Schweizer Norm
Norme suisse
Norma svizzera

Bauwesen 531 199

EINGETRAGENE NORM DER SCHWEIZERISCHEN NORMEN-VEREINIGUNG SNV NORME ENREGISTRÉE DE L'ASSOCIATION SUISSE DE NORMALISATION

Société suisse des ingénieurs et des architectes

Recommandation
Edition de 1998

199

Remplace la recommandation SIA 199 (1975)

Etude du massif encaissant pour les travaux souterrains

Description du massif
Appréciation du massif
Rapports géologiques, hydrogéologiques et géotechniques

Editeur:
Société suisse des ingénieurs et des architectes
Case postale, 8039 Zurich

10/1998
Copyright © 1998 by SIA Zurich
Catégorie de prix: 28

PRÉAMBULE

Après la révision de la norme SIA 198, *Travaux souterrains,* complétée entre autre pour les excavations en terrains meubles et rééditée en 1993, il devenait nécessaire de réviser la recommandation SIA 199, *Etude du massif* encaissant pour les travaux souterrains.

La présente réédition de la recommandation SIA 199 vise à une uniformisation de la terminologie, de la présentation et du contenu des rapports concernant le massif au stade du projet, de l'exécution et de l'exploitation d'ouvrages souterrains. Son but est de faciliter et de favoriser la collaboration entre tous les intervenants impliqués lors d'une construction souterraine, c'est-à-dire entre le maître de l'ouvrage, l'entrepreneur et les spécialistes des domaines de la géologie, de l'hydrogéologie, de la géotechnique, de la mécanique des sols et des roches, des fondations et des travaux souterrains.

Commission SIA 199

SIA CD Norm © 10/98 by SIA, Zürich

TABLE DES MATIÈRES

Page

0 Domaine d'application 4

0 1 Délimitation 4
0 2 Autres prescriptions applicables 4

1 Terminologie 5

1 1 Généralités 5
1 2 Terrains meubles 5
1 3 Rocher 7
1 4 Hydrogéologie 7

2 Description du massif 8

2 1 Généralités 8
2 2 Conditions géologiques 8
2 3 Conditions hydrogéologiques 9
2 4 Conditions géotechniques 10
2 5 Présence de gaz 11
2 6 Données complémentaires 11

3 Appréciation du massif 12

3 1 Généralités 12
3 2 Comportement du massif 12
3 3 Situations de risque 12
3 4 Planification des mesures 13
3 5 Appréciation des matériaux d'excavation 14

4 Rapports géologiques, hydrogéologiques et géotechniques 15

4 1 Généralités 15
4 2 Origine, précision et état des données . . 15
4 3 Propositions d'études complémentaires 15
4 4 Structure des rapports 15
4 5 Rapport final 16

Page

ANNEXES

A1 Structure générale des annexes 17

A2 Description des conditions du massif 19

A3 Terrains meubles 21
A3 1 Terrains meubles: Représentation simplifiée des conditions du massif dans le profil en long géologique 21
A3 2 Terrains meubles: Représentation des conditions du massif dans le profil en long géologique (Exemple) 23

A4 Rocher 25
A4 1 Rocher: Représentation simplifiée des conditions du massif dans le profil en long géologique 25
A4 2 Rocher: Classement pour la représentation simplifiée dans le profil en long . . 27
A4 3 Rocher: Représentation des conditions du massif dans le profil en long géologique (Exemple) 29

A5 Dangers et situations de risque 31

A6 Essais de laboratoire, mesures et essais in situ 33

A7 Publications 35

Adoption et entrée en vigueur 36

SIA CD Norm © 10/98 by SIA, Zürich

0 DOMAINE D'APPLICATION

0 1 Délimitation

0 11 La présente recommandation régit l'acquisition des données pour la description et la présentation des conditions géologiques, hydrogéologiques et géotechniques nécessaires à l'appréciation du massif lors du projet, de l'exécution et de l'exploitation d'ouvrages souterrains.

0 12 Elle fixe les termes les plus importants et uniformise la représentation et le contenu des rapports dans toutes les phases d'étude et de réalisation d'un ouvrage.

0 2 Autres prescriptions applicables

Cette recommandation renvoie aux normes et directives énumérées ci-après, dont les dispositions s'appliquent en tout ou partie selon la forme du renvoi.

Norme SIA 160	*Actions sur les structures porteuses*
Norme SIA 198	*Travaux souterrains*
Norme SN 670 005	*Identification des sols (Méthode de terrain)*
Norme SN 670 008	*Identification des sols (Méthode de laboratoire avec classification selon l'USCS)*
Norme SN 670 009	*Terminologie géologique des terrains meubles*
Norme SN 670 120	*Graves pour couches de fondation: Prescriptions de qualité*

SIA CD Norm © 10/98 by SIA, Zürich

1 TERMINOLOGIE

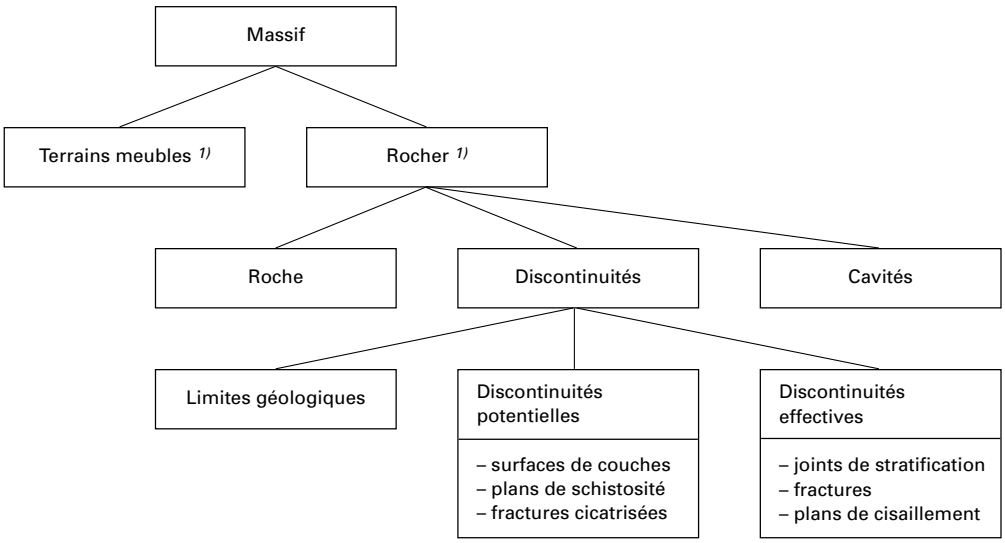
1 1 Généralités

Abrasivité *Abrasivität*	Ensemble des propriétés de la roche qui provoquent l'usure des outils.
Altération *Verwitterung*	Modification des propriétés physiques, chimiques et mécaniques des terrains meubles et des roches sous l'effet des agents atmosphériques et de l'eau.
Domaine d'homogénéité *Homogenbereich*	Tronçon de l'ouvrage le long duquel la nature et/ou le comportement du massif sont compris entre des limites déterminées sur la base de l'appréciation du massif.
Erosion *Erosion*	Ensemble des phénomènes naturels conduisant à l'ablation de matériaux rocheux ou meubles.
Gonflement *Quellfähigkeit*	Augmentation de volume d'une roche par absorption d'eau.
Litage *Schichtung*	Agencement des sédiments et des roches sédimentaires en couches superposées par suite de modifications des conditions de sédimentation (voir figure 2).
Massif *Gebirge*	Ensemble des roches et des terrains meubles formant l'environnement de l'ouvrage, y compris discontinuités, vides et cavités (voir figure 1).
Potentiel de gonflement *Quellpotential*	Quantification du gonflement d'une roche par détermination, sur échantillon au laboratoire, de la «pression de gonflement maximale» et du «gonflement libre». On appelle «pression de gonflement maximale» la pression axiale se développant suite à l'immersion d'un échantillon cylindrique, non chargé, maintenu à volume constant (Annexe A7, Litt. [6]). On appelle «gonflement libre» la déformation axiale d'un échantillon cylindrique immergé, dont la déformation volumétrique n'est pas empêchée (Annexe A7, Litt. [6]).
Situation de risque *Gefährdungsbild*	Situation critique possible ou événement préjudiciable pouvant affecter un ouvrage ou son environnement pendant sa construction ou son exploitation.
Unité géologique *Geologische Einheit*	Terme général décrivant un ensemble uniforme de terrains meubles ou de roches (sédimentaires, cristallines ou métamorphiques). Exemples: moraine de fond, calcaire roux sableux, granite de Vallorcine, série de Prato.

1 2 Terrains meubles

Terrains meubles *Lockergestein*	Ensemble de particules de minéraux ou de roches, parfois de matière organique non ou très peu cimentés (voir figure 1). Les terrains meubles sont constitués de particules solides et de pores plus ou moins remplis d'air, de gaz ou d'eau.

SIA CD Norm © 10/98 by SIA, Zürich



1) Les critères de distinction entre terrains meubles et rocher seront définis de cas en cas.

