

TRAVYS SA
Ligne : 212

Auteur	E. Marclay	23.02.2026
Contrôlé	B. Bornet	23.02.2026
Visa	E. Marclay	23.02.2026
Document	1036-11c-R1024	

Désignation : Yverdon-les-Bains – Sainte-Croix

Secteurs : Les Murets / Trois-Villes / Cochâble Sud / Cochâble I et II / Les Recolas
Communes de Baulmes, Ste-Croix et Vuiteboeuf

Objet :

Instabilités rocheuses - Sécurisation contre les chutes de pierres
km 16.960-17.035 / 19.100-19.500 / 19.800-20.000 / 20.080-20.135 / 22.235-22.850

Base de projet

**Procédure d'approbation
des plans (PAP)**

NORBERT
GÉOLOGIE DE L'INGÉNIEUR
ET HYDROGÉOLOGIE

NORBERT SA Géologues-Conseils
Rue Enning 6
1003 Lausanne
Tél : +41 21 323 05 35
Fax : +41 21 320 38 37
geol-Isne@norbert-sa.ch
www.norbert-sa.ch

	Ind	Objet	Date	Auteur	Contr.
	V1	Version initiale	23.02.2026	B. Bornet	E. Marclay
Modifications	V2				
	V3				
	V4				
	V5				
	V6				
	V7				

TRAVYS SA
Quai de la Thièle 32
1401 Yverdon

NORBERT SA
Rue Enning 6
1003 Lausanne

D. Robert
Directeur général

D. Pasche
Directeur du dpt
Infrastructures

B. Bornet
Géologue de projet

E. Marclay
Géologue - Chef de projet

TABLE DES MATIÈRES

1	GÉNÉRALITÉS	1
1.1	DESCRIPTION DU PROJET ET UTILISATION PRÉVUE	1
2	APTITUDE AU SERVICE ET DURABILITÉ	2
2.1	EXIGENCES GÉNÉRALES	2
2.1.1	Protection contre la corrosion	2
2.1.2	Déformations	2
2.1.3	Résistance au gel/dégel	2
2.1.4	Étanchéité	2
2.2	EXIGENCES PARTICULIÈRES	2
2.2.1	Ecrans pare-pierres	2
2.2.2	Treillis de falaise	3
2.2.3	Clouage de masses instables	3
2.3	MESURES À PRENDRE ET PROCÉDÉS DE CONSTRUCTION	3
2.3.1	Exécution des travaux	3
2.3.2	Forages	3
2.3.3	Injection	3
2.3.4	Serre-câbles	3
3	MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION	4
3.1	BÉTON	4
3.2	ENROBAGE	4
3.3	ACIER	4
4	ACTIONS	5
4.1	ACTIONS PERMANENTES	5
4.1.1	Poids propre des éléments porteurs	5
4.1.2	Poids propre des éléments non porteurs	5
4.1.3	Poussée hydrostatique	5
4.2	ACTIONS VARIABLES	5
4.3	ACTIONS ACCIDENTELLES	5
4.3.1	Chute de blocs	5
4.3.2	Autres actions	5
5	VÉRIFICATION DE LA SÉCURITÉ STRUCTURALE	6
5.1	ÉTATS LIMITES ULTIMES	6
5.1.1	Situations de risque	6

5.2	FACTEURS DE CHARGES ET COEFFICIENTS DE RÉDUCTION	7
5.3	COMBINAISONS DE CHARGE	7
5.3.1	Situation accidentelle :	7
6	VÉRIFICATION DE L'APTITUDE AU SERVICE	7
6.1	PRINCIPE	7
6.2	DURABILITÉ	7
7	CONDITIONS ADMISES POUR LE SOL DE FONDATION	8
7.1	CONDITIONS GÉOLOGIQUES ET GÉOTECHNIQUES	8
8	RISQUES ACCEPTÉS	8
9	AUTRES CONDITIONS DÉTERMINANTES POUR LE PROJET	8
10	DOCUMENTS DE BASE	9
11	NORMES ET DIRECTIVES	9

TABLEAUX

Tableau 1 : Liste des bétons.

