



NOTE DE CALCUL DE STRUCTURE

Mur de fondation en béton armé appuyé en tête

Calcul selon CSA A23.3:19 avec charges selon le CNB 2020

Projet	Résidence Tremblay — Basement Addition (EXAMPLE)	N° de projet	W-2026-0042
Adresse	1234 Rue Exemple, Montréal QC	Date	2026-07-06
Client	Entreprise Exemple inc.	Rév.	A – Exemple – pas pour construction
Préparé avec	Equilibrio Wall · engine v0.2.0-draft · KAT suite 49 passed, 1 skipped (PUBLISHED layer pending) (registre public: equilibrio.build/validation)	ID du rapport	EQ-A22E7A60
Ingénieur responsable	_____ (nom, n° de permis)	Statut	EXAMPLE

0.0 Table des matières

• Sommaire exécutif	2
1 Critères de calcul, matériaux et références	3
2 Géométrie, conditions d'appui et poussées latérales	4
3 Combinaisons de charges et analyse	5
4 Vérifications (trace citée par article)	7
5 Sommaire des résultats et armature spécifiée	9
6 Limitations déclarées, hypothèses et historique des révisions	10
7 Annexe — écho des données et déclaration de validation	11

Outil d'aide au calcul — n'est pas un avis d'ingénierie. Tous les résultats exigent la révision et l'acceptation de l'ingénieur responsable (le §7 énumère ce qui n'a pas été vérifié).

Sommaire exécutif

TOUTES VÉRIFICATIONS CONFORMES

Vérification déterminante: CHK-06 – Crack control – z method
(Gergely–Lutz form) · 89% · Régi par une exigence minimale du code

Données de calcul		Sommaire exécutif	
Hauteur retenue	2.60 m	Section du mur	200 mm × 2.60 m (hauteur retenue 2.60 m)
Portée L	2.60 m	Béton	f'c = 25 MPa · enrobage 40 mm
Épaisseur	200 mm	Sol (déclaré)	γ = 19 kN/m³ · φ' = 30° (GR-2025-114 §5.2)
Béton f'c	25 MPa	Combinaison déterminante	C2: 1.5H + 1.5L
Acier f_y	400 MPa	Moment déterminant	M_f = 19.0 kN·m/m @ z = 1.47 m
Remblai γ	19 kN/m³	Effort tranchant déterminant	V_f = 31.1 kN/m (à d_v de la base)
Frottement φ'	30°	Réactions d'appui	R_top = 20.7 · R_base = 36.8 kN/m
Surcharge q	4.8 kPa	Armature verticale	15M @ 300 (face intérieure)
Nappe phréatique	sous la semelle	Armature horizontale	10M @ 250
		État	CHK-01 Flexural resistance, vertical steel 59% CHK-02 One-way shear at d_v from base support 33% CHK-03 Minimum vertical reinforcement ≥ min (45%) CHK-04 Minimum horizontal reinforcement ≥ min (100%) CHK-05 Bar spacing limits ≥ min (60%) CHK-06 Crack control 89% CHK-08 Footing bearing pressure 36%

Dérivations complètes citées par article pour chaque valeur : §5. Cette page est une aide à la lecture, non un substitut aux vérifications.

1. Critères de calcul, matériaux et références

1.1 Codes et références

Document	Édition	Rôle
CSA A23.3	2019	Calcul du béton
NBC	2020, Div. B Part 4	Charges, combinaisons, poussée des terres
Référence géotechnique	GR-2025-114 §5.2	Paramètres du sol, capacité portante

L'identifiant EQ-A22E7A60 est un hachage déterministe de l'écho des données (annexe) et de la version du moteur : des données et un moteur identiques reproduisent exactement cet identifiant, ce qui permet de vérifier que deux copies de cette note décrivent le même calcul.

