



Compétence Géotechnique

Franche-Comté



IMMALDI & C^{ie} SAS

PIREY (25)

Route départementale 70
Aménagement d'une zone
d'activités

Dossier B23-302B
Mission G2 AVP
Le 01/08/2024

Sondages et essais
Etudes de sol
Ingénierie - Instrumentation
Laboratoire – Expertises

Chemin des Maurapans – Chatillon-le-Duc
BP 3053 – 25046 BESANÇON CEDEX
Tél. : 03.81.80.73.24
Fax : 03.81.85.03.33
franche-comte@competence-geotechnique.fr
www.competence-geotechnique.fr

Groupe COMPÉTENCE GEOTECHNIQUE
COZES (17), BRIVE (19), CHATILLON-LE-DUC (25)
FONDETTES (37), SEYCHES (47),
MAIZIERES-LES-METZ (57), RADINGHEM-EN-WEPPES (59)

HISTORIQUE DU DOCUMENT

DATE	01/08/2024
INDICE	Version 1
OBJET/ MODIFICATIONS	Création du document
Nombre de pages	48 + 56
ETABLI PAR	Delphine BARDEY-GERVAIS
VERIFIE PAR	Hélène LAURENT

DIFFUSION DU DOCUMENT : le 01/08/2024

DESTINATAIRE / @	DESIGNATION	COURRIER	MAIL
IMMALDI / Mme DEJAEGERE suzon.dejaegere@aldi.fr	Maître d'ouvrage		X
COMPETENCE GEOTECHNIQUE M. DAVERGNE p.davergne@competence-geotechnique.fr	Chargé étude pollution		X

SOMMAIRE

<i>I - MISSION</i>	3
<i>II - PROJET</i>	3
<i>III - LE SITE</i>	4
<i>IV - ETUDE GEOTECHNIQUE</i>	7
4.1 METHODE DE TRAVAIL	7
4.2 RESULTATS ET INTERPRETATION	8
4.2.1 NATURE DU SOL.....	8
4.2.2 L'EAU DANS LE SOL.....	9
4.2.3 CARACTERISTIQUES MECANQUES.....	10
4.2.4 CARACTERISATION GEOTECHNIQUE DES SOLS.....	10
4.2.5 CLASSIFICATION SELON LA SENSIBILITE AU RETRAIT- GONFLEMENT.....	11
4.2.5 CLASSIFICATION SELON LE RISQUE SISMIQUE.....	12
4.2.6 MESURE PONCTUELLE DE LA PERMEABILITE	15
<i>V - TERRASSEMENTS</i>	16
5.1 DEBLAIS	16
5.2 REMBLAIS	16
<i>VI - FONDATIONS DE LA STRUCTURE</i>	17
6.1 FONDATIONS PAR SEMELLES ET/OU PUIITS EN ZONE 1	18
6.1.1 NIVEAUX MINIMUM D'ASSISE.....	18
6.1.2 CONTRAINTE DE CALCUL.....	19
6.1.3 EVALUATION DES TASSEMENTS.....	20
6.1.4 CONSEILS DE MISE EN OEUVRE.....	20
6.1.5 MESURES PARTICULIERES VIS-A-VIS DU PHENOMENE DE RETRAIT-GONFLEMENT DES SOLS DE FONDATION.....	22
6.2 FONDATION PAR SEMELLES ET/OU MASSIFS POUR LES PANNEAUX PHOTOVOLTAIQUES (ZONE 2a)	24
6.2.1 NIVEAUX MINIMUM D'ASSISE.....	24
6.2.2 CONTRAINTE DE CALCUL.....	25
6.2.3 EVALUATION DES TASSEMENTS.....	26
6.2.4 CONSEILS DE MISE EN OEUVRE.....	27
6.2.5 MESURES PARTICULIERES VIS-A-VIS DU PHENOMENE DE RETRAIT-GONFLEMENT DES SOLS DE FONDATION.....	30

6.3	FONDATION PAR SEMELLES ET/OU MASSIFS OU PAR MASSIF DE SUBSTITUTION POUR LE BATIMENT ALDI MARCHE	32
6.3.1	NIVEAUX MINIMUM D'ASSISE	32
6.3.2	CONTRAINTE DE CALCUL	33
6.3.3	EVALUATION DES TASSEMENTS	33
6.3.4	CONSEILS DE MISE EN OEUVRE.....	34
6.3.5	JOINTS DE CONSTRUCTION.....	38
VII -	<i>DALLAGES</i>.....	38
7.1	CLASSIFICATION DU DALLAGE ETUDIE.....	39
7.2	TASSEMENT GENERAL	39
7.3	PRECAUTIONS DE MISE EN OEUVRE	39
VIII -	<i>L'EAU DANS LE SOL</i>.....	40
IX -	<i>CHAUSSEES ET PARKINGS : PREDIMENSIONNEMENT</i>	42
9.1	METHODOLOGIE	42
9.2	COUCHE DE FORME.....	42
9.3	CHAUSSEES	44
	<i>CONCLUSIONS</i>.....	46

I -**MISSION**

Notre mission fait suite au devis n° B23-10-559 du 27/10/2023, signé en bon pour accord le 01/12/2023 par Mme DEJAEGERE.

La présente étude correspond à une mission géotechnique du type G2 AVP (Avant-projet) selon la norme NF P 94-500 de novembre 2013 annexée, assurée par la SMABTP (contrat n : 418383J) dont l'attestation est disponible sur simple demande.

On notera qu'un diagnostic pollution établi par COMPETENCE GEOTECHNIQUE CENTRE OUEST (M. DAVERGNE) constitue un document séparé.

Les documents fournis pour remplir notre mission ont été les suivants :

- Un scénario d'aménagement du terrain,
- Un plan de masse à 1/1500,
- Un extrait de plan cadastral,
- Un extrait de plan topographique.

II -**PROJET**

Le projet consiste en l'aménagement d'une zone d'activités comprenant :

- Une surface commerciale ALDI de 999 m² de type hall en RDC et sans sous-sol.
- Des surfaces commerciales réparties en 6 bâtiments de type hall en RDC et sans sous-sol (4 bâtiments de 525 m² chacun, et 2 bâtiments de 900 m²).
- L'aménagement de voiries,
- La réalisation de bassins d'infiltration des eaux pluviales et de noues d'infiltration,
- La mise en place d'ombrières.

Les charges maximales reçues par les sols ne nous ont pas été communiquées. Nous les avons estimées en première approche à :

- 10 T/ml sur appui continu,
- 30 T sur appui isolé,
- 1 à 2 T/m² comme charge d'exploitation des dallages.

Les cotes exactes des niveaux bas ne nous ont pas été transmises. Cependant, compte tenu de la pente d'un terrain, nous pensons qu'il est prévu des terrassements en déblais / remblais.

Il est envisagé l'infiltration des eaux pluviales par les sols.

NOTES IMPORTANTES :

Les données concernant le projet, aussi précises soient-elles, nous ont été communiquées par le Maître de l'Ouvrage ou ses conseils ou résultent d'hypothèses de travail. Si la transcription des informations communiquées ou les hypothèses retenues sont erronées, il conviendra impérativement de nous contacter pour corriger ou compléter ces informations.

Si le projet évolue, quelle que soit l'importance de cette évolution, il conviendra également impérativement de nous en faire part afin d'étudier les éventuelles adaptations par rapport à nos préconisations.

Cela pourra impliquer la réalisation de missions géotechniques complémentaires.

Dans le cas contraire notre responsabilité ne pourra pas être engagée sur ces préconisations.

III -

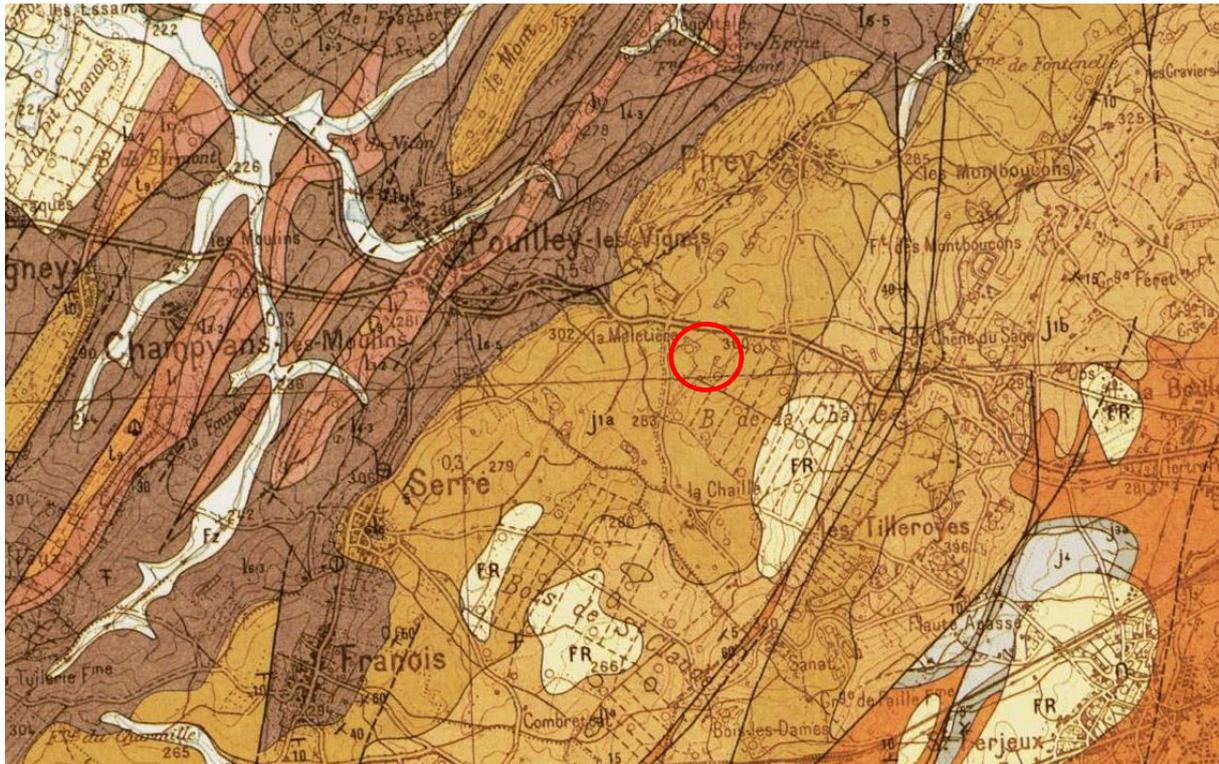
LE SITE

La situation du terrain étudié est indiquée sur l'extrait de la carte topographique IGN à 1/25000 placée en annexe.

Il s'agit actuellement d'un champ en pente faible traversé par une ligne électrique haute tension. On notera la présence d'une doline au Sud du terrain (au Sud de la future zone d'infiltration).

D'après les renseignements en notre possession, notamment les études de sol toutes proches et la carte géologique de BESANCON à 1/50000, ainsi que nos études de sol au pourtour du terrain, les couches que l'on devait normalement rencontrer dans le secteur sont, de haut en bas :

- des **remblais**,
- des **argiles d'altération**,
- le **substratum** composé par des **calcaires**.



Extrait du site www.infoterre.brgm.fr

Des arrêtés concernant les risques naturels ont été pris sur la commune :

Nombre d'arrêtés de catastrophes naturelles (CAT-NAT) : 9

Source : CCR

Inondations et/ou Coulées de Boue : 6

Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
INTE0000045A	24/10/1999	26/10/1999	07/02/2000	26/02/2000
INTE9500497A	08/08/1995	08/08/1995	28/09/1995	15/10/1995
INTE9900627A	25/12/1999	29/12/1999	29/12/1999	30/12/1999
IOCE0924271A	26/06/2009	26/06/2009	16/10/2009	21/10/2009
NOR19830111	08/12/1982	31/12/1982	11/01/1983	13/01/1983
NOR19830621	23/05/1983	27/05/1983	21/06/1983	24/06/1983

Mouvement de Terrain : 1

Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
INTE9900627A	25/12/1999	29/12/1999	29/12/1999	30/12/1999

Sécheresse : 2

Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
IOME2308745A	31/12/2021	30/03/2022	02/04/2023	02/05/2023
IOME2308745A	30/06/2022	29/09/2022	02/04/2023	02/05/2023

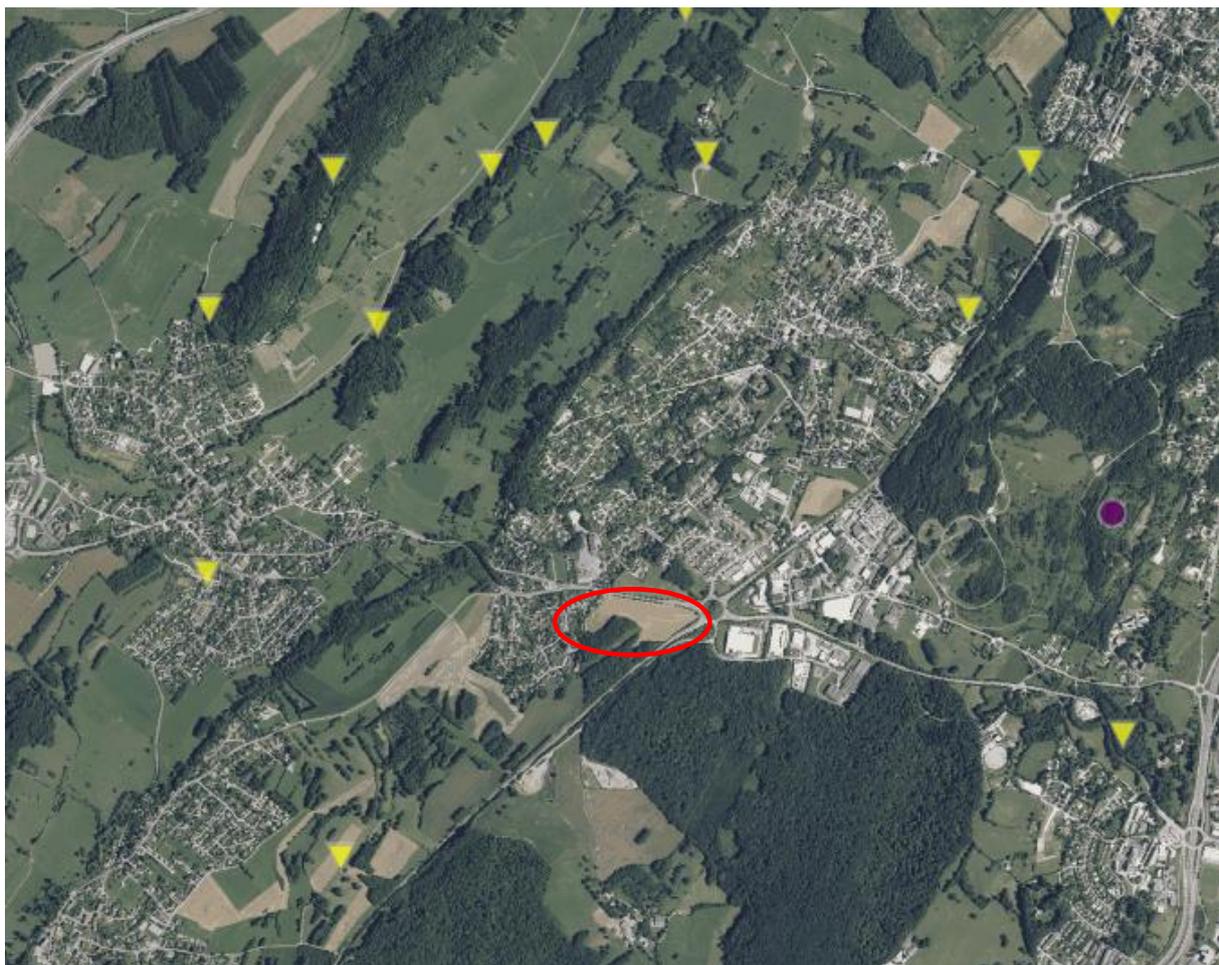
Extrait du site www.georisques.gouv.fr

Les risques naturels recensés sur le site sont les suivants :