Tableau 2 : Liste des aciers.

Tableau 3 : Facteurs de charge et coefficients de réduction pour situations durables et transitoires.

Tableau 4 : Tableau des coefficients de la situation accidentelle.

1 GÉNÉRALITÉS

1.1 DESCRIPTION DU PROJET ET UTILISATION PRÉVUE

La Convention d'utilisation (cf pièce PAP n°12.701.04) constitue la base du présent document. Ce dernier est repris de la base de projet établie par le bureau WSP Ingénieurs-conseils en 2018 dans le cadre d'un projet commun de sécurisation de la ligne TRAVYS Yverdon-Ste-Croix contre les chutes de pierres.

La mise en place de mesures de protection contre les chutes de pierres et blocs est nécessaire pour la sécurisation de la voie dans les secteurs Les Murets, Trois.Villes, Cochâble Sud, Cochâble I et II et Les Recolas de la ligne de chemin de fer Yverdon - Ste-Croix, entre les km 16.960 et 2.850 (alt ~800 à 1'050 msm).

Les travaux suivants sont prévus en 2 lots :

Les Murets (Lot 1)

Démantèlement et évacuation des mesures provisoires existantes (un treillis double torsion, deux écrans faible énergie).

1 écran pare-pierres 250 kJ, (classe 1 selon ETAG), de type Geobrugg® RXI-025. Longueur 55m, hauteur 2m.

Treillis plaqué sur 150 m².

Trois-Villes (Lot 1)

3 écrans pare-pierres 100 kJ, (classe 0 selon ETAG), de type Geobrugg® GBE-100A. Dimensions respectives : L=48 x H=2 m ; L=48 x H=2 m ; L=20 x H=2 m.

1 écran pare-pierres 250 kJ, (classe 1 selon ETAG), de type Geobrugg® RXI-025. Longueur 48 m, hauteur 2 m.

2 écrans pare-pierres <50 kJ, (faible énergie << 50 kJ), dimensions respectives L=30 x H=1.5 m ; L=25 x H=1.5 m ;

Cochâble Sud (Lot 2)

2 écrans pare-pierres 500 kJ, (classe 2 selon ETAG), de type Geobrugg® RXE-500-LA. Dimensions respectives : L=55 x H=3 m, L=60 x H=3 m.

Treillis plaqué sur 930 m²

1 barrière sommitale (L=30m x H=1.5m).

Purge contrôlée d'un bloc instable

Cochâble I et II (Lot 2)

1 écran pare-pierres 100 kJ, (classe 0 selon ETAG), de type Geobrugg® GBE-100A. Longueur 22 m, hauteur 3 m, avec 1 fermeture en triangle.

1 écran pare-pierres 250 kJ, (classe 1 selon ETAG), de type Geobrugg® RXI-025. Longueur 27 m, hauteur 3 m.

Treillis plaqué sur respectivement 80 et 155 m².

Les Recolas (Lot 2)

Treillis plaqué sur respectivement 500, 850 et 1000 m².

1 barrière sommitale (L=180 x H=1.5 m)

Purge et clouages localisés

Les ouvrages ont été étudiés sur la base des exigences d'exploitation et d'entretien fixées dans la Convention d'utilisation et dans la présente Base de projet. Toute modification devra être examinée quant à ses conséquences sur la sécurité structurale, l'aptitude au service et la durabilité.

Utilisation prévue : protection de la ligne contre les chutes de pierres et blocs (gammes d'énergie <50, 100, 250 et 500 kJ).

2 _____ APTITUDE AU SERVICE ET DURABILITÉ

2.1 _____ EXIGENCES GÉNÉRALES

2.1.1 Protection contre la corrosion

Les ouvrages étant situés le long de voies ferrées, ils devront respecter le niveau d'exigences moyen en matière de protection contre la corrosion ([2] art. 11.6.3.1.2 et [1]).

Toutes les dispositions nécessaires doivent être prises afin de garantir une protection optimale contre la corrosion des aciers d'armature.

