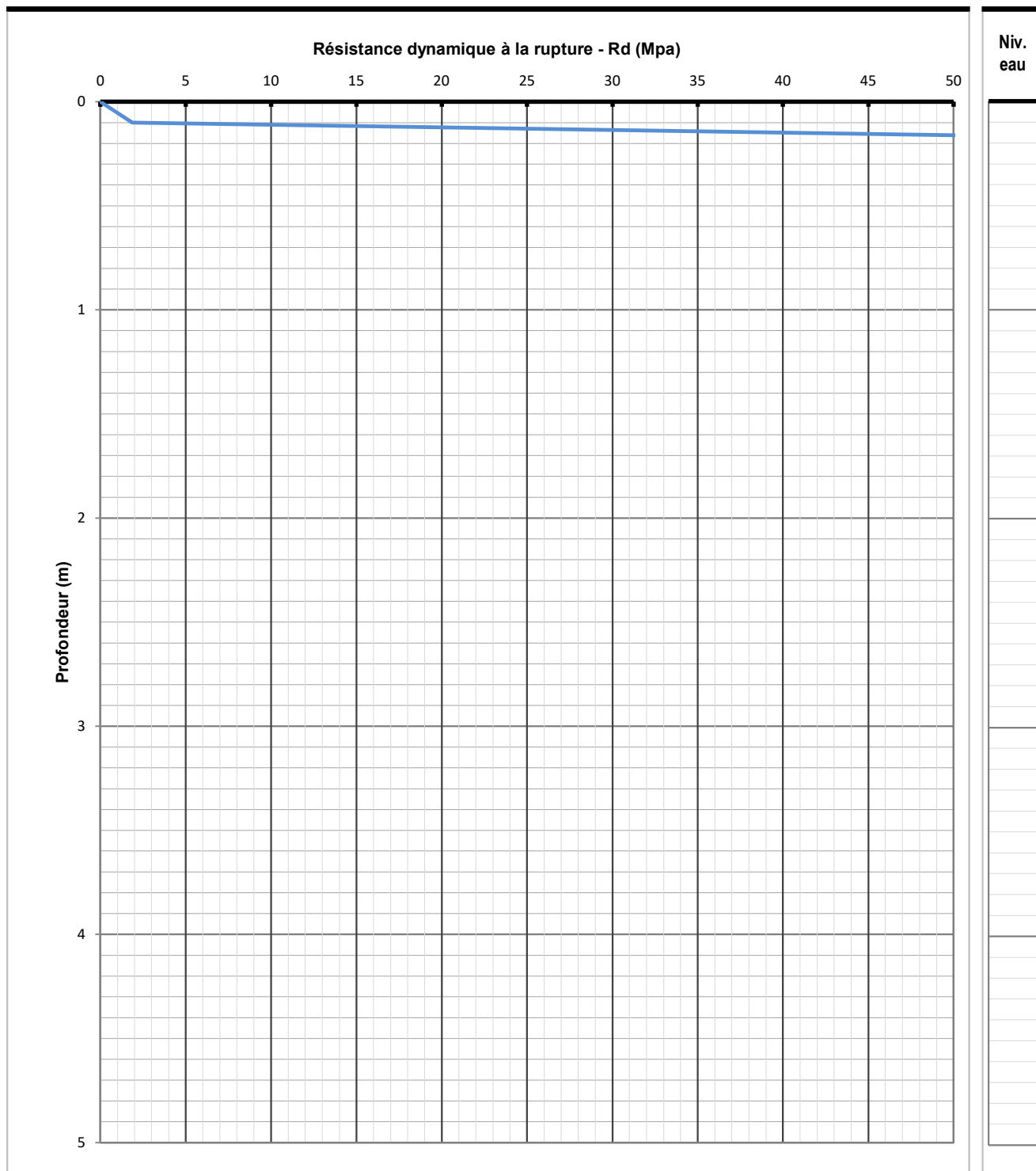
▪ Masse du mouton : 64kg ▪ Hauteur de chute : 0,75m ▪ Masse de la tige : 6,5kg ▪
▪ Masse de l'enclume : 9,9kg ▪ Section pointe : 0,002m² ▪ Masse de la pointe : 0,56kg ▪

SONDAGE AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD
TYPE B - Norme NF P 94-115



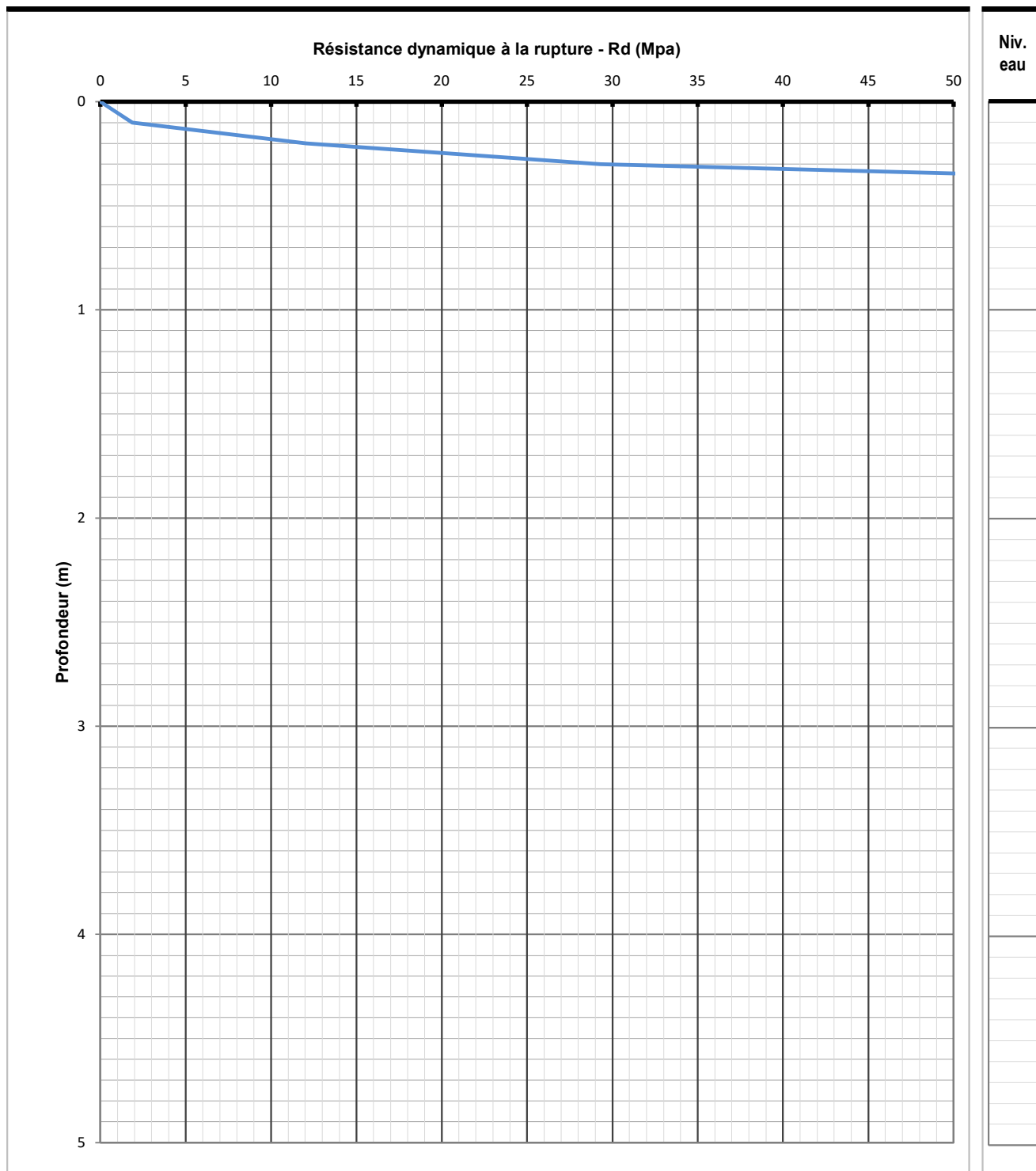
▪ Masse du mouton : 64kg ▪ Hauteur de chute : 0,75m ▪ Masse de la tige : 6,5kg ▪
▪ Masse de l'enclume : 9,9kg ▪ Section pointe : 0,002m² ▪ Masse de la pointe : 0,56kg ▪

SONDAGE AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD
TYPE B - Norme NF P 94-115