Risque naturel	Aléa / sensibilité	Source
Retrait-gonflement	Moyen	www.georisques.gouv.fr
Sismique	Modéré (zone 3)	décrets n°2010-1254 et 1255 du 22 octobre 2010
Radon	Potentiel de catégorie 1 (faible)	IRSN

Il n'existe pas de plan de prévention des risques naturels en cours d'instruction ou en vigueur sur la commune au moment où nous rédigeons ce rapport.

Il n'existe pas de cavité répertoriée sur le site d'étude mais quelques cavités sont présentes dans les environs.



Cependant, le risque existe, de manière aléatoire, avec des poches d'argiles, des cavités, des fissures au sein des calcaires. En effet, un tel substratum est sujet à la karstification. Il est toujours possible dans un tel environnement de rencontrer des variations de profondeur du toit rocheux et des cavités vides ou remplies de sédiments divers.

On notera que le terrain se trouve en zone d'aléa faible vis-à-vis de l'effondrement et la présence de nombreuses dolines au pourtour du terrain mais pas au droit du terrain (voir carte de la DDT annexée).

IV - ETUDE GEOTECHNIQUE

4.1 METHODE DE TRAVAIL

Nous avons procédé à l'exécution de :

- **20 sondages de reconnaissance** commencés à la tarière mécanique hélicoïdale continue Ø 63 mm et terminés associés à des essais de sol au **pressiomètre** (Norme NF EN ISO 22476-4) notés CG, descendus à 6 m de profondeur par rapport à la surface topographique du terrain au moment de notre mission.

On notera que nous avons réalisé 2 sondages complémentaires de part et d'autre du sondage CG3 et 3 sondages complémentaires de part et d'autre du sondage CG4 pour vérifier les extensions des poches d'argile.

Des échantillons remaniés représentatifs des différentes couches traversées ont été prélevés au fur et à mesure de l'avancement pour leur identification géologique. Ils ont été mis en caisse et photographiés sur les 2 premiers mètres.

- **11 sondages à la pelle mécanique**, notés PM, descendus aux profondeurs suivantes :

Sondage (n°)	Prof. (m)	Observations
PM16	2,2	-
PM17	0,5	Refus
PM18	0,9	Refus
PM19	2,0	-
PM20	2,0	-
PM21	1,6	Refus
PM22	0,9	Refus
PM23	2,0	-
PM24	0,6	Refus
PM25	0,6	Refus
PM26	2,0	-

- **8 sondages au pénétromètre dynamique** (Norme NF EN ISO 22476-2) notés PDB, battus au refus aux profondeurs suivantes :

Sondage (n°)	Prof. (m)
PDB20	2,8
PDB21	3,4
PDB22	2,4
PDB23	4,0 (pas de refus)
PDB24	4,0 (pas de refus)
PDB25	1,0
PDB25B	0,5
PDB25C	0,5
PDB25D	1,9

Les implantations des différents sondages sont reportées sur le plan d'implantation annexé.

Les têtes de sondages ont été nivelées par nos soins et calées par rapport au fond de plan topographique transmis.

Ces altitudes sont inscrites en marge des feuilles de sondages annexées, et sont données avec une précision de +/- 0,1 mètre.

La coupe géologique de chacun des sondages, les photographies des échantillons mis en caisse et des puits à la pelle mécanique, et les résultats des essais sont joints sur les feuilles placées en annexe.

4.2 RESULTATS ET INTERPRETATION

4.2.1 NATURE DU SOL

Les sondages de reconnaissance ont permis de distinguer les formations ci-après, de haut en bas :

■ **Couche 1 :**

- des **limons +/- argileux, des argiles +/- limoneuses et des marnes**, de couleurs dominantes marron et roux, sur les épaisseurs et jusqu'aux cotes suivantes :

Sondage N°	Prof. (m)	Cote (NGF)
CG1	1,3	+ 287,2
CG2	Absents	-
CG3 / 3A / 3B	Totalité	-

CG4	1,4	+ 286,6
CG4A	1,5	+ 286,6
CG4B	Totalité	-
CG4C	1,2	+ 287,2
CG5	1,2	+ 289,3
CG6	0,7	+ 288,4
CG7	1,2	+ 291,1
CG8	2,6	+ 288,2
CG9	0,8	+ 292,9
CG10	0,7	+ 295,3
CG11	2,3	+ 290,0
CG12	0,4	+ 294,3
CG13	Absents	-
CG14	0,7	+ 290,6
CG15	0,8	+ 288,5
PM16	Totalité	-
PM17	0,5	+ 283,3
CG18	0,9	+ 283,9
PM19	Totalité	-
PM20	Totalité	-
PM21	1,6	+ 288,6
PM22	Absents	-
PM23	Totalité	-
PM24	Absents	-
PM25	0,6	+ 288,3
PM26	Totalité.	-

Remarque : Les terrains sont donc très hétérogènes car cette couche n'est pas présente au droit de tous les sondages et elle présente des épaisseurs très variables (0 à plus de 6 m).

■ **Couche 2 :**

- des **calcaires +/- altérés avec parfois présence de petits vides**, de couleurs dominantes beige.

En-tête, ces calcaires sont parfois en plaquettes avec matrice limoneuse et argileuse.

Ces formations sont coiffées par de la terre végétale sur quelques décimètres d'épaisseur.

4.2.2

L'EAU DANS LE SOL

Il n'a pas été observé d'arrivée d'eau dans les sondages au moment du chantier, lors de la première phase des pelle (PM16, PM17, PM18, PM19 et PM25), le 13/05/2024, et lors de la deuxième phase de sondage, du 22 au 29 juillet 2024. Signalons cependant que les sols supérieurs sont souvent le siège de circulations anarchiques d'eaux d'infiltration qui ont tendance à gagner les points bas naturels ou artificiels.

AVERTISSEMENT :

Le fait qu'aucune arrivée d'eau n'ait été détectée au droit de nos sondages n'augure pas de l'absence d'eau en période pluvieuse ou en période de hautes eaux.

4.2.3 CARACTERISTIQUES MECANIQUES

Les caractéristiques mécaniques mesurées au moyen d'essais au pressiomètre (Norme NF EN ISO 22476-4) s'avèrent :

■ Couche 1 :

- **Faibles à bonnes** dans les **limons, argiles et marnes**, avec un module pressiométrique (E_m) compris entre 4,3 et 19,9 MPa, et une pression limite effective (PI^*) comprise entre 0,38 et 1,34 MPa.

■ Couche 2 :

- **Généralement bonnes à très bonnes** dans les **calcaires avec cependant un passage de calcaires très fracturés en CG4 entre 3 et 4,4 m de profondeur**, avec un module pressiométrique (E_m) compris entre 7,3 et plus de 200,0 MPa, et une pression limite effective (PI^*) comprise entre 0,84 et plus de 3,0 MPa.

Les valeurs à retenir dans chacune des couches pour les calculs sont données ci-après :

Couche (n°)	Nature	α	E_m (MPa)	E_s (MPa)	PI^* (MPa)
1	Limon, argile, marne	0,67	4,3	6,4	0,38
2	Calcaire (hors passage fracturé)	0,5	50,0	100,0	3,0

α : coefficient rhéologique du sol. Ce coefficient fournit la corrélation entre le module pressiométrique E_m et le module œdométrique $E_{œd}$, selon la relation $E_m = \alpha \cdot E_{œd}$.

E_s : module de déformation à long terme de la couche de sol = E_m/α

4.2.4 CARACTERISATION GEOTECHNIQUE DES SOLS

Quatre déterminations des limites d'Atterberg (Norme NF EN ISO 17892-12) ont été réalisées sur des échantillons pris dans les sondages à la tarière, afin de déterminer la classification des sols selon le guide technique de réalisation des remblais et des couches de forme de mai 2023 (GTR2023), de vérifier la sensibilité des argiles au phénomène de retrait gonflement, et de vérifier la sensibilité des sols à la liquéfaction.

Les résultats sont donnés dans le tableau ci-après :

Sondage (n°)	Nature	Prof. (m)	Limite de liquidité W _l (%)	Limite de plasticité W _p (%)	Indice de plasticité I _p (%)	Classe GTR
CG1	Limon	1,0	48,1	20,7	27,4	F3
CG3	Argile	1,5	78,6	46,6	32,0	F3
CG8	Limon argileux	1,5	46,0	18,4	27,6	F3
CG11	Marne	1,5	106,4	34,5	71,9	F4+

Les sols de classe **GTR F3** (anciennement **A₃**) sont très cohérents à teneur en eau moyenne et faible, et collants ou glissants à l'état humide, d'où difficulté de mise en œuvre sur chantier. Leur perméabilité très réduite rend leurs variations de teneur en eau très lentes, en place. Une augmentation de teneur en eau assez importante est nécessaire pour changer notablement leur consistance.

Les sols de classe **GTR F4+** (anciennement **A₄**) sont très cohérents et presque imperméables : s'ils changent de teneur en eau, c'est extrêmement lentement et avec d'importants retrait ou gonflements. L'utilisation des argiles très plastiques en l'état n'est pas envisageable hors étude spécifique et restera limitée à des remblais de faible hauteur.

4.2.5 CLASSIFICATION SELON LA SENSIBILITE AU RETRAIT-GONFLEMENT

Le tableau ci-dessous présente la sensibilité au retrait-gonflement des argiles :

Valeur de bleu VBS en %	Indice de plasticité I _p en %	Coeff. de gonflement C _g	Retrait linéaire RI	% moyen de mx gonflants	Susceptibilité
< 2,5	< 12	< 0,025	< 0,4	< 25	Faible
2,5 à 6	12 à 22	0,025 à 0,035	0,4 à 0,65	25 à 50	Moyenne
6 à 8	22 à 40	0,035 à 0,055	0,65 à 0,75	50 à 80	Forte
> 8	> 40	> 0,055	> 0,75	> 80	Très forte

Les résultats des essais montrent que ces sols sont fortement à très fortement sensibles au retrait-gonflement.

4.2.5 CLASSIFICATION SELON LE RISQUE SISMIQUE

a) Le projet :

Les bâtiments dits « à risque normal » sont classés en quatre *catégories d'importance* définies suivant le Code de l'Environnement (article R 563-3).

A chaque catégorie d'importance est associé un coefficient d'importance γ_1 qui vient moduler l'action sismique de référence, conformément à l'Eurocode 8.

Ces catégories sont référencées dans le tableau suivant :

Catégorie d'importance	Description	Coefficient d'importance γ_1
I	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bâtiments dans lesquels il n'y a pas d'activité humaine nécessitant un séjour de longue durée 	0,8
II	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bâtiments d'habitation individuelle, ▪ Établissements recevant du public (ERP) de 4^{ème} et 5^{ème} catégorie à l'exception des écoles selon les articles R143-14 et R143-19 ▪ Bâtiments dont <u>la hauteur est inférieure ou égale à 28 mètres</u> dont : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Les bâtiments d'habitation collective, ▪ Les bâtiments à usage commercial ou de bureau pouvant accueillir simultanément <u>au plus</u> 300 personnes, ▪ Les bâtiments industriels pouvant accueillir <u>au plus</u> 300 personnes, ▪ Les parcs de stationnement ouvert au public. 	1,0
III	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Établissements scolaires, ▪ Établissements recevant du public de 1^{ère}, 2^{ème} et 3^{ème} catégorie selon l'article R143-19, ▪ Bâtiments dont <u>la hauteur est supérieure à 28 mètres</u> dont : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Les bâtiments d'habitation collective, ▪ Les bâtiments à usage de bureau, ▪ Les Bâtiments pouvant accueillir simultanément <u>plus de</u> 300 personnes dont les bâtiments à usage commerciale ou de bureau non classé ERP, ▪ Les bâtiments industriels pouvant accueillir <u>plus de</u> 300 personnes, ▪ Bâtiments des établissements sanitaires et sociaux à l'exception des bâtiments de santé, ▪ Bâtiments des centres de production <u>collective</u> d'énergie. 	1,2
IV	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bâtiments indispensables à la sécurité civile, la défense nationale et le maintien de l'ordre public (moyens de secours, personnel et matériel de la défense, moyens de communication, sécurité aérienne), ▪ Bâtiments assurant la production et le stockage d'eau potable et la distribution <u>publique</u> d'énergie, ▪ Établissements de santé, ▪ Centres météorologiques. 	1,4

Les bâtiments considérés dans le présent rapport sont de catégorie d'importance **II ou III**, (catégorie d'importance III pour le supermarché ALDI).

b) Classification des sols :

La classe du sol a été définie en considérant les profils lithologiques des sondages de reconnaissance et les essais géotechniques réalisés *in situ* et en laboratoire sur les échantillons remaniés ou intacts prélevés dans ces sondages.

