

GÉOLOGUE DIPLÔMÉ WERNER GRÖBLINGHOFF

**Étude des sites contaminés
Gestion de l'environnement
Géologie du sol de fondation
Hydrogéologie**

EMCA

11, Rue Principale

L - 6557 Dickweiler

Expertise du sol

Pour le projet de

Parc éolien de Burmerange, Luxembourg

5 éoliennes de type Enercon E160-EP5-E3 avec une hauteur de tour de 166 m

ou

Nordex N163 avec une hauteur de tour de 164m

ou

Vestas V162 ou V172 avec une hauteur de tour de 169m

Date : 25.08.2022

Numéro de projet : 22 - 047

7, rue Sonnenborn
D-59609 Anröchte
info@groeblinghoff.eu
Tél. : + 49 (0) 29 47 - 568 403
Fax : + 49 (0) 29 47 - 568 404
GSM : + 49 (0) 171 - 748 35

N° de TVA : DE 243230343
N° de pièce : 330/5013/2062
Banque populaire Hellweg
Compte 71488001
NUMÉRO DE COMPTE BANCAIRE : 41460116
IBAN : DE11414601160071488001
BIC : GENODEM1SOE

Table des matières

Chapitre	Page
1. Remarques préliminaires	4
2. Documents	4
2.1 Documents	4
2.2 Enquêtes.....	5
3. Conditions locales	5
3.1 Situation	5
3.2 Utilisation	5
3.3 Conditions géologiques	6
3.3.1 Structure schématique du support	6
3.3.2 Résultats de la prospection du sous-sol	7
3.4 Conditions hydrogéologiques	10
4. Classification des sols et caractéristiques des sols	10
4.1 Classification des sols	10
4.2 Valeurs caractéristiques de la mécanique des sols	11
5. Recommandations en matière de fondation	12
5.1 Création de	12
5.2 Exécution de la fouille des éoliennes	14
5.3 Pression admissible du lit pour l'avant-projet de construction	15
5.4 Exécution des aires de stationnement des grues	16
5.5 Mesures contre les eaux souterraines	16
5.6 Mesures de la résistance de la terre	17
5.7 Évaluation des géorisques	17
6. Remarques finales	20

Annexes :

Annexe 1 : Plan de situation

Annexe 2 : Répertoires des couches

Annexe 3 : Fiche technique des fondations

Annexe 4 : Calculs de la statique des sols

1. Remarques préliminaires

Le bureau Gröblichhoff a été mandaté par EMCA, société mère d'Oekostroum Boermereng, pour réaliser une étude de sol pour la construction de 5 éoliennes (WEA) de 3 fabricants différents : Enercon E 160 avec une hauteur de tour de 166 m ; Nordex N163 avec une hauteur de tour de 165 m ; Vestas V162 ou V172 avec une hauteur de tour de 169 m.

Il est prévu de fonder l'éolienne à plat.

Cette expertise se base sur la fiche technique de fondation E-160 EP5 E3-HT-166-FB-C-01 fondations plates de Max Bögl Wind AG du 04.10.2021, fondations Nordex N163/6.X tour hybride TCS164 du 17.08.2021 de la société Nordex, ainsi que sur le catalogue d'exigences PM-CW-SP002 pour Évaluations du sol de fondation par les fabricants.

La fiche technique des fondations de la société Vestas n'est pas encore disponible.

2. Documents

2.1 Documents

Les documents suivants étaient disponibles pour l'élaboration du projet :

- Plan d'ensemble (U1)
- Plans de situation (U2)
- Résultats de la prospection du sous-sol (U 3)
- Carte géologique du Luxembourg (U 4)
- Grundbau Taschenbuch, Partie 1 : Bases géotechniques, 6e édition, Ernst & Sohn, janvier 2001 (U5)
- Fiche technique des fondations/plan de coffrage de la société Max Bögl du 04.10.2021 (U6)
- Fondations Nordex N163/6.X Tour hybride TCS164 du 17.08.2021 de la société Nordex

2.2 Enquêtes

Les prestations suivantes ont été fournies dans le cadre des enquêtes de terrain :

- Forage de 15 puits jusqu'à la roche
- Approche et évaluation du sol du point de vue de la géologie et de la mécanique des sols
- Mesures de la résistance du sol à l'aide de Megger DET 5/4 R
- Marquage du point d'attache selon la position

3. Conditions locales

3.1 Situation

Les sites d'implantation des éoliennes se trouvent à l'est de la localité de Burmerange, à des altitudes comprises entre 220 et

270 msnm. Les centres des installations ont été déterminés par le géomètre. Les coordonnées des différents sites sont indiquées ci-dessous :

	LUREF X coord	LUREF Y coord	Latitude	Longitude
WEA1	91930	62060	49°29'35.39 "N	6°19'58.07 "E
WEA2	92499	60345	49°28'39.83 "N	6°20'26.14 "E
WEA3	92082	59301	49°28'6.09 "N	6°20'5.28 "E
WEA4	91683	59865	49°28'24.36 "N	6°19'45.54 "E
WEA5	89635	62793	49°29'59.28 "N	6°18'4.08 "E

3.2 Utilisation

Les terrains sont actuellement utilisés à des fins agricoles. Aucune autre utilisation antérieure n'est connue. Aucune activité minière n'est connue dans la région de Burmerange.

3.3 Conditions géologiques

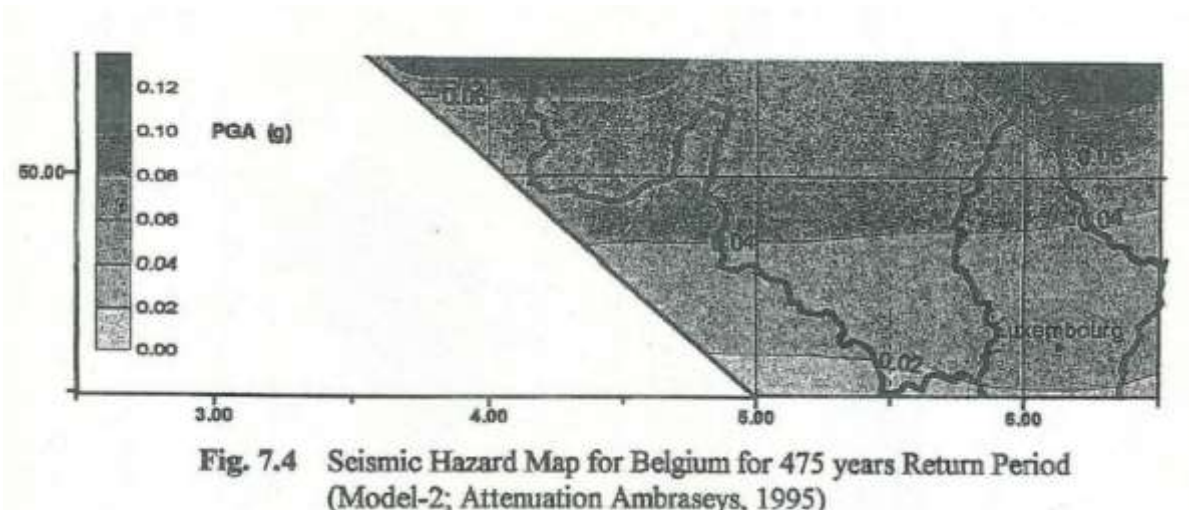
3.3.1 Structure schématique du support

Selon la carte géologique, les couches rocheuses affleurantes de la roche de couverture (Jura, Lias) sont des marnes grises et des calcaires.

Dans la zone d'étude, les roches de couverture sont recouvertes par des dépôts éoliens pléistocènes (loess) de faible épaisseur datant de la période froide de la Vistule. A l'étage inférieur, les limons de loess se transforment en couches d'altération de la roche dure jurassique, qui se présentent sous la forme de limons de pente argileux, finement sableux et faiblement graveleux.

Système/série/niveau	Lithologie	Épaisseur (m)
Quaternaire, argile de pente, Eboulis de pente	Limon, graveleux Gravier, limoneux, pierreux	< 2,0
Jura	Pierre de marne	>50m

Les sites sont situés dans une zone de faible activité sismique. Aucune autre mesure n'est nécessaire.





(Source : zones sismiques de Belgique, consultation en ligne)

3.3.2 Résultats de la prospection du sous-sol

La séquence de couches trouvée dans la zone des sites prévus est décrite ci-dessous :

WEA 1 :

0,0 - 0,2m u. G.O.K.	<u>Terre végétale</u> , Limon, sable fin, faiblement graveleux, humus brun foncé
0,2 - 1,8 m u. G.O.K.	<u>Argile en pente</u> Limon, sable fin, brun, semi-solide
1,8 - 2,8 m u. G.O.K.	<u>Argile en pente</u> Limon, sable fin, graveleux, brun, semi-solide
2,8 - 3,5 m u. G.O.K.	<u>Argile d'altération</u> Limon, sable fin, faiblement argileux, brun, semi-solide
à partir de 3,5 m u. G.O.K.	<u>Rocher</u> , marne (fissuré et stratifié)

Il n'était pas possible d'approfondir les forages dans la roche.

WEA 2 :

0,0 - 0,3m u. G.O.K.	<u>Remplissage, terre végétale remaniée,</u> limon, sable fin, légèrement graveleux, humus brun foncé
0,3 - 3,8 m u. G.O.K.	<u>Remplissage</u> Limon, sable fin, faiblement graveleux, brun, rigide
3,8 - 4,5 m u. G.O.K.	<u>Remplissage</u> Gravier, sableux (scories), gris, densité moyenne
4,5 - 5,7 m u. G.O.K.	<u>Remplissage</u> Limon, graveleux (scories), gris-brun, rigide
5,7 - 7,8 m u. G.O.K.	<u>Argile en pente</u> Limon, sable fin, graveleux, brun, semi-solide
à partir de 7,8 m u. G.O.K.	<u>Rocher,</u> marne, fortement altéré (fissuré et stratifié)

Il n'était pas possible d'approfondir les forages dans la roche.

WEA 3 :

0,0 - 0,2m u. G.O.K.	<u>Terre végétale,</u> Limon, sable fin, faiblement graveleux, humus brun foncé
0,2 - 0,8 m u. G.O.K.	<u>Argile en pente</u> Limon, sable fin, faiblement graveleux, brun, semi-solide
0,8 - 1,8 m u. G.O.K.	<u>Argile en pente</u> Limon, sable fin, graveleux, brun, semi-solide
à partir de 1,8 m u. G.O.K.	<u>Rocher,</u> marne, fortement altéré (fissuré et stratifié)

Il n'était pas possible d'approfondir les forages dans la roche.

WEA 4 :

0,0 - 0,2m u. G.O.K.	<u>Terre végétale,</u> Limon, sable fin, faiblement graveleux, humus brun foncé
0,2 - 0,5 m u. G.O.K.	<u>Argile en pente</u> Limon, sable fin, faiblement graveleux, brun, semi-solide
0,5 - 1,5 m u. G.O.K.	<u>Argile en pente</u> Limon, sable fin, graveleux, brun, semi-solide
à partir de 1,5 m u. G.O.K.	<u>Rocher,</u> marne, fortement altéré (fissuré et stratifié)

Il n'était pas possible d'approfondir les forages dans la roche.

WEA 5 :

0,0 - 0,2m u. G.O.K.	<u>Terre végétale,</u> Limon, sable fin, faiblement graveleux, humus brun foncé
0,2 - 0,7 m u. G.O.K.	<u>Argile en pente</u> Limon, sable fin, faiblement graveleux, brun, semi-solide
0,7 - 1,9 m u. G.O.K.	<u>Argile en pente</u> Limon, sable fin, graveleux, brun, semi-solide
à partir de 1,9 m u. G.O.K.	<u>Rocher,</u> marne, fortement altéré (fissuré et stratifié)

Il n'était pas possible d'approfondir les forages dans la roche.

Aucune pollution olfactive n'a été détectée sur les sites. La couche de scories près de l'éolienne 2, à une profondeur de 3,8 à 5,7 m sous le niveau du sol, était visuellement remarquable. L'inventaire des couches est présenté dans l'annexe 2.

Agressivité du béton :

Les échantillons de sol sont actuellement analysés en laboratoire et les résultats seront communiqués ultérieurement.

3.4 Conditions hydrogéologiques

Lors des travaux effectués dans la zone d'étude, aucune nappe d'eau n'a été rencontrée jusqu'à une profondeur de 7,8 m sous le niveau du sol, un échantillonnage n'a pas pu être réalisé. Aucune information n'est disponible sur la profondeur des eaux souterraines. On peut toutefois supposer que les eaux souterraines n'apparaissent qu'à des profondeurs supérieures à 20 m sous le niveau du sol.

Les sédiments meubles présentent une perméabilité moyenne en raison de leur composition granulométrique. Les roches solides présentent une perméabilité faible en raison de joints de séparation petits et argileux.

4. Classification des sols et Caractéristiques des sols

4.1 Classification des sols

Les types de sols rencontrés dans la future zone de fondation peuvent être classés comme suit sur la base de l'étude du sous-sol :

Tableau 1 : Types de sols

Type de sol/ sol	Désignation selon DIN 4022/23	Groupe sol / roche selon DIN 18196 /DIN1054 : 2003-01	Classe de sol selon DIN 18300	Désignation selon la norme DIN 18300
Terre végétale	Limon, humus	OU	3	fond facilement détachable
Argile de pente, remblai	Limon, sable fin, caillouteux	UM A	3 - 4	Sol facilement ou moyennement détachable
Pierre marneuse altérée	Pierre de marne	ZS	6 à la profondeur 7	Rocher moyennement à difficilement soluble

4.2 Valeurs caractéristiques de la mécanique des sols

Sur la base des résultats disponibles ainsi que des valeurs empiriques et estimatives, les valeurs caractéristiques suivantes peuvent être indiquées pour les calculs de stabilité du sol. Ces valeurs caractérisent le comportement mécanique des sols en place dans un stockage non perturbé.