Ces dispositions concernent principalement :

- Un choix adapté des matériaux de construction.
- Des dispositions constructives répondant aux directives et aux normes existantes (enrobages, joints de reprise, protection de surface, etc.).
- Un suivi rigoureux de la réalisation des constructions et de la cure des bétons.

2.1.2 Déformations

Les déplacements et déformations des fondations des écrans pare-pierres sont à limiter en fonction de :

- Inspection visuelle (aspect).
- Aptitude au fonctionnement des ancrages, des éléments incorporés à caractère ductile.

2.1.3 Résistance au gel/dégel

Tous les bétons utilisés doivent être résistants au gel/dégel, exception faite des bétons maigres et de remplissage.

2.1.4 Étanchéité

L'étanchéité des zones pouvant présenter des risques d'infiltration pouvant mener à la corrosion des armatures ou à la dégradation prématurée d'éléments d'ouvrage doit être assurée.

2.2 _____ EXIGENCES PARTICULIÈRES

2.2.1 Ecrans pare-pierres

La structure étant un système approuvé prêt à l'emploi, ses composants ne font pas l'objet d'une vérification. Seule son adéquation aux exigences en termes de capacité d'absorption (énergie nominale) et de hauteur a été vérifiée.

Le dimensionnement des fondations a été réalisé par analogie à nos chantiers récents et conformément à [1].

En cas d'interception d'un ou plusieurs blocs par l'ouvrage, certains éléments doivent être remplacés. Ces éléments sont décrits dans la notice du fournisseur, mais il s'agit en général des freins.

Le dimensionnement définitif des ancrages (barre d'armature et à câbles) sera fait sur la base d'essais préliminaires d'arrachement à réaliser en phase de travaux.

Les écrans seront posés en suivant les prescriptions de montage du fournisseur et feront l'objet d'un contrôle de conformité à l'issue des travaux.

2.2.2 Treillis de falaise

Les treillis de falaise (y compris les câbles, barres d'ancrages, etc.) doivent être aptes à retenir les blocs potentiellement instables identifiés lors des inspections (la taille maximale du bloc retenue dépend du mode de mobilisation et du pendage du plan de glissement). Dans le cas contraire, ces blocs seront traités individuellement par clouage à l'aide de barres d'ancrages ou débitage.

Le dimensionnement a été réalisé sur la base de nos expériences passées, avec un contrôle à l'aide du programme Ruvolum® de Geobrugg®.

Les barres d'ancrage de fixation des treillis sont disposées selon un maillage théorique de 2.5 x 2.5 m. S'agissant d'un système relativement souple, le treillis peut subir une déformation, pouvant nécessiter des purges durant l'exploitation. Ainsi, les plaques de fixations des barres doivent pouvoir être démontées. Pour cette raison, les têtes d'ancrage ne peuvent être protégées avec un cachetage en béton. Les parties à l'air libre (barre, écrou et plaque) seront protégées contre la corrosion par une galvanisation.

2.2.3 Clouage de masses instables

Le diamètre des barres d'ancrages (clous) est défini en fonction du volume des masses à sécuriser et leur longueur en fonction de la profondeur à laquelle le rocher sain est attendu (admis à minima ½ longueur de la barre au-delà de cette limite). Le nombre définitif de barres nécessaire par masses instables sera contrôlé par une approche par calcul de facteur de sécurité au moment de l'exécution.

A fins de contrôle et d'entretien, les têtes d'ancrage ne peuvent être protégées avec un cachetage en béton. Les parties à l'air libre (barre, écrou et plaque) seront protégées contre la corrosion par une galvanisation.

Les multiples expériences depuis plusieurs dizaines d'années sur ce genre d'ouvrage, attestent de leur durabilité sous l'action de la corrosion.

2.3 _____ MESURES À PRENDRE ET PROCÉDÉS DE CONSTRUCTION

2.3.1 Exécution des travaux

Les travaux seront exécutés dans les règles de l'art, notamment lors de la mise en œuvre et de la cure du béton. Ces mesures feront l'objet d'un plan de contrôle avec différents essais de conformité à réaliser.