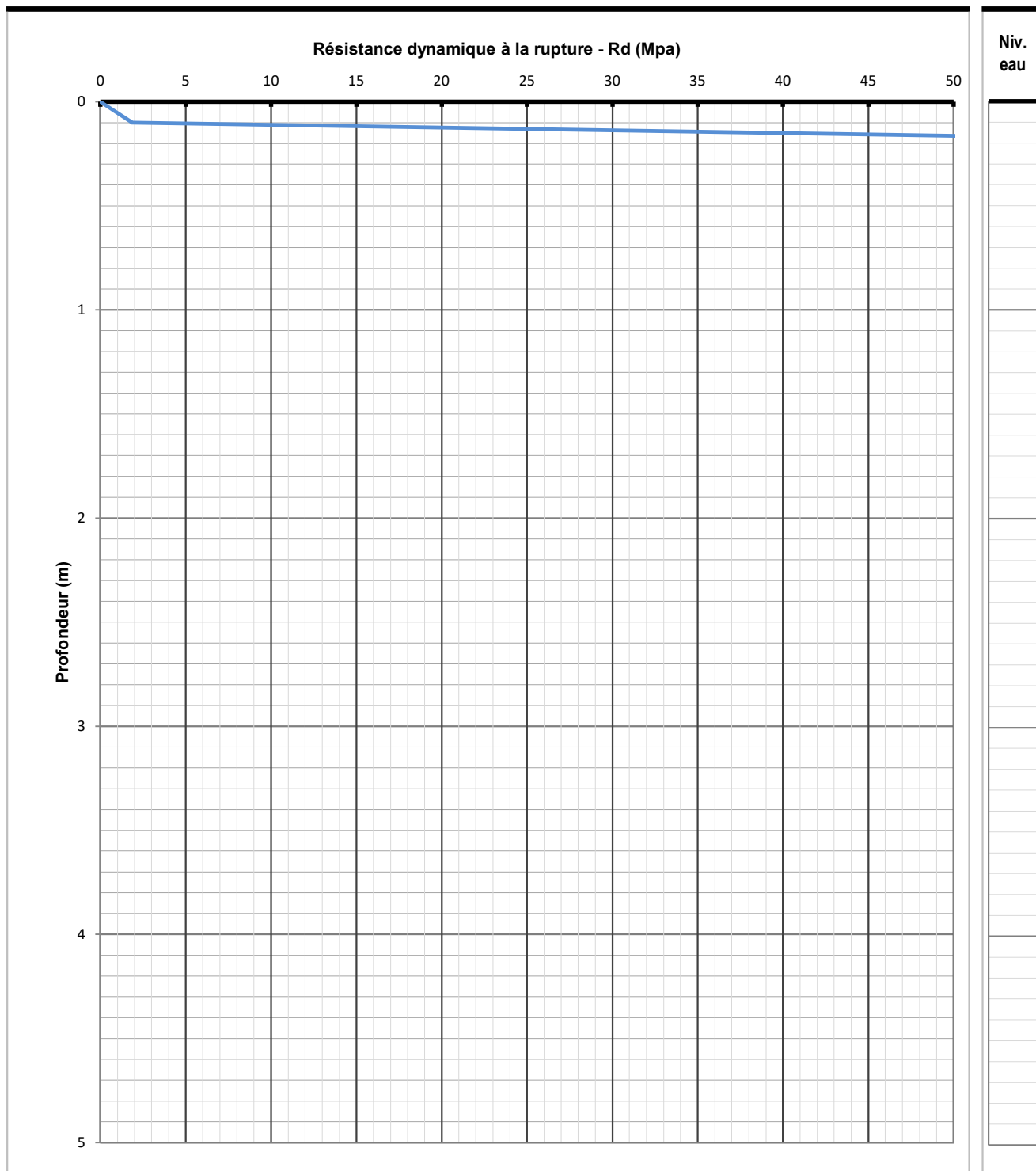
▪ Masse du mouton : 64kg ▪ Hauteur de chute : 0,75m ▪ Masse de la tige : 6,5kg ▪
▪ Masse de l'enclume : 9,9kg ▪ Section pointe : 0,002m² ▪ Masse de la pointe : 0,56kg ▪

SONDAGE AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD
TYPE B - Norme NF P 94-115

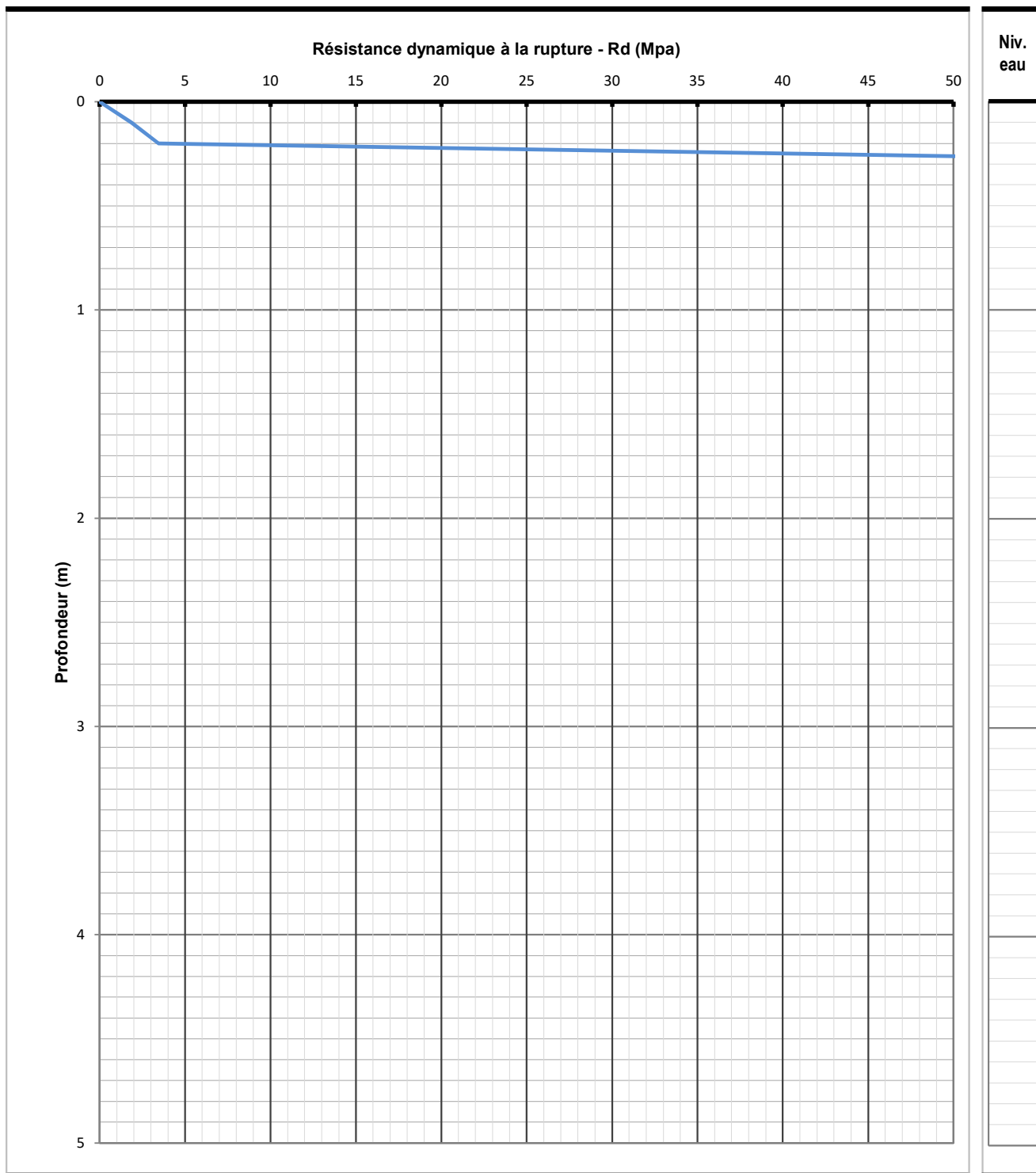


▪ Masse du mouton : 64kg ▪ Hauteur de chute : 0,75m ▪ Masse de la tige : 6,5kg ▪
▪ Masse de l'enclume : 9,9kg ▪ Section pointe : 0,002m² ▪ Masse de la pointe : 0,56kg ▪

SONDAGE AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD
TYPE B - Norme NF P 94-115