Figure 1 Structure de la terminologie

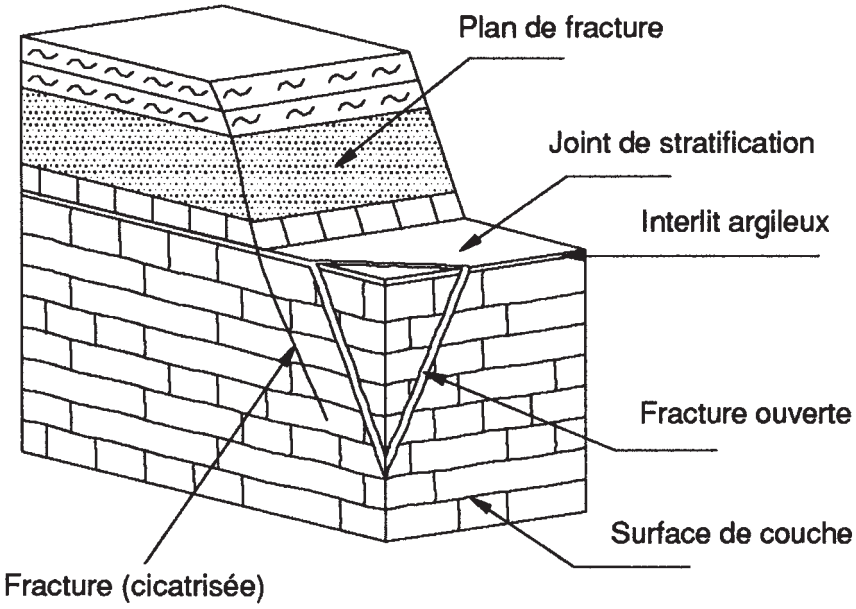


Figure 2 Termes relatifs au litage et à la fracturation

SIA CD Norm © 10/98 by SIA, Zürich

13 Rocher

Bloc élémentaire *Kluftkörper, Trennflächenkörper*	Bloc rocheux délimité par des fractures et des discontinuités effectives.
Discontinuités *Trennflächen*	Terme général pour toute surface interrompant totalement ou partiellement la continuité du massif rocheux. Discontinuité effective: surface de séparation totale du massif (par ex. joint de stratification ou de schistosité, fracture ouverte). Discontinuité potentielle: surface présentant une sensible diminution de résistance (par ex. surface de couche, plan de schistosité, fracture cicatrisée; voir figure 2).
Kakirite, cataclasite, mylonite *Kakirit, Kataklasit, Mylonit*	Produits de la déformation d'origine tectonique du rocher. – Kakirite : matériau meuble, sans structure – Cataclasite : roche, sans structure, parfois schisteuse – Mylonite : roche, finement schisteuse ou laminée, et recristallisée.
Roche *Gestein*	Agrégat naturel formé d'une ou plusieurs sortes de minéraux ou de particules cimentées entre elles.
Roche en place *Festgestein*	Massif rocheux, y compris discontinuités et vides de tous ordres (voir figure 1).
Rocher *Fels*	Synonyme de roche en place.
Schistosité *Schieferung*	Feuilletage macroscopique d'une roche métamorphique acquis sous l'influence de contraintes tectoniques.

14 Hydrogéologie

Aquifère *Grundwasserleiter*	Formation géologique perméable, siège d'un écoulement souterrain permanent ou temporaire.
Barrière hydrogéologique (aquiclude) *Grundwasserstauer*	Formation géologique imperméable, ou de perméabilité très nettement inférieure à celle de l'aquifère voisin.
Karst *Karst*	Cavité souterraine, résultant de la dissolution chimique d'une roche (essentiellement calcaire, dolomie, gypse, anhydrite ou sel).
Nappe d'eau *Grundwasser, Bergwasser*	Eau souterraine remplissant pores, fractures et vides interconnectés du sous-sol.
Surface piézométrique *Grundwasserspiegel*	En nappe libre: surface de l'eau souterraine. En nappe captive: niveau de pression hydrostatique.
Vitesse de circulation apparente *Abstandsgeschwindigkeit*	Vitesse de circulation de l'eau mesurée entre deux points d'observation. La vitesse de circulation apparente est celle établie par exemple par essai de traçage. Elle est en général inférieure à la vitesse de circulation réelle dans les interstices.

SIA CD Norm © 10/98 by SIA, Zürich

2 DESCRIPTION DU MASSIF

2 1 Généralités

2 11 La description et la représentation des conditions géologiques, hydrogéologiques et géotechniques servent de base à l'appréciation du massif, à sa subdivision en domaines d'homogénéité, ainsi qu'à l'identification des situations de risques. Le but de la description du massif est d'établir un modèle géologique, qui constitue une base suffisante pour l'appréciation du massif et permette l'élaboration de modèles géotechniques.

2 12 Une distinction claire doit être faite entre la description (chapitre 2) et l'appréciation du massif (chapitre 3). La liste de l'annexe A2 sert d'aide-mémoire pour la description des conditions du massif. Cette liste peut être réduite ou complétée selon les besoins.

2 13 La représentation synthétique des conditions dans le profil en long géologique est à établir sur la base des annexes A3 1 et A3 2 (terrains meubles), ou A4 1, A4 2 et A4 3 (rocher).

2 14 Les reconnaissances géologiques, hydrogéologiques et géotechniques doivent être planifiées en fonction des différentes étapes du projet, en vue de l'exécution et de l'exploitation de l'ouvrage.

2 15 Les informations issues de publications, d'archives ou de services de documentation doivent être complétées par des essais en laboratoire ou in situ (annexe A6).

2 2 Conditions géologiques

2 21 **Cadre géologique**

2 21 1 Le cadre géologique décrit et explique le contexte géologique et tectonique dans lequel s'inscrit l'ouvrage.

2 21 2 Pour les terrains meubles la genèse des différentes unités géologiques et leur distribution régionale seront décrites.

2 21 3 Pour la roche en place on décrira la genèse, la nature et les nomenclatures des différentes unités géologiques, ainsi que leur distribution régionale. Les phénomènes tectoniques principaux, l'histoire des déformations et le métamorphisme seront présentés de manière synthétique.

2 21 4 Afin de faciliter la compréhension des cartes et documents antérieurs (publications, rapports, cartes géologiques, etc.), les nomenclatures anciennes et nouvelles des unités géologiques seront explicitées, par exemple sous forme de tableaux.

2 22 **Description géologique**

2 22 1 GÉNÉRALITÉS

2 22 11 La description sera faite par unité géologique, ou par domaine d'homogénéité.

2 22 12 La description qualitative sera dans la mesure du possible complétée par des informations quantitatives.

SIA CD Norm © 10/98 by SIA, Zürich

2 22 2 TERRAINS MEUBLES

2 22 21 En général, on considérera comme unité géologique des ensembles de terrains meubles ayant une même genèse (moraine, fluvio-glaciaire, éboulis, etc.).

Leur description est basée sur la classification selon les normes SN 670 005, SN 670 008 et SN 670 009, complétée par la pétrographie des composants et leurs propriétés (forme, degré d'arrondi, degré d'altération, résistance, potentiel de gonflement, etc.).

2 22 22 On décrira la structure des terrains meubles (litage, anisotropie) ainsi que leurs particularités, par exemple la présence de minéraux argileux, blocs ou matières organiques.

2 22 23 La description sera complétée par d'autres données, par exemple compacité, degré de saturation et comportement en cas de venue d'eau (annexe A2).

2 22 3 ROCHE EN PLACE

2 22 31 Dans les descriptions, on distinguera la roche (échantillon) et le massif rocheux.

2 22 32 La description de la roche comprend la composition minéralogique, la structure et la texture de la matrice ainsi que la dénomination pétrographique. S'y ajoutent les données selon l'annexe A2.

2 22 33 La description du massif rocheux comprend les éléments suivants:

- la structure géologique générale (domaine d'homogénéité, alternance de roches, litage, schistosité, zones tectonisées, etc.)
- description des discontinuités selon l'annexe A2
- degré d'altération, karstification, transformation hydrothermale
- contraintes tectoniques résiduelles.

2 22 34 On attirera l'attention sur les zones tectonisées dans lesquelles par exemple le rocher a été mécaniquement transformé en matériau meuble (kakirite), de même que sur les zones de karst. Suivant leur extension et leur fréquence, de telles zones seront individualisées en domaines d'homogénéité géologique.

2 22 35 L'orientation des discontinuités et des zones tectonisées sera présentée aussi bien en absolu (position dans l'espace) que relativement à l'ouvrage (par ex. par rapport à l'axe du tunnel). La représentation sera faite sous forme de tableaux numériques et/ou sous forme graphique (projection stéréographique, bloc diagramme).

2 3 Conditions hydrogéologiques

2 31 Cadre hydrogéologique

2 31 1 Les conditions hydrogéologiques locales et régionales seront décrites. On évoquera en particulier les aquifères en présence (terrains meubles, rocher), leurs relations éventuelles, les barrières hydrogéologiques, les grandes lignes des écoulements régionaux, ainsi que les interactions avec les eaux superficielles.

2 31 2 On mentionnera également l'utilisation actuelle et potentielle des aquifères en présence, ainsi que les zones, périmètres et secteurs de protection des eaux établis ou provisoires.

SIA CD Norm © 10/98 by SIA, Zürich

2 32 **Description hydrogéologique**

2 32 1 Les aquifères concernés par l'ouvrage projeté feront l'objet d'une description pour la mise en évidence

- de l'action de l'ouvrage sur les conditions hydrogéologiques existantes et sur l'environnement, du point de vue de l'utilisation actuelle et potentielle des aquifères (influences quantitatives et qualitatives)
- des influences des aquifères sur le projet pendant l'exécution (venues d'eau) et pendant l'exploitation des ouvrages (par ex. effet de la pression, agressivité).

2 32 2 Chaque aquifère sera décrit en termes d'épaisseur, d'extension et de position. Les couches imperméables seront décrites de la même manière.

2 32 3 Pour chaque aquifère on indiquera le genre de circulation d'eau (pores, discontinuités, karst), les valeurs de perméabilité, le niveau de la nappe, les directions et les vitesses de circulation estimatives ou déterminées par essais de traçage. Les caractéristiques hydrauliques de la nappe peuvent être représentées au moyen de carte d'isohypses ou d'isopaques.

2 32 4 Les exutoires naturels (sources), l'interaction entre les eaux superficielles et la nappe (infiltration, exfiltration), ainsi que les zones d'apports et de pertes relatives à l'ouvrage seront également décrits.

2 32 5 Les caractéristiques chimiques, bactériologiques et physiques des eaux ainsi que leurs effets sur l'ouvrage (agressivité au béton, aux aciers, aux matières synthétiques, aux coulis d'injection, etc.) seront déterminées conformément aux prescriptions en vigueur. Des études spécifiques seront effectuées si la présence de gaz dans l'eau, d'eaux minérales ou thermales est suspectée.