1.2 Matériaux

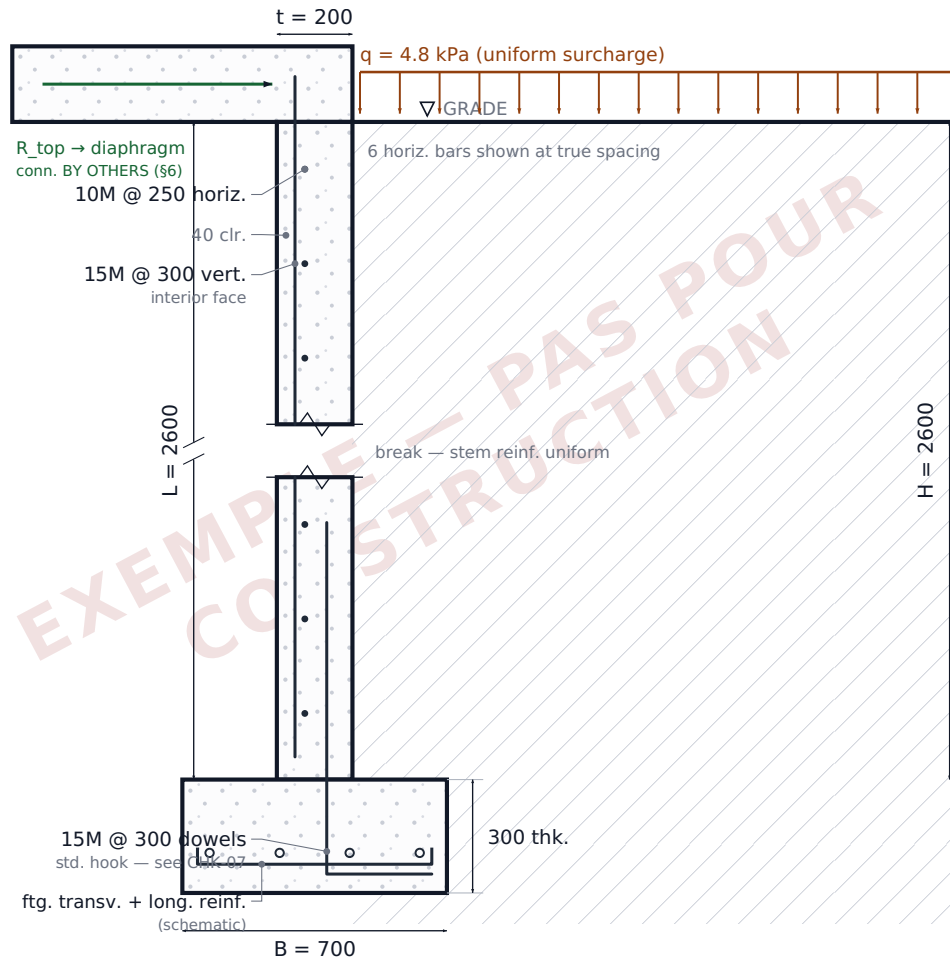
Propriété	Valeur	Source / article
Béton f'_c (28 j)	25 MPa	spécifié
Armature f_y	400 MPa	CSA G30.18
γ béton	24.0 kN/m ³	supposé, densité normale
Enrobage — face intérieure (armature tendue)	40 mm	déclaré par l'utilisateur

1.3 Paramètres du sol — source déclarée

Paramètre	Valeur	Source
Poids volumique du remblai γ	19.0 kN/m ³	GEOTECH_REPORT · GR-2025-114 §5.2
Angle de frottement effectif ϕ'	30°	GEOTECH_REPORT · GR-2025-114 §5.2
Capacité portante admissible (ÉLS)	150 kPa	GEOTECH_REPORT · GR-2025-114 §5.2
Nappe phréatique	sous la semelle	GEOTECH_REPORT · GR-2025-114 §5.2

Equilibrio Wall ne suppose aucun paramètre de sol. Les valeurs ci-dessus ont été saisies par l'utilisateur avec la source indiquée ; l'ingénieur responsable répond de leur applicabilité.

2. Géométrie, conditions d'appui et poussées latérales



SECTION A-A — PROPPED FOUNDATION WALL

500 mm

DIMS mm · SCALE 1:20

Fig. 2-1 — Coupe, idéalisation des appuis et distribution de la poussée au repos. Dimensions en mm. Idéalisation rotule-rotule ; voir l'hypothèse de phase de construction A-3 (§6).

2.1 Idéalisation des appuis

Le mur est modélisé comme un élément vertical unidirectionnel sur appuis simples, de portée $L = 2.600$ m entre la dalle / le diaphragme de plancher (en tête) et la semelle (en pied). L'encastrement à la semelle est négligé de façon conservatrice pour la flexion. L'appui en tête est supposé effectif ; ceci n'est valable qu'une fois le diaphragme en place et connecté — voir l'hypothèse A-3.