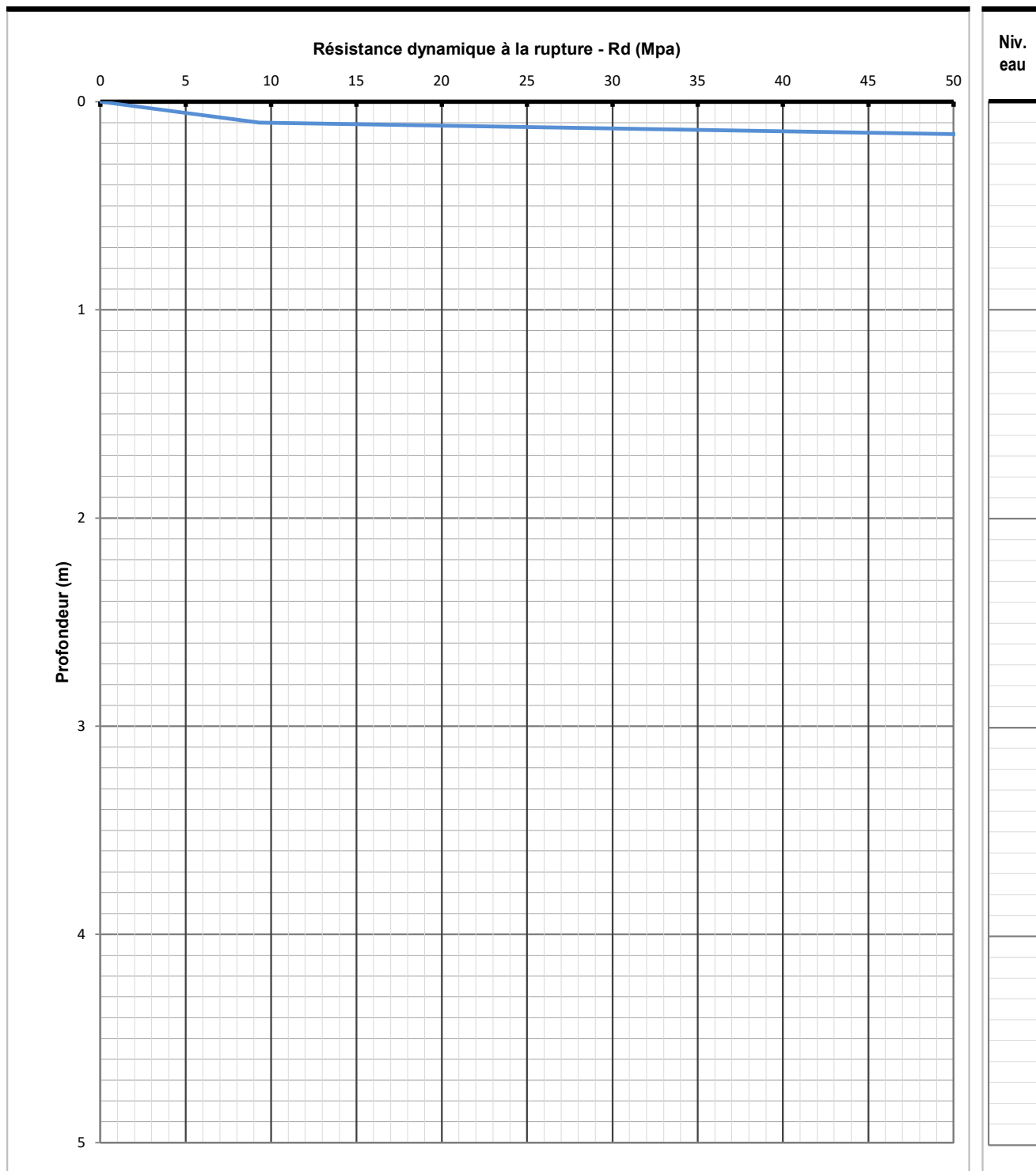


SONDAGE AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD
TYPE B - Norme NF P 94-115



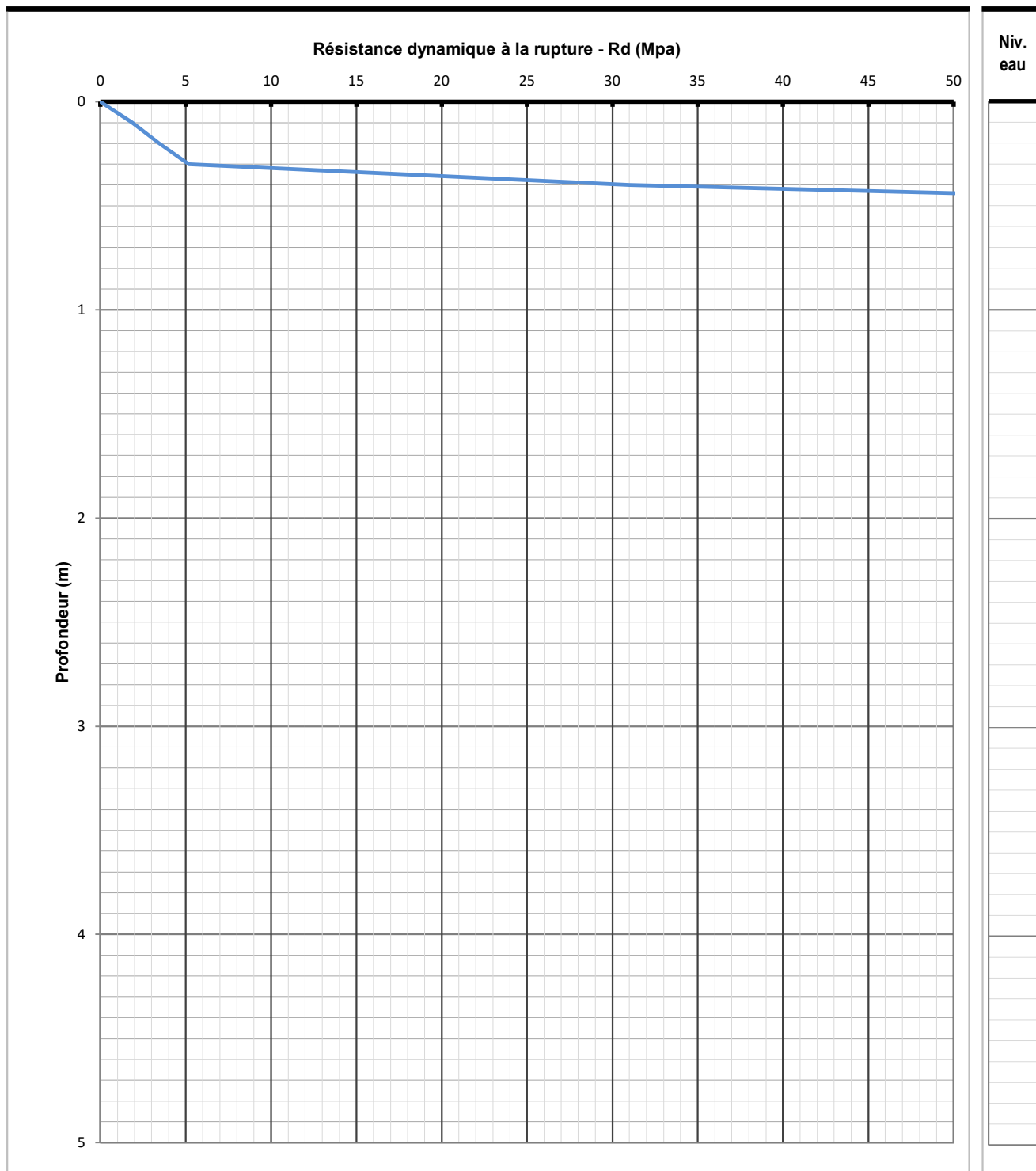
▪ Masse du mouton : 64kg ▪ Hauteur de chute : 0,75m ▪ Masse de la tige : 6,5kg ▪
▪ Masse de l'enclume : 9,9kg ▪ Section pointe : 0,002m² ▪ Masse de la pointe : 0,56kg ▪

SONDAGE AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD
TYPE B - Norme NF P 94-115