2 4 Conditions géotechniques

2 41 Les caractéristiques géotechniques des terrains meubles et du rocher seront décrites sur la base de l'annexe A2. Le choix des caractéristiques s'effectuera en fonction des conditions géologiques, de la complexité de l'ouvrage et de la phase d'avancement du projet, et tiendra compte également des méthodes de construction possibles.

2 42 Les caractéristiques géotechniques déterminantes pour le projet seront représentées dans le profil en long selon les annexes A3 1, A4 1 et A4 2.

2 43 On indiquera le nombre d'essais géotechniques, l'écart-type, ainsi que le domaine de validité des résultats. Les valeurs comparatives, d'expérience ou estimatives, sont à qualifier comme telles. Les sources d'information sont à préciser.

2 44 On spécifiera clairement si les données géotechniques se rapportent à la roche, aux discontinuités ou aux remplissages de vides (voir figure 1).

2 45 Les caractéristiques géotechniques des terrains meubles et des roches seront déterminées par des essais de laboratoire ou in situ selon l'annexe A6.

SIA CD Norm © 10/98 by SIA, Zürich

2 5 Présence de gaz

2 51 Les gaz à considérer dans les ouvrages souterrains sont le méthane (CH_4, y compris les hydrocarbures), le dioxyde de carbone (CO_2) et l'hydrogène sulfureux (H_2S).

2 52 L'existence de roches-mères et de roches réservoir avec les voies de migration, ainsi que des indices de gaz connus dans des formations géologiques similaires seront inventoriées dans la phase de projet.

2 53 Si la présence de gaz ne peut être exclue d'emblée on entreprendra les reconnaissances nécessaires.

2 54 Le cas échéant on tiendra compte et on étudiera également la présence possible de gaz résultant d'activité humaine (sites de stockage, conduites avec fuites possibles, décharges, etc.).

2 6 Données complémentaires

2 61 Les descriptions seront complétées au besoin par les données suivantes:

- radioactivité (y compris radon)
- température du massif
- sismicité
- mouvements néotectoniques
- ébranlements, vibrations
- tassements, instabilités et dangers qui peuvent menacer des parties souterraines ou superficielles de l'ouvrage. On mentionnera en particulier les instabilités rocheuses, le fauchage, les chutes de blocs, les glissements actifs ou latents, les mouvements de reptation, ainsi que les avalanches.
- matériaux dangereux pour la santé (quartz, amiante, etc.).

2 62 La présence de décharges et de nappes ou aquifères contaminés au voisinage de l'ouvrage, sera signalée et, le cas échéant, examinée.

SIA CD Norm © 10/98 by SIA, Zürich

3 APPRÉCIATION DU MASSIF

3 1 Généralités

3 11 L'évaluation du massif sert à établir un pronostic relatif à la nature et au comportement du massif lors de l'exécution et de l'exploitation des ouvrages souterrains.

3 12 Dans la phase de projet, l'appréciation du massif aide à l'élaboration du projet et du concept d'exécution. L'évaluation continue pendant la phase d'exécution du massif contribue à confirmer les mesures constructives prévues, respectivement à les adapter aux conditions rencontrées.

3 13 La description selon le chapitre 2 sert de base à l'appréciation du massif. On tiendra également compte des expériences acquises avec des ouvrages réalisés dans des massifs similaires.

3 14 L'appréciation s'opère en étroite collaboration entre les différents intervenants.

3 2 Comportement du massif

3 21 L'appréciation du massif relative au comportement de la cavité, aux conditions d'abattage, aux venues d'eau et de gaz, ainsi qu'à la réutilisation des matériaux d'excavation, se basera sur les conditions géologiques, hydrogéologiques et géotechniques.

3 22 L'appréciation du comportement du massif, ainsi que des effets de venues d'eau et de gaz, en vue de la planification de mesures constructives appropriées, se fait sur la base des situations de risques selon le paragraphe 3 3.

3 3 Situations de risque

3 31 Un aspect primordial de l'appréciation du massif est l'identification des dangers qui peuvent exister lors de l'exécution et de l'exploitation d'un ouvrage souterrain. La sécurité relative à un danger existe lorsque ce dernier a été maîtrisé par des mesures adéquates ou réduit à un niveau acceptable. Une sécurité absolue ne saurait être garantie (norme SIA 160).

3 32 Dans les travaux souterrains, un danger peut se manifester par ex. par effondrement, dislocation, instabilité du front, écaillage (Bergschlag), irruption d'eau ou explosion de gaz. On considérera également les risques encourus par les personnes, les biens et l'environnement (par ex. lorsque l'ouvrage passe sous des voies de circulation, des bâtiments ou des ponts).

3 33 La planification de mesures constructives appropriées découle des situations de risque. Ces dernières peuvent être différentes selon qu'elles concernent les phases d'exécution ou d'exploitation. La description des situations de risque doit être faite par tronçon pour l'ouvrage lui-même et son environnement, ainsi qu'en fonction du temps par la prise en compte des étapes de construction et de la durée prévue d'exploitation.

3 34 Les situations de risque seront présentées dans un plan de sécurité avec les mesures constructives destinées à maîtriser les dangers (actions sur les causes du risque, reconnaissances à l'avancement, auscultation, tenue à disposition d'équipements appropriés, etc.). Le plan de sécurité comprend également les risques acceptés (norme SIA 160).

3 35 La description des dangers sous la forme de situations de risque se fera d'abord qualitativement et sera complétée, dans la mesure du possible, par des informations quantitatives. Le tableau de l'annexe A5 sert d'aide-mémoire.

SIA CD Norm © 10/98 by SIA, Zürich

3 36 L'évaluation d'une situation de risque ou d'un événement préjudiciable se base sur leur probabilité d'occurrence et sur l'ampleur des dégâts induit. Une telle évaluation du risque est également nécessaire à l'égard de tiers, par exemple lors de travaux souterrains de faible profondeur en milieu urbain.

Pour l'évaluation des situations de risque dans le cas des constructions souterraines, on ne procédera le plus souvent qu'à une estimation de la probabilité d'occurrence (par ex. le Bergschlag). L'annexe A4 3 montre un exemple dans lequel les situations de risque reconnues ont été classées selon leur probabilité d'occurrence.

3 37 En cas de danger de gaz on évaluera l'importance du gisement, le volume de gaz, sa pression et les conditions d'émission. Selon la probabilité d'occurrence et le volume potentiel, le danger sera apprécié selon une échelle à trois niveaux (faible, moyen, élevé).

3 38 Les parties du massif présentant des dangers égaux ou similaires peuvent être mises en évidence par des domaines d'homogénéité. Un niveau de danger sera attribué à chaque domaine (exemple en annexe A4 3).

3 39 Dans la phase d'exécution, les situations de risque initialement prévues et leur évaluation seront examinées, et si nécessaire, adaptées ou redéfinies.

3 4 Planification des mesures

3 41 Les mesures à prendre seront définies sur la base des situations de risque (plan de sécurité) et du plan d'utilisation.

3 42 En terrains meubles, l'appréciation du massif sert de base pour le choix de la méthode de construction, du type d'excavation, du soutènement et du degré de blindage du front selon la norme SIA 198.

3 43 En rocher, l'appréciation du massif sert de base pour la détermination de la méthode de construction, du type d'excavation, ainsi que des classes d'excavation, d'aptitude au forage et au fraisage selon la norme SIA 198.

3 44 L'appréciation du massif se fera également en vue de la mise en œuvre éventuelle de mesures de confortation et de drainage, telles qu'injections, jetgrouting, drainage, congélation, confinement à l'air comprimé, etc.

3 45 La subdivision du projet en domaines d'homogénéité découle de l'appréciation du massif et du choix de la méthode de construction. La détermination et la représentation des domaines d'homogénéité dans le profil en long géologique se font à l'aide de l'annexe A3 1 pour les terrains meubles (exemple à l'annexe A3 2) et de l'annexe A4 1 pour le rocher (exemple en annexe A4 3). Le rocher peut être classé selon l'annexe A4 2.

SIA CD Norm © 10/98 by SIA, Zürich

3 5 Appréciation des matériaux d'excavation

3 51 Une appréciation géotechnique du massif à excaver sera faite dans l'optique de l'évacuation, de la séparation, de la mise en dépôt et de la réutilisation des matériaux d'excavation. En règle générale on tiendra compte aussi bien des méthodes de construction envisageables que des méthodes d'excavation et des techniques de traitement.

3 52 On visera à réutiliser la plus grande partie possible des matériaux en optimisant les aspects écologiques et économiques.

3 53 En tenant compte de la technique de traitement nécessaire, l'aptitude à la réutilisation des matériaux d'excavation peut être classée de la manière suivante:

- Classe de matériau 1: matériau utilisable comme matière première pour la production de ciment, concassé ou agrégats.
- Classe de matériau 2: matériau utilisable pour les agrégats de béton ou pour les remblais à haute exigence (grave selon SN 670 120).
- Classe de matériau 3: matériau utilisable pour les remblais sans exigence particulière, les remplissages ou remblayages.
- Classe de matériau 4: matériau non réutilisable (par ex. matériau contaminé, boues).

La quantité respective de chaque classe de matériau est à déterminer.

3 54 Les propriétés géotechniques des matériaux d'excavation déterminantes pour le marinage et le transport doivent être établies séparément en vue du choix du moyen de transport.

SIA CD Norm © 10/98 by SIA, Zürich

4 RAPPORTS GÉOLOGIQUES, HYDROGÉOLOGIQUES ET GÉOTECHNIQUES

4 1 Généralités

4 11 Les rapports géologiques, hydrogéologiques et géotechniques sont constitués de textes et d'annexes. Ils doivent être conçus de manière à permettre une distinction claire entre la description selon le chapitre 2 et l'appréciation selon le chapitre 3.

4 12 En accord avec le maître d'ouvrage, les rapports ou tout au moins la description du massif (chapitre 2) seront mis à la disposition des Archives Géologiques Suisses (Archives Géologiques Suisses, Service hydrologique et géologique national, 3003 Berne).