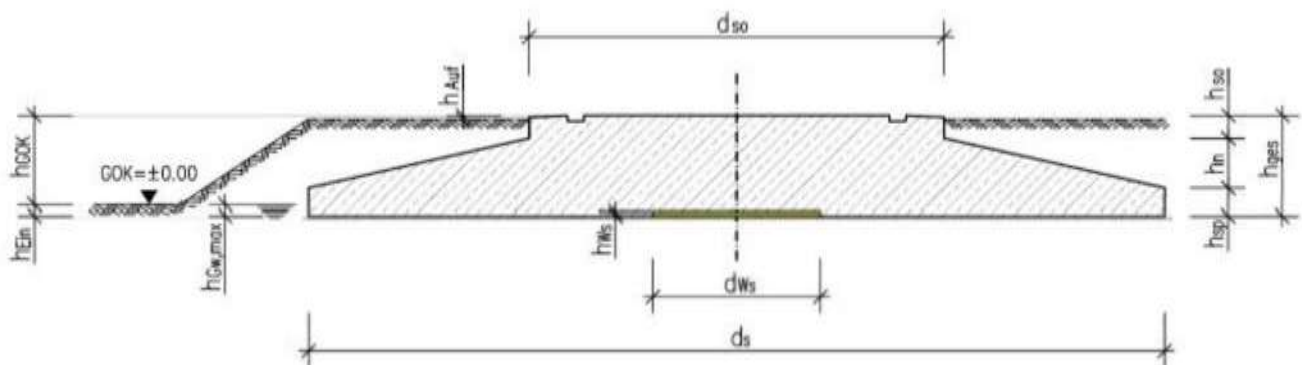
Tableau 2 : Estimation des caractéristiques des sols pour les calculs de stabilité des sols

Valeur caractéristique	Dimension	Sol		
		Argile à pentes (UM)	Remplissage (A)	Pierre marneuse altérée par les intempéries
Poids du sol humide, cal γ	kN/m ³	19	19,0 - 20,0	20,0 - 21,0
Poids du sol sous l'effet de la poussée, cal γ'	kN/m ³	9	9,0 - 10,0	9,0 - 11,0
Angle de friction, cal φ'	Degré	27,5	22,5 - 30,0	35 - 37,5
Cohésion, cal c'	kN/m ²	5	--	
Module de cisaillement Gd	MN/m ²	20 - 50	15 - 30	1.000 - 3.000
Coefficient d'allongement transversal ν	[-]	0,35	0,35	0,30
Module de rigidité, cal Es	MN/m ²	10	10 - 15	100
Module de lit, cal ks	MN/m ³	-	12 - 15	80 - 100
Perméabilité coefficient, cal kf	m/s	10 ⁻⁶ - 10 ⁻⁷	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷

5. Techniques de fondation Recommandations

5.1 Fondation

Actuellement, il n'a pas encore été décidé quel type d'installation sera réalisé. Les fondations des différents fabricants sont similaires en termes de diamètre et de charges. Ci-dessous est décrite à titre d'exemple la fondation pour le type Enercon E 160 (avec la pression au sol la plus élevée requise). Selon la fiche technique des fondations/le plan de coffrage (Max Bögl Wind AG), les fondations suivantes sont recommandées :



Geometrie / Geometry

Betonkörper / Concrete body

Außendurchmesser / Outer diameter	d_s	=	24,00 m
Sockeldurchmesser / Base diameter	d_{so}	=	10,90 m
Weichschichtdurchmesser / Soft layer diameter	d_{ws}	=	4,40 m
Fundamenthöhe / Foundation height	h_{ges}	=	2,80 m
Spornhöhe / Outer height	h_{sp}	=	0,70 m
Spornneigungshöhe / Nose incline height	h_n	=	1,50 m
Sockelhöhe / Base height	h_{so}	=	0,60 m
Abstand Fundamentoberkante - Grundoberkante / Separation foundation top edge - ground level	h_{GOK}	=	2,299 m
Einbindetiefe / Embedment depth	h_{Ein}	=	0,501 m
Abstand Fundamentoberkante - Überschüttungsoberkante / Separation foundation top edge - soil cover top edge	h_{Auf}	=	0,10 m
Weichschichtsdicke / Soft layer thickness	h_{ws}	=	0,05 m

Le niveau du bord inférieur de la fondation est égal au niveau du sol.

Les éoliennes 1, 3, 4, 5 doivent être fondées comme suit :

- Excavation du sol en place jusqu'à la roche
- Mise en place par couches d'une couche de base en gravier de granulométrie 0/56mm jusqu'à la hauteur théorique = GOK (niveau du sol)
- Le degré de compactage sur la couche supérieure de EV2 \geq 120 MN/m² doit être démontré.

Il en résulte les profondeurs d'excavation suivantes :

Site	Profondeur de la roche sous le niveau du sol (m)	Création de
WEA 1	3,5	Plat sans flottaison, débordement maximal, alternative Fondation voir ci-dessous
WEA 3	1,8	Plat sans flottaison, débordement maximal
WEA 4	1,5	Plat sans flottaison, débordement maximal
WEA 5	1,9	Plat sans flottaison, débordement maximal

Si, lors de l'excavation des fosses de fondation, on constate des zones d'ameublissement dues aux processus de dégradatoion ainsi qu'aux travaux de terrassement, celles-ci doivent être excavées et remplacées par la pose d'une couche de base compactée ou d'un béton maigre. En cas d'utilisation de gravier calcaire comme couche d'égalisation, il convient de prévoir un module d'assise de

$k_s = 60 \text{ MN/m}^3$.

Le compactage correct et suffisant d'une éventuelle couche de base doit être contrôlé avant la fondation au moyen d'un contrôle de compactage (essais de pression de la plaque de charge) (exigence pour la couche de fondation en mélange minéral : $E_{v2} > 120 \text{ MN/m}^2$).

WEA 2 et WEA 1 (alternative) :

Sur la base des résultats disponibles, nous recommandons l'amélioration des sols au moyen de colonnes vibrantes, en particulier pour le site 2.

Compactage par vibreur :

Une amélioration du sol de fondation au moyen d'un compactage par vibro-compactage doit être appliquée dans le remblai rigide (WEA 2 : limon, sable fin, faiblement graveleux à graveleux) ou le cadre de pente rigide (WEA 1). Les colonnes de gravier doivent être amenées jusqu'au niveau de la marne altérée. On estime qu'il faut installer une colonne de 0,9 m de diamètre pour 2 m². Un matériau de granulométrie 8-32 doit être mis en place par sections (0,5 m), compacté (pression hydraulique du vibreur 270 - 290 bar).

Ensuite, une couche de base d'une épaisseur de 1,0 m est compactée par couches sur les extrémités des colonnes, posée sur un géotextile (GRK 4). Pour l'excavation, il convient d'utiliser un godet d'excavation à lame lisse. Une valeur E_{v2} de 120 MN/m² et un rapport $E_{v2}/E_{v1} < 2,2$ sont exigés sur la couche de base. Le dimensionnement du compactage par vibrofonçage doit être effectué par l'entreprise spécialisée chargée de l'exécution.

5.2 Réalisation de la fouille des éoliennes

Pendant la durée des travaux, les fouilles sont à sécuriser conformément à la norme DIN 4124.

- Les eaux produites pendant la construction, telles que les eaux journalières, etc., doivent être évacuées au moyen d'un drainage ouvert.
- L'angle de la pente ne doit pas dépasser 45°.

5.3 Pression admissible du lit pour l'avant-projet de construction

Dans le cas d'une fondation superficielle au moyen d'une fondation circulaire sur la couche porteuse / l'amélioration du sol au-dessus de la roche dure, on peut obtenir, conformément à la norme DIN 1054:2005-01, figure A1, une pression caractéristique du fond à hauteur de

$$\sigma_{Rk} \leq 800 \text{ kN/m}^2 \text{ (exigé max. } \sigma_{Rk} \leq 284 \text{ kN/m}^2)$$

peut être appliquée.

Calculs de la statique terrestre :

Sur la base des caractéristiques estimées du sol, des caractéristiques dynamiques du sol (après amélioration du sol) et de la géométrie de la fondation, il est possible d'établir la relation entre la résistance du sol et la rigidité de la fondation selon la relation suivante :

$$k_{\varphi} = E * r^3 * \frac{4}{3} * \frac{1-\nu-2\nu^2}{(1+\nu) * (1-\nu)^2}$$

une rigidité de ressort de torsion de

Couches sous fondation	Consistance /Densité de stockage	E stat (MN/m ²)	E dyn (MN/m ²)	Rayon de la fondation	K phi stat (MNm/rad)	K phi dyn (MNm/rad)
Remplacement du sol	dense	50	150	12,00	87.253,29	349.013,14
Rocher	Étanche/solide	100	300	12,00	282.122,45	752.326,53

est démontrée.

Les calculs de statique des sols ont été effectués avec le programme GGU - footing (version 8.09, septembre 2013).

Le calcul par programme (GGU - footing) pour le N/A/T a donné des coefficients d'utilisation max. de < 0,2 pour la résistance au glissement, au basculement et à la rupture du sol. Les différences de tassement pour la fondation en anneau circulaire d'un diamètre de 24,00 m ont été vérifiées avec un maximum de 0,8mm/m (cas de charge BS - A).

La résultante se situe dans le 2ème noyau lors de la vérification pour le cas de charge BS-A.

Dans la semelle, il faut tenir compte d'un "joint béant".

L'apparition d'un joint béant est empêchée par des mesures structurelles au niveau du noyau de fondation.

5.4 Exécution des aires de stationnement des grues

Les aires de stationnement des grues et les voies d'accès doivent être réalisées comme suit :

1. Avant de commencer les travaux de terrassement, il convient d'installer un système d'épuisement des eaux à ciel ouvert.
2. La terre végétale et l'argile en pente ne conviennent pas comme culées de fondation de l'aire de stationnement de la grue et doivent être excavées jusqu'à une profondeur de 0,6 m sous le niveau du sol.
3. L'excavation des fouilles et la mise en place des couches de base de répartition des charges doivent être effectuées selon la méthode "avant - tête".
4. Mise en place par couches (max. 0,3m) compactées d'une couche d'environ 0,6 m d'épaisseur (épaisseur après compactage) de matériau d'échange de sol (ballast) de granulométrie 0/56 sur un géotextile GRK 4.
5. Le degré de compactage sur la couche supérieure de $EV2 \geq 120 \text{ MN/m}^2$ doit être démontré.

5.5 Mesures contre les eaux souterraines

Selon les informations disponibles, il ne faut s'attendre à la présence d'eau souterraine qu'à des profondeurs de $>>20$ m sous le niveau du sol. La présence d'eau stagnante dans la fouille n'est pas à exclure en raison de l'absence de joints de séparation dans la roche dure. La fiche technique des fondations tient compte d'une montée des eaux souterraines/de la nappe phréatique jusqu'au niveau supérieur du terrain. D'autres mesures telles qu'un drainage sans pression ne sont donc pas nécessaires.

5.6 Mesures de la résistance de la terre

Les mesures de la résistance du sol ont été effectuées selon la méthode de Wenner à l'aide de l'appareil de mesure de la résistance du sol Megger DET 5/4 R.

a = distance entre les piquets de terre en m

R = résistance de la terre mesurée en ohms

Les résistances de la terre suivantes ont été déterminées :

WEA 1 :

a (m)	R(Ohm)	$\rho_s=R^2 \cdot \pi \cdot a$ (ohm * m)
2	45,6	573,0
3	39,71	748,5
5	14,9	468,1
8	1,2	60,3
12	0,9	67,9
16	0,8	80,4
20	1,1	138,2
25	1,2	188,5
30	0,7	131,9

WEA 2 :

a (m)	R(Ohm)	$\rho_s=R^2 \cdot \pi \cdot a$ (ohm * m)
2	61,3	770,3
3	50,3	948,1
5	24,7	776,0
8	6,1	306,6
12	1,5	113,1
16	1,4	140,7
20	1,1	138,2
25	0,9	141,4
30	0,9	169,6

WEA 3 :

a (m)	R(Ohm)	ps=R*2*pi*a (ohm * m)
2	36,6	459,9
3	30,8	580,5
5	29,4	923,6
8	7,6	382,0
12	5,1	384,5
16	2,2	221,2
20	1,2	150,8
25	1,1	172,8
30	0,9	169,6

WEA 4 :

a (m)	R(Ohm)	ps=R*2*pi*a (ohm * m)
2	51,2	643,4
3	22,6	426,0
5	15,4	483,8
8	10,3	517,7
12	4,3	324,2
16	1,8	181,0
20	1,2	150,8
25	1	157,1
30	0,9	169,6

WEA 5 :

a (m)	R(Ohm)	ps=R*2*pi*a (ohm * m)
2	37,1	466,2
3	24,6	463,7
5	17,7	556,0
8	8,1	407,1
12	4,2	316,7
16	2,7	271,4
20	1,3	163,4
25	1,1	172,8
30	0,4	75,4

5.7 Évaluation des géorisques

Risques sismiques (séismes)

Le parc éolien prévu se trouve dans une zone de faible activité sismique. Il n'est pas nécessaire de prendre des mesures pour protéger les éoliennes contre les tremblements de terre.

Mouvements de terrain (glissement de terrain)

L'appui de fondation de toutes les éoliennes prévues est constitué par la roche en place, suivie d'une couche portante ou d'une amélioration du sol. Il n'y a pas de surface de glissement potentielle, comme des couches d'argile.

La roche est stratifiée et schisteuse et présente un angle de frottement de 35 à 37,5°. Les charges provenant des éoliennes sont évacuées sans dommage dans le sous-sol.

Risque d'inondation

En raison de la topographie (sommets de montagne), les sites des éoliennes ne se trouvent pas dans des zones à risque d'inondation. En cas de fortes pluies, les eaux de ruissellement s'écoulent vers l'aval et il n'y a pas d'accumulation d'eau dans la zone des installations.

Accumulation d'eau souterraine

Selon les documents disponibles, un aquifère continu se trouve à plus de 20 m sous le fond de fondation. En raison des conditions topographiques, géologiques et hydrogéologiques, une remontée des eaux souterraines jusqu'à la zone de fondation est à exclure. Les fiches techniques des fondations tiennent compte d'une montée des eaux souterraines/de la nappe phréatique jusqu'au niveau supérieur du terrain et ne menacent donc pas la stabilité.

Les tempêtes :

Les fondations des installations ont été conçues par les fabricants d'installations sur la base des normes en vigueur pour résister à des tempêtes. Compte tenu du sous-sol très solide (roche) et des fondations dimensionnées avec des marges de sécurité (validées par des experts en statique indépendants), il n'y a pas de risque pour la stabilité.

6. Remarques finales

Pour des raisons de responsabilité, nous demandons à être consultés pour un nouvel avis si la création doit se faire d'une autre manière que celle décrite ci-dessus.

Conformément à la norme DIN 4020:2003-09, la fouille excavée doit être inspectée par un expert en géotechnique.

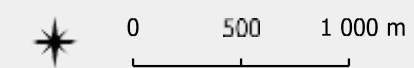
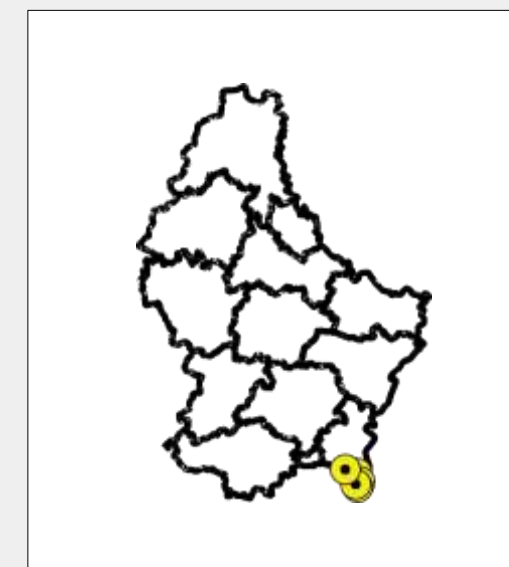
Toutes les données des mesures consignées dans cette expertise doivent être utilisées exclusivement pour l'étude de sol et vérifiées avant le début des travaux.