Pour garantir la bonne exécution des ouvrages, il est nécessaire d'avoir une bonne organisation de chantier, un suivi du planning et un contrôle des travaux rigoureux.

2.3.2 Forages

Les forages seront d'un diamètre suffisant pour respecter les prescriptions de protection contre la corrosion de [2].

2.3.3 Injection

Le scellement des ancrages se feront à l'aide de mortier figurant dans [3], depuis le fond du trou, sans réinjection.

2.3.4 Serre-câbles

Les serre-câbles seront conformes à [5]. Ils seront montés lubrifiés, avec les couples de serrage prescrits.

3 MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

3.1 BÉTON

Eléments de construction	Dénomination	Propriétés selon SIA 262
Eléments à l'air libre	C30/37 XC4(CH), XF1(CH) D_{max} 32 CI 0.10 C3 AAR-P2	$f_{cd} = 20.0$ MPa $\tau_{cd} = 1.10$ MPa $f_{ctm} = 2.9$ MPa
Eléments enterrés	C30/37 XC4(CH), XF1(CH) D_{max} 32 CI 0.10 C3 AAR-P2	$f_{cd} = 20.0$ MPa $\tau_{cd} = 1.10$ MPa $f_{ctm} = 2.9$ MPa
Coulis d'injection Mortier de scellement	CEM I 52.5 Selon [3]	C/E=2 -

Tableau 1 : Liste des bétons.

3.2 ENROBAGE

Eléments à l'air libre : 50 mm

Eléments enterrés : 50 mm

Afin d'éviter une différence de caractéristiques entre les différentes parties d'ouvrage, un seul type de béton sera utilisé pour l'entier de l'ouvrage. Le choix du type de béton se portera sur le béton ayant les caractéristiques les plus sévères.

3.3 ACIER

Eléments de construction	Dénomination	Propriétés selon SIA 262
Acier des clous	B500B, Ø 25 à 32 mm	$f_{sd} = 435$ MPa $E_s = 205$ GPa
Acier des treillis d'armature	B500B, Ø 12 mm, e = 100 à 150 mm, 100 à 120 kg/m ³	$f_{sd} = 435$ MPa $E_s = 205$ GPa
Acier des treillis	Grillage métallique à mailles hexagonales double torsion, en acier galvanisé, diamètre fil ≥ 2.7 mm	-

Tableau 2 : Liste des aciers.

4 _____ ACTIONS

4.1 _____ ACTIONS PERMANENTES

4.1.1 Poids propre des éléments porteurs

Béton non armé : $\gamma_{cn} = 24.0 \text{ kN/m}^3$

Béton armé : $\gamma_c = 25.0 \text{ kN/m}^3$

Acier : $\gamma_s = 78.5 \text{ kN/m}^3$

4.1.2 Poids propre des éléments non porteurs

Ecrans pare-pierres : selon catalogue fournisseur

Treillis plaqué de falaise : selon catalogue fournisseur

4.1.3 Poussée hydrostatique

Aucune poussée hydrostatique à l'arrière des ouvrages n'a été considérée.

4.2 _____ ACTIONS VARIABLES

Aucun cas de charges variables (vent et neige) n'est jugé déterminant pour le dimensionnement de la structure principale de l'ouvrage.

4.3 _____ ACTIONS ACCIDENTELLES

4.3.1 Chute de blocs

Les écrans pare-pierres sont conçus pour reprendre une énergie donnée. Les efforts résultant sur les massifs de fondations sont fonction du type d'écran et donc du fournisseur.

4.3.2 Autres actions

Aucun autre cas de charges accidentelles (séisme, incendie ou explosion) n'est jugé déterminant pour le dimensionnement de la structure principale de l'ouvrage.

5 _____ VÉRIFICATION DE LA SÉCURITÉ STRUCTURALE

5.1 _____ ÉTATS LIMITES ULTIMES

Le dimensionnement des ancrages des écrans pare-pierres est réalisé conformément [1].