4 2 Origine, précision et état des données

4 21 L'origine de toutes les données doit être précisée. On distinguera clairement s'il s'agit de données provenant de mesures in situ ou de laboratoire, d'indications issues de la littérature ou de documents géologiques existants, de valeurs d'expérience tirées de cas comparables ou alors d'estimations et de supputations.

4 22 Pour les méthodes d'investigation ou de mesure utilisées on donnera soit la description, soit la référence à la norme appliquée ou à une publication. Les données spatiales (par ex. position des sondages et des prélèvements d'échantillons) seront spécifiées selon les coordonnées nationales.

4 23 La précision des descriptions et les incertitudes dont elles peuvent être affectées seront mentionnées ou décrites.

4 24 Les lacunes connues dans les informations disponibles et, le cas échéant, le caractère incomplet des données doivent être signalées dans le rapport.

4 3 Propositions d'études complémentaires

Lorsque des données font défaut, des reconnaissances complémentaires seront proposées pour la phase de projet suivante. Les objectifs seront formulés et on effectuera une estimation des coûts et de l'utilité pour le projet.

4 4 Structure des rapports

Outre un résumé des faits essentiels, un rapport doit traiter généralement des éléments suivants:

- mandat et définition du problème
- origine des données, documents utilisés (paragraphe 4 21)
- travaux de reconnaissance effectués avec description des méthodes (paragraphe 4 22)
- description des conditions géologiques, hydrogéologiques et géotechniques selon le chapitre 2
- résumé des caractéristiques par formation géologique
- appréciation du massif selon le chapitre 3
- conclusions, recommandations, questions en suspens, données manquantes, reconnaissances complémentaires
- plans annexés (plans de situation, profils en long selon annexes A3 2 et A4 3, profils en travers, etc.)
- annexe avec les observations et mesures (relevés de sondages, résultats de mesures en laboratoire et in situ, etc.).

SIA CD Norm © 10/98 by SIA, Zürich

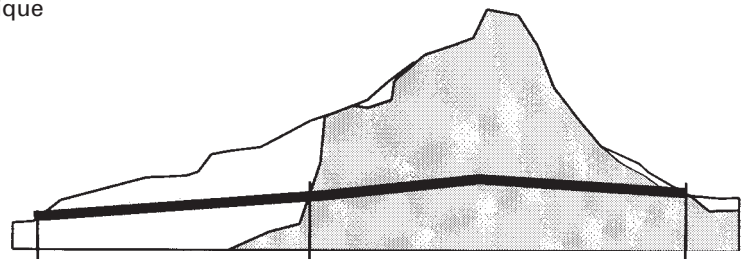
4 5 Rapport final

4 51 Dans le rapport final les conditions géologiques, hydrogéologiques et géotechniques rencontrées au cours de l'exécution sont à décrire de manière adéquate. Les intervenants lors de l'exécution de l'ouvrage doivent faciliter l'acquisition des données.

4 52 Le rapport géologique final fait partie intégrante de la documentation de l'ouvrage.

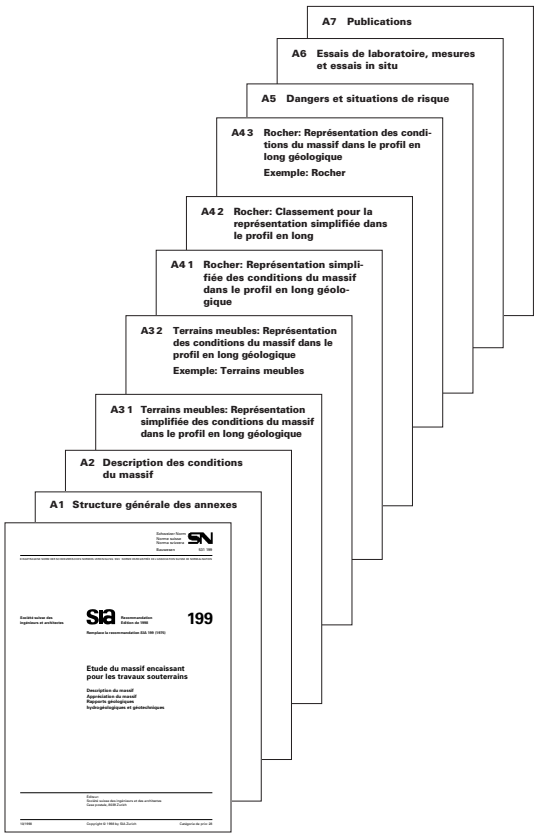
SIA CD Norm © 10/98 by SIA, Zürich

ANNEXE A1 Structure générale des annexes



	Terrains meubles		Rocher	
Description	• Géométrie • Géologie • Description • Roche • Massif • Hydrogéologie • Gaz	Annexe **A3 1**	Annexe **A4 1** (Représentation) Annexe **A4 2** (Classement)	• Géometrie • Géologie • Description de la roche • Roche • Discontinuités • Rocher • Hydrologie • Gaz
Appréciation	Situations de risque	Choix des situations de risque déterminantes selon l'annexe **A5**		Situations de risque
	• Type d'excavation • Degré de blindage du front	Norme SIA 198 (1993)	Norme SIA 198 (1993)	• Type d'excavation • Classe d'excavation • Classe d'aptitude au forage • Classe d'aptitude au fraisage
	Précision du pronostic	Annexe **A3 1**	Annexe **A4 1**	Précision du pronostic

Exemple	Annexe **A3 2**	Annexe **A4 3**	Exemple



Structure des annexes

SIA CD Norm © 10/98 by SIA, Zürich

ANNEXE A2 Description des conditions du massif

Aide-mémoire pour le chapitre 2

	TERRAINS MEUBLES	ROCHER
GEOMETRIE	• Kilométrage, Métrage • Azimut de l'axe de l'ouvrage • Hauteur de couverture (sur calotte)	
GEOLOGIE	• Unité géologique	• Unité tectonique • Unité géologique
LIMITES DES UNITES GEOLOGIQUES (Limites de couches)	• Profil en long géologique et autres représentations • Longueur des tronçons	
PETROGRAPHIE	• Description et désignation (selon SN 670 005, 670 008 et 670 009) • Teneur en composants durs • Teneur en minéraux gonflants • Composantes défavorables (matière organique, etc.)	• Pétrographie • Anisotropie • Teneur en minéraux de dureté < 3 • Teneur en minéraux de dureté ≥ 7 • Teneur en minéraux gonflants • Composantes défavorables (charbon, sulfates, micas, argiles, quartz, amiante, etc.)
DISCONTINUITES		Par système de discontinuités : • Orientation • Orientation par rapport à l'axe de l'ouvrage • Espacement • Extension • Ouverture • Remplissage/enduit • Rugosité/Forme • Résistance au cisaillement (c, ϕ Bloc élémentaire : • Forme (cubique, aplatie, etc.) • Volume, dimensions
ROCHE	• Granulométrie, pierres, blocs • Limites de consistance • Agencement des grains / cimentation • Poids volumique apparent • Porosité • Teneur en eau • Compacité (par ex. SPT) • Module de rigidité (par ex. E_V) • Résistance au cisaillement drainée • Résistance au cisaillement non drainée • Potentiel de gonflement (pression de gonflement / gonflement libre) • Comportement en cas de venues d'eau	• Texture / Cimentation • Poids volumique apparent • Porosité • Teneur en eau • Résistance compression uniaxiale ⊥/ II • Résistance à la traction indirecte ⊥/ II • Module d'élasticité ⊥/ II • Résistance de pic/résiduelle (c, φ/c_R, φ_R) • Abrasivité • Potentiel de gonflement (pression de gonflement / gonflement libre) • Comportement en cas de venues d'eau

	TERRAINS MEUBLES	ROCHER
MASSIF	• Alternance de strates • Inclusions (blocs, blocs erratiques, troncs d'arbre, etc.) • Abrasivité • Coefficient de poussée des terres • Température du massif • Radioactivité • Sites contaminés	• Alternance lithologique • Etat initial des contraintes (anisotropie des contraintes, contraintes résiduelles) • Module d'élasticité E • Température du massif • Radioactivité
HYDROGEOLOGIE	• Genre de circulation (pores, fissures, karst) • Perméabilité • Pression d'eau au niveau du tunnel • Pression d'eau au radier du tunnel avec zone de battement • Direction d'écoulement • Vitesses de circulation effective et apparente • Venues d'eau à l'avancement • Venues d'eau permanentes • Qualité chimique / physique / bactériologique des eaux, y compris les gaz dissous • Température de l'eau • Utilisation actuelle de la nappe • Sources / captages (eaux thermales, minérales)	
GAZ	• Type de gaz, dimension du gisement, volume de gaz • Genre de gisement (roche-mère, roche-réservoir) • Conditions d'émission • Gaz résultant d'activités humaines (sites de stockage, décharges, etc.)	

Remarque:
Cet aide-mémoire n'est pas exhaustif. Un choix doit être opéré selon les conditions géologiques, hydrogéologiques et géotechniques, la complexité du projet, la méthode de construction envisagée et l'avancement des études. Le cas échéant la liste peut être réduite ou étendue.