Elle est définie selon le tableau ci-dessous :

Classe de sol	Description du profil stratigraphique	Paramètres						S	
		V _s (m/s)	N _{SPT} (coups/30 cm)	C _u (kPa)	Type de sol	Pressiomètre			CPT
						PI (MPa)	E _M (MPa)		q _c (MPa)
A	Rocher ou autre formation géologique de ce type comportant une couche superficielle d'au plus 5 m de matériau moins résistant	> 800	-	-		> 5	> 100		1,00
B	Dépôts raides de sable, de gravier ou d'argile sur-consolidée, d'au moins plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, caractérisés par une augmentation progressive des propriétés mécaniques avec la profondeur	360 – 800	> 50	> 250	Sols granulaires	> 2	> 20	> 15	1,35
					Sols cohérents	> 2	> 25	> 3,5	
C	Dépôts profonds de sable de densité moyenne, de gravier ou d'argile moyennement raide, ayant des épaisseurs de quelques dizaines à plusieurs centaines de mètres	180 – 360	15 – 50	70 – 250	Sols granulaires	> 1	> 8	> 5	1,50
					Sols cohérents	> 0,5	> 5	> 1,5	
D	Dépôts de sol sans cohésion de densité faible à moyenne (avec ou sans couches cohérentes molles) ou comprenant une majorité de sols cohérents mous à fermes	< 180	< 15	< 70	Sols granulaires	< 1	< 8	< 5	1,60
					Sols cohérents	< 0,5	< 5	< 1,5	
E	Profil de sol comprenant une couche superficielle d'alluvions avec des valeurs de v _s de classe C ou D et une épaisseur comprise entre 5 m environ et 20 m, reposant sur un matériau plus raide avec v _s > 800 m/s								1,80
S ₁	Dépôts composés, ou contenant, une couche d'au moins 10 m d'épaisseur d'argiles molles/vases avec un indice de plasticité élevé (IP > 40) et une teneur en eau importante.	< 100 valeur indicat ive	-	10 – 20					
S ₂	Dépôts de sols liquéfiables d'argiles sensibles ou tout autre profil de sol non compris dans les classes A à E ou S ₁ .								

Le profil de sol considéré dans le présent rapport est de classe **A, pour les bâtiments situés au droit des sondages CG4 à CG15.**

Pour le bâtiment ALDI, on partira sur du classe E car les sondages CG3, CG3A et CG3B n'ont pas reconnus les calcaires.

À chaque classe de sol est défini un coefficient de sol S , qui permet de traduire l'amplification de la sollicitation sismique exercée par certains sols. Ici $S = 1,00$ pour les bâtiments situés au droit des sondages CG4 à CG15, et $S = 1,80$ pour le bâtiment ALDI.

c) **Classification du site :**

Le site géographique est à classer en **zone de sismicité 2** d'après la carte de sismicité de la France (Décret n° 2010-1255 du 22 octobre 2010).

Soit une valeur d'accélération suivante :

Zone de sismicité	Niveau d'aléa	a_{gr} (m/s ²)
Zone 2	Faible	0,7

d) **Définition du coefficient d'amplification topographique**

Il est tenu compte d'un coefficient d'amplification, dans le cas de terrains présentant des inclinaisons moyennes supérieures à 15 degrés (pente de 1H/4B ou pente de 25% environ).

Eu égard à la topographie du site en faible pente, les effets topographiques peuvent être négligés et n'entraînent donc aucune majoration des efforts sismiques.

e) **Comportement des sols sous efforts sismiques**

Les essais de laboratoire ont montré que la couche 1 (limons, argiles et marnes) n'est pas sensible à la liquéfaction.

Les calcaires (couche 2) étant des formations rocheuses, ils ne sont également pas sensibles à la liquéfaction.

4.2.6 MESURE PONCTUELLE DE LA PERMEABILITE

L'évaluation de la perméabilité des sols meubles a été réalisée par un essai en vraie grandeur dans certains des sondages.

Ils ont été remplis d'eau, et la descente a été mesurée en fonction du temps.

On notera que les essais PM16, PM17, PM18, PM19 et PM25 ont été réalisés en mai 2024. Les autres essais ont été réalisés en juillet 2024.

Les essais ont donné les résultats ci-dessous :

Sondage n°	Profondeur testée (en m)	K (m/s)
PM16	1 – 2,0	$2,6 \times 10^{-6}$
PM17	0,2 – 0,5	$2,0 \times 10^{-6}$
PM18	0,3 – 0,9	$2,1 \times 10^{-6}$
PM19	1,3 – 2,0	$< 10^{-12}$
PM20	0 – 2,0	$1,9 \times 10^{-5}$
PM22	0 – 0,8	$6,2 \times 10^{-6}$
PM23	0 – 2,0	$2,5 \times 10^{-5}$
PM25	0,3 – 0,6	$1,5 \times 10^{-5}$
PM26	0 – 2,0	$1,1 \times 10^{-6}$

Il n'a pas été réalisé d'essai en PM24 du fait de la faible profondeur du puits à la pelle mécanique.

Les sols sont donc pratiquement imperméables à faiblement perméables, mis à part en PM25 et en PM20 où la perméabilité est plutôt bonne.

On remarque que la perméabilité est très hétérogène en fonction de la présence ou non d'argiles +/- compactes et de la fracturation des calcaires sous-jacents.

La classification des sols en fonction des coefficients de perméabilité est donnée dans le tableau ci-dessous :

Nature du sol	Ordre de grandeur de k en m/s	Degré de perméabilité
Graviers moyens à gros	10^{-1} à 10^{-3}	Très élevé
Petits graviers, sable	10^{-3} à 10^{-5}	Assez élevé
Sable très fin, sable limoneux, loess	10^{-5} à 10^{-7}	Faible
Limon compact, argile silteuse	10^{-7} à 10^{-9}	Très faible
Argile franche	10^{-9} à 10^{-12}	Pratiquement imperméable

V -**TERRASSEMENTS**

Le projet nécessite la réalisation de déblais et de remblais dont les hauteurs et les cubatures ne nous ont, à ce stade, pas été communiqués.

5.1**DEBLAIS**

Les terrassements dans la couche 1 (limons, argiles et marnes) ne présenteront pas de difficultés particulières tant que les conditions météorologiques seront favorables (ni pluie, ni gel).

Dans le cas contraire, la grande sensibilité à l'eau de ces sols nécessitera des purges complémentaires, des mesures de drainage et/ou d'assainissement des fouilles par pompage et/ou de blindage des fouilles.

Néanmoins, les terrassements deviendront plus difficiles à la rencontre du substratum calcaire (couche 2) et nécessiteront l'utilisation d'une pelle mécanique de forte puissance, voire l'utilisation d'un brise roche hydraulique (BRH).

En l'absence d'étude complémentaire spécifique, les **talus provisoires** de la fouille seront dressés en première approche, avec une pente maximale de 2H/3B (2 de hauteur pour 3 de base) dans les argiles, limons et marnes (couche 1) et avec une pente sub-verticale de 4H/1B (4 de hauteur pour 1 de base) dans les calcaires (couche 2). Ils seront protégés par des feuilles de polyane soigneusement fixées le temps du chantier, purgés au préalable des blocs instables, pour assurer la sécurité des personnes et des biens.

En phase définitive, on pourra envisager des talus définitifs à 2H/3B dans les limons, argiles et marnes (couche 1) à condition que ceux-ci soient végétalisés et à 4H/1B dans les calcaires (couche 2).

5.2**REMBLAIS**

La réalisation des remblais ne posera pas de problèmes particuliers sous réserve de l'application des conditions suivantes :

- On procédera tout d'abord au décapage intégral de la terre végétale, des éventuelles poches d'argiles et des sols décomprimés ou détériorés par les engins de chantier ou les eaux de pluies,
- Le Travail se fera dans de bonnes conditions météorologiques (ni pluie, ni gel, ni sécheresse),
- Les matériaux de remblais devront être de bonnes qualités, choisis de préférence parmi les classes G2 (anciennement D₂/D₃), Li (anciennement R₂), Sa/Co (anciennement R₄) ou Vo/Me (anciennement R₆), peu gélifs et peu fragmentables, (on notera que les matériaux argileux (couche 1) ne seront pas réutilisables du fait de leur forte sensibilité au retrait-gonflement),

- Les pentes de talus provisoires des nouveaux remblais, constitués des matériaux cités ci-dessus, seront fixées en première approche à 2H/3B (2 de hauteur pour 3 de base).
- L'épaisseur de chacune des couches mises en œuvre ne dépassera pas les valeurs limites indiquées dans les recommandations du Guide pour la réalisation des remblais et des couches de forme de mai 2023, compte tenu de la classe, de la granulométrie des matériaux et du type d'engin de compactage,
- Le compactage devra être supérieur ou égal à 95 % de l'OPN (compactage q4 d'après le SETRA).
- Interdiction d'infiltrer de l'eau à proximité du nouveau remblai.
- Une bonne gestion des venues d'eau superficielles est également impérative. Celles-ci devront être évacuées dans un exutoire fiable et pérenne.

VI - FONDATIONS DE LA STRUCTURE

Rappel : A ce stade, la cote exacte des niveaux bas ne nous a pas été communiquée. Les précautions ci-après sont donc susceptibles d'être modifiées en fonction des cotes des niveaux bas qui seront retenues et des terrassements en déblais ou en remblais.

Les sondages ont permis de mettre en évidence sous une couche de terre végétale, des limons argiles et marnes (couche 1), très fortement sensibles au retrait-gonflement puis des calcaires (couche 2).

Cependant, on notera que dans la zone du sondage CG3, les calcaires n'ont pas été reconnus. On remarque également que la profondeur du toit des calcaires est très hétérogène d'un point à l'autre du site.

En conséquence, à ce stade, nous distinguerons deux zones :

- **Zone 1** : une zone comprenant les sondages CG4 à CG15 et les sondages PM22, PM23, PM24, et PM25, où le calcaire a été atteint.
- **Zone 2** : une zone située à l'Est de la ligne électrique aérienne (sondages CG1, CG2, CG3, PM16, PM17, PM18, PM19, PM20, PM21 et PM26) avec la couche calcaire qui n'est pas présente au droit de tous les sondages (par exemple absente au droit de CG3).

En zone 1, il est prévu la réalisation de surfaces commerciales. En zone 2, il est envisagé la réalisation d'une surface commerciale ALDI, des bassins d'infiltration, et la mise en place de panneaux photovoltaïques au droit des parkings.

Dans ces conditions, on pourra envisager les systèmes de fondations suivants, au choix :

- **Zone 1** (sondages CG4 à CG15 et PM22 à PM25) : fondations par **semelles et/ou puits** ancrés dans les calcaires (couche 2).

- **Zone 2a** : panneaux photovoltaïques : ces panneaux se trouvent à priori dans une zone mixte avec présence de calcaires par exemple en PM21 et CG1, et absence de calcaires en PM20 et CG3. Les panneaux photovoltaïques seront donc fondés par **semelles et/ou massifs** ancrés dans les calcaires dans la zone de PM21 et CG1 et ancrés dans les argiles moyennant des précautions vis-à-vis du retrait-gonflement des sols de fondations dans la zone de CG3 / PM20.
- **Zone 2b** : pour le bâtiment ALDI, il faudra envisager une solution de fondations mixtes pour moitié ancrées dans les calcaires (zone CG1 et CG2) par **semelles et/ou massifs**, et pour moitié ancrées dans un **massif de substitution des argiles** (zone du sondage CG3) eu-égard à la très forte sensibilité des sols au phénomène de retrait-gonflement.

Du fait de l'hétérogénéité des sols de fondations et des épaisseurs d'argile, il sera impératif de procéder en mission G2 PRO, à des sondages complémentaires au droit exact des futurs bâtiments.

Ces sondages permettront d'évaluer l'épaisseur d'argiles et donc de déterminer la faisabilité ou non de fondations dans les calcaires, la faisabilité ou non de mise en place des dallages sur terre-plein.

En effet, les dallages pourront être mis sur terre-plein dans les zones où le calcaire est sub-affleurant, mais devront être portés par les fondations et mis sur vide sanitaire, s'ils reposent sur les argiles (couche 1) car celles-ci sont très fortement sensibles au retrait-gonflement.

Ces sondages complémentaires permettront d'affiner les quantités de brise roche pour les terrassements, et au droit du futur bâtiment ALDI, ils permettront de déterminer la zone où la substitution est nécessaire avec plus de précision.

6.1 FONDATIONS PAR SEMELLES ET/OU PUIITS EN ZONE 1

6.1.1 NIVEAUX MINIMUM D'ASSISE

Les semelles et/ou les puits seront ancrés au minimum de 0,3 m dans les calcaires (couche 2).

En conséquence, les profondeurs minimales des assises par rapport à la surface topographique actuelle et les cotes maximales seront :

CG n°	Prof. (m)	Cote (NGF)
4	1,7	+ 286,3
4a	1,8	+ 286,3
4c	1,5	+ 286,9
5	1,5	+ 290,0
6	1,0	+ 288,1
7	1,5	+ 290,8
8	2,9	+ 287,9
9	1,1	+ 292,6

10	1,0	+ 295,0
11	2,6	+ 290,7
12	0,7	+ 294,0
13	0,7	+ 291,4
14	1,0	+ 290,3
15	1,1	+ 288,2

⇒ **Notes :**

- **Ancrage** = hauteur de pénétration de la fondation dans la couche d'assise, ici, les calcaires (couche 2).
- L'épaisseur des argiles, limons et marnes (couche 1) pouvant varier sensiblement entre les sondages, seul le critère d'ancrage dans les calcaires (couche 2) sera retenu, ce qui pourra conduire à un approfondissement du niveau des fondations. A cet effet, nous conseillons de commencer les fouilles des fondations au droit des sondages, afin de s'étalonner.
- La recherche du substratum dur pouvant entraîner l'approfondissement des terrassements n'est pas nécessaire pour l'assise des fondations, et il conviendra de respecter la cote d'assise minimale mentionnée dans ce rapport, excepté en présence de poches d'argiles.
- Des sondages complémentaires permettront d'affiner au mieux la profondeur des calcaires car celle-ci est très variable d'un point à l'autre du site.