Géologue diplômé Werner Gröblichhoff

Légende

- Localisation des éoliennes
- Rotors 163 m
- Raccordement 20 kV
- Poste de transformation 20kV/65kV



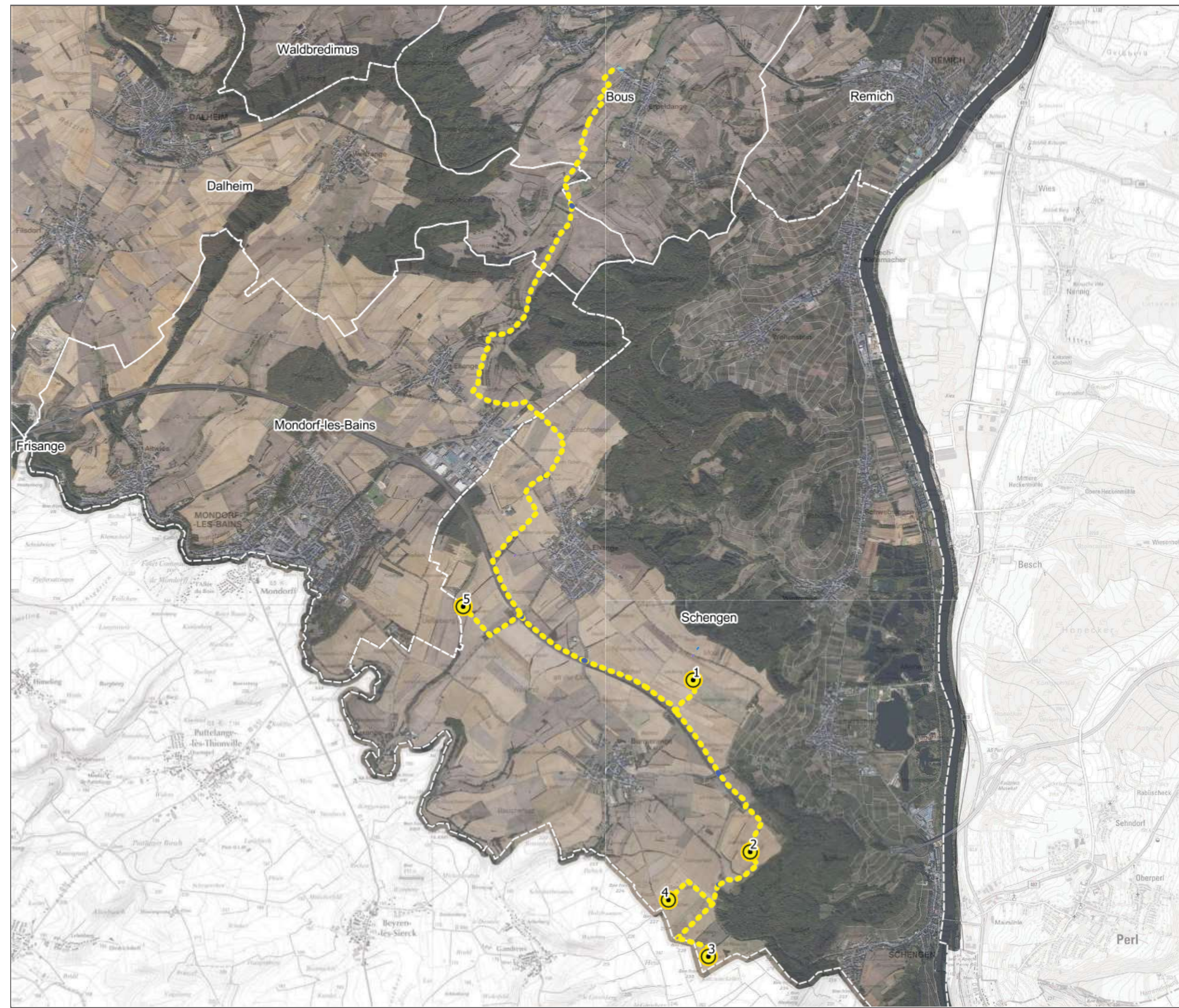
Projet éolien Burmerange

Date : Novembr2021

Demandeur :

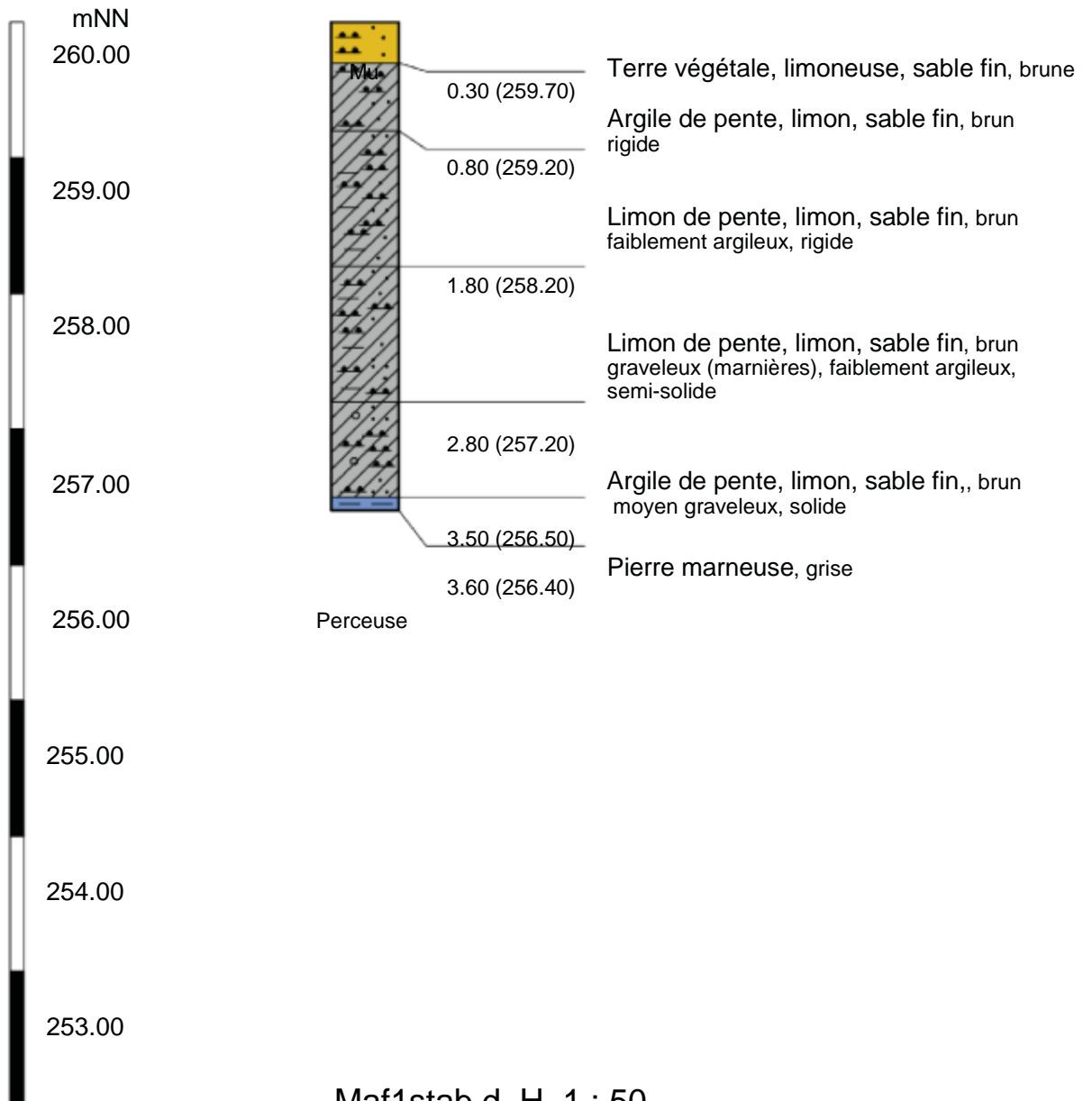


Sources : Extraits des cartes topographiques et Cadastre (Administration du cadastre et de la topographie du GrandDuché du Luxembourg, 2021)