SIA CD Norm © 10/98 by SIA, Zürich

ANNEXE A3 1 Terrains meubles: Représentation simplifiée des conditions du massif dans le profil en long géologique

GEOMETRIE	• Kilométrage, métrage • Azimut de l'axe de l'ouvrage • Hauteur de couverture (sur calotte)	km, m ° (360°) m
GEOLOGIE	• Unité géologique • Longueur du tronçon	– m
DESCRIPTION	• Description et désignation selon SN 670 005, 670 008, 670 009 • Description des types lithologiques au front	– –
PROPRIETES	• Poids volumique apparent • Compacité • Module de rigidité M_E, E_V, E_S • Angle de frottement interne ϕ, φ • Cohésion c', c_u • Teneur en eau w • Comportement en cas de venues d'eau	kN / m^3 – N/mm^2 ° (360°) N/mm^2 % –
MASSIF	• Pierres/blocs (taille maximum, fréquence dans la section excavée) • Autres inclusions: (par ex. lentilles de sables ou limons saturés, tourbe, troncs d'arbre)	– –
HYDROGEOLOGIE	• Perméabilité selon Darcy • Conditions de circulation • Niveau de pression au radier de l'ouvrage	m/s – m
SITUATION DE RISQUE	Choix des situations de risque déterminantes selon l'annexe A5	–
APPRECIATION SELON LA NORME SIA 198	• Type d'excavation • Degré de blindage du front	– %
PRECISION DU PRONOSTIC	Remarques quant au degré de connaissance géologique et géotechnique	–

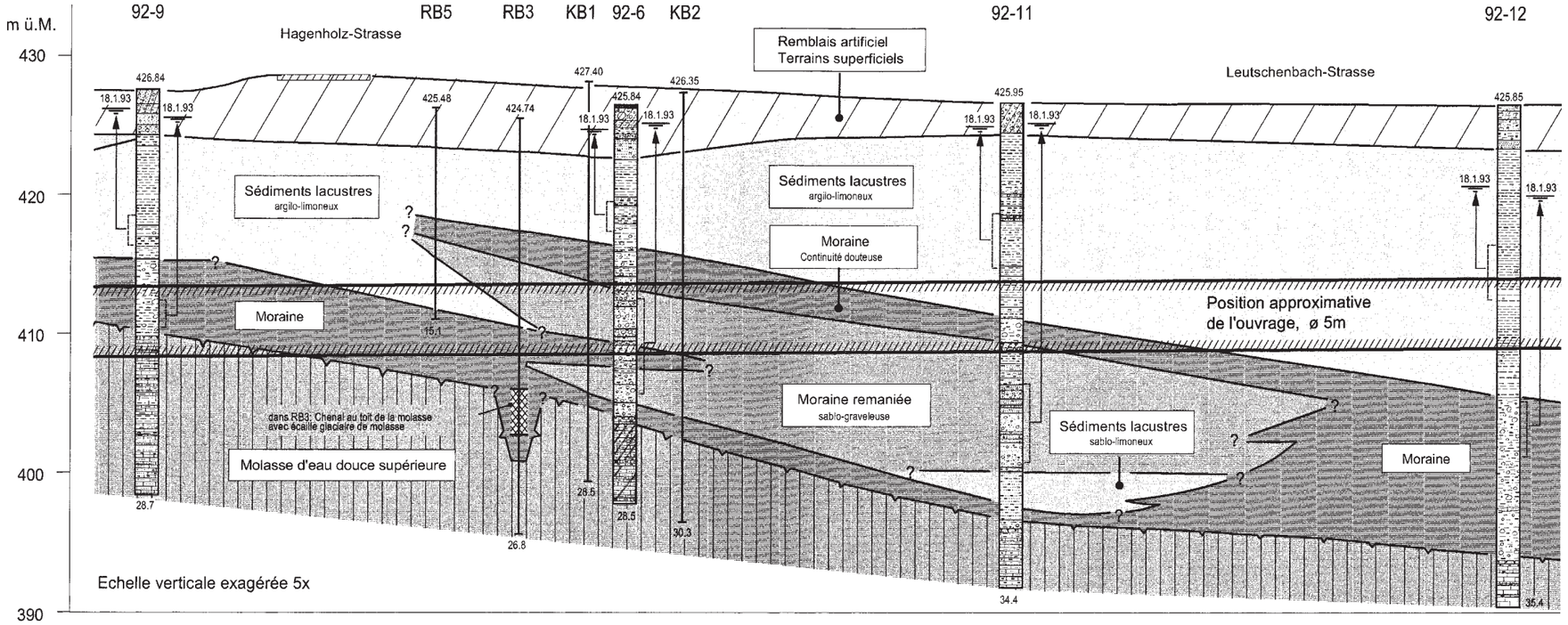
Remarque:
Cet aide-mémoire n'est pas exhaustif. Un choix doit être opéré selon les conditions géologiques, hydrogéologiques et géotechniques, la complexité du projet, la méthode de construction envisagée et l'avancement des études. Le cas échéant la liste peut être réduite ou étendue.

SIA CD Norm © 10/98 by SIA, Zürich

ANNEXE A3 2

Terrains meubles: Représentation des conditions du massif dans le profil en long géologique

Exemple:
Galerie de raccordement Glatt, Zurich (extrait)



GEOMETRIE	Métrage	m	1300		1200		1100		1000		900	
	Azimut de l'axe du tunnel (degré)	°	(SSW) 213 ←		rectiligne		→ 033 (NNE)		(SW) 203 ←	Courbe →	053 (NE)	(WSW) 255 ← Courbe → 075 (ENE)
	Hauteur de la couverture (sur calotte)	m	14	15.2	15	14		13				12
GEOLOGIE			seuil dans l'auge du Glattal		Sédiments glaciaires et postglaciaires du bord sud de l'auge nord du Glattal							
DESCRIPTION DES TERRAINS	Unités géologiques (classification, identification selon USCS, SN 670 005/8)		① Moraine (CL, SM-ML, GM-ML) ② Molasse d'eau douce supérieure		① Sédiments lacustres argilo-limoneux (CL, SM-ML, ML) ② Moraine (CL, SM-ML, GM-ML)		① Moraine remaniée ② Sédiments lacustres ③ Moraine	① Moraine (CL, CL-ML, GM-ML) ② Moraine remaniée (GM, SM) ③ Moraine (CL, CL-ML, GM-ML)		① Sédiments lacustres argilo-limoneux (CL, CL-ML, ML) ② Moraine (CL, CL-ML, GM-ML) ③ Moraine remaniée (GM, SM)	① Sédiments lacustres argilo-limoneux (CL, CL-ML, ML) ② Moraine (CL, CL-ML, GM-ML)	Sédiments lacustres argilo-limoneux (CL, CL-ML, ML)
	Distribution des unités géologiques au front (vue dans la direction du métrage)		① ②		① ②		① ② ③	② ① ③	① ② ③	① ② ③	① ②	Sédiments lacustres dans toute la section
	Longueur du tronçon	m	> 80		56		23	21	28	49	82	54	> 120
PROPRIETES (paramètres de mécanique des sols estimés sur la base des reconnaissances; voir rapport pages 40/41)	Compacité, qualitative		① moyenne ② élevée		① faible ② moyenne	élevée faible moyenne ← →	① ③ moyenne à ② élevée			① faible ② moyenne ③ élevée	① faible ② moyenne	faible
	Module de déformation M_{E1}	MN/m²	① 30–50 ② >100		① 5–20 ② 30–50	← →	① ③ 30–50 ② 30–40			① 5–20 ② 30–50 ③ 30–40	① 5–20 ② 30–50	5–20
	chargement / recharge M_{E2}	MN/m²	① 60–100 ② >200		① 20–50 ② 60–100	← →	① ③ 60–100 ② 50–100			① 20–50 ② 60–100 ③ 50–100	① 20–50 ② 60–100	20–50
	Poids volumique apparent γ	kN/m³	① 21–31 ② 25–26		① 20–21 ② 21–23	← →	① ③ 21–23 ② 21–22			① 20–21 ② 21–23 ③ 21–22	① 20–21 ② 21–23	20–21
	Résistance au cisaillement: Angle de frottement φ'	°	① 30–34 ② –		① 17–25 ② 30–34	← →	① ③ 30–34 ② 30–34			① 17–25 ② 30–34 ③ 30–34	① 17–25 ② 30–34	17–25
	Résistance au cisaillement: Cohésion c'	kN/m²	① 10–15 ② –		① 5–10 ② 10–15	← →	① ③ 10–15 ② 0			① 5–10 ② 10–15 ③ 0	① 5–10 ② 10–15	5–10
	Pulvérulence, qualitative		non pulvérulent			partiellement pulvérulent						non pulvérulent
MASSIF	Présence de pierres et de blocs (probabilité, cf rapport p. 42)	ø 8–15 cm	① fréquente ② –		① sporadique rare ② fréquente	← →	① + ③ fréquente			① sporadique rare ② ③ fréquente	① sporadique rare ② fréquente	sporadique, rare
		ø 15–25 cm	① rare ② –		① sporadique rare ② rare	← →	① + ③ rare			① sporadique rare ② ③ rare	① sporadique rare ② rare	
		ø 25–70 cm	blocs isolés possibles, très rares									
		> 1 m³	présence non exclue, probabilité d'occurence faible									
HYDROGEOLOGIE	Perméabilité, qualitative (K estimé)	m/s	faible à très faible ($K < 10^{-6}$)			moyenne, localement élevée ($K \sim 10^{-4}$ bis 10^{-5})		faible à très faible ($K < 10^{-6}$)				très faible ($K < 10^{-9}$)
	Pression au niveau du radier	m	17					16				(11.3*)
APPRECIATION ET SITUATIONS DE RISQUES			Radier stable		Excavation impossible sans soutènement circulaire immédiat et étanchement. Instabilité de l'excavation, irruption d'eau, tassements en surface, fondrières							
PRECISION DU PRONOSTIC	(Recommendations pour reconnaissances complémentaires voir rapport p. 48)		Largeur du seuil molassique non clairement définie.			Indentations schématiques moraine/ moraine remaniée/sédiments lacustres. Détails inconnus.					Indentations schématiques. Position et détails inconnus.	* Niveau piézométrique influencé par assèchement.