2.2 Poussée latérale des terres

$K_0 = 1 - \sin \phi' = 1 - \sin 30^\circ = 0.500$ [at-rest; propped wall convention – A-1]
 $p_0(z) = K_0 \cdot \gamma \cdot z$; p at base = 27.1 kPa (service) [γ, ϕ' per GR-2025-114 §5.2]
Surcharge $q = 4.8$ kPa (uniform) → $p_q = K_0 \cdot q = 2.4$ kPa [user-declared; treated as L]

2.3 Stations de pression et d'efforts internes (combinaison déterminante)

z (m)	p service (kPa)	p pondérée (kPa)	V_f (kN/m)	M_f (kN·m/m)
0.00	2.4	3.6	20.7	0.0
0.33	5.5	8.2	18.8	6.5
0.65	8.6	12.9	15.4	12.1
0.98	11.7	17.5	10.5	16.3
1.30	14.8	22.1	4.0	18.7
1.62	17.8	26.8	-3.9	18.8
1.95	20.9	31.4	-13.4	16.0
2.27	24.0	36.0	-24.3	9.9
2.60	27.1	40.6	-36.8	0.0

Stations à L/8 ; le moteur fournit toute station sur demande dans le projet sauvegardé.

3. Combinaisons de charges et analyse

Combinaison	coefficient sur H (terres)	coefficient sur L (surcharge)	Article	Déterminante
C1: 1.5H	1.50	0.00	NBC 2020 Cl. 4.1.3.2	
C2: 1.5H + 1.5L	1.50	1.50	NBC 2020 Cl. 4.1.3.2	✓

Governing combination: C2: 1.5H + 1.5L
 $R_{top} = 20.7$ kN/m ; $R_{base} = 36.8$ kN/m
 $M_{f,max} = 19.0$ kN·m/m at $z \approx 1.47$ m below top
 V_f at d_v from base support = 31.1 kN/m

Enveloppe calculée numériquement à partir des profils de pression ; l'effort tranchant est enveloppé sur toutes les combinaisons. La réaction R_{top} doit être reprise par la dalle/le diaphragme et sa connexion — non vérifié ici (§6).

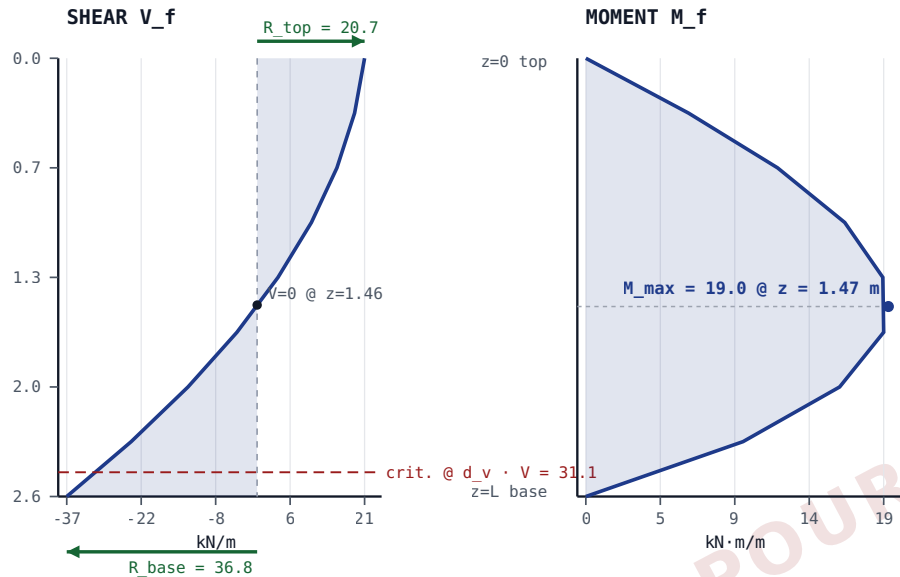


Fig. 3-1 — Diagrammes pondérés d'effort tranchant et de moment, combinaison déterminante C2: 1.5H + 1.5L. z mesuré vers le bas depuis l'appui supérieur ; traction sur la face intérieure sur toute la hauteur.

3.1 Méthode

Bande verticale unidirectionnelle de largeur unitaire ; théorie des poutres en élasticité linéaire ; superposition des cas de charge ; enveloppe prise comme l'effet pondéré maximal sur la portée par combinaison. Le poids propre agit axialement et est négligé en flexion (conservateur pour cette géométrie).

3.2 Traitement de la stabilité

Les vérifications de renversement et de glissement au sens des murs de soutènement en console ne s'appliquent pas à ce système en service : le mur porte entre le diaphragme de plancher et la semelle, et la poussée est reprise par le cheminement des efforts de la structure. La stabilité de ce mur est donc une question de phase de construction — la condition non étayée pendant le remblayage est explicitement exclue de cette note (hypothèse A-3) et doit être traitée aux plans par séquence de travaux ou étalement temporaire.