WEA 1, RKS 1

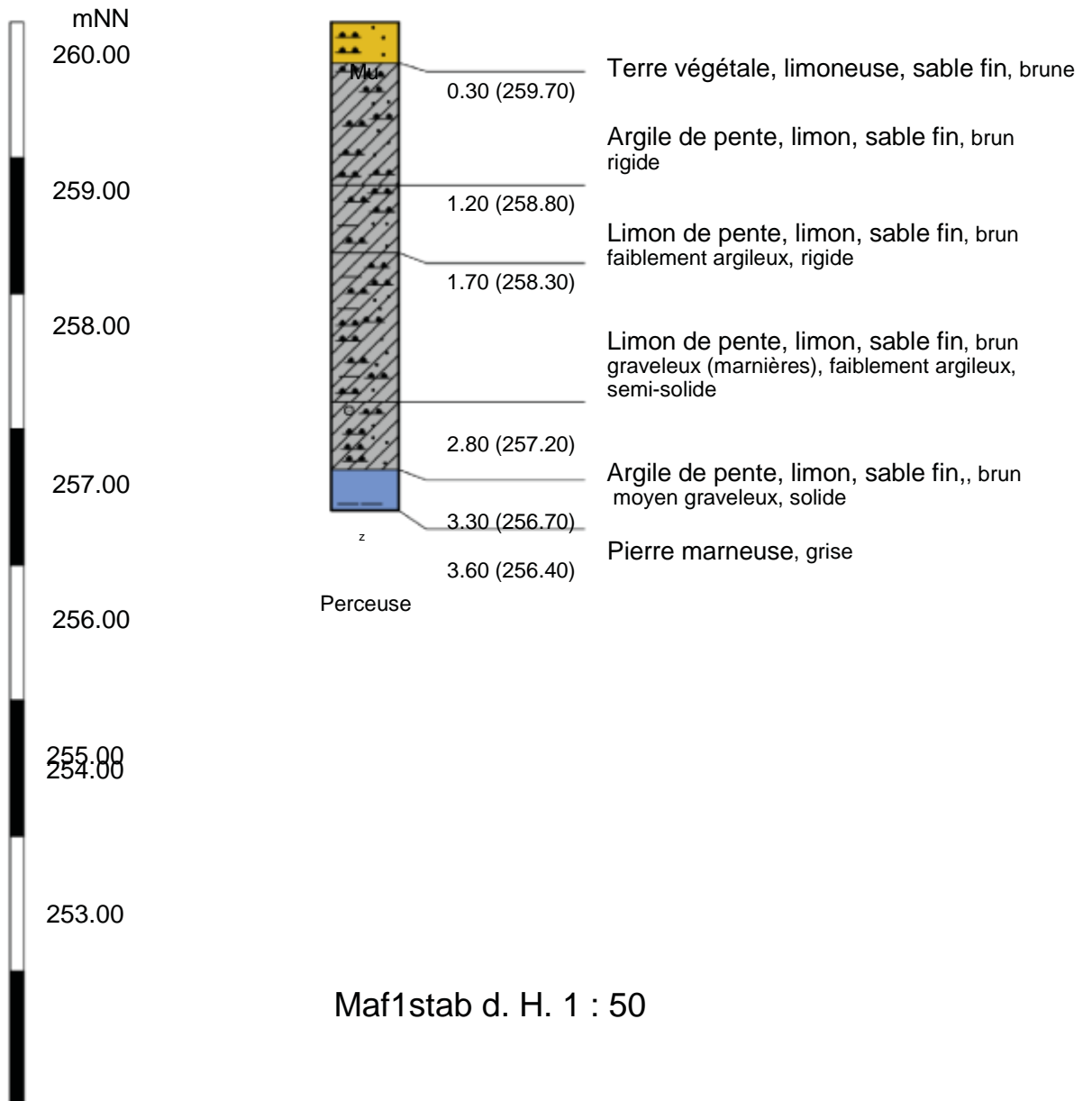
260.00 mNN



Géologue diplômé W.
Groblinghoff

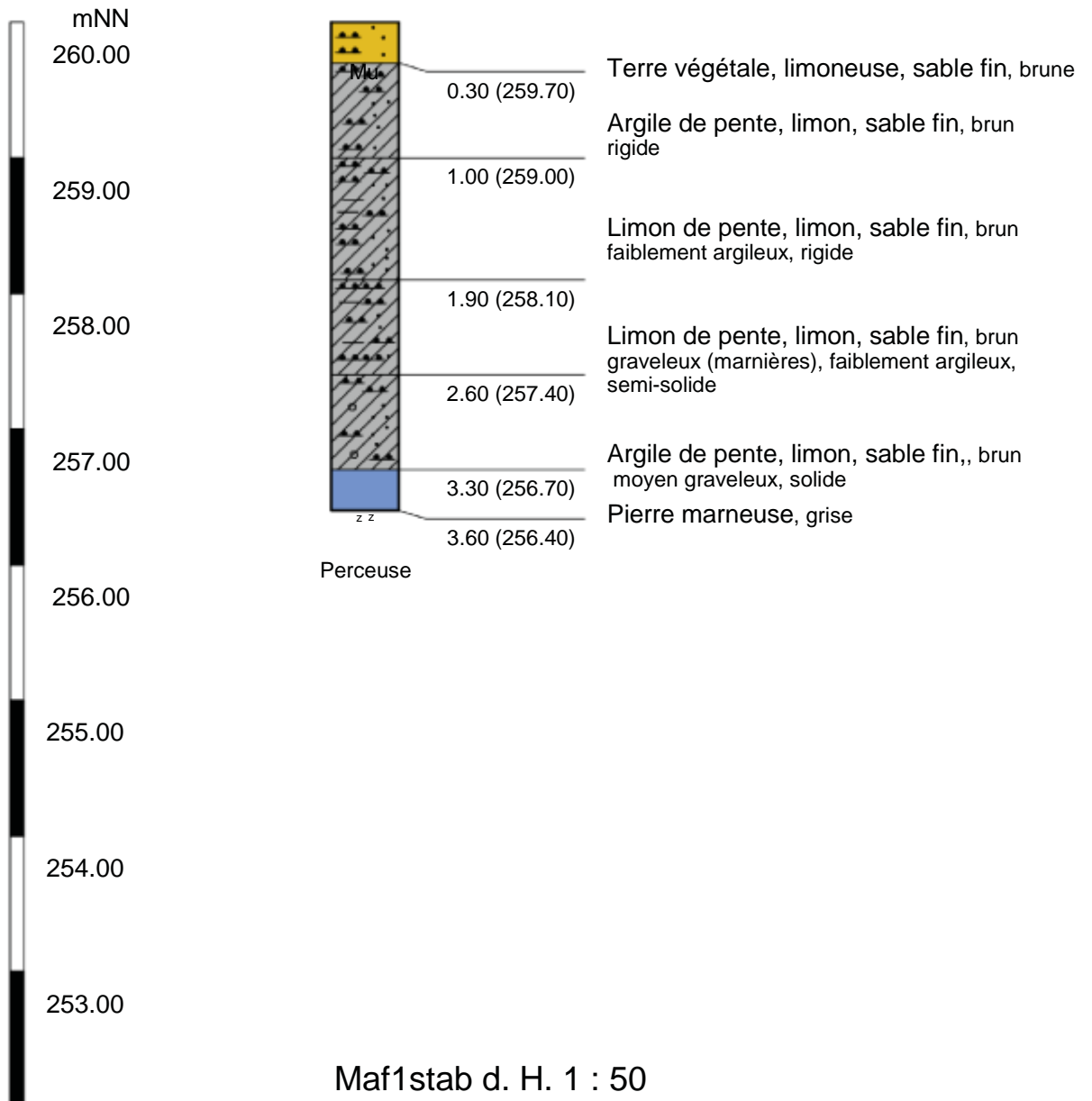
WEA 1, RKS 2

260.00 mNN



WEA 1, RKS 3

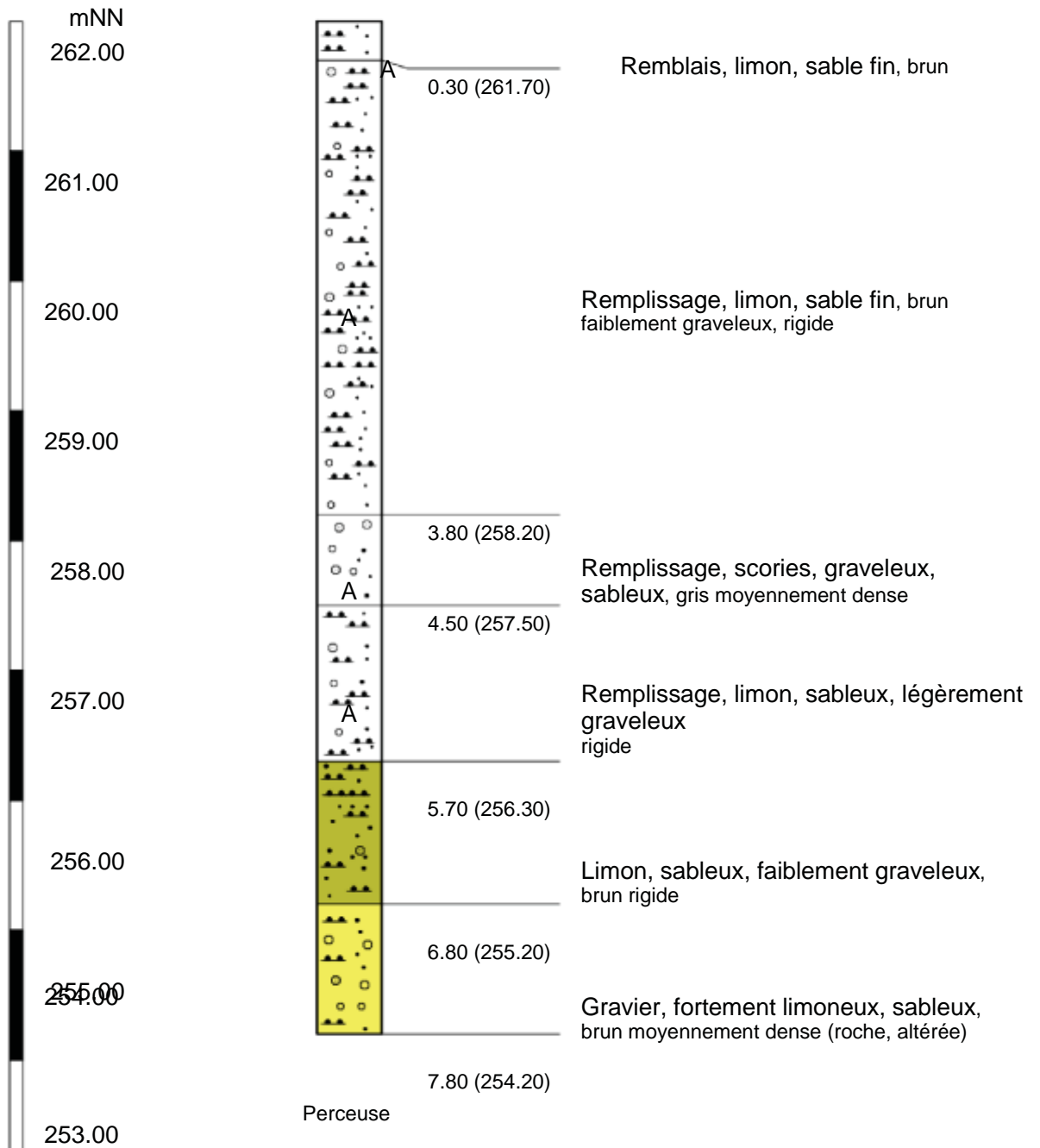
260.00 mNN



Géologue diplômé W.
Groblinghoff

WEA 2, RKS 1

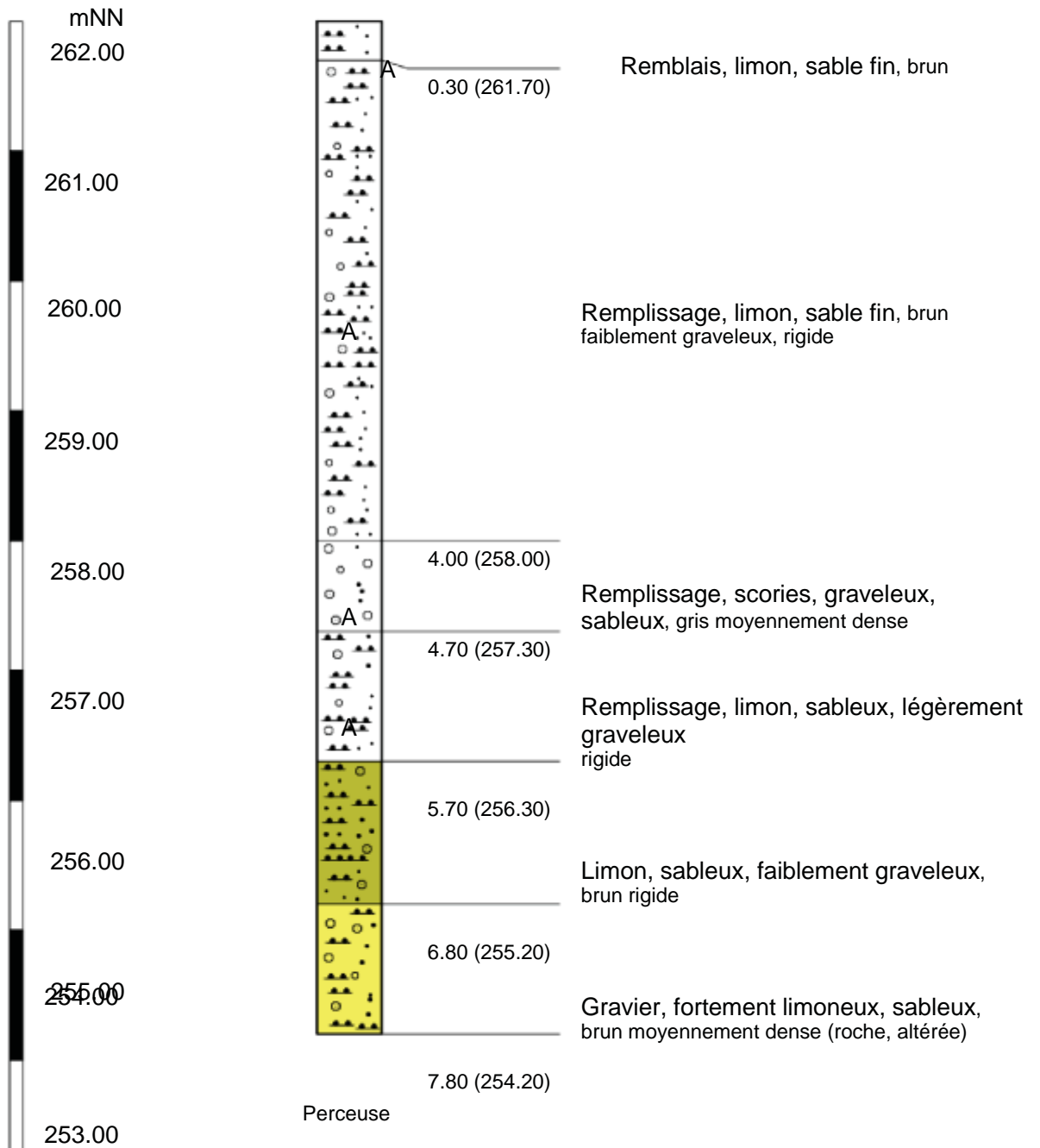
262.00 mNN



Maf1stab d. H. 1 : 50

WEA 2, RKS 2

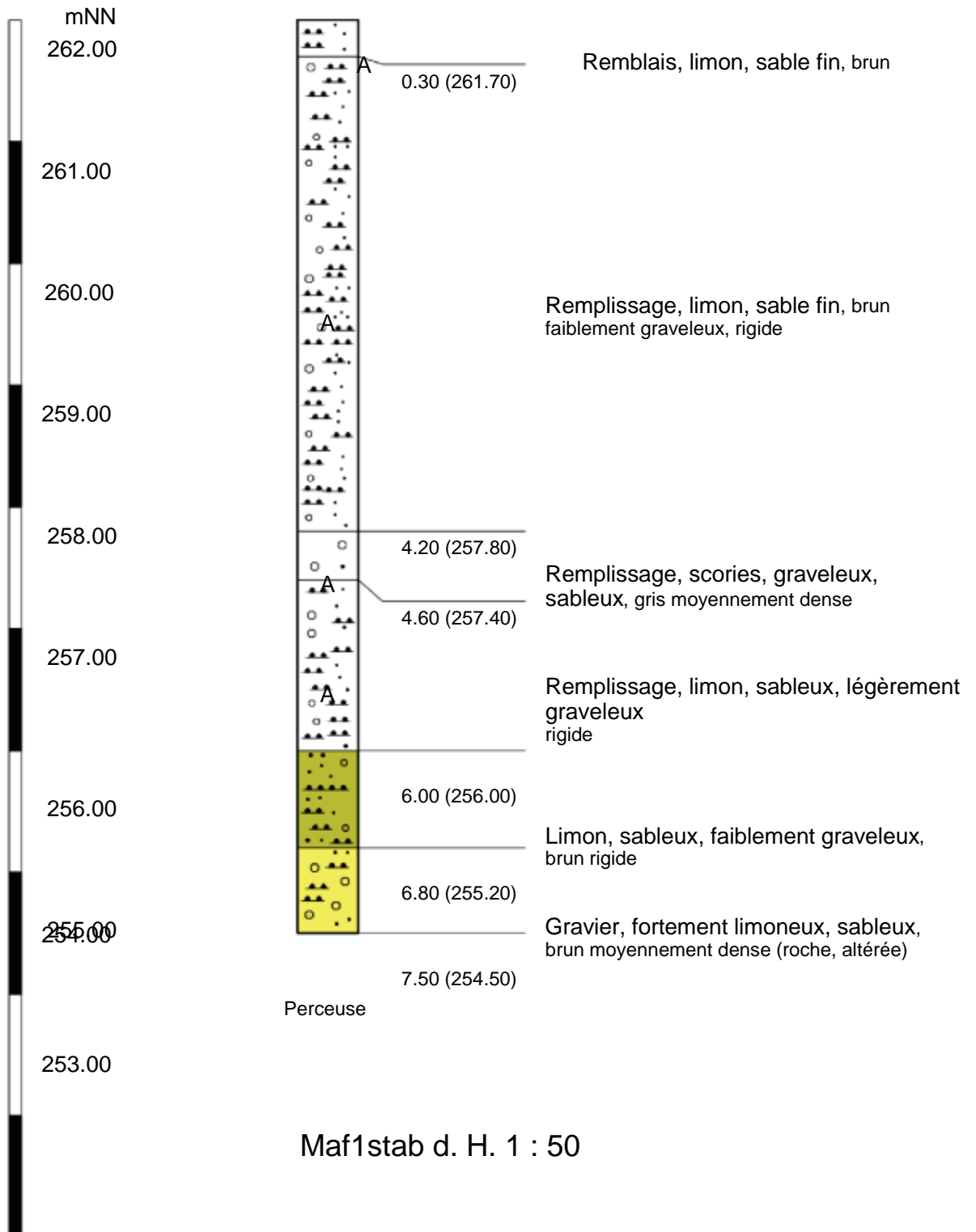
262.00 mNN



Maf1stab d. H. 1 : 50

WEA 2, RKS 3

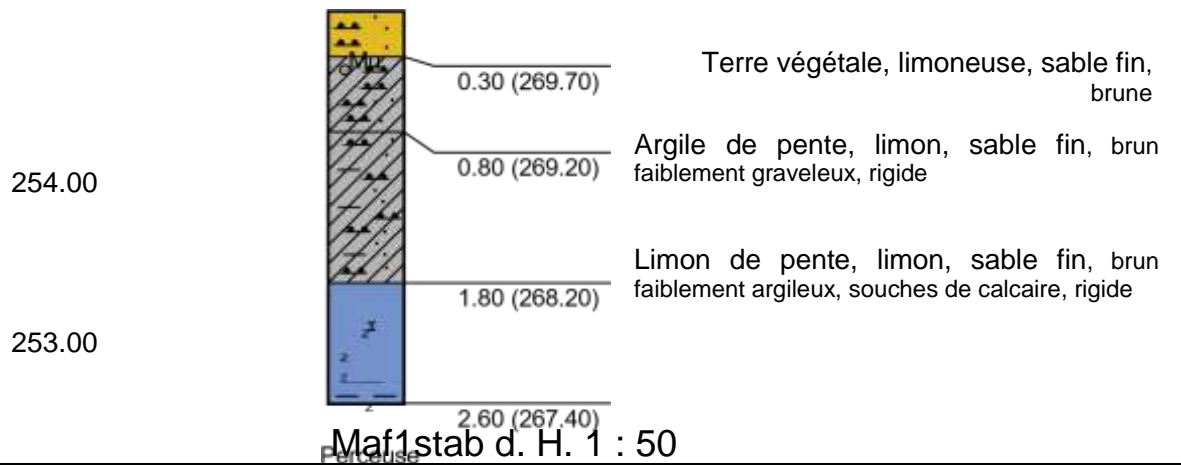
262.00 mNN



Géologue diplômé W.	WP Boomerang/Schengen	Date : 08.08.2022
		Annexe n° 2

NEA 3, RKS 1


270.00 mNN



mNN

Calcaire marneux, gris fortement altéré, dense

Maf1stab d. H. 1 : 50



254.00

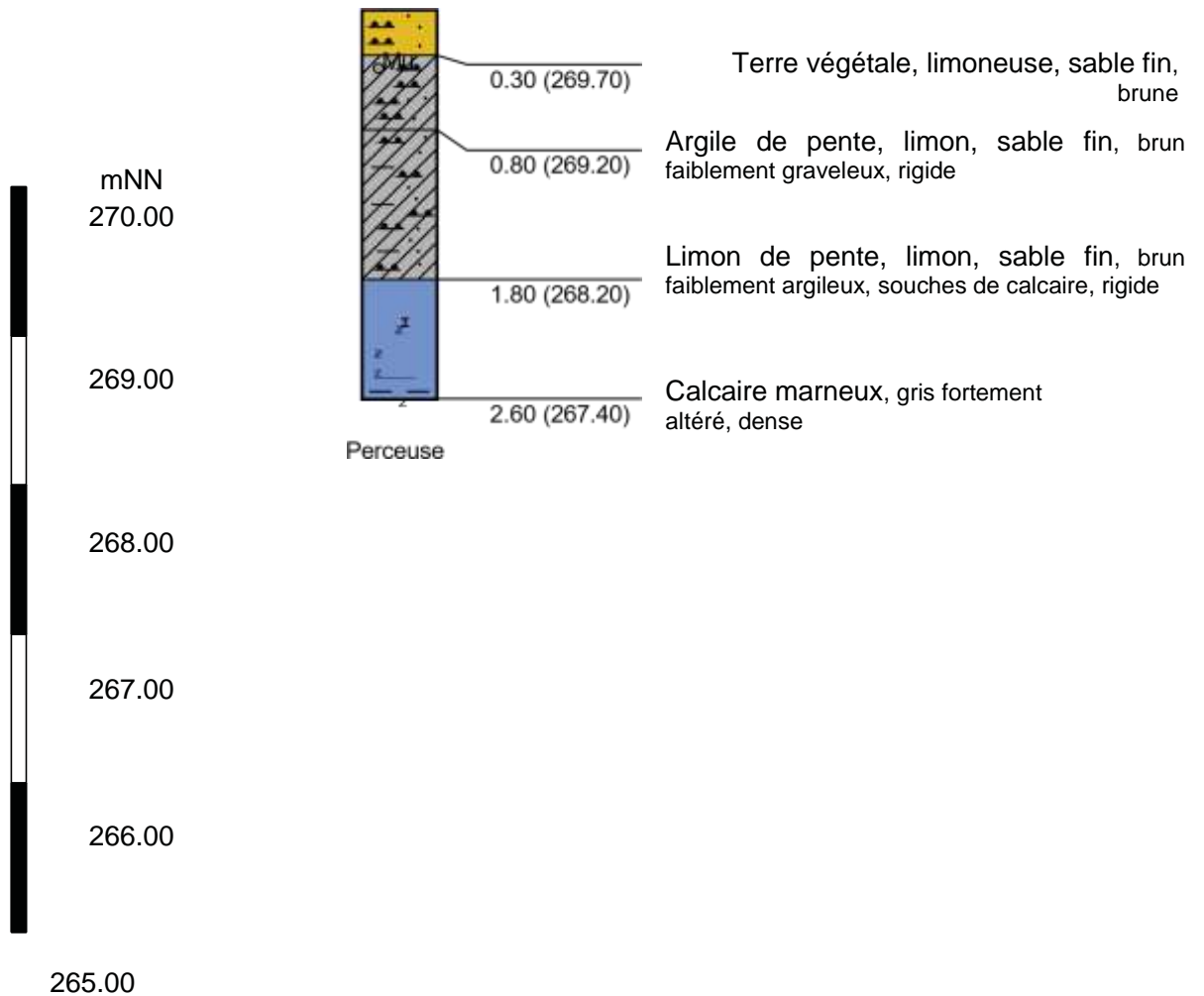
253.00

Maf1stab d. H. 1 : 50

Géologue diplômé W.	WP Boomerang/Schengen	Date : 08.08.2022
		Annexe n° 2

NEA 3, RKS 2

270.00 mNN



Perceuse

265.00

242.00