6.1.2

CONTRAINTE DE CALCUL

En appliquant **l'Eurocode 7 et la norme d'Application Nationale NF P 94-261** "Fondations superficielles", la contrainte de calcul associée à la résistance nette q_{net} et aux états limites du toit des calcaires (couche 2) seront, avec :

$$\begin{aligned}
 P_{le}^* &= (0,84 \times 3,13)^{1/2} = 1,62 \text{ MPa} \\
 q_0 &= 0,01 \text{ MPa} \\
 K_p &= 0,8
 \end{aligned}$$

$$D'où \mathbf{q_{net}} = K_p \cdot P_{le}^* \cdot i_\delta \cdot i_\beta = \mathbf{1,30 \text{ } i_\delta \cdot i_\beta \text{ MPa (sans coefficient de sécurité)}}$$

$$\mathbf{q_{ELU ;E7} = 0,77 \text{ } i_\delta \cdot i_\beta \text{ MPa (avec coefficient de sécurité de 1,68)}}$$

$$\mathbf{q_{ELS ;E7} = 0,47 \text{ } i_\delta \cdot i_\beta \text{ MPa (avec coefficient de sécurité de 2,76)}}$$

Note :

- Dans le cas d'une résultante des efforts inclinée par rapport à la verticale ou bien d'une fondation réalisée à proximité d'un talus, les coefficients respectivement i_δ et i_β seront inférieurs à 1, ce qui réduira q_{net} , $q_{ELU ;E7}$ et $q_{ELS ;E7}$. Dans le cas où ces contraintes pourraient s'avérer insuffisantes pour le projet, il faudra alors s'orienter vers une autre solution de fondation.

- La méthode de calcul retenue est fondée sur des données mesurées in-situ.
- avec q_0^* : pression limite nette déterminée au moyen de l'essai de sol au pressiomètre, q_0 : poids des terres au repos ou contrainte totale verticale à la base de la fondation superficielle en l'absence de celle-ci, K_p : facteur de portance caractérisant les fondations en fonction du rapport D/B (encastrement sur largeur).
- K_p est pris égal à 0,8 (cas le plus défavorable) car il convient de considérer $D/B = 0$ en conditions sismiques.
- **ATTENTION** : $q_{ELU;E7}$ et $q_{ELS;E7}$ ne sont pas équivalents à $q_{ELU;DTU}$ ou $q_{ELS;DTU}$ calculés selon le DTU 13.12.
- **$0,1 \text{ MPa} = 1 \text{ bar} = 1 \text{ daN/cm}^2 = 100 \text{ kPa} = 10 \text{ T/m}^2 = 100 \text{ kN/m}^2 = 0,1 \text{ MN/m}^2$**
- Si les puits sont coulés pleine fouille (ou avec tubage provisoire), ces contraintes pourront être prises en tête de puits, car le frottement latéral positif dans la couche d'ancrage compensera pratiquement le poids propre du puits,
- Dans le cas contraire, le poids propre du puits devra être compris dans les charges apportées par la construction (puits coffré, avec tubage définitif, etc.).

6.1.3

EVALUATION DES TASSEMENTS

Les tassements totaux et différentiels seront quasi nuls dans ces terrains ; **ils seront donc admissibles.**

Ils seront calculés en mission géotechnique G2 en phase Projet, en connaissant les niveaux d'assise, la largeur des semelles et les descentes de charge aux E.L.S..

6.1.4

CONSEILS DE MISE EN OEUVRE

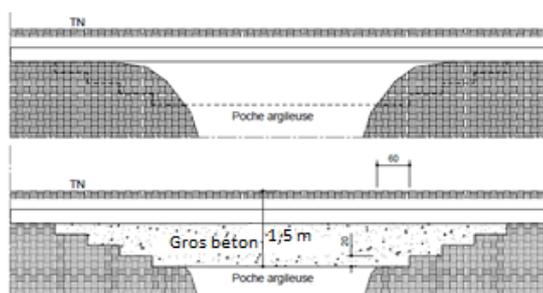
- Travailler en période météorologique favorable (ni pluie, ni gel, ni sécheresse) eu égard à la sensibilité des sols à l'eau, qui pourra entraîner des problèmes de traficabilité lors du chantier et des terrassements.
- La profondeur de mise à l'abri des effets du gel peut être évaluée à l'aide de la carte indicative d'origine routière présentée dans l'annexe O de la norme d'application nationale de l'eurocode 7 présentée ci-dessous :



La profondeur de mise hors-gel (modifié par l'amendement N° 1 à la norme NF P 94-261) est égale à : $H \text{ (m)} = H_0 + (A-150)/4000$, avec, A l'altitude en m et H_0 la valeur lue sur la carte pour $A \geq 150$ m.

Ici la profondeur de mise hors gel H sera de 0,8 m minimum.

- Vérification soigneuse des matériaux extraits des fouilles pour assurer le bon ancrage des fondations dans les calcaires (couche 2) ; purger le cas échéant toutes poches de d'argiles, limons, marnes (couche 1), que l'on pourrait encore rencontrer au niveau d'assise retenu, ce qui pourra conduire à un approfondissement du niveau de fondations entre les sondages et à des volumes de béton supplémentaires.
- Prévoir des possibilités de **pontage** des poches d'argiles, ou de fissures, découvertes aux niveaux d'assise prévus, si les purges sont trop importantes.
Le pontage pourra se faire par un rattrapage en gros béton entre les zones argileuses et les zones calcaires, par redans de 20 cm de hauteur sur 60 cm de long (voir schéma ci-après).



- Evacuation des eaux d'infiltration lors de leur apparition dans les fonds de fouille des fondations ; dans le cas où l'on a une grande fouille, prévoir un fossé drainant périphérique.
- Le rattrapage des niveaux d'assise pourra se faire à l'aide de gros béton, ou de béton maigre coulé pleine fouille.
- Pour l'ancrage dans le substratum calcaire (couche 2), il faudra utiliser un B.R.H.

- Dans le cas de fondations par semelles isolées, massifs et/ou puits, les longrines seront désolidarisées totalement du sol avec un vide périphérique d'une dizaine de centimètres, en cas de présence d'argiles sous-jacents à ces longrines. En aucun cas les longrines ne devront reposer sur les argiles qui sont très fortement sensibles au retrait-gonflement. Le vide périphérique est donc impératif.
- On s'assurera du respect des règles parasismiques.
- Des dispositions constructives complémentaires seront respectées eu égard à la sensibilité des sols au phénomène de retrait gonflement (voir 6.1.5).

6.1.5 MESURES PARTICULIERES VIS-A-VIS DU PHENOMENE DE RETRAIT-GONFLEMENT DES SOLS DE FONDATION

Dans cette zone 1, le sol de fondation est composé par des calcaires (couche 2). Cependant, on note la présence de poches d'argiles, limons et marnes (couche 1), fortement sensibles au phénomène de retrait-gonflement.

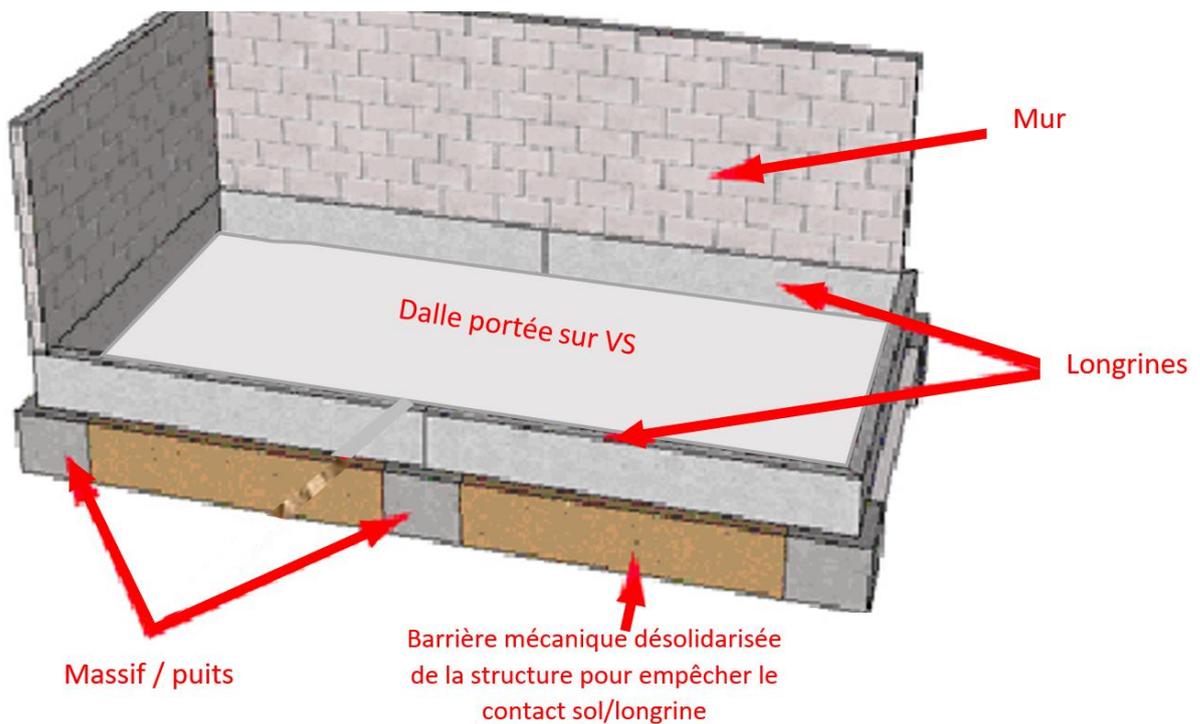
Les variations de teneur en eau au niveau de ces sols provoquent des phénomènes de gonflement et de retrait, qui sont préjudiciables aux bâtiments qui y sont fondés superficiellement, avec un encastrement insuffisant, notamment lorsqu'ils sont légers.

Les causes des variations de teneur en eau peuvent être diverses :

- naturelles lorsque l'on en trouve dans la zone de variation du profil hydrique, ou en cas de sécheresse prolongée,
- artificielles : fuites de canalisation, modification du régime de circulation des eaux superficielles, plantation d'arbres, etc.

Prescription :

- Dans le cas de fondations isolées, les longrines seront désolidarisées totalement du sol avec un vide périphérique d'une dizaine de centimètres, si celles-ci reposent sur les argiles, marnes et limons (couche 1).



- Les dallages seront portés et mis sur vide sanitaire ou biocoffra s'ils reposent sur les argiles, limons et marnes (couche 1), très fortement sensibles au retrait-gonflement. Si et seulement s'ils reposent sur les calcaires (couche 2), ils pourront être mis sur terre-plein.

6.2 FONDATION PAR SEMELLES ET/OU MASSIFS POUR LES PANNEAUX PHOTOVOLTAIQUES (ZONE 2a)

Nous rappelons que dans la zone des panneaux photovoltaïques (parking du supermarché ALDI), les sols sont hétérogènes avec présence de calcaires en PM21, CG1 et CG2 et absence de calcaires en PM20 et CG3.

6.2.1 NIVEAUX MINIMUM D'ASSISE

a) Fondations ancrées dans les calcaires (couche 2)

En cas de présence de calcaires, (zone des sondages PM21, CG1), les panneaux photovoltaïques seront fondés par semelles et/ou massifs ancrés d'au moins 0,3 m dans ces calcaires (couche 2), soit les profondeurs minimales d'assises et cotes maximales suivantes :

Sondage n°	Prof. (m)	Cote (NGF)
CG1	1,6	+ 286,9
PM21	1,9	+ 288,3
PDB21	# 3,2	# + 287,0
PDB20	# 3,0	# + 288,1

⇒ Notes :

- **Ancrage** = hauteur de pénétration de la fondation dans la couche d'assise, ici, les calcaires (couche 2).
- L'épaisseur des argiles, limons et marnes (couche 1) pouvant varier sensiblement entre les sondages, seul le critère d'ancrage dans les calcaires (couche 2) sera retenu, ce qui pourra conduire à un approfondissement du niveau des fondations. A cet effet, nous conseillons de commencer les fouilles des fondations au droit des sondages, afin de s'étalonner.
- La recherche du substratum dur pouvant entraîner l'approfondissement des terrassements n'est pas nécessaire pour l'assise des fondations, et il conviendra de respecter la cote d'assise minimale mentionnée dans ce rapport, excepté en présence de poches d'argiles.

b) Fondations ancrées dans les argiles (couche 1) (sondages CG3, PM/PDB20)

Les fondations seront ancrées dans les argiles (couche 1) et encastrées d'au moins 2,5 m par rapport au terrain fini extérieur, eu-égard à la très forte sensibilité des sols au phénomène de retrait-gonflement.

Les profondeurs minimales des assises seront donc de 2,5 m par rapport au terrain fini extérieur.

N'ayant pas les cotes des terrain finis extérieurs, les fondations ne sont pas reportées sur les coupes.

⇒ **Notes :**

- **Ancrage** = hauteur de pénétration de la fondation dans la couche d'assise, ici, les argiles (couche 1).
- **Encastrement** : Profondeur minimale des semelles au-dessous du terrain fini extérieur, ici 2,5 m eu-égard à la très forte sensibilité des sols au retrait-gonflement.