4. Vérifications (trace citée par article)

CHK-01 — Flexural resistance, vertical steel (interior face)			CSA A23.3-19 Cl. 10.1
SOLLICITATION 19.047 kN·m/m	RÉSISTANCE 32.508 kN·m/m	UTILISATION  59%	
32.508 kN·m/m ≥ 19.047 kN·m/m → CONFORME · utilisation 0.59			
DÉTAIL DU CALCUL $A_s = 200 \cdot 1000 / 300 = 667 \text{ mm}^2/\text{m}$ $d = t - \text{cover} - d_b/2 = 152 \text{ mm}$ $\alpha_1 = 0.85 - 0.0015 f'_c = 0.812$ - [CSA A23.3-19 Cl. 10.1.7] $a = \phi_s \cdot A_s \cdot f_y / (\alpha_1 \cdot \phi_c \cdot f'_c \cdot b) = 17.2 \text{ mm}$ $M_r = \phi_s \cdot A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2) = 32.5 \text{ kN·m/m}$ [CSA A23.3-19 Cl. 10.1.3] $c/d = a/(\beta_1 \cdot d) = 0.124$ - [CSA A23.3-19 Cl. 10.5.2]			
CHK-02 — One-way shear at d_v from base support			CSA A23.3-19 Cl. 11.3
SOLLICITATION 31.084 kN/m	RÉSISTANCE 94.091 kN/m	UTILISATION  33%	
94.091 kN/m ≥ 31.084 kN/m → CONFORME · utilisation 0.33			
No shear reinforcement assumed; if FAIL, thicken or engage stirrup design (out of v1 scope).			
DÉTAIL DU CALCUL $d_v = \max(0.9d, 0.72h) = 144 \text{ mm}$ [CSA A23.3-19 Cl. 11.3.9] $\beta = 230/(1000+d_v) = 0.201$ - [CSA A23.3-19 Cl. 11.3.6.3(b)] $V_c = \phi_c \cdot \lambda \cdot \beta \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d_v = 94.1 \text{ kN/m}$ [CSA A23.3-19 Cl. 11.3.4]			
CHK-03 — Minimum vertical reinforcement			CSA A23.3-19 Cl. 14.1.8.5
SOLLICITATION 300.000 mm²/m	RÉSISTANCE 666.667 mm²/m	UTILISATION ≥ min (45%)	
666.667 mm²/m ≥ 300.000 mm²/m → CONFORME · utilisation 0.45			
Code-minimum floor, not a demand/capacity ratio.			
DÉTAIL DU CALCUL $A_{s,min} = 0.0015 \cdot A_g = 0.0015 \cdot t \cdot 1000 = 300 \text{ mm}^2/\text{m}$ [CSA A23.3-19 Cl. 14.1.8.5] $A_{s,prov} = 667 \text{ mm}^2/\text{m}$			

CHK-04 — Minimum horizontal reinforcement			CSA A23.3-19 Cl. 14.1.8.6
SOLLICITATION 400.000 mm²/m	RÉSISTANCE 400.000 mm²/m	UTILISATION ≥ min (100%)	
400.000 mm²/m ≥ 400.000 mm²/m → CONFORME · utilisation 1.00			
Code-minimum floor, not a demand/capacity ratio.			
DÉTAIL DU CALCUL			
A_s,min = 0.0020·A_g = 0.0020·t·1000 = 400 mm²/m [CSA A23.3-19 Cl. 14.1.8.6]			
A_s,prov = 400 mm²/m			

CHK-05 — Bar spacing limits			CSA A23.3-19 Cl. 14.1.8.4
SOLLICITATION 300.000 mm	RÉSISTANCE 500.000 mm	UTILISATION ≥ min (60%)	
500.000 mm ≥ 300.000 mm → CONFORME · utilisation 0.60			
Detailing limit, not a demand/capacity ratio.			
DÉTAIL DU CALCUL			
s_prov,max = max(s_vert=300, s_horiz=250) = 300 mm			
s_max = min(3t, 500) = 500 mm [CSA A23.3-19 Cl. 14.1.8.4]			