SIA CD Norm © 10/98 by SIA, Zürich

ANNEXE A4 1 Rocher: Représentation simplifiée des conditions du massif dans le profil en long géologique

GEOMETRIE	• Kilométrage, métrage • Azimut de l'axe de l'ouvrage • Hauteur de couverture (sur calotte)			
GEOLOGIE	• Unité tectonique • Unité géologique • Position des limites de formation (azimut, pendage) • Longueur du tronçon			
DESCRIPTION DE LA ROCHE	A B	• Nature de la roche • Teneur en minéraux durs (dureté H ≥ 7) • Teneur en minéraux tendres (dureté H < 3) • Teneur en minéraux gonflants • Composantes défavorables		
ROCHE	C D E F	• Potentiel de gonflement (pression de gonflement, gonflement libre) • Comportement en cas de venues d'eau • Résistance à la compression uniaxiale • Anisotropie de structure		
DISCONTINUITES	Litage / Schistosité		G H I J	• Espacement des discontinuités effectives • Position par rapport à l'axe de l'ouvrage • Angle de frottement φdans les joints • Cohésion c dans les joints
	Système de fractura-tion principale		K L M N O P	• Espacement des discontinuités effectives • Position par rapport à l'axe de l'ouvrage • Extension linéaire des fractures • Ouverture et remplissage des fractures • Angle de frottement φdes plans de fracture • Cohésion c des plans de fracture
	Bloc élémentaire		Q R	• Forme c/a • Dimension maximale a
HYDROGEOLOGIE	S T U V	• Genre de circulation • Pression d'eau, hauteur sur le radier de l'ouvrage • Perméabilité selon Lugeon • Venues d'eau dans l'excavation • Qualité de l'eau		
MASSIF ROCHEUX	• Module d'élasticité E • Présence de gaz • Radioactivité • Température du massif rocheux			
SITUATIONS DE RISQUE	Choix des situations de risque déterminantes selon l'annexe A5			
CLASSES D'EXCAVATION, DE FORAGE ET DE FRAI-SAGE NORME SIA 198	W X	• Type d'excavation • Classes d'excavation • Classes d'aptitude au forage • Classes d'aptitude au fraisage		
PRECISION DU PRONOSTIC	Remarques quant au degré de connaissance géologique et géotechnique			

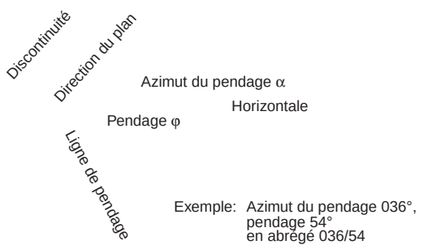
Remarques:
- Les lettres A à X se rapportent au classement selon l'annexe A4 2.
- Unités: voir annexe A4 2.
- Cet aide-mémoire n'est pas exhaustif. Un choix doit être opéré selon les conditions géologiques, hydrogéologiques et géotechniques, la complexité du projet, la méthode de construction envisagée et l'avancement des études. Le cas échéant la liste peut être réduite ou étendue.

SIA CD Norm © 10/98 by SIA, Zürich

ANNEXE A4 2 Rocher: Classement pour la représentation simplifiée dans le profil en long

					DEGRES 1	DEGRES 2	DEGRES 3	DEGRES 4	REMARQUES
PROPRIETES DE LA ROCHE		Teneur en minéraux durs Dureté H ≥ 7	A	%	insignifiant < 5	faible 5–30	moyenne 30–60	élevée > 60	Dureté H selon Mohs, en particulier la teneur en quartz
		Teneur en minéraux tendres Dureté H <3	B	%	insignifiant < 5	faible 5–30	moyenne 30–60	élevée > 60	Dureté H selon Mohs
		Potentiel de gonflement (pression de gonflement, gonflement libre)	C	p_{max} ε_{max} [N/mm²] [%]	non gonflant	faible < 1 < 3	moyen 1–3 3–15	élevé > 3 > 15	Classement selon la pression de gonflement p_{max} et le gonflement libre ε_{max}
		Comportement en cas de venues d'eau	D		inchangé (non sensible)	perte de résistance faible / lente	perte de résistance élevée / rapide	perte de résistence totale	
		Résistance à la compression uniaxiale	E	σ_d [N/mm²]	très élevée > 200	moyenne à élevée 80–200	faible à moyenne 10–80	très faible <10	Essai ⊥et II à la schistosité, resp. à la stratification. Classement selon $\sigma_{d\,mittel}$, Dimensions des éprouvettes
		Anisotropie de structure	F		massif (isotrope)	anisotropie faible (p.ex. gneiss)	anisotropie moyenne (p.ex. schisteux)	anisotropie forte (p.ex. feuilleté)	Estimation visuelle
PROPRIETES DES DISCONTINUITES	LITAGE / SCHISTOSITE	Espacement des discontinuités effectives	G	[m]	massif > 2	gros bancs 0,6–2	en bancs, lité 0,2–0,6	finement lité à schisteux, feuilleté < 0,2	Espacement moyen des joints de stratification, resp. des plans de schistosité
		Orientation par rapport à l'axe de l'ouvrage	H	° (360°)	très favorable	favorable	défavorable	très défavorable	Classement en fonction de la position (direction et pendage) par rapport à l'axe de l'ouvrage
		Angle de frottement	I [1)]	φ ° (360°)	élevé > 40	moyen 30–40	faible 20–30	très faible < 20	Résultats d'essais de cisaillement (résistance maximale) sur échantillons au laboratoire. Procédure d'essai, dimensions de l'éprouvette et plage des contraintes normales à indiquer
		Cohésion	J [1)]	c [N/mm²]	élevé > 2	moyenne 0,2–2	faible 0,02–0,2	très faible < 0,02	
	SYSTEME DE FRACTURATION PRINCIPAL	Espacement des fractures	K	[m]	très espacé > 2	espacement moyen 0,6–2	espacement faible 0,2–0,6	espacement très faible < 0,2	Espacement moyen du système de fractures dominant
		Orientation par rapport à l'axe de l'ouvrage	L	° (360°)	très favorable	favorable	défavorable	très défavorable	Classement en fonction de la position (direction et pendage) par rapport à l'axe de l'ouvrage
		Extension linéaire des fractures	M	[m]	faible < 1	moyenne 1–3	élevée 3–6	très élevée > 6	Indication de l'extension maximale
		Ouverture et remplissage des fractures	N	[mm]	fermée < 0.5	ouverture faible (remplissage cohésif) 0,5–10	ouverture faible (remplissage lâche) 0,5–10	ouvert > 10	
		Angle de frottement sur les plans de fracture	O [1)]	φ ° (360°)	élevé > 40	moyen 30–40	faible 20–30	très faible < 20	Résultats d'essais de cisaillement (résistance maximale) sur échantillons au laboratoire. Procédure d'essai, dimensions de l'éprouvette et plage des contraintes normales à indiquer
		Cohésion des plans de fracture	P [1)]	c [N/mm²]	élevée > 2	moyenne 0,2–2	faible 0,02–0,2	très faible < 0,02	
BLOC ELEMENTAIRE		Forme	Q	c / a [%]	essentiellement cubique > 60	partiellement cubique 40–60	partiellement aplatie ou prismatique 20–40	essentiellement aplatie ou prismatique < 20	a, b et c sont les dimensions du bloc élémentaire avec a > b > c
		Dimension maximale	R	a [m]	élevée > 2	moyenne 0,6–2	faible 0,06–0,6	très faible < 0,06	Dimension maximale d'un bloc limité par des discontinuités
HYDROGEOLOGIE		Genre de circulation	S		aucune	pores	discontinuités	karst	
		Pression d'eau	T	[m]	< 10	10–50	50–100	> 100	Hauteur piézométrique
		Perméabilité selon Lugeon	U	Lugeon [l / m · min]	très faible (étanche) < 1	faible 1–5	moyenne 5–20	élevée > 20	La perméabilité peut être aussi déterminée par d'autres procédés
		Venues d'eau dans l'excavation	V		aucune	gouttes, petites venues locales	venues faibles mais fréquentes, grosses venues locales	grosses venues fréquentes, débit élevé	Indication des débits spontanés (lors du percement) et des débits permanents [l/min]
CLASSES D'APTITUDE AU FORAGE ET AU FRAISAGE (SIA 198)		Classes d'aptitude au forage	W		exigences faibles	exigences moyennes	exigences élevées	exigences très élevées	Exigences requises (norme SIA 198). A définir selon l'objet
		Classes d'aptitude au fraisage	X		exigences faibles	exigences moyennes	exigences élevées	exigences très élevées	Exigences requises (norme SIA 198). A définir selon l'objet

1) Classement aussi possible d'après ISO / TC 182 / SC1 (1994) ou selon l'A.F.T.E.S. (Groupe de travail No. 1 Géologie-Géotechnique, 1976)



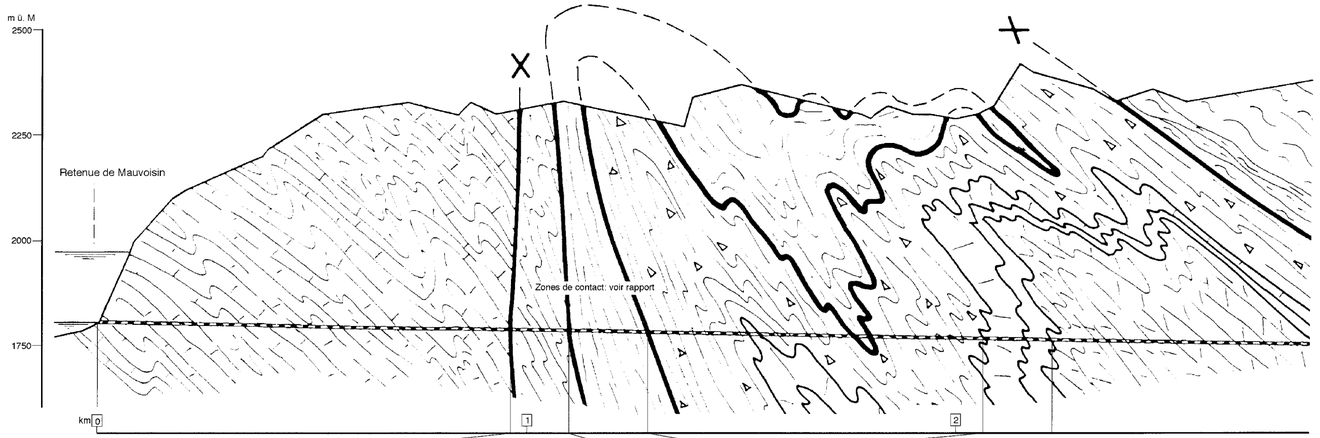
Remarques:

- En vue d'une unification, on s'efforcera de suivre le classement selon l'annexe A4 2. Selon le projet il peut néanmoins s'avérer opportun de choisir un autre classement.
- Les propriétés K à P seront classées sur la base du système de discontinuités le plus défavorable. Au besoin, un classement séparé est à effectuer pour les autres systèmes, dans le cas où ceux-ci s'avèrent significatifs.