6.2.2 CONTRAINTE DE CALCUL

a) Fondations des panneaux photovoltaïques dans les calcaires (couche 2)

En appliquant **l'Eurocode 7 et la norme d'Application Nationale NF P 94-261** "Fondations superficielles", la contrainte de calcul associée à la résistance nette q_{net} et aux états limites du toit des calcaires (couche 2) seront, avec :

$$\begin{aligned} P_{le}^* &= (0,84 \times 3,13)^{1/2} = 1,62 \text{ MPa} \\ q_0 &= 0,01 \text{ MPa} \\ K_p &= 0,8 \end{aligned}$$

$$\text{D'où } q_{net} = K_p \cdot P_{le}^* \cdot i_\delta \cdot i_\beta = \mathbf{1,30 \text{ } i_\delta \cdot i_\beta \text{ MPa (sans coefficient de sécurité)}}$$

$$q_{ELU ; E7} = \mathbf{0,77 \text{ } i_\delta \cdot i_\beta \text{ MPa (avec coefficient de sécurité de 1,68)}}$$

$$q_{ELS ; E7} = \mathbf{0,47 \text{ } i_\delta \cdot i_\beta \text{ MPa (avec coefficient de sécurité de 2,76)}}$$

b) Fondations ancrées dans les argiles, limons et marnes (couche 1)

En appliquant **l'Eurocode 7 et la norme d'Application Nationale NF P 94-261** "Fondations superficielles", la contrainte de calcul associée à la résistance nette q_{net} et aux états limites des argiles (couche 1) à 2,5 m de profondeur seront, avec :

$$\begin{aligned} P_{le}^* &= 0,38 \text{ MPa} \\ q_0 &= 0,01 \text{ MPa} \\ K_p &= 0,8 \end{aligned}$$

$$\text{D'où } q_{net} = K_p \cdot P_{le}^* \cdot i_\delta \cdot i_\beta = \mathbf{0,30 \text{ } i_\delta \cdot i_\beta \text{ MPa (sans coefficient de sécurité)}}$$

$$q_{ELU ; E7} = \mathbf{0,18 \text{ } i_\delta \cdot i_\beta \text{ MPa (avec coefficient de sécurité de 1,68)}}$$

$$q_{ELS ; E7} = \mathbf{0,11 \text{ } i_\delta \cdot i_\beta \text{ MPa (avec coefficient de sécurité de 2,76)}}$$

Note :

- Dans le cas d'une résultante des efforts inclinée par rapport à la verticale ou bien d'une fondation réalisée à proximité d'un talus, les coefficients respectivement i_δ et i_β seront inférieurs à 1, ce qui réduira q_{net} , $q_{ELU ; E7}$ et $q_{ELS ; E7}$.
Dans le cas où ces contraintes pourraient s'avérer insuffisantes pour le projet, il faudra alors s'orienter vers une autre solution de fondation.
- La méthode de calcul retenue est fondée sur des données mesurées in-situ.
- avec p_{le}^* : pression limite nette déterminée au moyen de l'essai de sol au pressiomètre, q_0 : poids des terres au repos ou contrainte totale verticale à la base de la fondation superficielle en l'absence de celle-ci, K_p : facteur de portance caractérisant les fondations en fonction du rapport D/B (encastrement sur largeur).
- K_p est pris égal à 0,8 (cas le plus défavorable) car il convient de considérer $D/B = 0$ en conditions sismiques.
- **ATTENTION** : $q_{ELU ; E7}$ et $q_{ELS ; E7}$ ne sont pas équivalents à $q_{ELU ; DTU}$ ou $q_{ELS ; DTU}$ calculés selon le DTU 13.12.
- **$0,1 \text{ MPa} = 1 \text{ bar} = 1 \text{ daN/cm}^2 = 100 \text{ kPa} = 10 \text{ T/m}^2 = 100 \text{ kN/m}^2 = 0,1 \text{ MN/m}^2$**

6.2.3 EVALUATION DES TASSEMENTS*a) Fondations ancrées dans les calcaires (couche 2)*

Les tassements totaux et différentiels seront quasi nuls dans ces terrains ; **ils seront donc admissibles.**

Ils seront calculés en mission géotechnique G2 en phase Projet, en connaissant les niveaux d'assise, la largeur des semelles et les descentes de charge aux E.L.S..

b) Fondations ancrées dans les argiles (couche 1)

Les tassements totaux seront proches du centimètre et les tassements différentiels seront égaux aux tassements totaux, compte tenu de la très forte sensibilité des sols au phénomène de retrait-gonflement. **Ils deviendront donc inadmissibles et nécessiteront la rigidification des fondations et de la structure (semelles en T inversé et armatures de superstructure très rigides).**

Ils seront calculés en mission géotechnique G2 en phase Projet, en connaissant les niveaux d'assise, la largeur des semelles et les descentes de charge aux E.L.S..

6.2.4**CONSEILS DE MISE EN OEUVRE***a) Fondations ancrées dans les calcaires (couche 2)*

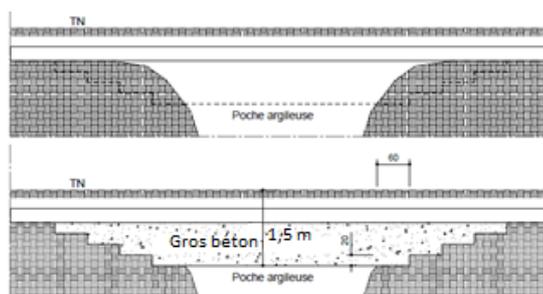
- Travailler en période météorologique favorable (ni pluie, ni gel, ni sécheresse) eu égard à la sensibilité des sols à l'eau, qui pourra entraîner des problèmes de traficabilité lors du chantier et des terrassements.
- La profondeur de mise à l'abri des effets du gel peut être évaluée à l'aide de la carte indicative d'origine routière présentée dans l'annexe O de la norme d'application nationale de l'eurocode 7 présentée ci-dessous :



La profondeur de mise hors-gel (modifié par l'amendement N° 1 à la norme NF P 94-261) est égale à : $H \text{ (m)} = H_0 + (A-150)/4000$, avec, A l'altitude en m et H_0 la valeur lue sur la carte pour $A \geq 150$ m.

Ici la profondeur de mise hors gel H sera de 0,8 m minimum.

- Vérification soigneuse des matériaux extraits des fouilles pour assurer le bon ancrage des fondations dans les calcaires (couche 2) ; purger le cas échéant toutes poches de d'argiles, limons, marnes (couche 1), que l'on pourrait encore rencontrer au niveau d'assise retenu, ce qui pourra conduire à un approfondissement du niveau de fondations entre les sondages et à des volumes de béton supplémentaires.
- Prévoir des possibilités de **pontage** des poches d'argiles, ou de fissures, découvertes aux niveaux d'assise prévus, si les purges sont trop importantes.
Le pontage pourra se faire par un rattrapage en gros béton entre les zones argileuses et les zones calcaires, par redans de 20 cm de hauteur sur 60 cm de long (voir schéma ci-après).

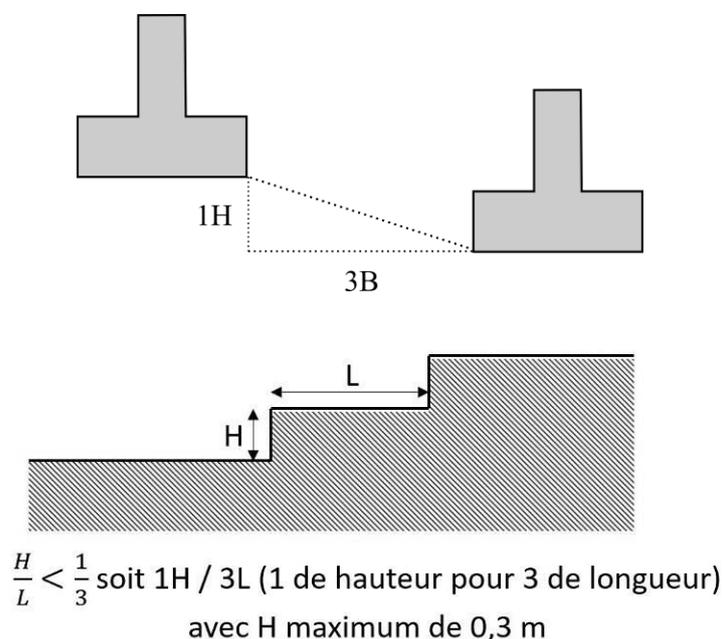


- Evacuation des eaux d'infiltration lors de leur apparition dans les fonds de fouille des fondations ; dans le cas où l'on a une grande fouille, prévoir un fossé drainant périphérique.
- Le rattrapage des niveaux d'assise pourra se faire à l'aide de gros béton, ou de béton maigre coulé pleine fouille.
- Pour l'ancrage dans le substratum calcaire (couche 2), il faudra utiliser un B.R.H.
- Dans le cas de fondations par semelles isolées, massifs et/ou puits, les longrines seront désolidarisées totalement du sol avec un vide périphérique d'une dizaine de centimètres, en cas de présence d'argiles sous-jacents à ces longrines. En aucun cas les longrines ne devront reposer sur les argiles qui sont très fortement sensibles au retrait-gonflement. Le vide périphérique est donc impératif.

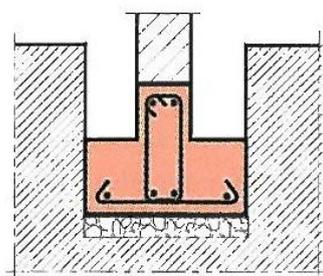
b) Fondations ancrées dans les argiles (couche 1)

- Travailler en période météorologique favorable (ni pluie, ni gel, ni sécheresse) eu égard à la sensibilité des sols à l'eau, qui pourra entraîner des problèmes de traficabilité lors du chantier et des terrassements.
- Du fait de l'encastrement minimum demandé précédemment (2,5 m par rapport au terrain fini extérieur), la protection contre le gel sera automatiquement assurée.
- Purger le cas échéant toutes poches de sol mou, que l'on pourrait encore rencontrer au niveau d'assise retenu, ce qui pourra conduire à un approfondissement du niveau de fondations entre les sondages et à des volumes de béton supplémentaires.
- Evacuation des eaux d'infiltration lors de leur apparition dans les fonds de fouille des fondations ; dans le cas où l'on a une grande fouille, prévoir un fossé drainant périphérique.
- Le rattrapage des niveaux d'assise pourra se faire à l'aide de gros béton, ou de béton maigre coulé pleine fouille.
- Bétonner aussitôt après terrassement et pleine fouille, pour éviter les phénomènes d'altération et de décomposition des argiles, limons et marnes (couche 1) particulièrement sensibles à l'eau, qui pourrait induire des tassements supplémentaires non négligeables à ceux estimés précédemment.
- **Prévoir un remblayage rapide (ou une protection équivalente) autour des fondations**, afin de limiter l'impact des conditions météorologiques sur les matériaux supports de fondations, qui pourrait entraîner une décompression des sols d'assise et des tassements différentiels importants, ou un retrait important en période sèche, par exemple. Cette protection ou remblayage se fera tout de suite après la mise en œuvre des enduits d'étanchéité sur les soubassements.
- Dans le cas de fondations par semelles isolées, massifs et/ou puits, les longrines seront désolidarisées totalement du sol avec un vide périphérique d'une dizaine de centimètres.

- En l'absence de justification contraire, si des semelles ou des massifs voisins doivent être fondés à des niveaux différents, on respectera une pente maximale de 1H pour 3B (1 de hauteur pour 3 de base) entre les arrêtes des fondations, à moins de dispositions spéciales (redans).



- S'assurer de la bonne rigidification des semelles continues qui seront réalisées suivant le schéma présenté ci-dessous :



**Semelle en forme
de T inversé**

- Prévoir des éventuelles plus-values béton dues à l'éboulement des flancs de fouilles de fondations, du fait de la nature pulvérulente des matériaux. La meilleure solution sera de prévoir un blindage des fouilles de fondation à l'avancement, afin d'assurer la bonne géométrie de cette fondation.
- On s'assurera du respect des règles parasismiques.
- Des dispositions constructives complémentaires seront respectées eu égard à l'extrême sensibilité des sols au phénomène de retrait gonflement (voir 6.2.5).

6.2.5 MESURES PARTICULIERES VIS-A-VIS DU PHENOMENE DE RETRAIT-GONFLEMENT DES SOLS DE FONDATION

Pour des fondations des panneaux photovoltaïques dans les argiles, limons et marnes (couche 1), le sol de fondation sera fortement sensibles au phénomène de retrait-gonflement.

Les variations de teneur en eau au niveau de ces sols provoquent des phénomènes de gonflement et de retrait, qui sont préjudiciables aux bâtiments qui y sont fondés superficiellement, avec un encastrement insuffisant, notamment lorsqu'ils sont légers.

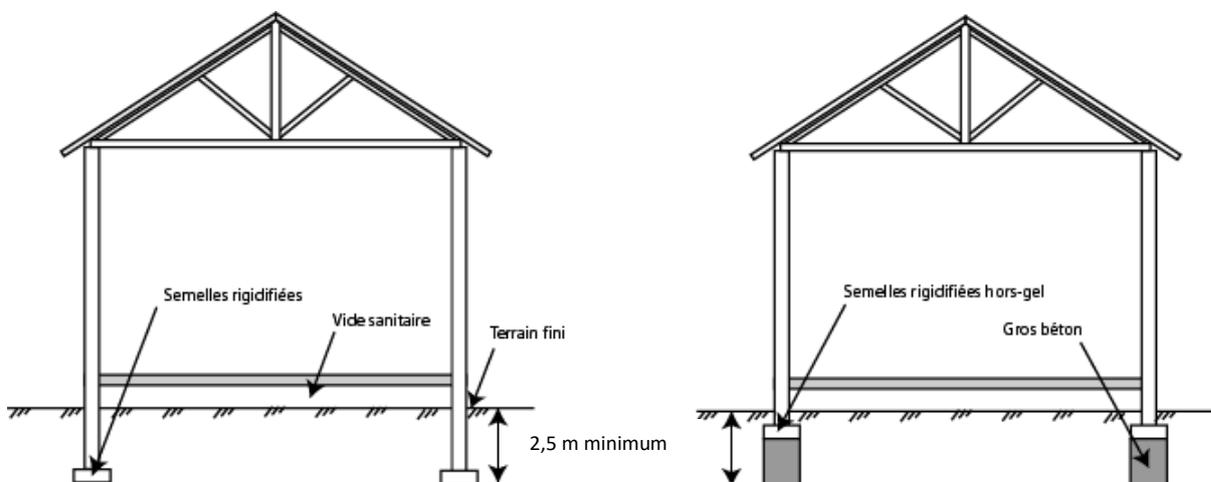
Les causes des variations de teneur en eau peuvent être diverses :

- naturelles lorsque l'on en trouve dans la zone de variation du profil hydrique, ou en cas de sécheresse prolongée,
- artificielles : fuites de canalisation, modification du régime de circulation des eaux superficielles, plantation d'arbres, etc.