CHK-06 — Crack control — z method (Gergely-Lutz form)			CSA A23.3-19 Cl. 10.6.1
SOLLICITATION 26.736 kN/mm	RÉSISTANCE 30.000 kN/mm	UTILISATION 89%	
30.000 kN/mm ≥ 26.736 kN/mm → CONFORME · utilisation 0.89			
Methodology: A23.3 z-parameter check with f_s taken as 0.6f_y in lieu of cracked-section analysis; interior exposure limit.			
DÉTAIL DU CALCUL			
d_c = cover + d_b/2 = 48 mm			
A = 2·d_c·s (concrete tension area per bar) = 2.88e+04 mm²			
f_s = 0.6·f_y (permitted approximation in lieu of analysis) = 240 MPa [CSA A23.3-19 Cl. 10.6.1]			
z = f_s·(d_c·A)^(1/3) = 26.7 kN/mm [CSA A23.3-19 Cl. 10.6.1]			
z_lim = interior exposure = 30 kN/mm			

CHK-07 — Required development of vertical bars into footing (dowels)			CSA A23.3-19 Cl. 12.2
460.80000000000007 mm — présenté pour révision par l'ingénieur (informatif — sans critère conforme/non conforme)			
Engine reports the REQUIRED length only; anchorage is a detailing decision the EOR confirms on the drawings.			
DÉTAIL DU CALCUL			
l_d = 0.45·k1·k2·k3·k4·(f_y/√f'c)·d_b = 461 mm [CSA A23.3-19 Cl. 12.2.3]			

CHK-08 — Footing bearing pressure (SLS)

geotech report

SOLLICITATION 53.600 kPa	RÉSISTANCE 150.000 kPa	UTILISATION 36%
-----------------------------	---------------------------	---

150.000 kPa ≥ 53.600 kPa → CONFORME · utilisation 0.36

DÉTAIL DU CALCUL

q_serv = N_serv / B = 53.6 kPa

q_all = 150 kPa [declared soil source]

5. Sommaire des résultats et armature spécifiée

Vérification	Article	Sollicitatio n	Résistance	utilisat ion	Résul tat	Voi r p.
Flexural resistance, vertical steel (interior face)	CSA A23.3-19 Cl. 10.1	19.047 kN·m/ m	32.508 kN·m/ m	59%	CONF ORME	7
One-way shear at d_v from base support	CSA A23.3-19 Cl. 11.3	31.084 kN/m	94.091 kN/m	33%	CONF ORME	7
Minimum vertical reinforcement	CSA A23.3-19 Cl. 14.1.8.5	300.000 mm²/ m	666.667 mm²/ m	≥ min	CONF ORME	7
Minimum horizontal reinforcement	CSA A23.3-19 Cl. 14.1.8.6	400.000 mm²/ m	400.000 mm²/ m	≥ min	CONF ORME	8
Bar spacing limits	CSA A23.3-19 Cl. 14.1.8.4	300.000 mm	500.000 mm	≥ min	CONF ORME	8
Crack control — z method (Gergely-Lutz form)	CSA A23.3-19 Cl. 10.6.1	26.736 kN/mm	30.000 kN/mm	89%	CONF ORME	8
Required development of vertical bars into footing (dowels)	CSA A23.3-19 Cl. 12.2	460.800 mm	—	—	INFO	8
Footing bearing pressure (SLS)	geotech report	53.600 kPa	150.000 kPa	36%	CONF ORME	9

5.1 Armature spécifiée

Emplacement	Barres	Notes
Verticale, face intérieure	15M @ 300	Pleine hauteur ; recouvrement avec les attentes de la semelle
Horizontale	10M @ 250	Pleine hauteur, un lit à la face intérieure
Attentes de semelle	15M @ 300	Ancrage selon CHK-07 ; détail par l'ingénieur responsable

6. Limitations déclarées, hypothèses et historique des révisions

6.1 Non vérifié par cet outil — responsabilité de l'ingénieur responsable

Élément
Global (slope) stability
Uplift / flotation of the structure under the declared water table
Whether the declared water level is the correct design level (seasonal high, flood, or perched water)
Drainage system performance — the declared water table is taken as given
Seismic site response / seismic earth pressure
Settlement and serviceability of adjacent structures
Construction-stage backfilling before the top prop exists
Slab/diaphragm capacity and connection for the top reaction
Frost action beyond declared frost depth; exposure/durability class selection