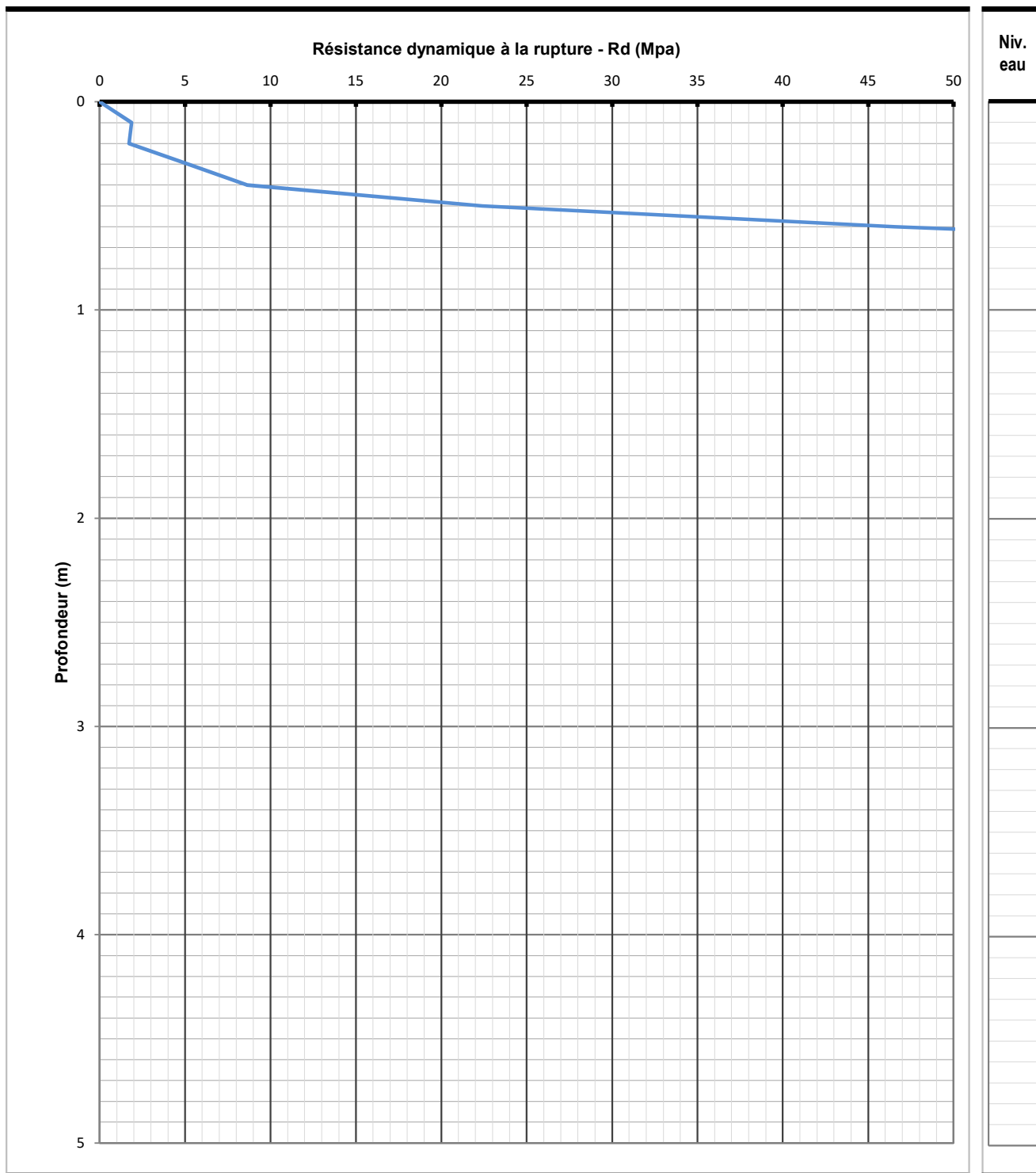
▪ Masse du mouton : 64kg ▪ Hauteur de chute : 0,75m ▪ Masse de la tige : 6,5kg ▪
▪ Masse de l'enclume : 9,9kg ▪ Section pointe : 0,002m² ▪ Masse de la pointe : 0,56kg ▪

SONDAGE AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD
TYPE B - Norme NF P 94-115



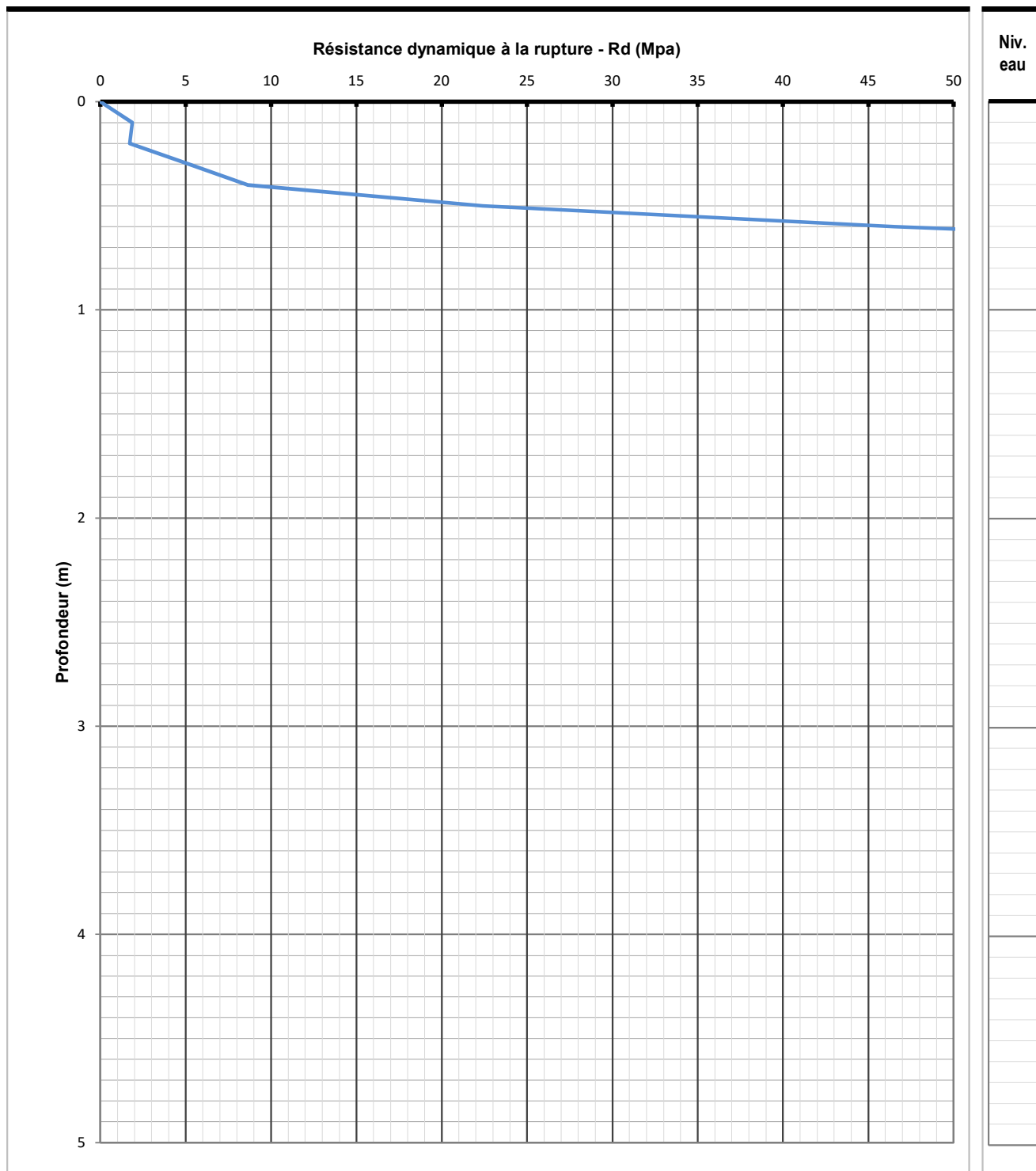
• Masse du mouton : 64kg • Hauteur de chute : 0,75m • Masse de la tige : 6,5kg •
• Masse de l'enclume : 9,9kg • Section pointe : 0,002m² • Masse de la pointe : 0,56kg •

SONDAGE AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD
TYPE B - Norme NF P 94-115



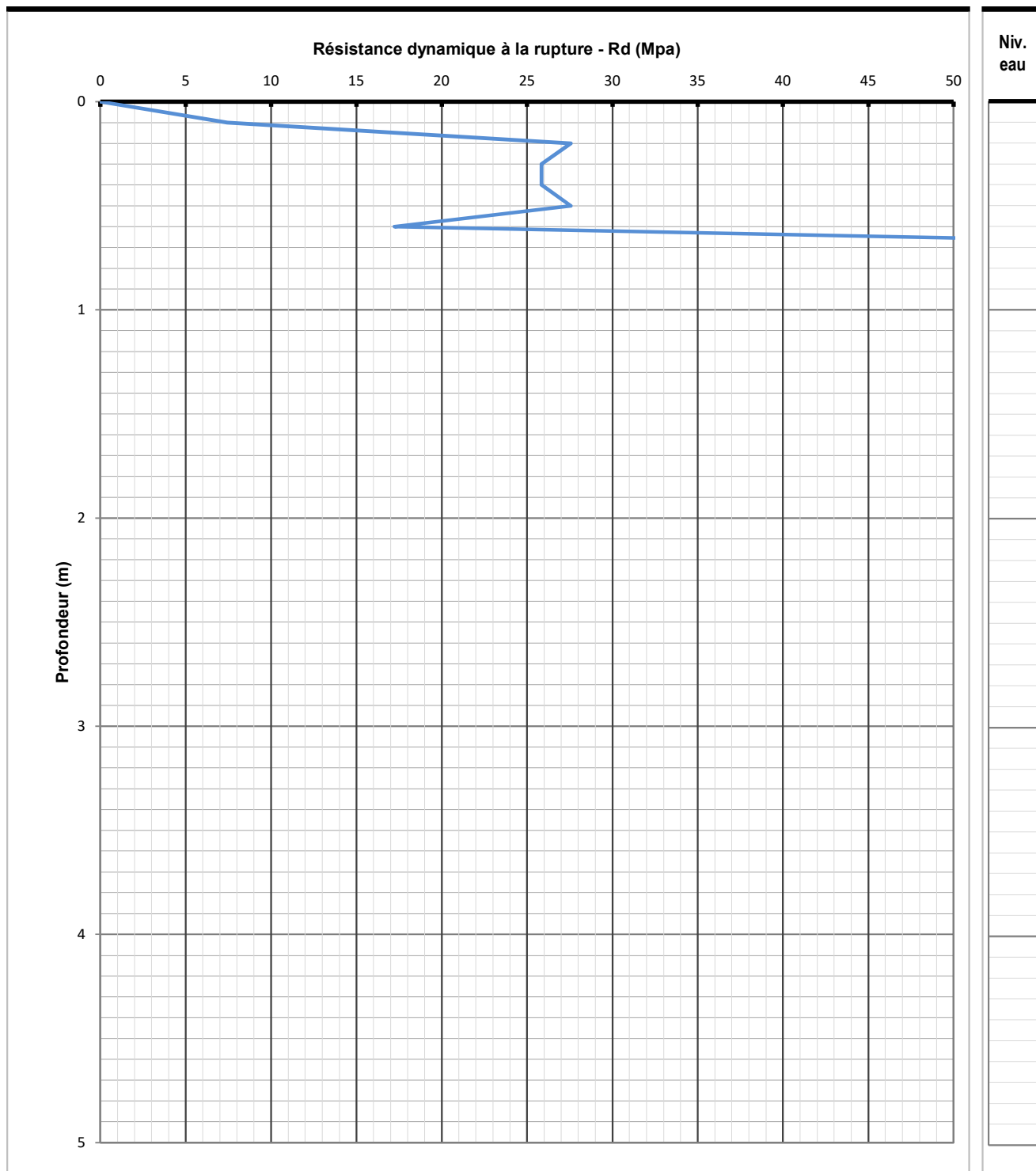
• Masse du mouton : 64kg • Hauteur de chute : 0,75m • Masse de la tige : 6,5kg •
• Masse de l'enclume : 9,9kg • Section pointe : 0,002m² • Masse de la pointe : 0,56kg •