5.1.1 Situations de risque

Écrans pare-pierres

Les écrans pare-pierres sont conçus et dimensionnés pour intercepter des blocs se propageant dans le versant. Le danger prépondérant est donc l'impact, défini dans le rapport technique/projet d'ouvrage (pièce PAP n°01.04). Le poids propre de l'écran étant négligeable, il n'y a pas d'action concomitante.

Pendant la durée de service prévue, les écrans pare-pierres ne subissent la plupart du temps que des sollicitations durables dues :

- A leur poids propre.
- Au poids des matériaux (pierres et blocs, morceaux de bois, terre, feuilles) qui s'accumulent au cours du temps dans l'écran.
- Au niveau d'agressivité du milieu.

Ces sollicitations sont généralement négligeables en comparaison des efforts dans les composants et ancrages lors d'un impact dû à des blocs. Cet état d'utilisation n'est donc pas considéré. En terrain meuble, il conviendra toutefois de vérifier le cisaillement du sol par les ancrages.

Les écrans pare-pierres seront interceptés parfois des blocs rocheux, voir des arbres, conduisant à des déformations plastiques des éléments et en particulier des freins. Les écrans ont été conçus pour cet objectif et il ne s'agit pas à proprement parler d'une situation accidentelle mais plutôt d'une situation transitoire de faible durée d'application qui doit être identifiée et réparée.

Treillis de falaise

Les treillis de falaise sont conçus et dimensionnés pour retenir des pierres et des blocs contre le rocher. Le danger prépondérant correspond donc à la rétention d'une masse rocheuse. Le poids propre du treillis étant négligeable, il n'y a pas d'action concomitante.

La formation de glace sous, à travers et sur le treillis est normale. En l'absence de spécifications de TRAVYS, les treillis ne sont pas prévus pour retenir la glace se détachant lors du dégel. Toutefois, le risque que de la glace atteigne la voie est jugé faible (pas de zones de treillis surplombant la voie).

Clouage de masse instables

Les barres d'ancrage sont conçues et dimensionnées pour maintenir en place les masses traitées. Le danger prépondérant correspond donc à la rétention d'une masse rocheuse. Le poids propre de la barre étant négligeable, il n'y a pas d'action concomitante.

5.2 FACTEURS DE CHARGES ET COEFFICIENTS DE RÉDUCTION

Les facteurs de charge et les coefficients de réduction pour les situations durables et transitoires sont résumés dans le tableau suivant :

Action	γ_F
Charges statiques de remplacement (données fournisseur)	1.15
Résistance	γ_M
Acier des treillis	1.35*

Tableau 3 : Facteurs de charge et coefficients de réduction pour situations durables et transitoires.

* Conformément à [1], le coefficient γ_M sera fonction du nombre d'essais préliminaires réalisés.

5.3 COMBINAISONS DE CHARGE

5.3.1 Situation accidentelle :

$$E_d = \{G_k, A_d\}$$

Actions permanentes G_k	Facteur de charge γ_{F1}	Action accidentelle A_k	Facteur de charge	Action concomitante	Coef. de réduction ψ
Poids propre de la structure porteuse	$\gamma_g=1.0$	Chute de blocs	$A_d=1.15$	-	-

Tableau 4 : Tableau des coefficients de la situation accidentelle.

6 VÉRIFICATION DE L'APTITUDE AU SERVICE

6.1 PRINCIPE

En service, les ouvrages ne sont soumis qu'à leur poids propre et au poids propre des matériaux retenus (pierres et blocs, végétaux, ...). Il n'y a donc pas de déformation importante des écrans ou des treillis d'une part, ni des ancrages qui sont dimensionnés pour reprendre l'état limite accidentel.

Selon [1], l'ouverture de fissures des massifs en béton armé sera limitée en plaçant une armature minimale dans le béton.

Conformément à [1], dans la roche, il conviendra de ne traverser aucune discontinuité déjà sujette à un déplacement.

6.2 DURABILITÉ

Limitation de la fissuration : exigences élevées selon [1], art. 4.4.2.2.6.

Résistance au cycle gel – dégel : compacité adéquate du béton.

RAG¹ : classe AAR-P2.