A - REGLES DE CONSTRUCTION

Prescription :

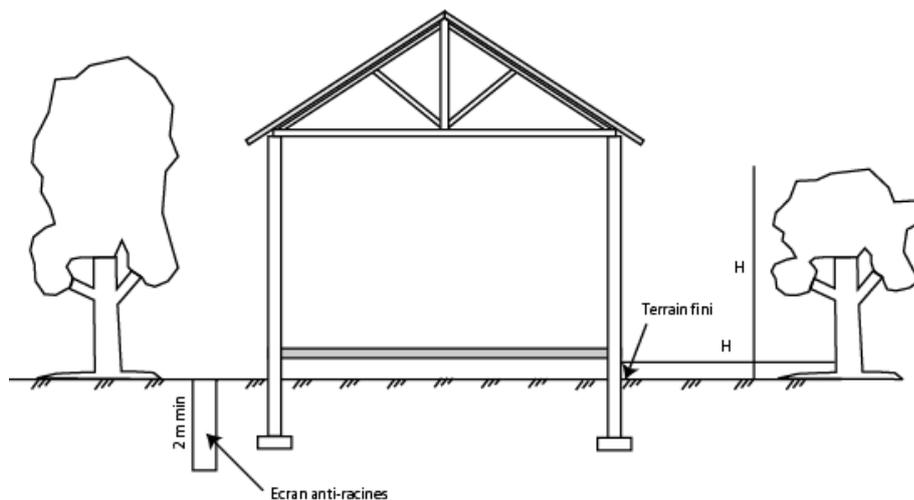
- Préférer les fondations par semelles continues armées et rigidifiées ; les semelles isolées et les massifs seront liaisonnés par des longrines, les longrines seront désolidarisées totalement du sol avec un vide périphérique d'une dizaine de centimètres.
- Terrassements rapides et continus ; coulage des fondations à pleines fouilles, dans les plus brefs délais.
- La profondeur minimale d'ancrage des fondations dans les argiles (couche 1) sera de 0,5 mètre avec un encastrement minimal de 2,5 mètre par rapport au terrain fini extérieur.



B - REGLES RELATIVES A L'ENVIRONNEMENT IMMEDIAT

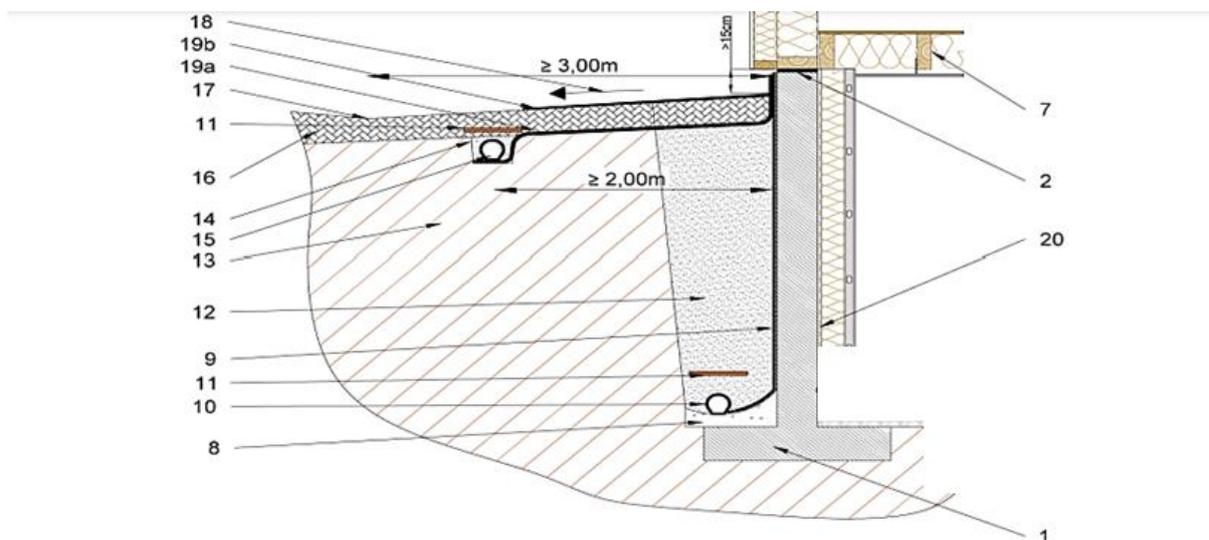
Interdiction :

- De toute plantation d'arbre ou d'arbuste à une distance de tout bâtiment existant, ou du projet, inférieure à leur hauteur à maturité (1,5 fois leur hauteur à maturité en cas d'un rideau d'arbres ou d'arbustes) sauf mise en place d'un écran anti-racines d'une profondeur minimale de 2 m interposés entre les plantations et la construction. Cette mesure sera nécessaire en cas d'arbres existants à moins de les abattre.



Prescription :

- Mise en place de dispositifs assurant l'étanchéité des canalisations d'évacuation des eaux pluviales et usées et notamment de raccords souples.
- Captage des écoulements de sub-surface, par un dispositif de drainage périphérique relié à un exutoire fiable, pérenne et entretenu avec terrasse périmétrique.



1 – Fondation (Semelle + Elévation)	2 – Coupure de capillarité
7 – Plancher RDC	8 – Cunette béton maigre
9 – Cuvelage + Drainage vertical	10 – Drain BATIFIBRE-SN4
11 – Grillage avertisseur marron	12 – Remblais peu perméable
13 – Sol peu ou pas perméable non remanié	14 – Tranchée collectrice
15 – Drain BATIFIBRE -SN4	16 – Sol perméable
17 – Noue / Caniveau / Tranchée Drainante (Réalisé en matériaux granulaire jusqu'à la surface)	18 – Pente d'écoulement des eaux de surfaces
19a – Etanchéité enterré : Membrane d'étanchéité Type BATIPROTEK RGA ou équivalent	19b – Etanchéité de surface (Terrasse, allée en enrobé ou béton, ...)
20 – Lame d'air	

- Rejet des eaux pluviales ou usées et des dispositifs de drainage dans le réseau existant lorsque cela est possible (contacter la mairie) ; à défaut, les éventuels rejets ou puits d'infiltration doivent être situés à une distance minimale de 15 m de toute construction, eu-égard à la très forte sensibilité des sols au retrait-gonflement.

6.3 FONDATION PAR SEMELLES ET/OU MASSIFS ANCRÉS DANS LES CALCAIRES ET LA SUBSTITUTION POUR LE BATIMENT ALDI MARCHE

Rappel : Les sols rencontrés au droit de ce bâtiment sont très hétérogènes avec présence de calcaires en partie Ouest (CG1 et CG2) et absence de calcaires en partie Est (CG3).

La meilleure des solutions serait de procéder à des sondages complémentaires et éventuellement, de décaler le bâtiment pour que celui-ci se retrouve en totalité sur une zone avec présence de calcaires.

Au stade de la présente étude, on pourra envisager un système de fondations mixtes avec des fondations ancrées dans les calcaires en CG1 et CG2 et des fondations ancrées dans une substitution en CG3. Cette solution impliquera une mise en place impérative d'un joint de construction entre les deux parties fondées de manière différente.

6.3.1 NIVEAUX MINIMUM D'ASSISE

a - Une partie du bâtiment sera fondée dans les calcaires (couche 2) (zone des sondages CG1 et CG2). Les fondations seront donc ancrées au minimum de 0,5 m dans les calcaires (couche 2).

En conséquence, les profondeurs minimales des assises par rapport à la surface topographique actuelle et les cotes maximales seront :

CG n°	Prof. (m)	Cote (NGF)
1	1,6	+ 286,9
2	0,6	+ 288,5

☞ Notes :

- **Ancrage** = hauteur de pénétration de la fondation dans la couche d'assise, ici, les calcaires (couche 2).
- L'épaisseur des argiles, limons et marnes (couche 1) pouvant varier sensiblement entre les sondages, seul le critère d'ancrage dans les calcaires (couche 2) sera retenu, ce qui pourra conduire à un approfondissement du niveau des fondations. A cet effet, nous conseillons de commencer les fouilles des fondations au droit des sondages, afin de s'étalonner.
- La recherche du substratum dur pouvant entraîner l'approfondissement des terrassements n'est pas nécessaire pour l'assise des fondations, et il conviendra de respecter la cote d'assise minimale mentionnée dans ce rapport, excepté en présence de poches d'argiles.
- Des sondages complémentaires permettront d'affiner au mieux la profondeur des calcaires car celle-ci est très variable d'un point à l'autre du site.

b- Dans la partie du supermarché ALDI avec absence de calcaires (couche 2) (sondage CG3), il sera nécessaire d'envisager une substitution des sols sur une hauteur d'environ 2,5 m pour pallier le fait que les sols sont très fortement sensibles au retrait-gonflement. Les fondations seront alors ancrées dans la substitution.

Remarque : Des sondages complémentaires sont fortement recommandés en mission G2 AVP pour vérifier l'extension de la zone du sondage CG3 avec présence d'argiles et donc l'extension de la future zone où une substitution sera nécessaire.

6.3.2

CONTRAINTE DE CALCUL

On partira sur une contrainte de calculs q_{ELS} de $1,5 \text{ is.i}\beta \text{ daN/cm}^2$ (= $15 \text{ is.i}\beta \text{ T/m}^2$).

Cette contrainte de calculs sera la même pour la zone ancrée dans les calcaires et la zone ancrée dans la substitution.

6.3.3

EVALUATION DES TASSEMENTS

a) Partie ancrée dans les calcaires (couche 2)

Les tassements totaux et différentiels seront quasi nuls dans ces terrains ; **ils seront donc admissibles.**

Ils seront calculés en mission géotechnique G2 en phase Projet, en connaissant les niveaux d'assise, la largeur des semelles et les descentes de charge aux E.L.S..

b) Partie ancrée dans la substitution

Les tassements totaux seront proches du centimètre et les tassements différentiels seront égaux aux tassements totaux, compte tenu de la très forte sensibilité des sols au phénomène de retrait-gonflement. **Ils deviendront donc inadmissibles et nécessiteront la rigidification des fondations et de la structure (semelles en T inversé et armatures de superstructure très rigides).**

Ils seront calculés en mission géotechnique G2 en phase Projet, en connaissant les niveaux d'assise, la largeur des semelles et les descentes de charge aux E.L.S..

6.3.4

CONSEILS DE MISE EN OEUVRE

a) Fondations ancrées dans les calcaires (couche 2)

- Travailler en période météorologique favorable (ni pluie, ni gel, ni sécheresse) eu égard à la sensibilité des sols à l'eau, qui pourra entraîner des problèmes de traficabilité lors du chantier et des terrassements.
- La profondeur de mise à l'abri des effets du gel peut être évaluée à l'aide de la carte indicative d'origine routière présentée dans l'annexe O de la norme d'application nationale de l'eurocode 7 présentée ci-dessous :



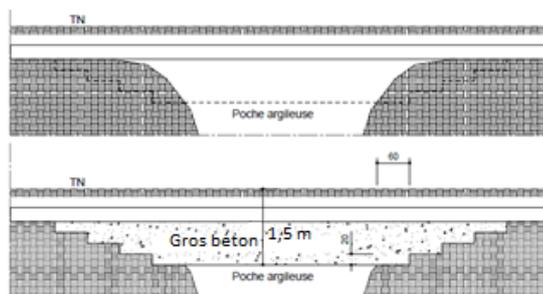
La profondeur de mise hors-gel (modifié par l'amendement N° 1 à la norme NF P 94-261) est égale à : $H \text{ (m)} = H_0 + (A-150)/4000$, avec, A l'altitude en m et H_0 la valeur lue sur la carte pour $A \geq 150$ m.

Ici la profondeur de mise hors gel H sera de 0,8 m minimum.

- Vérification soigneuse des matériaux extraits des fouilles pour assurer le bon ancrage des fondations dans les calcaires (couche 2) ; purger le cas échéant toutes poches de d'argiles, limons, marnes (couche 1), que l'on pourrait encore rencontrer au niveau d'assise retenu, ce

qui pourra conduire à un approfondissement du niveau de fondations entre les sondages et à des volumes de béton supplémentaires.

- Prévoir des possibilités de **pontage** des poches d'argiles, ou de fissures, découvertes aux niveaux d'assise prévus, si les purges sont trop importantes.
Le pontage pourra se faire par un rattrapage en gros béton entre les zones argileuses et les zones calcaires, par redans de 20 cm de hauteur sur 60 cm de long (voir schéma ci-après).



- Evacuation des eaux d'infiltration lors de leur apparition dans les fonds de fouille des fondations ; dans le cas où l'on a une grande fouille, prévoir un fossé drainant périphérique.
- Le rattrapage des niveaux d'assise pourra se faire à l'aide de gros béton, ou de béton maigre coulé pleine fouille.
- Pour l'ancrage dans le substratum calcaire (couche 2), il faudra utiliser un B.R.H.
- Dans le cas de fondations par semelles isolées, massifs et/ou puits, les longrines seront désolidarisées totalement du sol avec un vide périphérique d'une dizaine de centimètres, en cas de présence d'argiles sous-jacents à ces longrines. En aucun cas les longrines ne devront reposer sur les argiles qui sont très fortement sensibles au retrait-gonflement. Le vide périphérique est donc impératif.
- On s'assurera du respect des règles parasismiques.

b) Fondations assises dans une substitution

1. Travail impératif en période météorologique favorable : favoriser un état hydrique moyen pour les sols, éviter les périodes pluvieuses ou post pluvieuses. Dans le cas contraire la grande sensibilité à l'eau des sols entrainera vraisemblablement des purges complémentaires, voire des interruptions de chantier.
2. Purge soignée de la terre végétale et des 2,5 m premiers mètres sous la base du niveau bas (niveau 0, dallage) et des sols détériorés par les engins de terrassement ou par les eaux de pluie,
3. Compactage du fond de forme à 95 % de l'Optimum Proctor Normal (O.P.N.). Cette opération ne sera réalisable que si les sols ne présentent qu'une teneur en eau faible ou voisine de l'O.P.N..

Dans le cas contraire, à la suite d'intempéries par exemple et s'il est impossible d'attendre que le terrain s'assainisse, on envisagera un **cloutage**, c'est-à-dire incorporation par compactage et jusqu'à refus d'éléments inertes et durs 50/100 mm ou équivalents (concassé de roche dure non gélive, galets, matériaux de démolition sans plâtre ni bois, par exemple) ; c'est la meilleure solution pour obtenir l'effet de « couche enclume ». Attention cette solution peut nécessiter des quantités importantes de matériaux et la purge des sols fins remontés en surface lors de l'incorporation. En cas de remontée d'eau, ce cloutage sera accompagné d'un drainage de la plateforme et éventuellement du rabattement des eaux.