SONDAGE AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD
TYPE B - Norme NF P 94-115



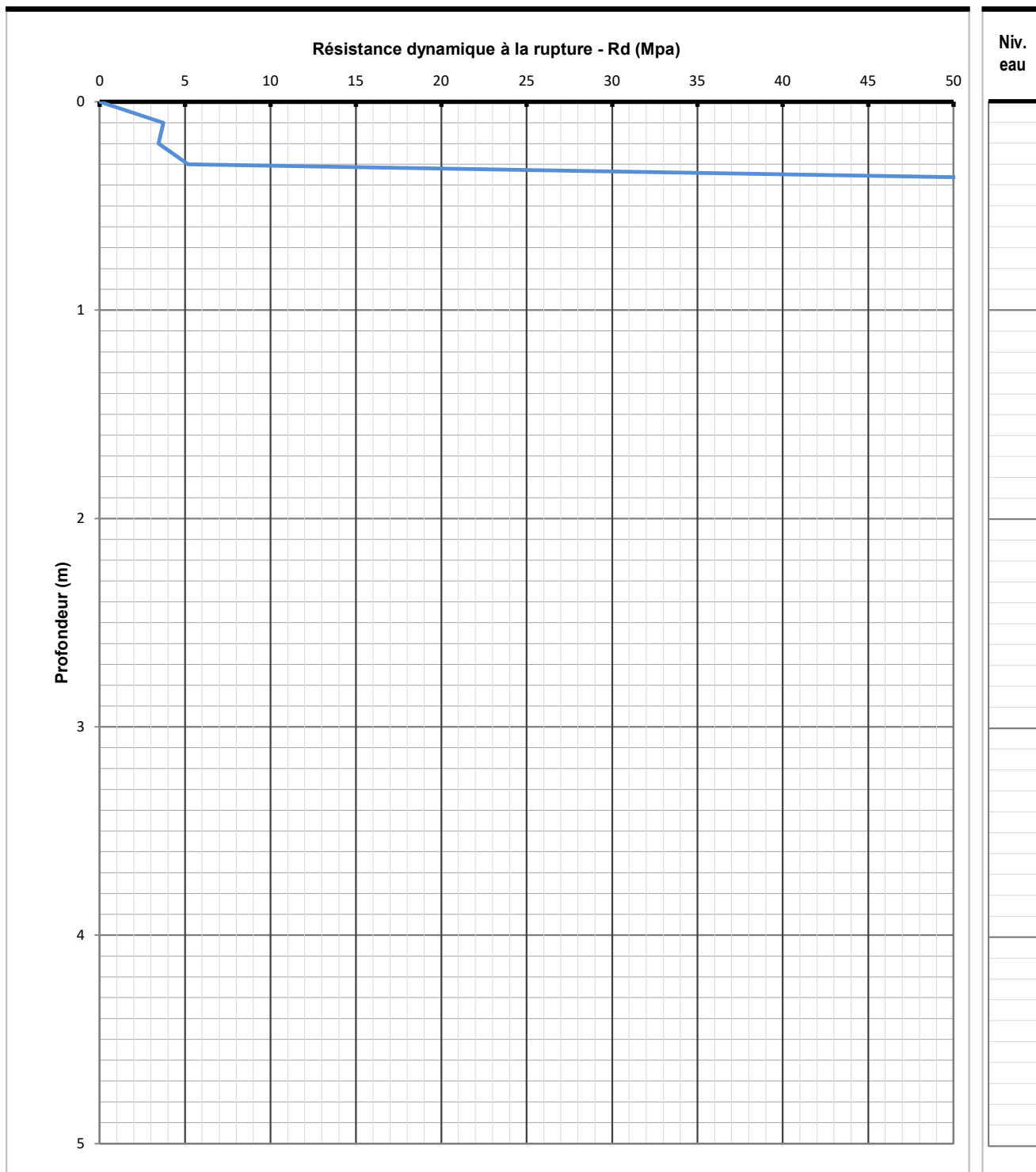
▪ Masse du mouton : 64kg ▪ Hauteur de chute : 0,75m ▪ Masse de la tige : 6,5kg ▪
▪ Masse de l'enclume : 9,9kg ▪ Section pointe : 0,002m² ▪ Masse de la pointe : 0,56kg ▪

SONDAGE AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD
TYPE B - Norme NF P 94-115



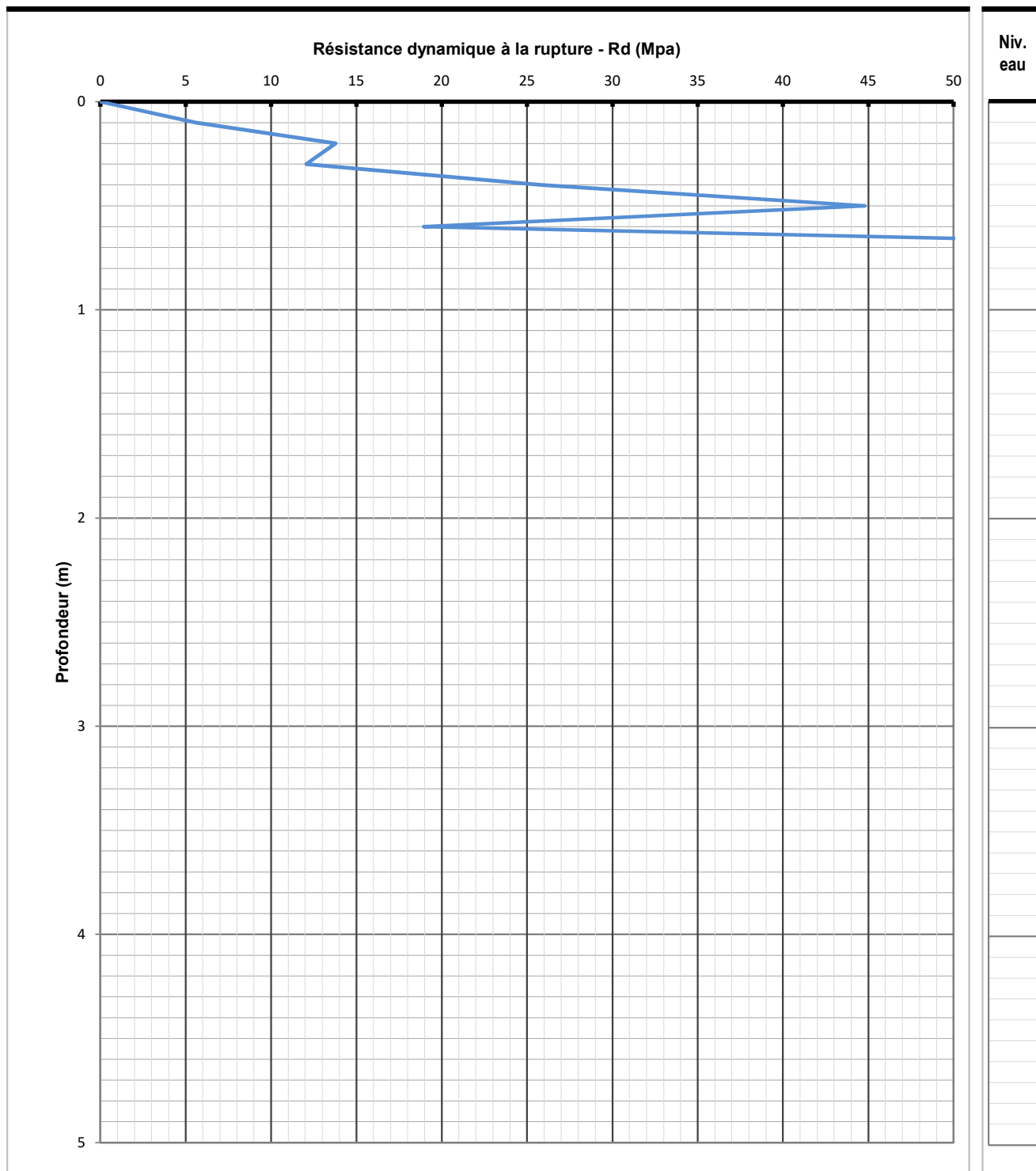
• Masse du mouton : 64kg • Hauteur de chute : 0,75m • Masse de la tige : 6,5kg •
• Masse de l'enclume : 9,9kg • Section pointe : 0,002m² • Masse de la pointe : 0,56kg •