241.00



Géologue diplômé W.	WP Boomerang/Schengen	Date : 08.08.2022
		Annexe n° 2

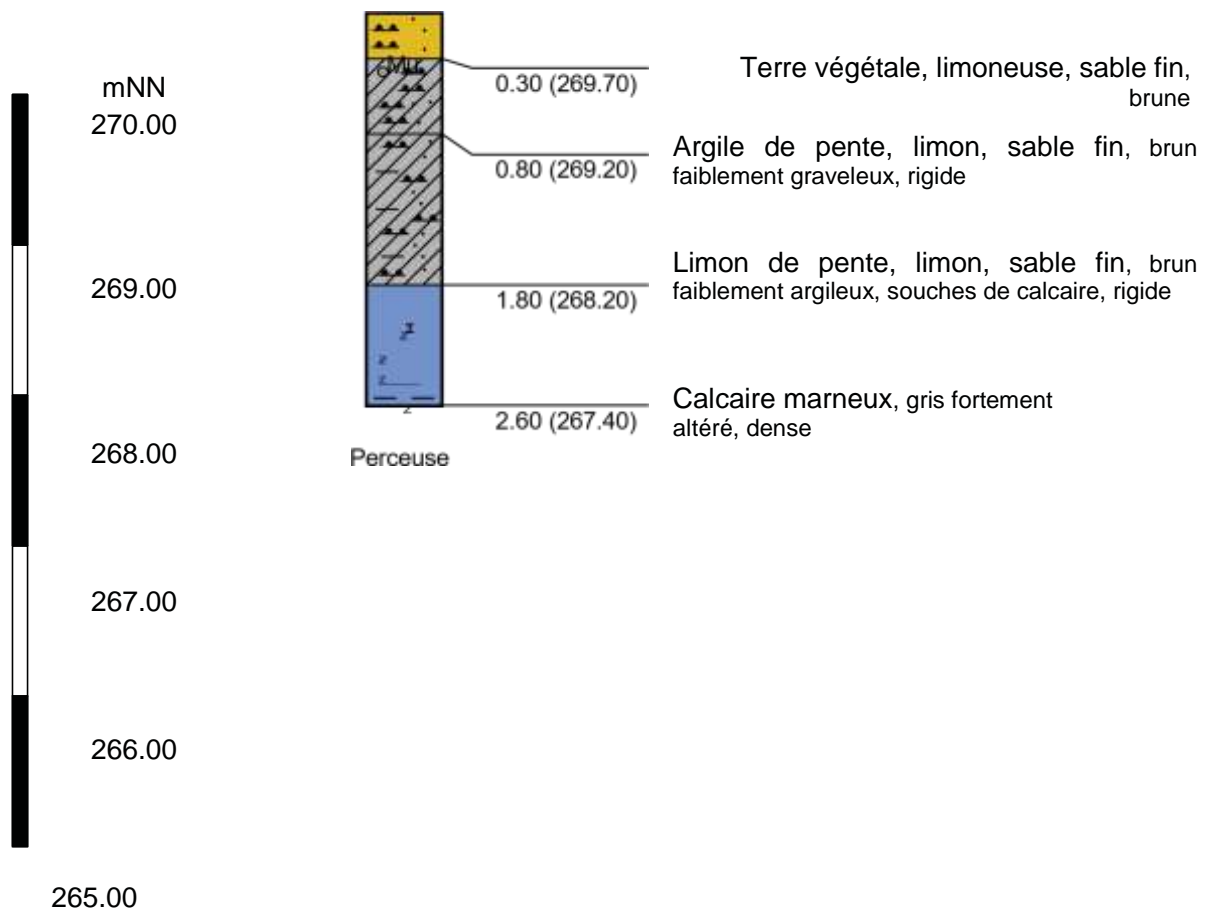
242.00

241.00

Maf1stab d. H. 1 : 50

NEA 3, RKS 3

270.00 mNN





242.00

241.00

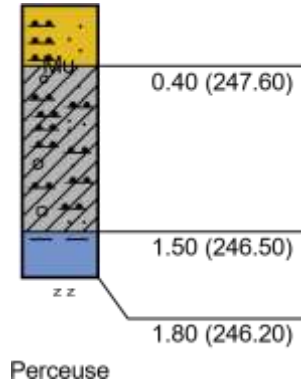
Maf1stab d. H. 1 : 50

Géologue diplômé W.

Groblinghoff

WEA 4, RKS 1

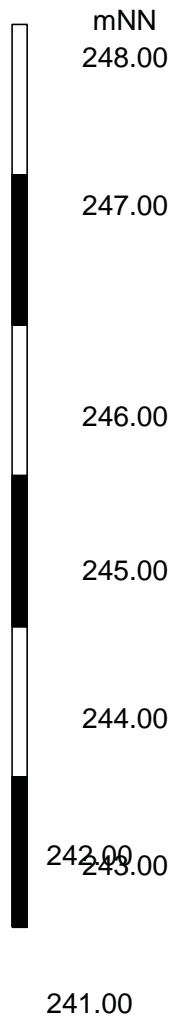
248.00 mNN



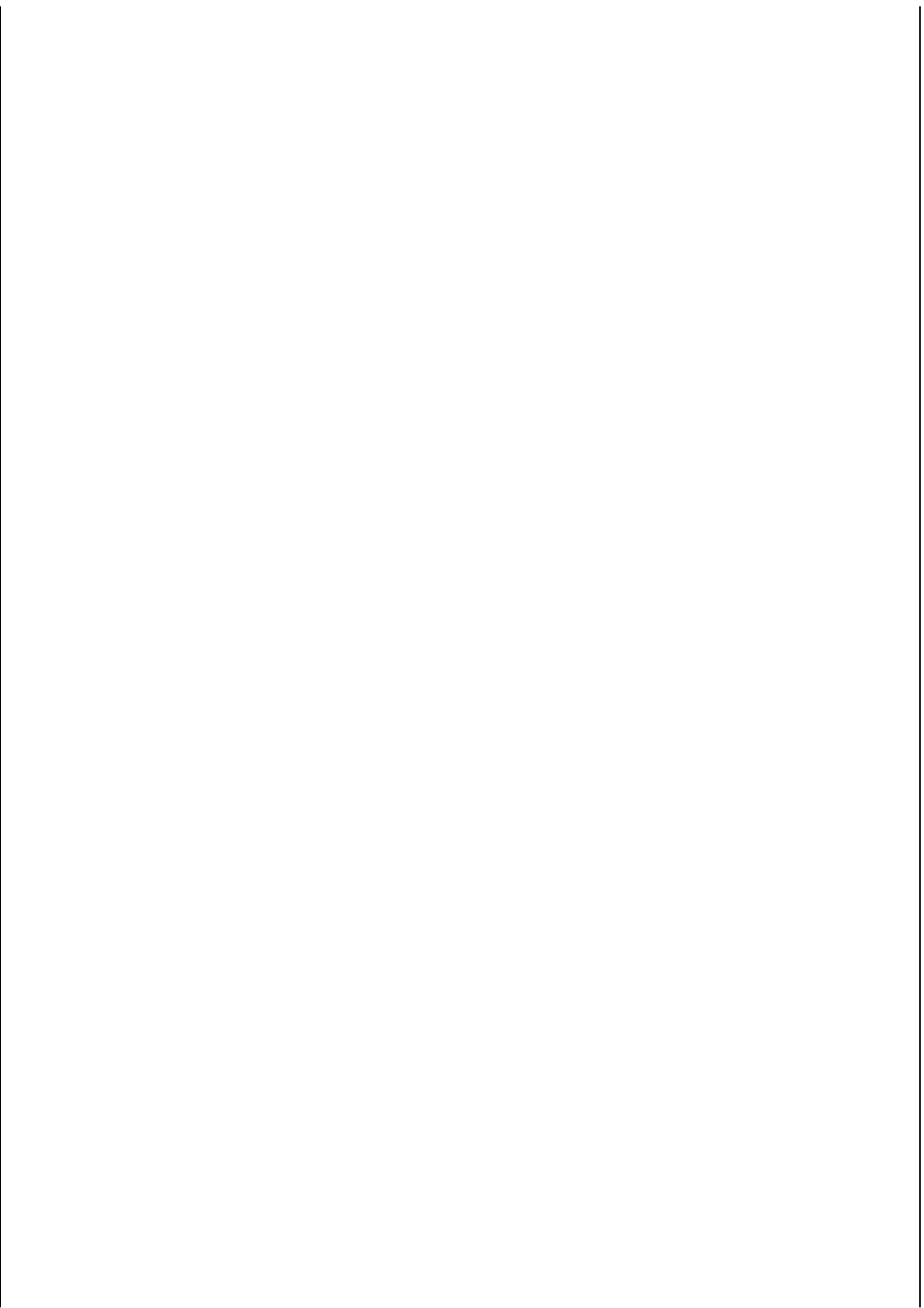
Terre végétale, limoneuse, sable fin, brune

Argile de pente, limon, sable fin, brun faiblement graveleux, rigide

Calcaire marneux, gris dense



Maf1stab d. H. 1 : 50



WP Boomerang/Schengen

Date : 08.08.2022

Annexe n° 2

Géologue diplômé W.

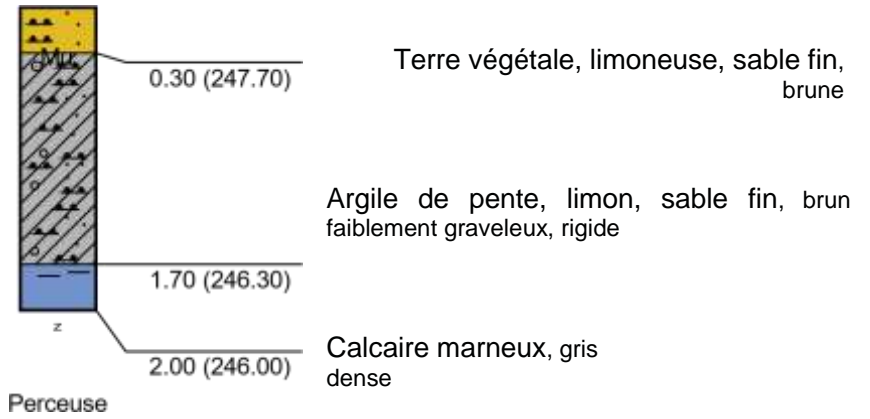
242.00

241.00

Maf1stab d. H. 1 : 50

WEA 4, RKS 2

248.00 mNN



242.00

241.00

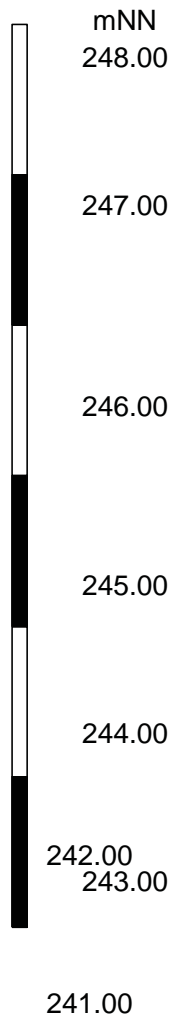
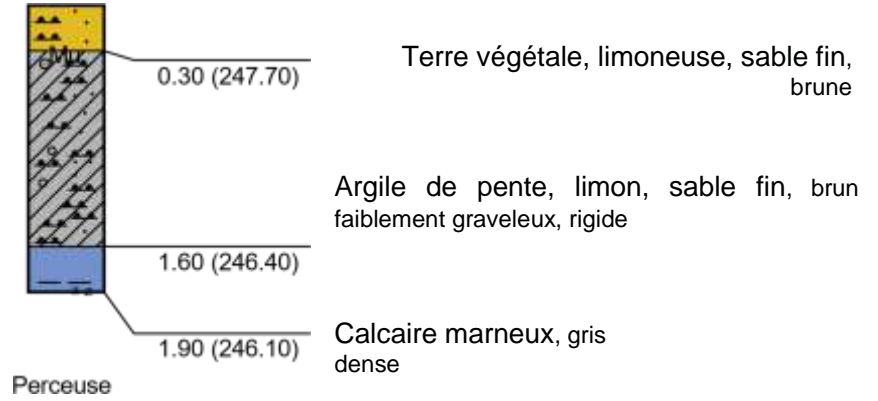
Maf1stab d. H. 1 : 50

Géologue diplômé W.