4. Un géotextile de classe élevée pour éviter sa perforation sera mis en place à l'interface avec les sols pour éviter la contamination des nouveaux remblais.
5. Le matériau de remblai devra répondre aux recommandations du fascicule "Caractéristiques des matériaux de remblai supports de fondations" LCPC-SETRA de 1980 et du guide technique « Réalisation des remblais et des couches de forme » LCPC-SETRA de 2023.
6. Les RSF devant supporter des dallages, il conviendra également de respecter la Norme NF P 11-213-1-1 – DTU 13.3 en ce qui concerne le choix des matériaux.
7. Les matériaux de remblais devront être de bonnes qualités, choisis de préférence parmi les classes R21, R41 ou R61 et D21, peu gélifs et peu fragmentables. Meilleures seront leurs caractéristiques intrinsèques, meilleure sera la dispersion de contrainte dans ces remblais.
8. Les premières épaisseurs des RSF pourront être réalisées avec des matériaux de granulométrie 0/150 mm puis en granulométrie 0/80 mm et enfin les 50 derniers centimètres seront réalisés en granulométrie ou 0/31,5 mm.
9. La plateforme des remblais devra avoir une sur-largeur d'au moins 2 m en périphérie du projet pour assurer un compactage soigné des remblais en rive, et une stabilité accrue eu-égard à la zone sismique. Cette sur-largeur devra être entretenue.
10. Afin d'obtenir une plateforme de remblais supports de fondation de qualité optimale, les matériaux seront mis en œuvre selon une technique adaptée à la réalisation d'une couche de forme, selon le GTR 2023.
11. L'épaisseur de chacune des couches mises en œuvre ne dépassera pas les valeurs limites indiquées dans les recommandations du Guide pour la réalisation des remblais et des couches de forme LCPC-SETRA de juin 2023, compte tenu de la classe des matériaux, de leur fuseau granulométrique et de la classe d'engin de compactage (Norme NF P 98-736).
12. Le taux de compactage à atteindre au droit des futures constructions sera au minimum de 98,5 % de l'O.P.N.. (optimum proctor normal (Norme NF P 94-093), qualité de compactage Q3), et aucune des valeurs mesurées ne sera inférieure à 96 % de l'O.P.N..
13. Le contrôle du compactage se fera à l'aide d'essais de plaque. Les valeurs cibles à atteindre en haut de plateforme seront les suivantes :
 - Coefficient de réaction Westergaard sous chargement d'une plaque (Norme NF P 94-117-3) $\geq 7 \text{ daN/cm}^2$ (70 MPa/m),

- Module EV2 sous chargement dynamique à la dynaplaque (Norme NF P 94-117-1) ou sous chargement dynamique à la plaque (Norme NF P 94-117-2) ≥ 70 MPa,
 - Rapport EV2/EV1 $\leq 2,5$.
14. Les remblais étant destinés à recevoir des fondations, il sera nécessaire à la fin de la mise en œuvre de s'assurer que les caractéristiques mécaniques permettent de supporter les charges prévues. Il conviendra donc de prévoir une campagne d'essais de mécanique des sols appropriés (essais de pénétration dynamique selon la norme NF EN ISO 22476-2 et/ou essai au pressiomètre selon la norme NF EN ISO 22476-4).

Cette campagne permettra de définir précisément le taux de travail du sol et les tassements à attendre sous les charges considérées.

En première approche, on visera l'obtention d'un taux de travail admissible qELS égal à 1,5 daN/cm² (15 T/m²).

Ces contrôles se feront dans le cadre d'une mission de suivi d'exécution G3 selon la norme NF P 94-500 de novembre 2013 ou éventuellement en mission de diagnostic géotechnique de type G5.

NOTE IMPORTANTE :

Respecter la garde hors gel en vigueur dans la région.

Nous conseillons la réalisation de 2 à 3 séries d'essais de plaque (1 série à 1 m de hauteur, 1 série à 2 m de hauteur, 1 série à 2,5 m de hauteur).

15. Un drainage en amont des remblais supports de fondation devra être réalisé. Les eaux seront évacuées vers un exutoire existant ou à construire, fiable et pérenne.
16. Le drainage de la base des remblais, réalisé en phase travaux, devra être pérenne une fois les travaux terminés.
17. Le drainage du corps de remblais devra également être assuré pour éviter toutes circulations d'eau à l'intérieur des remblais qui pourraient entraîner un lessivage des fines et l'apparition de tassements importants.

Les eaux seront dirigées vers un exutoire existant ou à construire, fiable et pérenne.

18. Une étanchéité soignée de la surface des remblais par la mise en œuvre d'un enduit de cure en phase chantier et des enrobés à long terme devra être réalisée.
19. Une gestion soignée des eaux pluviales sera mise en œuvre. Les réseaux humides présenteront une étanchéité soignée et pérenne. Les eaux de ruissellement seront éloignées du bâtiment.
20. Il ne devra pas être envisagé l'infiltration des eaux pluviales dans le nouveau remblai.
21. Pas de végétation dans les RSF à moins de mettre en place des dispositifs fiables et pérennes empêchant la prolifération des racines dans le corps de remblai.

6.3.5**JOINTS DE CONSTRUCTION**

Il sera nécessaire de mettre en place un joint de construction entre la partie fondée dans la substitution et la partie fondée dans les calcaires (couche 2).

Ce joint intéressera toute la hauteur de l'ouvrage y compris les fondations elles-mêmes.

VII -**DALLAGES**

Nous rappelons qu'à ce stade la cote exacte des niveaux bas projet ne nous a pas été communiquée.

Nous rappelons également que les argiles, limons et marnes (couche 1) sont très fortement sensibles au phénomène de retrait-gonflement.

Dans ces conditions, les dallages pourront être mis sur terre-plein si et seulement s'ils reposent en totalité, soit sur les calcaires (couche 2), soit sur la substitution.

Tous les dallages reposant sur les argiles devront impérativement être portés par les fondations et mis sur vide sanitaire. Cela implique qu'il faudra donc soit purger et substituer les argiles, soit faire porter les dallages par les fondations et les mettre sur vide sanitaire ou sur biocoffa eu-égard à la sensibilité au retrait-gonflement dans les zones où l'épaisseur de ces argiles est trop importante, en CG11 par exemple.

Pour rappel, l'épaisseur des argiles, limons et marnes est la suivante :

Sondage N°	Prof. (m)
CG1	1,3
CG2	Absents
CG3 / 3A / 3B	Totalité
CG4	1,4
CG4A	1,5
CG4B	Totalité
CG4C	1,2
CG5	1,2
CG6	0,7
CG7	1,2
CG8	2,6
CG9	0,8
CG10	0,7
CG11	2,3
CG12	0,4
CG13	Absents
CG14	0,7
CG15	0,8
PM16	Totalité

PM17	0,5
CG18	0,9
PM19	Totalité
PM20	Totalité
PM21	1,6
PM22	Absents
PM23	Totalité
PM24	Absents
PM25	0,6
PM26	Totalité.

Les dallages pourront donc être mis sur terre-plein, si et seulement s'ils reposent sur les calcaires ou la substitution.

7.1 CLASSIFICATION DU DALLAGE ETUDIE

Les surcharges prévues sur les dallages ne nous ont pas été communiquées.

Les dallages rigides sont régis par la norme NF P11-213-1-1-1 de décembre 2021 qui définit les règles de conception, de calcul et d'exécution des dallages en béton à base de liants hydrauliques pour tous types d'ouvrages, hors maisons individuelles.

7.2 TASSEMENT GENERAL

Les dallages sur terre-plein reposeront soit sur une substitution correctement compactée, soit sur des calcaires incompressibles.

Dans ces conditions, le tassement sera admissible car inférieur au demi-centimètre.

7.3 PRECAUTIONS DE MISE EN OEUVRE

Si les dallages sont mis en œuvre sur les terrassements, (si et seulement s'ils reposent sur les calcaires (couche 2) ou sur la substitution), on respectera les modalités de réalisation suivantes :

1. Travail de préférence en période météorologique favorable : favoriser un état hydrique moyen pour les sols, éviter les périodes pluvieuses ou post pluvieuses. Dans le cas contraire la grande sensibilité à l'eau des sols entrainera vraisemblablement des purges complémentaires et l'épaississement de la couche de forme, voire des interruptions de chantier.

2. Purge de la terre végétale et de la totalité des argiles, limons et marnes (couche 1). **Dans l'impossibilité, faire porter les dallages par les fondations et les mettre sur vide sanitaire ou sur biocoffra.**
3. Compactage du fond de forme à 95 % de l'Optimum Proctor Normal (O.P.N.).
4. Un géotextile de classe élevée pour éviter sa perforation sera mis en place à l'interface avec les sols pour éviter la contamination des nouveaux remblais.
5. Mise en place d'une couche de réglage en sable fin de maçonnerie pour l'accueil des couches d'isolation.
6. Contrôle de la couche de réglage ou du massif de substitution, à l'aide d'**essais de plaque**. Les critères de réception du support sont :
 - $EV2 \geq 50$ MPa pour les charges d'exploitation avec des charges réparties ≤ 20 kN/m², ou des charges concentrées fixes ≤ 20 kN, ou des charges concentrées mobiles ≤ 20 kN/roue ;
 - indice de compactage : $EV2/EV1 \leq 2,2$. L'indice de compactage $EV2/EV1$ n'est pas pertinent dans certaines situations qui sont précisées en Annexe A (A.2.4) ;
 - K_w (Westergaard) ≥ 70 MPa/m, soit 7 bar/cm, avec une valeur minimale de 50MPa/m.

AVERTISSEMENT :

- Nous rappelons que les dallages ne pourront être mis sur terre-plein que s'ils reposent en totalité sur les calcaires ou sur la substitution.
- Les matériaux d'apport seront conformes aux prescriptions de la norme NF P 11-213-1-1-1 de décembre 2021.
- **Les épaisseurs de la préparation des sols et de la couche de forme préconisées à chaque étape sont minimales.** Il ne pourra nous être reproché ce pré-dimensionnement en mission G2 d'avant-projet si les conditions du chantier conduisent à l'épaississement de cette couche de forme ou à la mise en œuvre de techniques particulières pour obtenir les valeurs de réception de la plateforme ; **des missions complémentaires G2 en phase projet ou G3 et G4 en phase d'exécution permettront de réduire les aléas importants ou résiduels** concernant le comportement des sols lors des terrassements, en fonction de leurs propriétés hydriques pressenties ou constatées.
- Pour la mise en place de la substitution, on se référera au chapitre 6.3.

VIII -

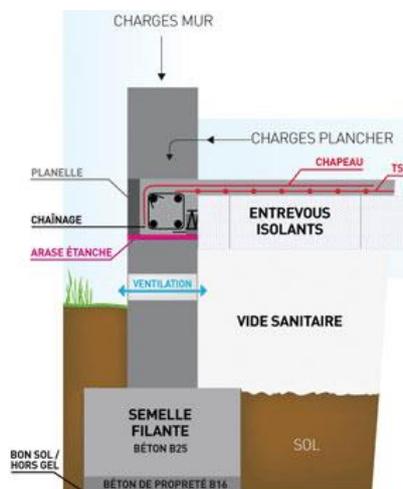
L'EAU DANS LE SOL

Aucune arrivée d'eau n'a été constatée lors de notre mission.

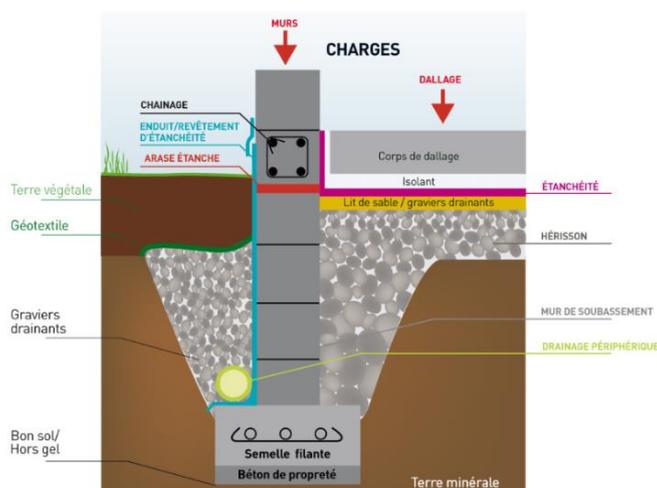
Il sera cependant nécessaire de protéger les parties enterrées du projet (quais de déchargement, etc.) contre les eaux infiltrées qui circulent de façon anarchique dans les terrains superficiels,

par un système de drainage périphérique collectant ces eaux et les évacuant vers un exutoire existant ou à construire, fiable et pérenne.

Si ce drain est mis en place dans les argiles, il devra être déporté voir schéma ci-dessous.



Sinon il pourra s'agir d'un drainage traditionnel si les parties enterrées se trouvent dans les calcaires (couche 2).



IX - CHAUSSEES ET PARKINGS : PREDIMENSIONNEMENT

9.1

METHODOLOGIE

A ce stade, le trafic ne nous a pas été communiqué. Nous sommes donc partis sur un trafic TC_{2 20} (68 poids lourds maximum par jour et par sens de circulation). Nous avertir si ce n'est pas le cas.

Dans ce cas, le dimensionnement peut être réalisé en utilisant :

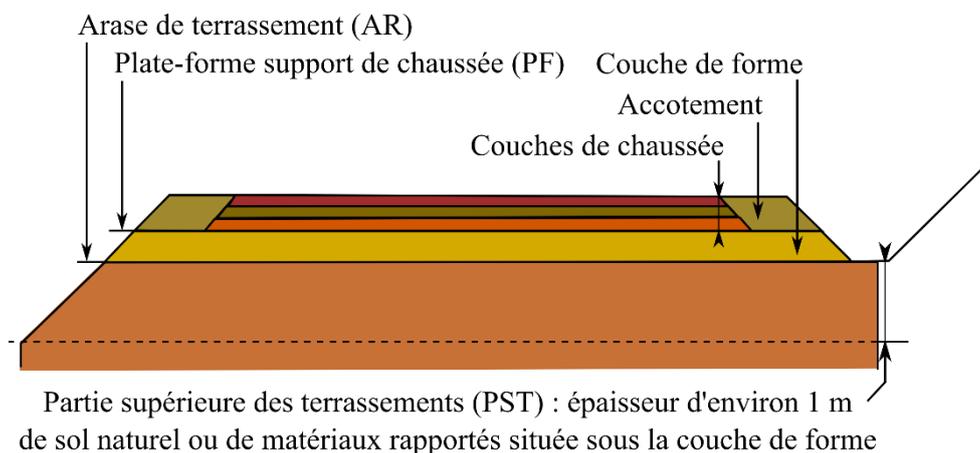
- Les fascicules 1 et 2 du guide technique pour la réalisation des remblais et des couches de forme, LCPC-SETRA de juillet 2000,
- Le guide technique de conception et de dimensionnement des structures de chaussées, LCPC-SETRA de décembre 1994 et le catalogue des structures type de chaussées neuves LCPC-SETRA de 1998 adaptés pour les faibles trafics.