SONDAGE AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD
TYPE B - Norme NF P 94-115



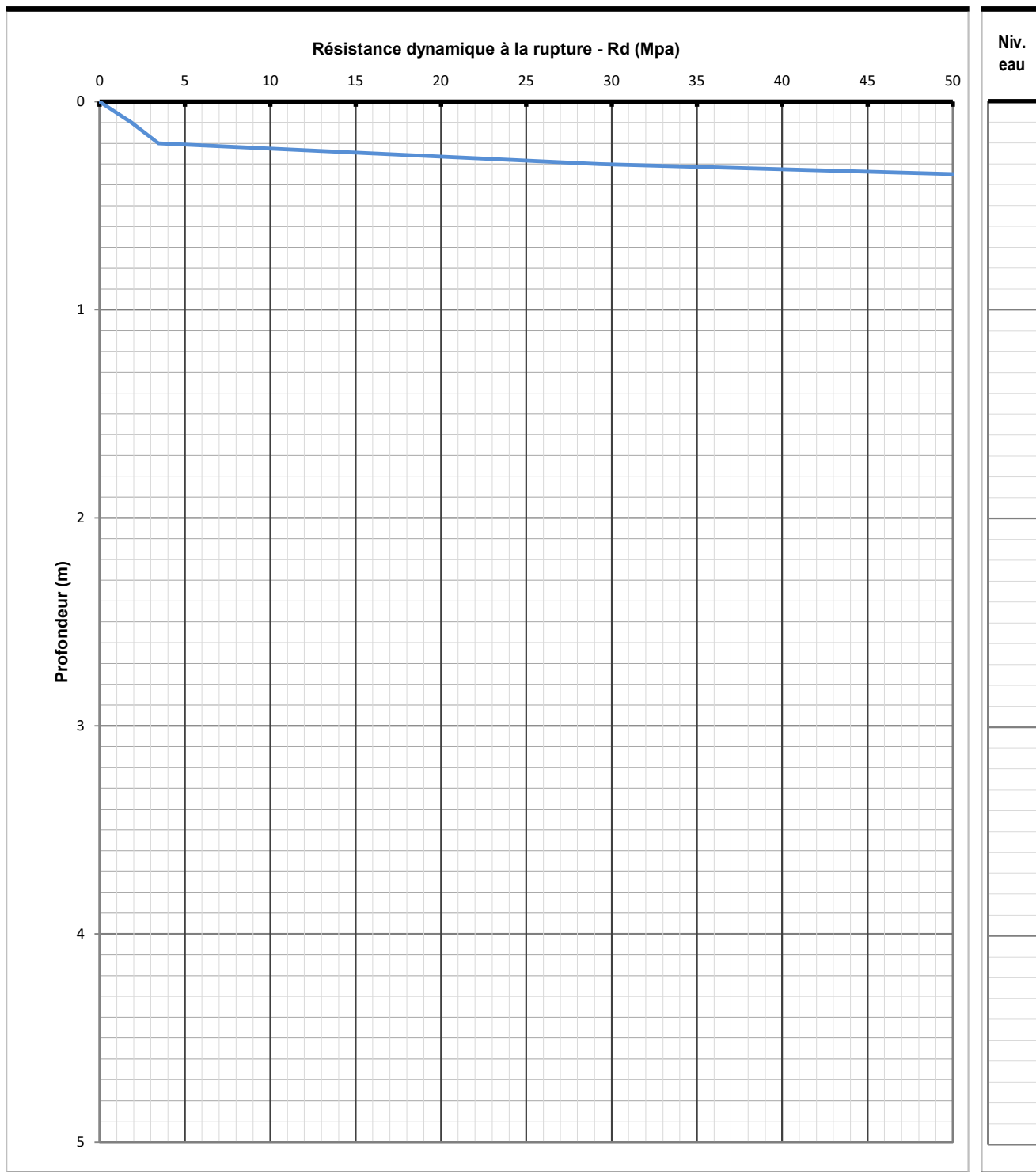
• Masse du mouton : 64kg • Hauteur de chute : 0,75m • Masse de la tige : 6,5kg •
• Masse de l'enclume : 9,9kg • Section pointe : 0,002m² • Masse de la pointe : 0,56kg •

SONDAGE AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD
TYPE B - Norme NF P 94-115



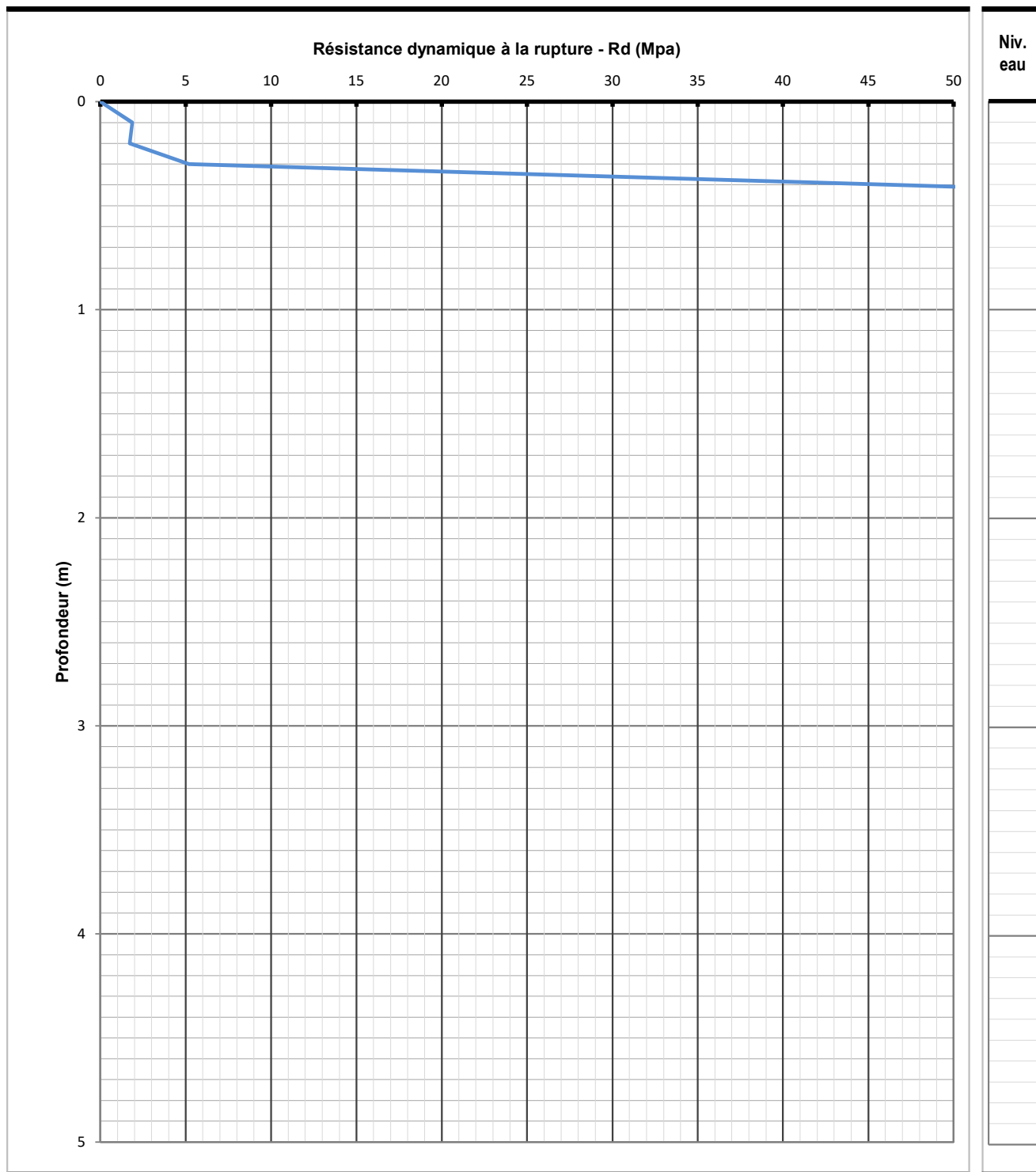
Niv.
eau

SONDAGE AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD
TYPE B - Norme NF P 94-115