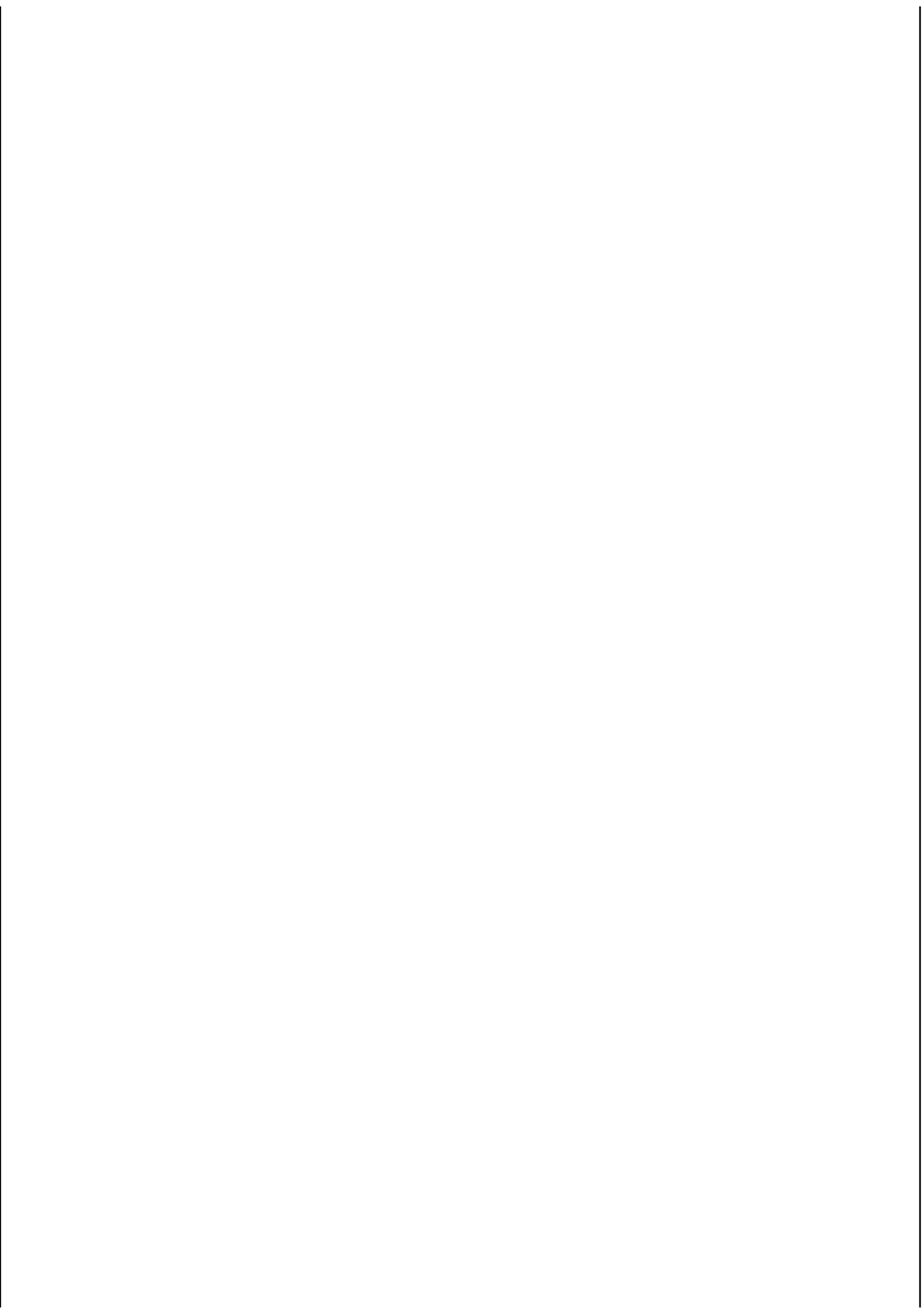
Groblinghoff

WEA 4, RKS 3

248.00 mNN



Maf1stab d. H. 1 : 50



Géologue diplômé W.	WP Boomerang/Schengen	Date : 08.08.2022
		Annexe n° 2

ent

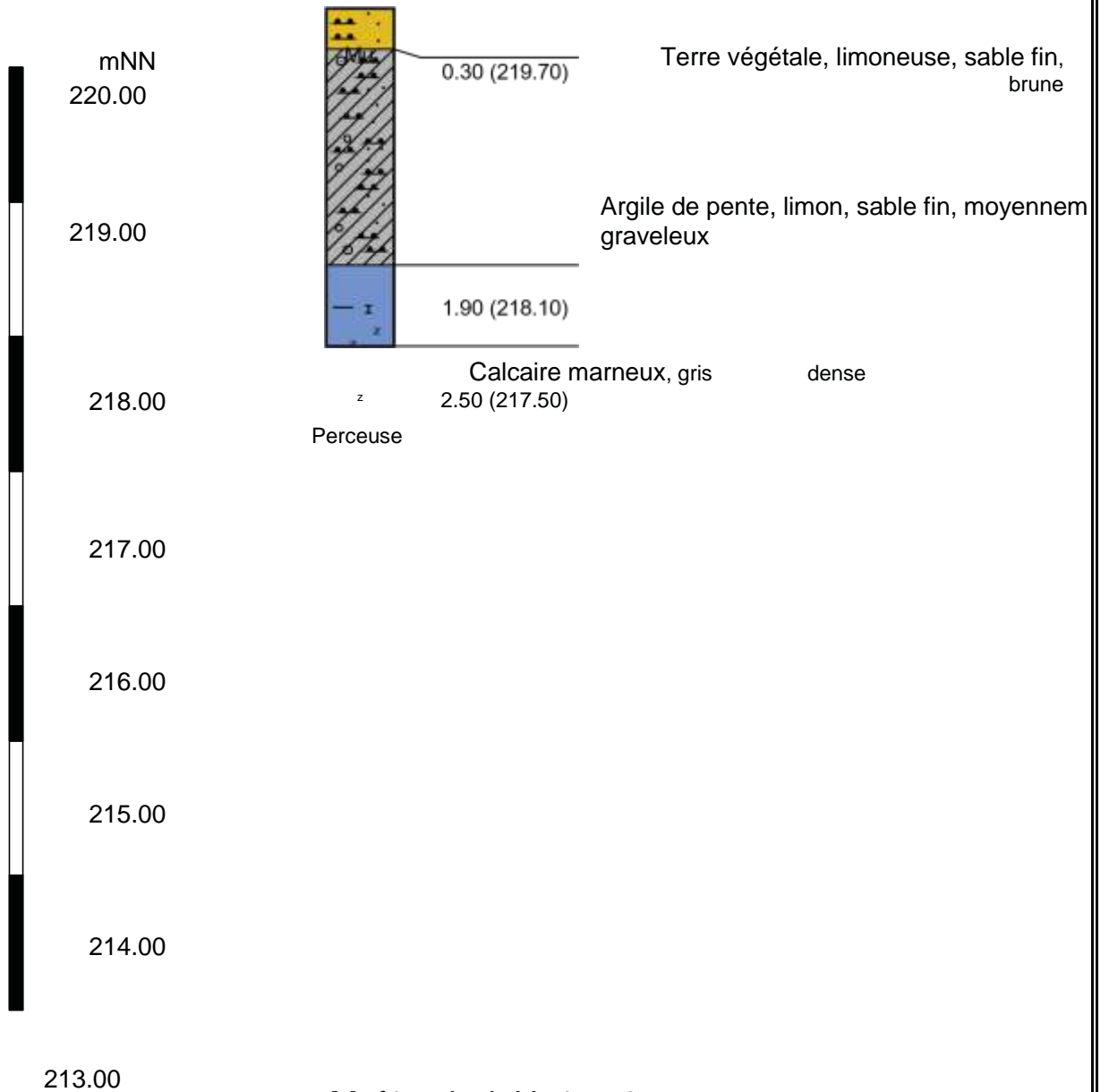
242.00

241.00

Maf1stab d. H. 1 : 50

NEA 5, RKS 1

220.00 mNN





242.00

241.00

Maf1stab d. H. 1 : 50

Géologue diplômé W.
Groblinghoff

WEA 5, RKS 2

220.00 mNN



WEA 5, RKS 3

220.00 mNN



Auteur / Auteur :		 MAX BÖGL <small>Fortschritt baut man aus Ideen</small>	N° de projet / No : 21683-
			Date / Date : 04.10.2021
WEA / WT : Enercon E-160 EP5	NH / HH : 166,6 m	Tour hybride / Hybrid tower : E21	

TYPENPRÜFUNG Geltungsdauer
.5.Jahre/Wiedervorlage bis 12.10.2026

Fiche de données sur les fondations / *Foundation datasheet*

Enercon DE 5.5MW E-160 166,6m RT2.0 E21

E-160 EP5 E3-HT-166-FB-C-01 Fondation plate **3443492-20**

Durch Vergleichsrech

Num
éro
de
proje
t /
Num
éro
de
proje
t :

Hauteur du moyeu
/ Hauteur de
levage :

Composant
/
Composant
:

Auteur / Author :

Fabri
cant
d'inst
allati
ons /
Fabri
cant
de
turbi
nes

Date / Date :

Révision /
Révision :

:

Éner
gie
éolie
nne /
Turbi
ne à
vent :

21683-E21

Enercon GmbH
Dreekamp 5
DE-26605 Aurich

Enercon E-160 EP5

DE-92369 Sengenthal

166,6 m

04.10.2021

Fondation avec soulèvement
partiel / *Foundation with
partial buoyancy*

a

Max Bogl Wind AG
Max-Bogl-Str. 1



Composant / Composante		
Component :	Fondation / Foundation	
Bloc / Chapitre		

Liste des modifications | Table of revision

Révision Révision	Date Date	Description Description	Agent Auteur
-	04.06.2021	Première édition / First release	Plou
a	04.10.2021	Cahier des charges 24.06.2021 fixé / Load report 2406- 2021 considered	Plou

Auteur / Auteur :			N° de projet / No : 21683-
			Date / Date : 04.10.2021
WEA / WT : Enercon E-160 EP5	NH / HH : 166,6 m	Tour hybride / Hybrid tower : E21	

Date / Date : 04.10.2021



Mis en place /
Préparé par : i.A. Pablo-Angel Plou Nogueira



Vérifié /
Vérifié
par : i.A. Christoph von Oesen



Vérifié et validé /
Vérifié et approuvé par : i.A. Thorsten Betz

Composant / Composant :	fondation / foundation	Seite/ Page: 2a
Chapitre	Tableau des révisions /	



Auteur / Auteur :			N° de projet / No : 21683-
			Date / Date : 04.10.2021
WEA / WT : Enercon E-160 EP5	NH / HH : 166,6 m	Tour hybride / Hybrid tower : E21	

Table des matières | *Table of contents*

Liste des modifications <i>Table of revision</i>		
2		
Table des matières <i>Table of contents</i>		
3		
1	Généralités <i>General</i>	
4		
2	Géométrie, matériaux et dimensions <i>Geometry, material and dimensions</i>	
5		
3	Charge <i>Loading</i>	
7		
3	1 Poids propre, couverture de sol et flottabilité / <i>Own weight, soil cover and buoyancy</i>	?
	3.2 Charges de la tour / <i>Tower loads</i>	8
	3.2.1 BS-P, BS-T et BS-A / <i>BS-P, BS-T and BS-A</i>	8
	3.2.2 GZT et GZG / <i>ULS et SLS</i>	9

Auteur / Auteur :			N° de projet / No : 21683-
			Date / Date : 04.10.2021
WEA / WT : Enercon E-160 EP5	NH / HH : 166,6 m	Tour hybride / Hybrid tower : E21	

Composant / fondation / foundation	Pageite/ PagePage 3a
---------------------------------------	-------------------------

Auteur / Auteur :			N° de projet / No : 21683-
			
WEA / WT : Enercon E-160 EP5			Date / Date : 04.10.2021
NH / HH : 166,6 m		Tour hybride / Hybrid tower : E21	
Composant : Table des matières / Table of Bloc /			

4 **Exigences relatives au sol de fondation | Soil requirements**
10



1 Généralités | General

Ce document résume les caractéristiques de la fondation de l'éolienne indiquée ci-dessous.

Ce document résume les caractéristiques de la fondation de l'éolienne suivante.

Auteur / Auteur :		 <p>MAX BÖGL Fortschritt baut man aus Ideen</p>	N° de projet / No : 21683-
			Date / Date : 04.10.2021
WEA / WT : Enercon E-160 EP5	NH / HH : 166,6 m	Tour hybride / Hybrid tower : E21	

Composant / fondation / foundation	Pageite/ PagePage 4a
---------------------------------------	-------------------------

Auteur / Auteur :			N° de projet / No : 21683-
			Date / Date : 04.10.2021
WEA / WT : Enercon E-160 EP5	NH / HH : 166,6 m	Tour hybride / Hybrid tower : E21	
Composant : 1 Généralités / General Bloc /			

tour / Tower

Description / Description

Type de tour / Tower type	Max Bogl hybrid tower E21
Fabricant / Manufacturer	Enercon
Pays / Country	DE
Puissance / Power	5,50 MW
Rotor / Rotor	E-160
Hauteur du moyeu / Hub height	166,6 m
Système de tour / Tower system	RT2.0

La géométrie de la tour est indiquée La
le dessin suivant de Max Bogl : dessin Max

géométrie de la tour est définie dans le dans
Bogl suivant :

DE_E21_001_XX_X_Uebersicht_a.pdf



Auteur / Auteur :			N° de projet / No : 21683-
			Date / Date : 04.10.2021
WEA / WT : Enercon E-160 EP5	NH / HH : 166,6 m	Tour hybride / Hybrid tower : E21	

2 Géométrie, matériaux et dimensions | *Geometry, material and dimensions*

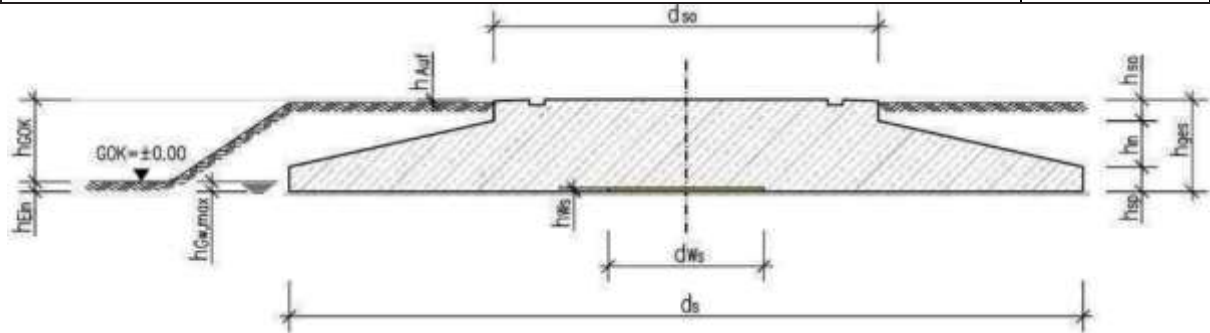
La géométrie, le matériau et les dimensions du projet de fondation sont indiqués ci-dessous. chapitre.