6.2 Registre des hypothèses

ID	Hypothèse	Source / action
A-1	Poussée au repos (K_0) : mur retenu en tête et en pied, rotation insuffisante pour mobiliser l'état actif.	Convention pour les murs de sous-sol appuyés
A-2	Remblai drainé ; nappe sous la semelle. Aucune pression hydrostatique n'est appliquée — le système de drainage est présumé fonctionner.	GR-2025-114 §5.2 — l'ingénieur responsable vérifie le détail de drainage
A-3	Le remblayage n'a lieu qu'une fois le diaphragme de plancher en place et connecté, ou le mur étayé.	à préciser aux plans par l'ingénieur responsable
A-4	Surcharge limitée à la valeur déclarée $q = 4.8 \text{ kPa}$; aucune charge plus lourde à proximité en service ou en construction.	déclaré par l'utilisateur — à vérifier
A-5	Béton de densité normale ; exposition intérieure pour la fissuration.	déclaré par l'utilisateur

6.3 Historique des révisions

Rév.	Date	Description	Engine
A	2026-07-06	Exemple — pas pour construction	v0.2.0-draft · KAT suite 49 passed, 1 skipped (PUBLISHED layer pending)

6.4 Liste de contrôle de révision (ingénieur responsable)

- ☐ Soil parameters (§1.3) match the referenced geotechnical source, and that source applies to this site and this wall.
- ☐ Support idealization (§2.1) matches the actual structure; the top prop and its connection can deliver R_{top} shown in §3.
- ☐ Backfilling sequence or temporary bracing (A-3) is specified on the drawings.

- ☐ Drainage detail satisfies assumption A-2; hydrostatic pressure cannot develop.
- ☐ Surcharge declaration reflects real construction and service conditions.
- ☐ Exposure class, cover and durability requirements confirmed for this environment.
- ☐ Seismic, frost, settlement and global stability addressed elsewhere in the project as required (§6.1).
- ☐ Reinforcement schedule (§5.1) transferred to drawings; dowel detail produced.
- ☐ Input echo (§7) spot-checked against project documents; Report ID recorded in project file.

6.5 Révision et acceptation

Préparé par _____ M. Example _____ Date	Ingénieur responsable _____ Signature _____ nom, n° de permis _____ Date	Sceau Le soussigné a révisé et vérifié les données, les méthodes, l'applicabilité et les résultats de ce calcul et accepte la responsabilité de la conception. La sortie logicielle n'est pas un document scellé ; le scellement est l'acte de l'ingénieur.
--	---	---

7. Annexe — écho des données et déclaration de validation

7.1 Écho exact des données (reproductibilité)

```
{
  "code_context": "NBC2020_P4",
  "concrete": {
    "cover_int_mm": 40.0,
    "fc_MPa": 25.0,
    "gamma_kNm3": 24.0
  },
  "geometry": {
    "footing_b_mm": 700.0,
    "footing_t_mm": 300.0,
    "retained_height_m": 2.6,
    "span_m": 2.6,
    "thickness_mm": 200.0
  },
  "n_service_top_kN_m": 20.0,
  "soil": {
    "allowable_bearing_kPa": 150.0,
    "gamma_kNm3": 19.0,
    "gamma_sat_kNm3": null,
    "phi_deg": 30.0,
    "source": "GEOTECH_REPORT",
    "source_ref": "GR-2025-114 \u00a775.2",
    "water_depth_m": null,
    "water_table": "BELOW_FOOTING"
  },
  "steel": {
    "fy_MPa": 400.0,
    "horiz_bar": "10M",
```

```
"horiz_spacing_mm": 250.0,  
"vert_bar": "15M",  
"vert_spacing_mm": 300.0  
},  
"surcharge": {  
  "q_kPa": 4.8,  
  "strip_start_m": null,  
  "strip_width_m": null,  
  "type": "UNIFORM"  
}  
}
```

7.2 Déclaration de validation

Cette note a été produite par le moteur Equilibrio Wall v0.2.0-draft. Avant publication, la suite de tests à réponse connue (KAT) de cette version a rapporté : KAT suite 49 passed, 1 skipped (PUBLISHED layer pending). Le registre public des références, données, résultats et tolérances se trouve à equilibrio.build/validation. Un test en échec bloque mécaniquement la publication. La validation du logiciel ne remplace pas la révision de ce calcul particulier par l'ingénieur responsable.

7.3 Unités et conventions

SI partout : kN, kPa, MPa, mm, m tel qu'indiqué. Base : par mètre de mur. z mesuré vers le bas depuis le haut du mur. Valeurs intermédiaires arrondies à l'affichage ; calculs menés en pleine précision.

EXEMPLE — CAS POUR
CONSTRUCTION