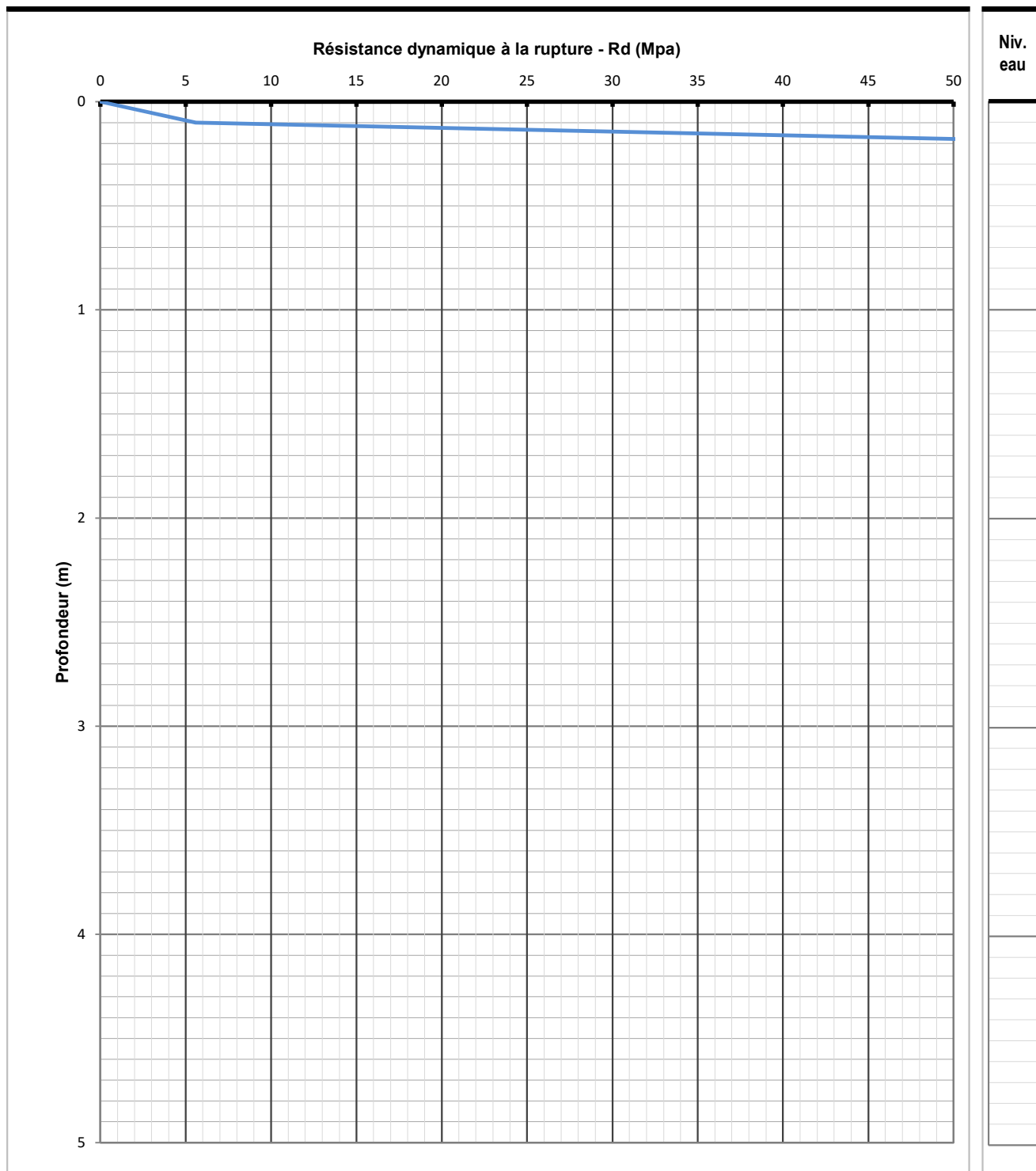
• Masse du mouton : 64kg • Hauteur de chute : 0,75m • Masse de la tige : 6,5kg •
• Masse de l'enclume : 9,9kg • Section pointe : 0,002m² • Masse de la pointe : 0,56kg •

SONDAGE AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD
TYPE B - Norme NF P 94-115



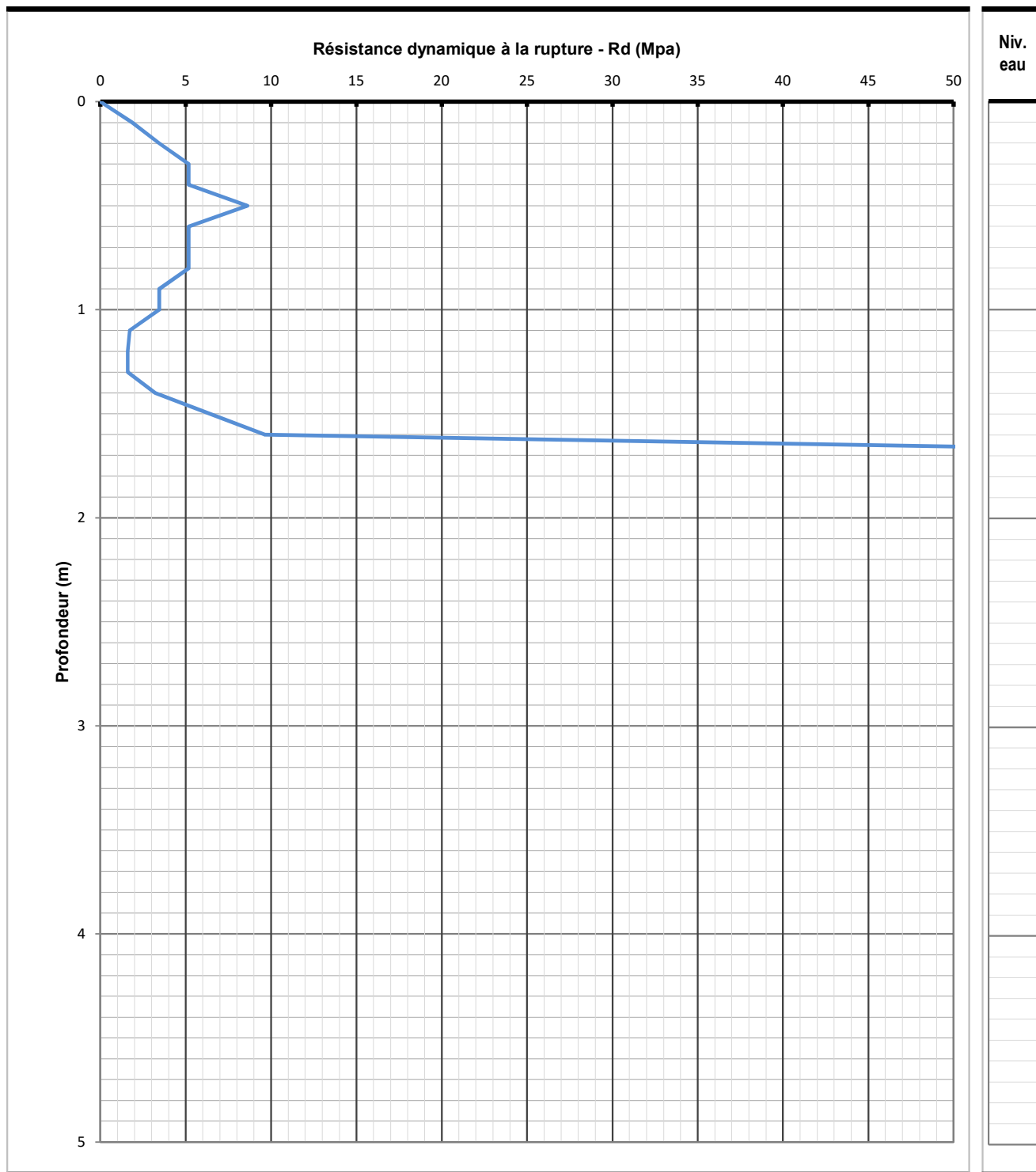
• Masse du mouton : 64kg • Hauteur de chute : 0,75m • Masse de la tige : 6,5kg •
• Masse de l'enclume : 9,9kg • Section pointe : 0,002m² • Masse de la pointe : 0,56kg •

SONDAGE AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD
TYPE B - Norme NF P 94-115