La géométrie, le matériau et les dimensions du projet de fondation sont définis dans ce

Auteur / Auteur :			N° de projet / No : 21683-
			Date / Date : 04.10.2021
WEA / WT : Enercon E-160 EP5	NH / HH : 166,6 m	Tour hybride / Hybrid tower : E21	

Composant /	fondation / foundation	Pageite/ 5a PagePage
----------------	------------------------	----------------------------

Auteur / Auteur :			N° de projet / No : 21683-
			Date / Date : 04.10.2021
WEA / WT : Enercon E-160 EP5	NH / HH : 166,6 m	Tour hybride / Hybrid tower : E21	
Composant : 2 géométrie, matériaux et dimensions / Geometry, material and Bloc /			



la géométrie / Geometry

Corps en béton / Concrete body


Diamètre extérieur / Outer diameter	ds	=	24,00 m
Diamètre du socle / Base diameter	dso	=	10,90 m
Diamètre de la couche souple / Soft layer diameter	dWs	=	4,40 m
Hauteur de la fondation / Foundation height	hges	=	2,80 m
Hauteur de l'éperon / Outer height	hsp	=	0,70 m
Hauteur d'inclinaison de l'éperon / Nose incline height	hn	=	1,50 m
Hauteur du socle / Base height	hso	=	0,60 m
Distance bord supérieur de la fondation - bord supérieur de la base /			
Separation foundation top edge - ground level	hGOK	=	2,299 m
Profondeur d'intégration / Embedment depth	hEin	=	0,501 m
Distance entre le bord supérieur des fondations et le bord supérieur des remblais /			
Separation foundation top edge - soil cover top edge	hSur	=	0,10 m
Épaisseur de la couche souple / Soft layer thickness	hWs	=	0,05 m



Auteur / Auteur :			N° de projet / No : 21683-
			Date / Date : 04.10.2021
WEA / WT : Enercon E-160 EP5	NH / HH : 166,6 m	Tour hybride / Hybrid tower : E21	

Auteur / Auteur :			N° de projet / No : 21683-
			Date / Date : 04.10.2021
WEA / WT : Enercon E-160 EP5	NH / HH : 166,6 m	Tour hybride / Hybrid tower : E21	

Composant /	fondation / foundation	Pageite/ 6a PagePage
----------------	------------------------	----------------------------

Auteur / Auteur :				N° de projet / No : 21683-
				Date / Date : 04.10.2021
WEA / WT : Enercon E-160 EP5	NH / HH : 166,6 m	Tour hybride / Hybrid tower : E21		
Composant : 2 géométrie, matériaux et dimensions / Geometry, material and Bloc /				

Matériaux et dimensions / Material and dimensions

béton / Concrete

Volume total / Total volume

$$V_c = 74,5 \text{ m}^3$$

Volume de la zone de base / Volume base area

$$V_{BG1} = 56,0 \text{ m}^3$$

Zone de base de la résistance du béton / Concrete strength base area

C40/50

Volume zone de plaque / Volume plate area

$$V_{BG2} = 691,5 \text{ m}^3$$

Zone de plaques de béton / Concrete strength plate area

C30/3 ?

Acier d'armature / Reinforcement steel

Résistance de l'acier d'armature / Reinforcement strength

B 500B

Taux d'armature / Reinforcement ratio

116,8 kg/m³

Tonnage d'armature / Reinforcement weight

8,3 t

Auteur / Auteur :			N° de projet / No : 21683-
			Date / Date : 04.10.2021
WEA / WT : Enercon E-160 EP5	NH / HH : 166,6 m	Tour hybride / Hybrid tower : E21	



Auteur / Auteur :			N° de projet / No : 21683-
			Date / Date : 04.10.2021
WEA / WT : Enercon E-160 EP5	NH / HH : 166,6 m	Tour hybride / Hybrid tower : E21	

3 Charge I Loading

Les charges suivantes ont été prises en compte dans le calcul de la fondation. dans

La charge de l'éolienne a été estimée Les selon le calcul de charge suivant. selon le

Les charges de suivi ont été appliquées la conception de la fondation.

charges de l'éolienne ont été calculées calcul de charge suivant.

Enercon GmbH :

Rapport de charge, Tour E-160 EP5 E3-HT-166-FB-C-01, Couverture de la fatigue et des charges ultimes pour la tour E-160 EP5 E3-HT-166-FB-C-01 de la WEC E-160 EP5 E3 avec la pale de rotor LM?83P_2P comme indiqué dans le DIBt. Document-ID : D024061030.0. Rév. 0.0, 2021-06-24.

Poids propre, couverture de sol et flottabilité | *Own weight, soil cover and buoyancy*

Volume de béton / Concrete weight

Poids du béton / *Concrete specific weight* $\gamma_c = 25,0 \text{ kN/m}^3$
Poids du béton / *Concrete weight* $G_c = 18\ 68 \text{ ? kN}$

Échafaudage supérieur / Backfill

Haute protection contre la terre à l'intérieur / *Inner thickness backfill* $t_{MaxOs,i} = 0,500 \text{ m}$
Haute protection contre la terre / *Outer thickness backfill* $t_{MaxOs,d} = 2,000 \text{ m}$
Poids du sol / *Soil specific weight* $\gamma_{Os} = 18,0 \text{ kN/m}^3$
Poids de la couverture de terre / *Soil cover weight* $G_{MaxOs} = 8\ 686 \text{ kN}$

flottabilité / buoyancy

Hauteur de la colonne d'eau / *Buoyancy height* $h_{Gw,max} = 0,501 \text{ m}$
Force de flottaison / *Buoyancy force* $GG_{w,max} = -2\ 266 \text{ kN}$

Composant / <i>Composant</i> : Bloc / <i>3 Charge / Loading</i>	Page / <i>Page</i> : a
fondation / <i>foundation</i>	

Charges de la tour | Tower loads

B5-P, B5-T et B5-A | BS-P, BS-T and BS-A



Auteur / <i>Auteur</i> :			N° de projet / <i>No</i> : 21683-
			Date / <i>Date</i> : 04.10.2021
WEA / <i>WT</i> : Enercon E-160 EP5	NH / <i>HH</i> : 166,6 m	Tour hybride / <i>Hybrid tower</i> : E21	

Les charges suivantes ont été appliquées pour déterminer les pressions maximales sur les bords.

Il s'agit de valeurs caractéristiques au niveau du bord inférieur de l'embase. Les valeurs indiquées ne tiennent pas compte de la

bord du sol. doivent être

Les charges suivantes ont été appliquées pour le calcul de la pression maximale au

LF LC	B5-P	B5-T	B5-A
v_k [kN]	36 ?1 ?	36 ?1 ?	36 ?1 ?
H_k [kN]	1 611	822	1 4?5
$M_{b,k}$ [kNm]	164 311	115 980	21 ? 140

Ce sont des valeurs caractéristiques au fond de la fontaine. La couverture du

protection contre la terre et de la portance.

sol et la boue ne sont pas comprises dans ces valeurs et ajoutées en conséquence.

Charges à la base de la fondation sans couverture de sol et sans poussée / Loads at the foundation bottom without soil cover and without buoyancy

Légende / Legend :

- v_k : Force normale (verticale) / Normal force (vertical)
- H_k : Force transversale (horizontale) / Shear force (horizontal)
- $M_{b,k}$: moment de flexion / Bending moment

GZT et GZG | ULS et SLS

Les charges de tour suivantes sont utilisées pour le calcul de la capacité de charge et la l'aptitude au service des fondations. Les charges suivantes sont considérées pour le calcul de la résistance et de la de servitude du foundaiton.

Il s'agit de charges de conception incluant

le coefficient de sécurité partiel indiqué au Il s'agit de charges de conception au niveau du bord supérieur de la fondation. sommet de la fondation. Le poids propre de Le poids des fondations, la précontrainte de la fondation, la compression de la tour, la la tour, le remblai, la poussée d'Archimède couverture de sol, le bétonnage et les et les éventuels éléments de construction éventuelles pièces de montage ne sont pas ne



Composant / Composant : Bloc /	fondation / foundation 3 Charge / Loading	Pageite/ 8a PagePage
--------------------------------------	--	----------------------------

sont pas inclus dans ces charges. inclus dans ces charges.

Auteur / Auteur :			N° de projet / No : 21683-
			Date / Date : 04.10.2021
WEA / WT : Enercon E-160 EP5	NH / HH : 166,6 m	Tour hybride / Hybrid tower : E21	

LF LC	GZT ULS	D.3
v_{Ed} [kN]	19 833	18 030
H_{Ed} [kN]	1 623	958
$Mb_{,Ed}$ [kNm]	235 774	125 810
$Mt_{,Ed}$ [kNm]	49	3 799
γ_E	1,10	1,00

Charges au sommet de la fondation / *Loads at the foundation top*

Légende / *Legend* :

- v_{Ed} : Force normale (verticale) / *Normal force (vertical)*
- H_{Ed} : Force transversale (horizontale) /
Shear force (horizontale)
- $Mb_{,Ed}$: Moment de flexion / *Bending moment*
- $Mt_{,Ed}$: Moment de torsion / *Torsional moment*
- γ_E : facteur de sécurité / *Safety factor*

Composant / Composant : Chapitre	fondation / <i>foundation</i> 3 Charge / <i>Loading</i>	Seite/ Page : 9a
--	--	---------------------



4 Exigences relatives au sol de fondation | *Soil requirements*

Le terrain à bâtir sur le site prévu doit au Le
moins répondre aux exigences suivantes.
du L'aptitude du site prévu doit être
l'expert en par l'expert en sol. sol.

sol sur le site prévu doit être conforme
aux exigences suivantes. La compatibilité
prouvée site prévu doit être prouvée par

Auteur / Auteur :			N° de projet / No : 21683-
			Date / Date : 04.10.2021
WEA / WT : Enercon E-160 EP5	NH / HH : 166,6 m	Tour hybride / Hybrid tower : E21	

Rigidité du ressort de torsion / Rotation spring stiffness

Valeur minimale / Minimal value

spring

Ressort de torsion statique / Static rotational spring $k_{cp,stat} = 40\,000$ MNm/rad
Ressort de torsion dynamique / Dynamic rotational $k_{cp,dyn} = 200\,000$ MNm/rad

Inclinaison autorisée / Allowed out-of-vertical deviation

Inclinaison maximale autorisée / Maximum

allowed out-of-vertical inclination $s_{max} = 3$ mm/m

Pression du sol / Soil bearing pressure

Résistance requise / Required resistance

Pression maximale admissible du sol en BS-P / Maximum

pression du sol autorisée en BS-P $o_{max,BS-P} = 211$ kN/m²

Pression maximale admissible du sol dans le BS-A /
Maximal allowed soil pressure in BS-A

$o_{max,BS-A} = 284$ kN/m²

Pression maximale admissible du sol dans le BS-T /
Maximal allowed soil pressure in BS-T

$o_{max,BS-T} = 171$ kN/m²

Ces valeurs doivent être confirmées par l'expert en sol.

/ These values must be confirmed by the geotechnical expert

Composant / Compositant: fondation / *foundation*
Chapitre: 4 Exigences relatives au sol de fondation / Soil



Seite/
Page:

Documentation générale

Fondations Nordex N163/6.X

Tour hybride TCS164
(fondation avec et sans élévation)

Rev. 02/17.08.2021

Numéro de document :

2017619FR Statut : Released

langue : DE-Allemand

la confidentialité : Nordex Interne
Purpose

- Document original - Le document
est distribué par voie électronique.

Original avec signatures chez Nordex Energy SE & Co. KG, Department Engineering.

Copyright 2021 Nordex Energy SE & Co. KG

Ce document, y compris toute représentation du document dans son ensemble ou en partie, est la propriété intellectuelle de Nordex Energy SE & Co. KG. Toutes les informations contenues dans ce document sont exclusivement destinées aux employés et aux employés des entreprises partenaires et sous-traitantes de Nordex Energy SE & Co KG, de Nordex SE et de ses entreprises liées au sens des §§ 15 et suivants de la loi allemande sur les sociétés par actions (AktG) et ne doivent pas être transmises (même en partie) à des tiers.

Tous droits réservés.

Toute transmission, reproduction, traduction ou autre utilisation de tout ou partie de ce document, sous forme imprimée, manuscrite, électronique ou autre, sans l'autorisation expresse de Nordex Energy SE & Co. KG est interdite.

2021 Nordex Energy SE & Co. KG, Hambourg

Adresse du fabricant au sens de la directive sur les machines
: Nordex Energy SE & Co. KG
Langenhorner Chaussee 600
22419 Hambourg

Allemagne

Tél : +49 (0)40 300 30 - 1000

Télécopieur : +49 (0)40 300 30 - 1101

info@nordex-online.com

<http://www.nordex-online.com>

2/6

FM_0.4.2

2017619FR Rév. 02/17.08.2021	Fondations Nordex N163/6.X	
---------------------------------	----------------------------	---

1.	Fondations N163/6.X TCS164, hauteur de moyeu de 164 m	4
2.	Données	5

3. Poids propre, remblai et poussée d'Archimède 5

4. Remarque sur le passage des gaines

1. Fondations N163/6.X TCS164, 164 m Hauteur de moyeu

Les fondations sont réalisées sous forme de fondations plates circulaires sans sous-sol. Le diamètre de la fondation est de 25,50 mètres.

L'encastrement des fondations sous le niveau supérieur de la terre (GOK) est de 0,89 m. Le niveau supérieur des fondations se situe à 1,92 m au-dessus du niveau du sol. Une adaptation de la profondeur de fondation aux conditions locales est possible en tenant compte de la hauteur totale autorisée et de la nappe phréatique.