SIA CD Norm © 10/98 by SIA, Zürich

ANNEXE A4 3 Rocher: Représentation des conditions du masif dans le profil en long géologique

Exemple: Galerie en charge Mauvoisin II (extrait)



GEOMETRIE	Kilométrage			km	0.000	0.970	1.110	1.280	2.070	2.220	
	Azimut de l'axe du tunnel			° (360)	180	180	180	180	135	150	
	Hauteur de couverture (sur calotte)			m	max. 500	500	500	500	500-600	600	
GEOLOGIE	Unité tectonique			-	ZONE DU COMBIN						
	Unité géologique			-	MAUVOISIN	PLEUREUR	MADZEIRA				
	Orientation des formations, azimut du pendage/pendage			° (360)	315/45-50	315/35-40	360/45-50	315/35-40	315/60-80	325/35-40	
	Longueur du tronçon			m	970	140	170	790	150	630	
NATURE DE LA ROCHE	Type de roche			-	Calcschistes gréseux (65%), calcaires siliceux plaquetés (17%), Alternance calcaires gréseux / calcaires siliceux (18%)	Calcschistes (80%), quartzites (20%)	Quarzites	Brèche dolomitique à éléments calcaires	Alternance de calcschistes, marbres, dolomies, brèches	Dolomies, brèches schistes	
	A	Teneur en minéraux durs, dureté H ≥ 7		%	15-40	Calcschistes (15), quarzites (90)	>90	1-2	5	Dolomies (<5), schistes (5)	
	B	Teneur en minéraux tendres, dureté H < 3		%	5-15	Calcschistes (5-10), quarzites (15)	5-7	< 5	4-6	Dolomies (<5), schistes (5-6)	
		Composantes défavorables		-	Sericite sur plans de schistosité	délits phylliteux	Sericite	-	délits phylliteux	-	
ROCHE	C	Potentiel de gonflement		-	non gonflant	non gonflant	non gonflant	non gonflant	non gonflant	non gonflant	
	D	Comportement en cas de venues d'eau		-	inchangé	inchangé	inchangé	inchangé	inchangé	inchangé	
	E	Résistance à la compression uniaxiale		N/mm²	80-150	40-80	80-150	140	130-180	130-180	
	F	Anisotropie de structure		-	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	
DISCONTINUITES	LITAGE / SCHISTOSITE	G	Espacement des discontinuités effect.	m	0.05 - 0.20	0.05 - 0.20	0.05 - 0.30	0.05 - 0.20	0.1 - 1.0	0.05 - 0.20	
		H	Orientation par rapport au tunnel	° (360)	très favorable	favorable	favorable	favorable	favorable	favorable	
		I	Angle de frottement φ des joints	° (360)	28-32	25-30	35	30-35	28-32	30-35	
		J	Cohésion c des joints	N/mm²	-	-	-	-	-	-	
	SYSTEME DE FRACTURATION PRINCIPAL	K	Espacement des discontinuités effect.	m	0.20 - 0.30	0.30 - 0.40	0.40	0.10 - 0.50	0.30 - 1.0	0.05 - 0.10	
		L	Orientation par rapport au tunnel	° (360)	favorable	favorable	favorable	favorable	favorable	favorable	
		M	Extension linéaire	m	très élevée	très élevée	très élevée	très élevée	très élevée	très élevée	
		N	Ouverture et remplissage	mm	0-2 Quartz, Calcite	0-2 Quartz, Calcite	0-2	0-2	0-2 Calcite	0-2 Quartz, Calcite	
		O	Angle de frottement φ des plans	° (360)	35-40	40	40	35-40	40	35	
		P	Cohésion c des plans	N/mm²	-	-	-	-	-	-	
	BLOC ELEMENTAIRE	Q	Forme c/a	%	< 20	<20	10-40	20-40	20-40	20-40	
		R	Dimension maximale a	m	0.4	0.3	0.4	0.5	0.6	0.4	
HYDROGEOLOGIE	S	Genre de circulation		-	selon litage et fractures	essentiellement selon les fractures					
	T	Niveau d'eau, hauteur sur radier		m	180	150-180	env. 150	env. 150	env. 150	env.150	
	U	Perméabilité selon Lugeon		l/(m · min)	10-30	1-10	10-20	10	10	10	
	V	Venues d'eau dans l'excavation		-	Gouttes. Localement, venues jusqu'à 5 l / s.	Gouttes	Venues max. 0.5 l / s	Gouttes. Venues jusqu'à 0.5 l / s, localement 10 l / s.		Venues jusqu'à 0.2 l / s et gouttes	
		Qualité de l'eau (a: agressive, na: non agressive)		-	na	na	na	na	na	na	
MASSIF		Module E (estimation)		kN/mm²	4-5	3-4	5-7	5-7	4-6	4-6	
		Température du massif		° C	16°	16°	16°	16°	16°	16°	
SITUATIONS DE RISQUE		Eboulements	< 0.2 m³	-	1 2	1	1 2	1	1		
			0.2 - 1.0 m³	-						3	
		Zones cisaillées, kakirite Longueur de la zone 0.2 - 1.0 m		-	3	3	3	2	2		
		Epaisseur > 20cm Longueur de la zone 1.0- 5.0 m		-	2	2	2	1			
		Irruption d'eau au front > 10 l / s		-	3 2	1	2		2	1	
		Débourrage de kakirite		-	2	2	2			3	
		Présence de gaz		-	Danger inexistant						
CLASSES D'EXCAVATION ET D'APTITUDE AU FORAGE Norme SIA 198		Classes d'excavation	I	m	600	70	145	690	110	500	
			II	m	200	50	20	70	10	85	
			III	m	150	15	0	20	20	45	
			IV	m	20	5	5	10	10	0	
			V	m	0	0	0	0	0	0	
	W	Classes d'aptitude au forage	Classe (longueur)	Exigences,m	faibles (776 m), moyennes (194 m)	faibles (112 m), élevées (28 m)	moyennes (170 m)	faibles (790 m)	faibles (150 m)	faibles (630 m)	
PRECISION DU PRONOSTIC					Selon nouveau levé de la galerie parallèle Louvie-Mauvoisin, bonnes connaissances. Insécurité par rapport aux venues d'eau dans la zone proche de la retenue (Forage pilote nécessaire).						

CLASSEMENT DU ROCHER

					1	2	3	4
PROPRIETES DE LA ROCHE		A	Teneur en minéraux durs Dureté H ≥ 7	[%]	insignifiante < 5	faible 5 - 30	moyenne 30 - 60	élevée > 60
		B	Teneur en minéraux tendres Dureté H < 3	[%]	insignifiante < 5	faible 5 - 30	moyenne 30 - 60	élevée > 60
		C	Potentiel de gonflement	-	non gonflant	faible	moyen	élevé
		D	Comportement en cas de venues d'eau	-	inchangé	perte de résistance faible/lente	perte de résistance élevée/rapide	perte de résistance totale
		E	Résistance à la compression uniaxiale	σ_c [N/mm²]	très élevée > 200	moyenne à élevée 100 - 200	faible à moyenne 10 - 100	faible < 10
		F	Anisotropie de structure	-	massif (isotrope)	anisotropie faible	anisotropie moyenne	anisotropie élevée
PROPRIETES DES DISCONTINUITES	LITAGE/ SCHISTOSITE	G	Espacement des discontinuités effectives	[m]	massif > 2	en gros bancs 0.6 - 2	en bancs, lité 0.2 - 0.6	finement lité à schisteux, feuilleté < 0.2
		H	Orientation par rapport à l'axe du tunnel	[°] (360)	très favorable	favorable	défavorable	très défavorable
		I	Angle de frottement des joints	φ [°] (360)	élevé > 40	moyen 30 - 40	faible 20 - 30	très faible < 20
		J	Cohésion des joints	c [N/mm²]	élevée >2	moyenne 0.2 - 2	faible 0.02 - 0.2	très faible < 0.02
	SYSTEME DE FRACTURATION PRINCIPAL	K	Espacement des discontinuités effectives	[m]	très espacé > 2	moyen 0.6 - 2	faible 0.2 - 0.6	très faible < 0.2
		L	Orientation par rapport à l'axe du tunnel	[°] (360)	très favorable	favorable	défavorable	très défavorable
		M	Extension linéaire des fractures	[m]	faible < 10	moyenne 10 - 30	élevée 30 - 60	très élevée 60 - 100
		N	Ouverture et remplissage des fractures	[mm]	fermée < 0.5	ouverture faible (remplissage cohésif) 0.5 - 10	ouverture faible (remplissage lâche) 0.5 - 10	ouvert > 10
		O	Angle de frottement des plans de fracture	φ [°] (360)	élevé > 40	moyen 30 - 40	faible 20 - 30	très faible < 20
		P	Cohésion des plans de fracture	c [N/mm²]	élevée > 2	moyenne 0.2 - 2	faible 0.02 - 0.2	très faible < 0.02
BLOC ELEMEN-TAIRE		Q	Forme du bloc	c/a [%]	essentiell. cubique > 60	partiellement cubique 40 - 60	partiellement aplatie ou prismatique 20 - 40	essentiellement aplatie ou prismatique < 20
		R	Dimension maximale	a [m]	élevée >2	moyenne 0.6 - 2	faible 0.06 - 0.6	très faible < 0.06
HYDROGEOLOGIE		S	Genre de circulation	-	aucun	pores	discontinuités	karst
		T	Pression d'eau, hauteur sur radier	[m]	<10	10 - 50	50 - 100	> 100
		U	Perméabilité selon Lugeon	Lugeon l/(m·min)	très faible < 1	faible 1 - 5	moyenne 5 - 20	élevée > 20
		V	Venues d'eau dans l'excavation	-	aucune	gouttes, petites venues locales	venues faibles mais fréquentes, grosses venues locales	grosses venues fréquentes, débits élevés
APTITUDE AU FORAGE norme SIA 198		W	Classes d'aptitude au forage	-	exigences faibles	exigences moyennes	exigences élevées	exigences très élevées