Nous précisons que ce pré-dimensionnement est réalisé sur la base des données disponibles au moment de notre mission d'avant-projet. Une étude de dimensionnement de type G2 en phase projet doit être réalisée et nécessite de connaître les niveaux définitifs des chaussées et le trafic à attendre et éventuellement de réaliser des essais de caractérisation des sols complémentaires.

9.2

COUCHE DE FORME

La couche de forme se situe à l'interface avec le terrain naturel et les couches de chaussées :



La purge de la terre végétale est obligatoire.

La partie supérieure des terrassements sera alors composée soit par des argiles, limons et marnes (couche 1) très sensibles aux conditions météorologiques, la pluie en particulier, soit par des calcaires (couche 2).

Si le fond de forme est constitué en totalité par les calcaires (couche 2), il ne sera pas nécessaire de prévoir une couche de forme, une simple couche de réglage sera suffisante.

Si le fond de forme est constitué par des argiles (couche 1), il sera alors nécessaire de mettre en place une couche de forme.

Une classe minimum de plate-forme PF de 2 (module sous chargement statique à la plaque EV2 ≥ 50 MPa, module sous chargement dynamique à la dynaplaque E ≥ 50 MPa ou déflexion mesurée selon la norme NF P 98-200 inférieure à 2 mm) au moment des travaux est demandée pour une bonne circulation des véhicules de chantier.

Les épaisseurs de couche de forme, au stade de ce pré-dimensionnement ont été déterminées selon le guide technique de réalisation des remblais et des couches de forme de juillet 2000. Elles dépendent, pour des matériaux choisis, de la nature et des conditions hydriques des matériaux en place, de l'occurrence d'une éventuelle remontée de nappe et des choix techniques retenus.

Elles sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Période des travaux	PST estimée	AR estimée	Epaisseur minimale couche de forme selon matériaux (cm)
Pluie, même faible, état hydrique (th) <i>Les engins s'embourbent</i>	0	0	Purges, drainage pour reclasser AR1
Post-pluvieux, état hydrique (h) <i>Les engins s'enfoncent</i>	1	1	R ₂₁ , R ₄₁ , R ₆₁ : 60 R ₂₁ , R ₄₁ , R ₆₁ : 45 avec géotextile D ₂₁ : 75 D ₂₁ : 60 avec géotextile → PF2
Pas de pluie, état hydrique (m), portance pouvant chuter avec remontée d'une nappe et infiltrations <i>Traficabilité normale</i>	2	1	R ₂₁ , R ₄₁ , R ₆₁ : 50 R ₂₁ , R ₄₁ , R ₆₁ : 40 avec géotextile D ₂₁ : 50 D ₂₁ : 40 avec géotextile → PF2

AVERTISSEMENTS :

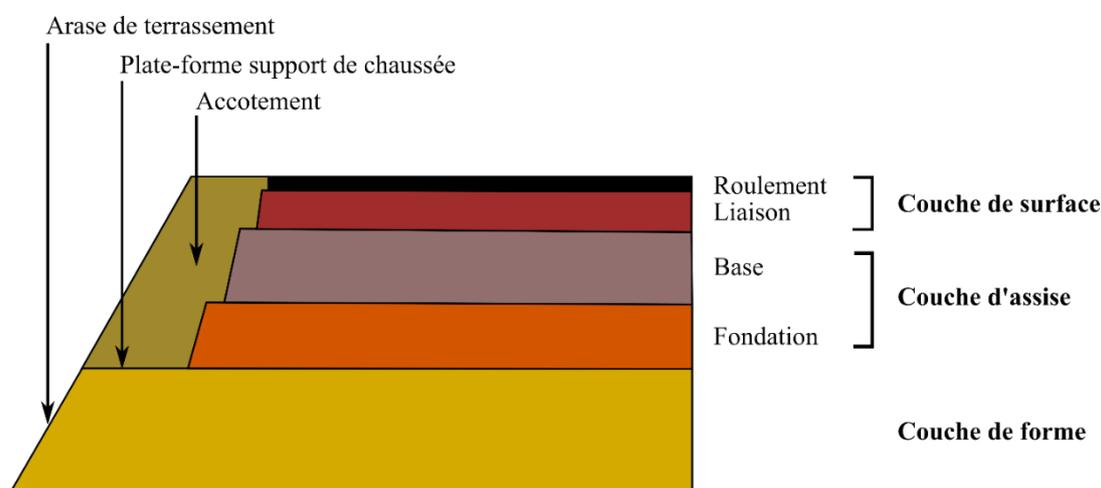
- Le géotechnicien ne saurait être tenu comme responsable dans le cadre de son pré-dimensionnement, car il n'est maître ni de la compétence de l'entreprise, ni de la météorologie de la période d'exécution du chantier.
- L'entreprise est responsable de sa couche de forme en appliquant les règles de l'art, c'est à dire les règles du GTR 2000, même dans le cadre de travaux traités au forfait. L'entreprise est tenue d'adapter une épaisseur de couche de forme conforme à l'état réel du sol-support à l'époque du chantier, en appliquant le fascicule II, et au besoin en augmentant son épaisseur pour obtenir PF = 2. Dans les conditions météorologiques exceptionnellement défavorables (PST proche de 0 et AR 0), et s'il est impossible d'attendre que le terrain s'assainisse, la solution sera recherchée par une opération de terrassement supplémentaire (purge, substitution, cloutage ou les trois), et/ou de drainage (fossés profonds), de manière à pouvoir reclasser le nouveau support obtenu au moins en classe AR1.

- c) Le géotextile contribue à l'amélioration de la portance en évitant la contamination d'une couche de forme non traitée, **dans des conditions météorologiques défavorables par exemple**. Attention, dans certaines conditions, le géotextile contribue à piéger l'eau dans les sols fins à granulométrie serrée, et ainsi au matelassage lors du compactage.
- d) Dans des conditions météorologiques très favorables (été), on pourra éventuellement diminuer l'épaisseur de la couche de forme en suivant strictement les directives du fascicule technique SETRA n° II.

9.3

CHAUSSEES

Les chaussées sont constituées par les couches suivantes :



Différentes structures de chaussée sont proposées :

- Structure GB3 / GB3 avec GB3 = Grave Bitume 0/14 de classe 3.
- Structure EME2 / EME2 avec EME2 = Enrobé à Module Elevé 0/10 ou 0/14 de classe 2.
- Structure GNTB2 / GNTB2 avec GNTB2 = grave non traitée obtenue par mélange de deux (ou plusieurs) fractions granulométriques différentes, humidifiée en centrale pour obtenir une compacité minimale de 82% à l'Optimum Proctor Modifié O.P.M..
- Structure GNTA ou B1 / GNTA ou B1 (appelée aussi GNT / GNT) avec GNTA = GNT obtenue en une seule fraction (tout-venant) directement sur une installation de criblage et de concassage, permettant d'obtenir une compacité minimale à l'OPM de 80 % et GNTB1 idem à GNTB2 excepté pour l'obtention de la compacité minimale à l'OPM limitée à 80 %.
- Structure GB3 / GNTB2.
- Structure GB3 / GNTA ou B1 (appelée aussi GB3 / GNT).

La couche de roulement par défaut sera en béton bitumineux souple (BBS).

En fonction de la classe de trafic définie précédemment et avec une plateforme de classe PF2, les épaisseurs des différentes couches sont données ci-dessous :

	Structure de chaussée	couche de roulement en BBS (cm)	couche de base (cm)	couche de fondation (cm)
Voiries de desserte	GB3 / GB3	6	12 ^{(1) (2)}	
	EME2 / EME2	2,5	10 ^{(1) (2)}	
	GNTB2 / GNTB2	6	20	25
	GNT / GNT	6	25	30
	GB3 / GNTB2	4	9	30
	GB3 / GNT	4	9	35
Parkings et voiries annexes	GB3 / GB3	6	9 ^{(1) (2)}	
	EME2 / EME2	2,5	9 ^{(1) (2)}	
	GNTB2 / GNTB2	6	15	25
	GNT / GNT	6	20	30
	GB3 / GNTB2	4	8	25
	GB3 / GNT	4	8	30

⁽¹⁾ la couche de base est assimilée à la couche de fondation et inversement.

⁽²⁾ lorsque l'épaisseur totale de matériaux bitumineux est inférieure ou égale à 12 cm, un nivellement de la plateforme à +/- 2 cm devra être réalisé.

D'autres variantes de constitution de chaussées et parkings peuvent être envisagées en fonction des matériaux disponibles localement.

On devra s'assurer de la compatibilité des différentes couches et que la portance est équivalente à celle indiquée des structures précédentes.

La composition de l'enduit tiendra compte des efforts d'arrachage par les manœuvres des camions de livraison.

Remarque : Ce dimensionnement sera affiné en mission G2 PRO en connaissant la cote réelle du niveau des voiries ainsi que le trafic estimé.

CONCLUSIONS

Les sondages ont reconnu :

Couche 1 : des **limons +/- argileux, des argiles +/- limoneuses et des marnes**, sur une épaisseur de 0,7 m et plus de 6 m, de classe GTR F3 et F4 et donc très fortement sensibles au retrait-gonflement. Ces formations sont absentes en CG2, CG13 et PM24.

Couche 2 : des **calcaires +/- altérés**, au-delà.



Il n'a pas été rencontré d'eau dans le sol le 13/05/2024 et du 22 au 29/07/2024.



Rappel : A ce stade, la cote exacte des niveaux bas ne nous a pas été communiquée.

Les sondages ont permis de mettre en évidence des terrains très hétérogènes.

- **Zone 1** : une zone comprenant les sondages CG4 à CG15 et les sondages PM22, PM23, PM24, et PM25, où le calcaire a été atteint.
- **Zone 2** : une zone située à l'Est de la ligne électrique aérienne (sondages CG1, CG2, CG3, PM16, PM17, PM18, PM19, PM20, PM21 et PM26) avec la couche calcaire qui n'est pas présente au droit de tous les sondages (par exemple absente au droit de CG3).

Dans ces conditions, on pourra envisager les systèmes de fondations suivants au choix :

- **Zone 1** (sondages CG4 à CG15 et PM22 à PM25) : fondations par **semelles et/ou puits** ancrés dans les calcaires (couche 2).

Soit un niveau minimum d'assise de 0,7 à 2,9 m au droit des sondages par rapport à la surface topographique du terrain au moment des forages.

Ces fondations seront dimensionnées sur **la base du taux de travail admissible $q_{ELS,E7}$ des calcaires (couche 2) de 4,7 i_{δ.iβ} daN/cm² (= 47 i_{δ.iβ} T/m²).**

- **Zone 2a** : panneaux photovoltaïques : ces panneaux se trouvent à priori dans une zone mixte avec présence de calcaires par exemple en PM21 et CG1, et absence de calcaires en PM20 et CG3. Les panneaux photovoltaïques seront donc fondés par **semelles et/ou massifs** ancrés dans les calcaires dans la zone de PM21 et CG1 et ancrés dans les argiles moyennant des précautions vis-à-vis du retrait-gonflement des sols de fondations dans la zone de CG3 / PM20.

Les fondations ancrées dans les calcaires seront dimensionnées sur **la base du taux de travail admissible $q_{ELS,E7}$ des calcaires (couche 2) de 4,7 i_{δ.iβ} daN/cm² (= 47 i_{δ.iβ} T/m²).**

Les fondations ancrées dans les argiles seront dimensionnées sur **la base du taux de travail admissible q_{ELS} de 1,0 daN/cm² (= 10 T/m²).**

- **Zone 2b** : pour le bâtiment ALDI, il faudra envisager une solution de fondations mixtes pour moitié ancrées dans les calcaires (zone CG1 et CG2) par **semelles et/ou massifs**, et pour moitié ancrées dans un **massif de substitution des argiles** (zone du sondage CG3) eu-égard à la très forte sensibilité des sols au phénomène de retrait-gonflement.

On tablera sur un taux de travail admissible de **1,5 daN/cm² (= 15 T/m²).**

Un joint de construction devra être placé entre la zone fondée dans les calcaires et la zone fondée dans la substitution.

Pour chacune de ces zones, des prescriptions complémentaires seront à respecter eu-égard à la forte sensibilité des sols au phénomène de retrait-gonflement.



Les dallages pourront être mis sur terre-plein, si et seulement s'ils reposent en totalité sur les calcaires (couche 2) ou sur la substitution.

S'ils reposent en partie ou en totalité sur les argiles (couche 1), ils seront alors portés par les fondations et mis sur vide sanitaire ou sur biocoffra eu-égard à la forte sensibilité des sols au phénomène de retrait-gonflement.



L'étude des terrassements est au chapitre V. Les suggestions dues à l'eau figurent au chapitre VIII. Le prédimensionnement des chaussées est au chapitre IX.



L'intégralité du contenu de ce rapport est supposée connue de l'ensemble des intervenants sur ce projet.

Le maître d'ouvrage, son assistant, et/ou le maître d'œuvre du projet veilleront au respect des prescriptions de ce rapport, ainsi qu'au bon enchaînement des missions géotechniques décrites dans la norme NP P94-500 de novembre 2013.

Selon la Norme NF P 94-500 de novembre 2013, cette étude sera obligatoirement complétée lors de l'étude géotechnique de projet (mission G2 phase PRO).



Eu-égard à la très forte hétérogénéité des sols (présence ou non d'argiles fortement sensibles au retrait-gonflement), nous recommandons vivement aux concepteurs de prévoir des sondages complémentaires en mission G2 PRO qui permettront d'évaluer l'épaisseur exacte d'argiles et donc de déterminer la faisabilité ou non des fondations dans les calcaires, la faisabilité ou non de mise en place d'un dallage sur terre-plein. Ils permettront également d'affiner les quantités de brise roche et les quantités béton. Au droit de la zone du futur ALDI, ils permettront de déterminer la zone où la substitution est nécessaire avec plus de précision.



Nous restons à la disposition des différents intervenants pour tous renseignements complémentaires.

L'ingénieur chargé du dossier
Delphine BARDEY-GERVAIS

Contrôle Qualité
Hélène LAURENT