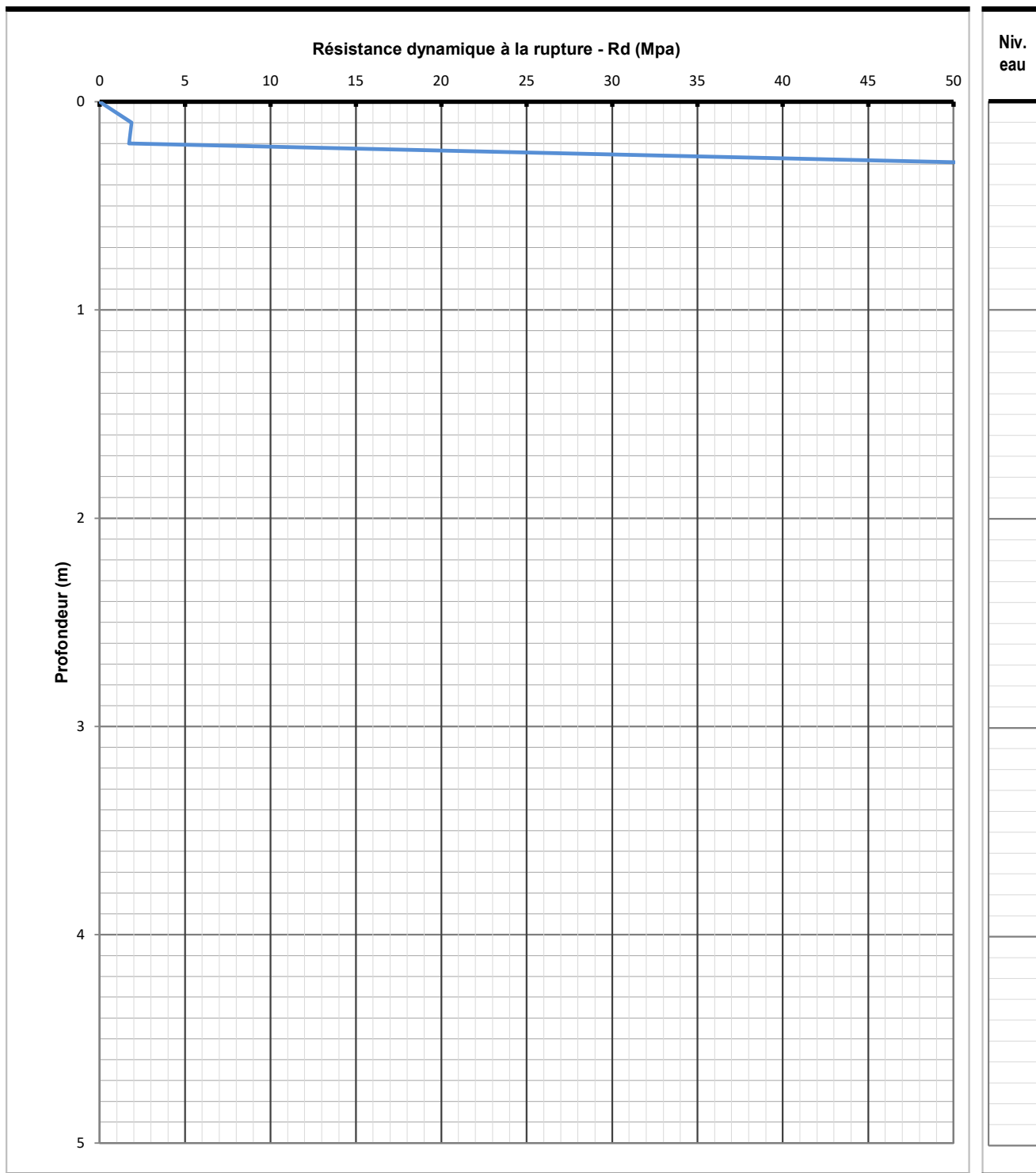
▪ Masse du mouton : 64kg ▪ Hauteur de chute : 0,75m ▪ Masse de la tige : 6,5kg ▪
▪ Masse de l'enclume : 9,9kg ▪ Section pointe : 0,002m² ▪ Masse de la pointe : 0,56kg ▪

SONDAGE AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD
TYPE B - Norme NF P 94-115



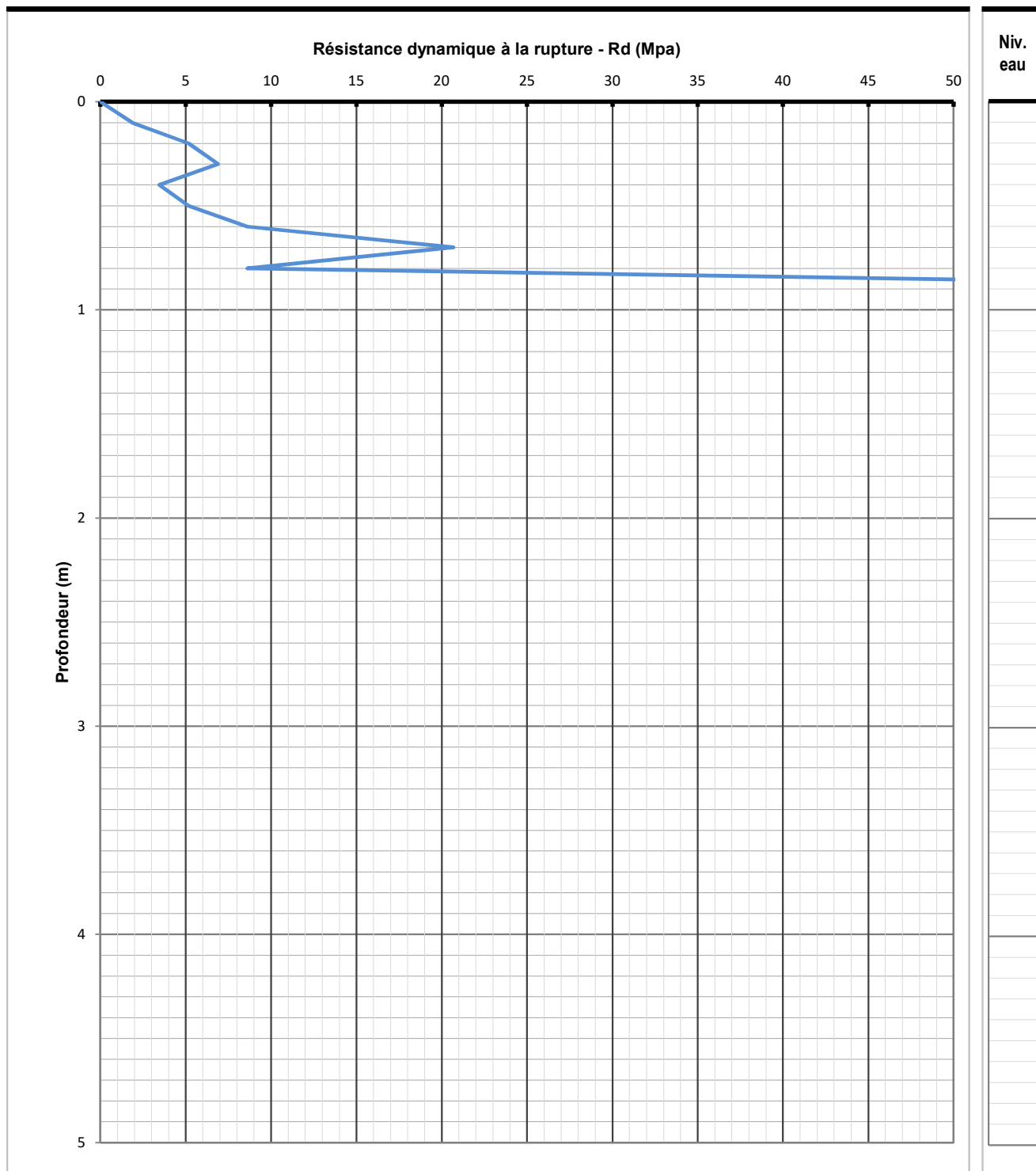
▪ Masse du mouton : 64kg ▪ Hauteur de chute : 0,75m ▪ Masse de la tige : 6,5kg ▪
▪ Masse de l'enclume : 9,9kg ▪ Section pointe : 0,002m² ▪ Masse de la pointe : 0,56kg ▪

SONDAGE AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD
TYPE B - Norme NF P 94-115



▪ Masse du mouton : 64kg ▪ Hauteur de chute : 0,75m ▪ Masse de la tige : 6,5kg ▪
▪ Masse de l'enclume : 9,9kg ▪ Section pointe : 0,002m² ▪ Masse de la pointe : 0,56kg ▪

SONDAGE AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD
TYPE B - Norme NF P 94-115



Niv.
eau

• Masse du mouton : 64kg • Hauteur de chute : 0,75m • Masse de la tige : 6,5kg •
• Masse de l'enclume : 9,9kg • Section pointe : 0,002m² • Masse de la pointe : 0,56kg •