Protection de surface métallique : protection contre la corrosion selon données fournisseur.

¹ Réaction alcalis-granulats

7 _____ CONDITIONS ADMISES POUR LE SOL DE FONDATION

7.1 _____ CONDITIONS GÉOLOGIQUES ET GÉOTECHNIQUES

Il n'existe à ce jour aucune donnée sur les valeurs caractéristiques des terrains de fondations des ouvrages projetés. Néanmoins sur la base des documents géologiques à notre disposition, le contexte géologique prévisible est constitué d'éboulis surmontant le substratum calcaire ou de calcaire affleurant ou sub-affleurant dans tous les secteurs.

Les tirants et micropieux des fondations et ancrages des écrans, ainsi que les tirants d'ancrage des treillis seront dimensionnés sur la base d'essais préliminaires (arrachement) réalisés au début des travaux dans tous les types de géologie.

Pour chaque condition géologique type, les essais d'arrachement suivants sont prévus :

- Ancrages scellés dans le rocher : 3 essais.
- Ancrages scellés dans le terrain meuble : 3 essais.

L'emplacement des tirants sera désigné par l'auteur du projet d'exécution lors d'une visite au démarrage des travaux. Que ce soit en rocher ou en terrain meuble, le choix s'effectuera sur la base d'une observation de la surface du terrain, accompagnée d'une hypothèse sur les terrains en profondeur (épaisseur du terrain meuble, homogénéité du terrain).

Pour les tirants d'essai scellés en rocher, la zone retenue sera celle où le rocher apparaît visuellement de la plus mauvaise qualité (fracturation, altération).

Pour les tirants scellés dans le terrain meuble, la zone retenue sera celle où le terrain meuble apparaît visuellement comme le plus épais et le moins compact.

Les ouvrages étant généralement réalisés à des distances importantes des sites d'essais, des variations spatiales de la résistance du terrain sont inévitables.

En cas de doute important quant à la résistance du terrain, des essais complémentaires d'arrachement pourront être réalisés.

Si la couverture de terrain meuble est peu importante, elle sera excavée pour réaliser la fondation directement sur le rocher.

8 _____ RISQUES ACCEPTÉS

Cf Convention d'utilisation (pièce PAP n°12.701.04).

9 _____ AUTRES CONDITIONS DÉTERMINANTES POUR LE PROJET

En complément aux conditions citées dans le présent document, les aspects suivants devront être considérés :

- L'intégration à l'environnement
- La coordination avec les travaux sur d'autres sites ou ouvrages qui est fondamentale pour une optimisation des ressources et des résultats prévus.

10 DOCUMENTS DE BASE

Le projet d'ouvrage est présenté au stade de la procédure d'approbation des plans. Il est essentiellement basé sur les documents [n° pièce PAP] suivants :

- Condensé du projet [01.02]
- Plan d'ensemble [01.03]
- Rapport technique [01.04]
- Plans de situation [04.01]
- Profils types [06.xx]
- Profils en travers caractéristiques [07.xx]
- Convention d'utilisation [12.701.04]
- Rapport hydrogéologique [12.701.10]

11 NORMES ET DIRECTIVES

Les bases normatives, règlementaires ainsi que les directives en vigueur sont indiquées dans la convention d'utilisation.

- [1] Baumann R. (2018). Bases de l'évaluation de la qualité des filets pare-pierres et de leurs fondations – Guide pratique. Office fédéral de l'environnement, Berne. Connaissance de l'environnement n ° 1805 : 42 p.
- [2] Société suisse des ingénieurs et architectes. (2025). Constructions en béton. Norme SIA 262. Zürich. SN [505262](#).
- [3] Société suisse des ingénieurs et architectes. (2013). Géotechnique. Norme SIA 267. Zürich. SN [505267](#).
- [4] Baumann R. (2010). Typenliste Ankermörtel. Aktualisierte Ausgabe Juni 2024; Erstausgabe 2010. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1007: 5 S.
- [5] SNV 13411-5 (2009). Terminaisons pour câbles en acier - Sécurité - Partie 5 : Serre-câbles à étrier en U.