CLASSEMENT DES SITUATIONS DE RISQUE

NIVEAU DE DANGER	1	2	3
PROBABILITE D'OCCURENCE	faible (improbable)	moyenne (possible)	élevée (probable)

SIA CD Norm © 10/98 by SIA, Zürich

ANNEXE A5 Dangers et situations de risque

Aide-mémoire pour le chapitre 3

MASSIF	• Chute de pierres, détachement de blocs • Dislocation • Eboulement • Bergschlag (rocher) • Déformation de la section excavée • Instabilité du front • Effondrement atteignant la surface • Tassements superficiels
EAU	• Irruption d'eau (par ex. fissure ouverte, karst, failles) • Venues d'eau permanentes • Rupture du soutènement dû à la pression d'eau • Entartrage de drains • Agressivité de l'eau (effets sur le béton, les métaux, les matériaux synthétiques, etc.) • Préjudice aux eaux de surface et aux nappes souterraines, ainsi qu'aux puits et aux sources (tarissement de sources, pollutions, etc.) • Tassements superficiels consécutifs aux rabattements de nappe, respectivement aux variations de pression
MASSIF + EAU	• Instabilités dues aux écoulements d'eau • Instabilité par suite d'érosion interne • Débourrage par ex. de faille ou de conduit karstique • Instabilité suite à une boulance ou une perte de cohésion (par ex. absorption d'eau par des roches argileuses) • Déformations dues à des modifications de la pression interstitielle • Augmentation de volume d'un sol et de la pression exercée, par absorption d'eau (gonflement)
GAZ	• Explosion de gaz suite à un afflux continu ou subit de gaz provenant de massif (roche-mère ou roche magasin, venues de gaz lors de la traversée d'une fracture, dégazage après minage) • Empoisonnement par gaz nocifs, par ex. H_2S, CO_2 • Asphyxie suite à un manque d'oxygène (par ex. transport de l'oxygène par l'eau, phénomènes d'oxydation)
AUTRES SITUATIONS DE RISQUE	• Teneur en quartz élevée (silicose) • Roche riche en amiante • Glissements, tassements, fluage, mouvements néotectoniques • Sites contaminés, décharges • Ebranlements, vibrations • Température du massif et de l'eau • Radioactivité • Séismes

SITUATIONS DE RISQUE EN SURFACE (Portails, Installations de chantier, etc.)	• Avalanches, chute de séracs • Chutes de pierres, éboulement • Glissement, tassement, coulée de boue • Crue, inondation • Tempêtes, vents rabattants

Remarque:
Cet aide-mémoire n'est pas exhaustif. Un choix doit être opéré selon les conditions géologiques, hydrogéologiques et géotechniques, la complexité du projet, la méthode de construction envisagée et l'avancement des études. Le cas échéant la liste peut être réduite ou étendue.

SIA CD Norm © 10/98 by SIA, Zürich

ANNEXE A6 Essais de laboratoire, mesures et essais in situ

Aide-mémoire avec références (non exhaustif)

Essais de laboratoire	Terrains meubles	Massif rocheux	Normes et recommandations
Description	Granulométrie Poids volumique apparent Limites de consistance Teneur en eau Abrasivité LCPC Dureté Los Angeles	Texture, structure Poids volumique apparent Teneur en eau Abrasivité Cerchar Dureté Los Angeles	SN 670 810 / 816, ISRM-1978 SN 670 335, ISRM-1979 SN 670 345 SN 670 340, ISRM-1979, ASTM D2216-92 NF P18-579, Cerchar-1985, LCPC SN 670 835, ISRM-1978
Résistance	Essai de compression uniaxiale Essai triaxial Cisaillement	Essai de compression uniaxiale Traction Essai triaxial Cisaillement direct	SN 670 352, ISRM-1979, ASTM D2938-95 ISRM-1978, ASTM D3967-95 NF P94-074, ISRM-1978, ASTM D2664-86 NF P94-071, ISRM-1974, ASTM D5607-94
Déformation	Module E, coeff. Poisson Essai œdométrique Essais de gonflement	Module E, coeff. Poisson Essais de gonflement Essais de fluage	ISRM-1979, ASTM D3148-93 ISSMGE-ETC5-D1.97 ISRM-1989 ASTM D4405-93, ASTM D4406-93
Perméabilité	Essai de perméabilité	Essai de perméabilité	ASTM D4525-90

Essais in situ	Terrains meubles	Massif rocheux	Normes et recommandations
Etat des contraintes		Essai au vérin plat Méthode du surcarottage Fracturation hydraulique Essai de saignée en forage	ISRM-1986, ASTM D4729-87 ASTM D4623-86 ASTM D4645-87
Résistance au cisaillement	Scissomètre	Essai de cisaillement	NF P94-112, ASTM D4554-90
Déformabilité	Essai de plaques Pressiomètre	Essai de plaques Essai au vérin plat Dilatomètre	SN 670 317, ISRM-1979, ASTM D4394-84 ISRM-1986, ASTM D4729-87 NF P94-110, ISRM-1987
Perméabilité	Essai Lefranc Essai de pompage	Essai Lugeon Pulsetest Essai de pompage	NF P 94-131/132 ASTM D4630/31-86 NF P94-130

Mesures in situ	Terrains meubles	Massif rocheux	Normes et recommandations
Déplacement	Tassomètre Extensomètre Inclinomètre, Trivec Mesures de convergence	Micromètre de forage Extensomètre Inclinomètre, Trivec Mesures de convergence	 ISRM-1978, ASTM D4403-84 ISRM-1977, ASTM D4622-86 ASTM D4403-84
Pression	Capteur de pression des terres Piézomètre	Cellules de pression du massif Capteur de pression d'eau	ISRM-1980

SN: Norme suisse
ISRM: International Society of Rock Mechanics
LCPC: Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
ISSMGE: International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering
ASTM: American Society for Testing and Materials
NF: Norme Française
Cerchar: Centre d'étude et recherche Charbonnages de France

SIA CD Norm © 10/98 by SIA, Zürich

ANNEXE A7 Publications

[1] ISO / TC 182 / SC 1	Aspects géotechniques dans le domaine du génie civil Identification et description de la roche Edition 1995
[2] ASTM	Annual Book of ASTM Standards, vol. 04.08 Soil and Rock (I) Annual Book of ASTM Standards, vol. 04.09 Soil and Rock (II)
[3] SN 670 005	Identification des sols (Méthode de terrain)
SN 670 008	Identification des sols (Méthode de laboratoire avec classification selon l'USCS)
SN 670 009	Terminologie géologique des terrains meubles
SN 670 317	Essai de charge avec plaque E_V et M_E
[4] SN 640 034	Présentation des projets. Signes conventionnels géotechniques
[5] Normes européennes	Eurocode 7
[6] ISRM 1989	Suggested Methods for Laboratory Testing of Argillaceous Swelling Rocks
[7] A.F.T.E.S.	Groupe de travail no. 1 Géologie – Géotechnique
[8] A.F.T.E.S.	Groupe de travail no. 7 (mai / juin 1994) Le choix des paramètres et essais géotechniques utiles à la conception, au dimensionnement et à l'exécution des ouvrages creusés en souterrain.
[9] Lois fédérales	– Loi sur la protection de l'environnement (USG) du 7.10.1983 – Loi sur la protection des eaux (GSchG) du 24.1.1991 – Ordonnance générale sur la protection des eaux contre la pollution du 19.6.1972

[10] Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP)
– Légende modulable pour la cartographie des phénomènes (dangers naturels), 1995

Sigles des organisations représentées dans la commission SIA 199

EPFL	Ecole Polytechnique Fédérale Lausanne
ETHZ	Eidg. Technische Hochschule Zürich
CFF	Chemins de fer fédéraux suisses

SIA CD Norm © 10/98 by SIA, Zürich

Membres de la commission SIA 199 «Etude du massif encaissant pour les travaux souterrains»

		Représentant:
Président:	Ede Andraskay, Ing. SIA, Zurich	Bureau d'études
Vice-président:	Christian Amstad, Ing. SIA, Zurich	EPFZ
Membres:	Dr Ulrich Aeberli, Géologue, Zurich	Géologue
	Alfred Brügger, Ing. SIA, Genève	Entrepreneur
	Jean-Pierre Gisiger, Géologue, Zurich	Bureau d'études
	Roland Kobel, Ingénieur, Zurich	Entrepreneur
	Jean-François Mathier, Géologue SIA, Lausanne	EPFL
	Georg Schaeren, Géologue SIA, Lausanne	Géologue
	Gerhard Schmutz, Ingénieur, Berne	CFF
	Dr Ulrich Vollenweider, Ing. SIA, Zurich	Bureau d'études

Adoption et entrée en vigueur

La présente recommandation SIA 199 a été adoptée par le Comité central de la SIA, à Zurich le 29 septembre 1998.

Elle remplace la recommandation SIA 199*, Etude du massif encaissant pour les travaux souterrains,* 1975.

Elle entre en vigueur le 1er octobre 1998.

Le président: K. Aellen
Le secrétaire général: E. Mosimann

Copyright © 1998 by SIA Zurich

Tous les droits de reproduction, même partielle, de copie intégrale ou partielle (photocopie, microcopie), de mise en programme d'ordinateurs et de traduction sont réservés.