Un remblai de terre permanent sur la fondation fait partie intégrante de la fondation et ne doit pas être enlevé.

Exigences relatives au sol de fondation

- Pression maximale admissible du sol en BS-P : $a_{MAX,BS-P}$ 222 kN/m².
- Pression maximale admissible du sol dans le BS-A : $a_{MAX,BS-A}$ 257 kN/m².
- Constante statique du ressort de torsion : k_{stat} 60000 MNm/rad
- Constante dynamique du ressort de torsion : k_{dyn} 300000 MNm/rad
- La profondeur d'encastrement maximale autorisée pour la fondation sous le niveau du sol, par rapport à la semelle de la fondation, est indiquée sur le dessin correspondant.

Fondation à plat pour N163/6.X sur une tour hybride TCS164

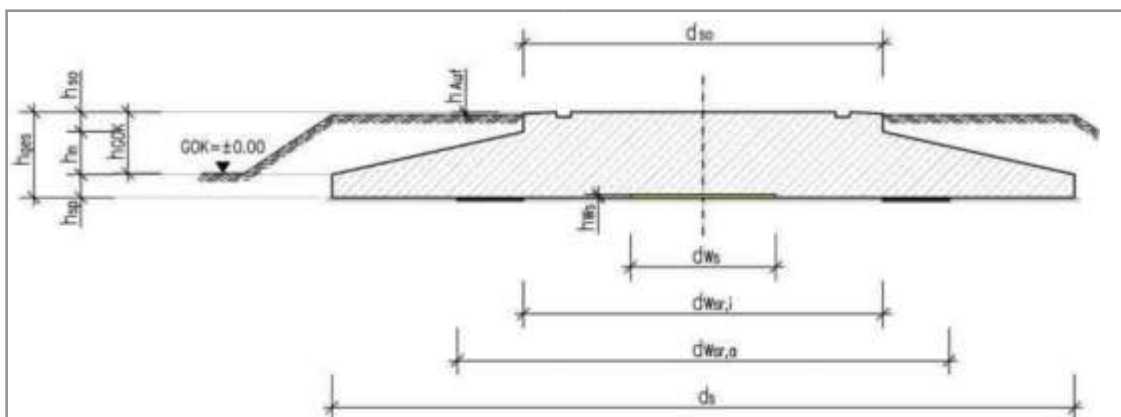


Fig. 1 : Représentation schématique d'une fondation exemplaire N163/6.X avec une hauteur de moyeu de 164 m (toutes les données sont en mètres, le croquis n'est pas à l'échelle)

$d_s = 25,50$ m (diamètre extérieur) $d_{so} = 10,90$ m (diamètre du socle) $d_{ws} = 4,40$ m (diamètre de la couche molle) $d_{Wsr,i} = 10,90$ m (diamètre intérieur de l'anneau de la couche souple) $d_{Wsr,a} = 14,90$ m (diamètre extérieur de l'anneau de la couche souple) $h_{ges} = 2,80$ m (hauteur des fondations)

$h_{sp} = 0,70$ m (hauteur de l'éperon) $h_n = 1,50$ m (hauteur de l'éperon) $h_{so} = 0,60$ m (hauteur du socle) $h_{GOK} = 1,92$ m (distance entre le haut des fondations et le

	Fondations Nordex N163/6.X	2017619FR Rév. 02/17.08.2021
---	----------------------------	---------------------------------

haut de la base) $h_{Auf} = 0,10$ m (distance entre le bord supérieur des fondations et le bord supérieur du remblai) $h_{Ws} = 0,05$ m (épaisseur de la couche souple)

2. Données

Tab. 1 : Composants du matériel)

Fondation pour	Diamètre	Armature		Béton	
		Nuance d'acier	Dimensions	Bonté	Quantité
TCS164	25,50 m	B 500B	111,2 t	C30/37 C40/50	824 m ³

Tab. 2 : Charges caractéristiques dans le joint de semelle de la fondation selon le DIBt

	Mb,k [kNm]	vk [kN]	Hk [kN]
BS-P	186470	37582	1331
BS-T	64043	37296	613
BS-A	218891	37512	1435

3. Poids propre, remblai de terre et poussée d'Archimède

Volume de béton

- Poids du béton $c = 25,0 \text{ kN/m}^3$
- Poids du béton $GC = 20597 \text{ kN}$

Débordement

- Hauteur du remblai intérieur $t_{\ddot{U}S,inn} : 0,50 \text{ m}$
- Hauteur du remblai extérieur $t_{\ddot{U}S,aus,max} : 2,00 \text{ m}$
- Poids du sol $\ddot{U}S = 18,0 \text{ kN/m}^3$
- Poids du remblai $G_{\ddot{U}S,max} : 10145 \text{ kN}$

Flottabilité

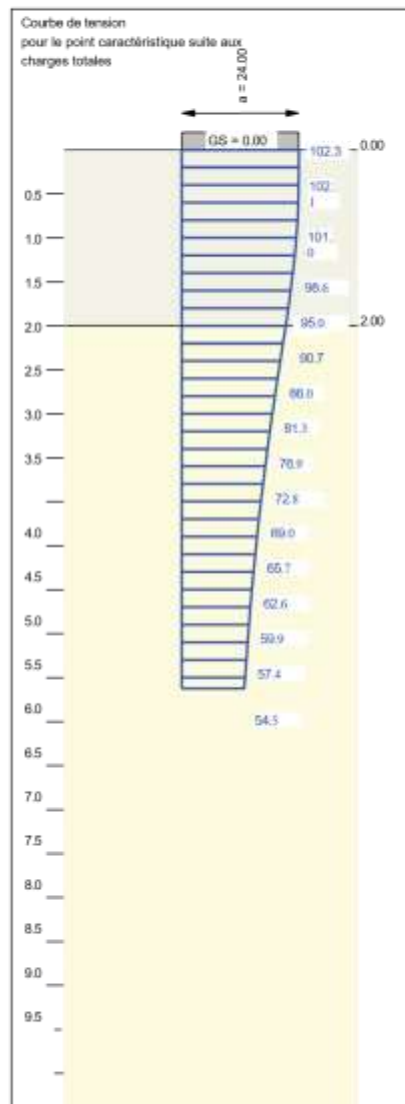
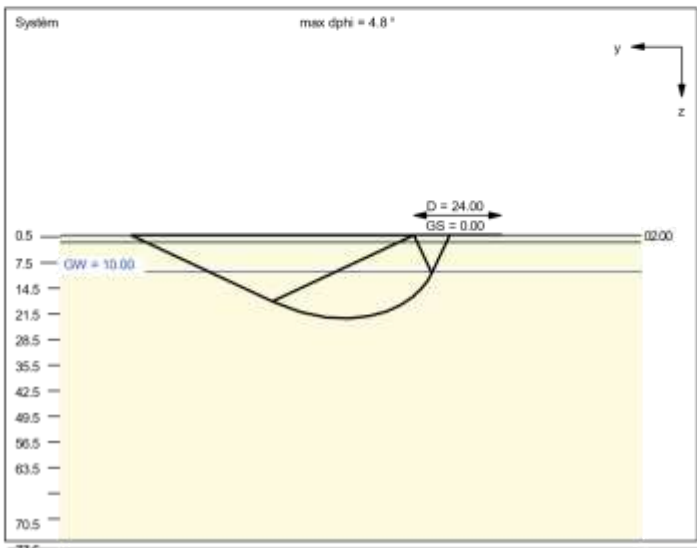
- Hauteur de la colonne d'eau $h_{GW,max} = 0,88 \text{ m}$
- Force ascensionnelle $GGW_{,max} = -4494 \text{ kN}$

4. Remarque sur le site Gaines vides

Les gaines sont introduites latéralement dans la fondation ; dans la zone située entre la couche de propreté et le niveau du sol. Le passage des gaines se termine dans la zone autour du centre de la fondation.

En ce qui concerne la disposition radiale, il est possible de positionner les gaines sous la porte et/ou sur le côté opposé.

Sol	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[°]	c [kN/m ²]	E _s [MN/m ²]	[-]	Désignation
	21.0	11.0	35.0	0.0	80.0	0.00	Couche de
	21.0	11.0	40.0	0.0	200.0	0.00	base



Base de calcul :
 WP Burmerange WEA 3,4,5
 Norme : EC 7
 Formule de rupture de base selon D N 4017:2006 Concept de sécurité partiel (EC 7)
 $R_{v,1} = 1.40$
 $c = 1.35$
 $q = 1.50$

État limite EQU :
 $q_{da} = 1.10$
 $q_{sb} = 0.90$
 $q_{da} = 1.50$
 Niveau de base = 0.00 m
 Eau souterraine = 10.00 m
 Profondeur limite avec $p = 20:0^{\circ}B$
 - - - - 1. Largeur du

Résultats des fondations individuelles : charges = stables / variables Charge verticale $F_{v,k} = 36717.00 / 0.00$ kN Force horizontale $F_{h,k} = 1475.00 / 0.00$ kN Force horizontale $F_{Ty,k} = 0.00 / 0.00$ kN Moment $M_{x,k} = 217140.00 / 0.00$ kN-m Moment $M_{y,k} = 0.00 / 0.00$ kN-m Diamètre $D = 24.000$ m Diamètre (intérieur) $d = 10.900$ m Sous charges stables : Excentricité $e_x = 0.000$ m Excentricité $e_y = -5.914$ m Résultante dans le 2e noyau (= 7.467 m) $a' = 9.820$ m $b' = 16.848$ m

Sous charges totales : Excentricité $e_x = 0.000$ m Excentricité $e_y = -5.914$ m Résultante dans le 2ème noyau (= 7.467 m) $a' = 9.820$ m $b' = 16.848$ m

Rupture de base : poinçonnage examiné,

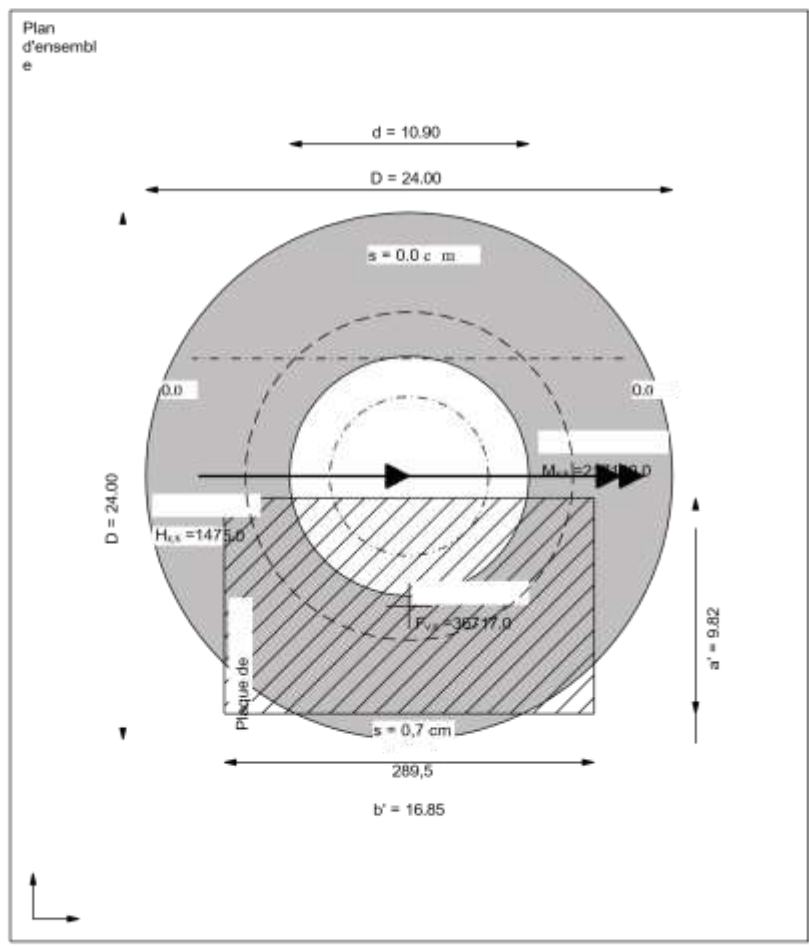
mais pas m'afaisant.
 Sécurité partielle (rupture de base) $R_{v,1} = 1.40$
 $q_{jk} / q_{td} = 6232.9 / 4452.05$ kN/m² $R_{v,k} = 1031186.25$ kN
 $R_{v,d} = 736561.61$ kN
 $V_d = 1.35 - 36717.00 + 1.50 - 0.00$ kN

cal = 0.00 kN/m²
 UK log. Spirale = 22.77 m au-dessus du niveau du sol Long. log. Spirale log. = 102.86 m Spirale log. plate = 102.86 m Spirale longue = 1256.19 m² Coefficients de portance (y) : $N_{c0} = 72.85$; $N_{s0} = 61.45$; $N_{b0} = 50.16$ Coefficients de forme (y) : $c = 1.378$; $d = 1.372$; $a = 0.825$ Coefficients d'inclinaison (y) : $i_c = 0.945$; $i_d = 0.945$; $i_b = 0.907$

Résistance au glissement : Sécurité partielle (résistance au glissement) $R_{h,1} = 1.10$
 $N_k - \tan(\alpha) / R_{h,1} = 36717.00 - \tan(35.00^\circ) / 1.10$ $R_{h,d} = N_k - \tan(\alpha) / R_{h,1} = 23372.29$ kN
 $T_d = 1991.25$ kN
 $\mu = T_d / R_{h,d} = 0.085$

Tassement dû aux charges totales : profondeur limite $t_b = 6.12$ m sous le niveau du sol Charge préalable = 54.0 kN/m²
 Tassement (moyenne de tous les PK) = 0,37 cm Tassement des PK : en haut = 0.00 cm
 $V_d = 49567.95$ kN
 μ (parallèle à y) = 0,067 cal = 39,7 °
 cal $c = 0.00$ kN/m² cal $z_2 = 16.90$ kN/m³

en bas = 0,75 cm Torsion(x) (KP) = 1 - 2714,3 Rigidité du ressort de torsion : $K_{t,x,k} = 589388,3$ MN-m/rad
 Preuve EQU :
 $M_{sb} = 36717,0 - 24,00 - 0,5 - 0,90 = 396543,6$
 $M_{sb} = 217140,0 - 1,10 = 238854,0$
 $\mu_{EQU} = 238854,0 / 396543,6 = 0,602$



10.0 GW = 10.00 _____

y

10.5

x

11.0

Grob inghoff Parc éolien de Burmerange, Luxembourg
Calcul de la rigidité du talon de rotation

E 160, 166 mNh		Vérification de la rigidité du ressort de torsion									
Couches sous Fondation	Consistance &Densité de stockage	Frottement fais un signe à	*K couche	Couche haute	E stat +,N&m-.	E dyn +,N&m-.	Fondations- rayon	Extension transversale - zah	K phi stat +,Nm&rad.	K phi dyn +,Nm&rad.	Remarque
Remplacement du sol	dense	12	3	3	20	300	13	0,11			
Ka kstein	fixe	14,2	10	10	120	500	13	0,1			