

Valorisation des matériaux d'excavation et de percement

Une partie du module « Déchets de chantier » de l'aide à l'exécution relative à l'ordonnance sur la limitation et l'élimination des déchets (ordonnance sur les déchets, OLED)



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement OFEV

Valorisation des matériaux d'excavation et de percement

Une partie du module « Déchets de chantier » de l'aide à l'exécution relative à l'ordonnance sur la limitation et l'élimination des déchets (ordonnance sur les déchets, OLED)

Impressum

Valeur juridique

La présente publication est une aide à l'exécution élaborée par l'OFEV en tant qu'autorité de surveillance. Destinée en premier lieu aux autorités d'exécution, elle concrétise les exigences du droit fédéral de l'environnement (notions juridiques indéterminées, portée et exercice du pouvoir d'appréciation) et favorise ainsi une application uniforme de la législation. Si les autorités d'exécution en tiennent compte, elles peuvent partir du principe que leurs décisions seront conformes au droit fédéral. D'autres solutions sont aussi licites dans la mesure où elles sont conformes au droit en vigueur.

Éditeur

Office fédéral de l'environnement (OFEV)

L'OFEV est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

Auteurs

Martin Tschan (OFEV)

Christoph Bilger (Bilger+Partner AG)

Antonio Bauen (Consaba GmbH)

Aliénor von Roten (OFEV)

David Hiltbrunner (OFEV)

Groupe d'accompagnement

Carsten Beck (cemsuisse), Cécile Bonnet (OFT), Satenig Chadoian (div. Droit, OFEV), Stefan Eberhard (ARV/VBSA), Adrian Gloor (OFROU), Peter Hartmann (CHGeol), Andy Lancini (Cercle déchets Zentralschweiz), Dejan Lukic (Infra Suisse), Laure Müller (CIRTD), Thierry Pralong (CIRTD), Andreas Roth (ASGB), Guido Schmid (Cercle déchets Ostschweiz/FL), Yves Spring (Cercle déchets NWCH), Volker Wetzig (ASGB)

Référence bibliographique

OFEV (éd.) 2021 : Valorisation des matériaux d'excavation et de perçement. Une partie du module « Déchets de chantier » de l'aide à l'exécution relative à l'ordonnance sur la limitation et l'élimination des déchets (ordonnance sur les déchets, OLED). Office fédéral de l'environnement, Berne. L'environnement pratique n° 1826 : 38 p.

Traduction

Service linguistique de l'OFEV

Mise en page

Cavelti AG, Marken. Digital und gedruckt, Gossau

Photo de couverture

David Hiltbrunner, OFEV

Téléchargement au format PDF

www.bafu.admin.ch/uv-1826-f

(il n'est pas possible de commander une version imprimée)

Cette publication est également disponible en allemand et en italien. La langue originale est l'allemand.

© OFEV 2021

Table des matières

1	Introduction	5	4	Valorisation des matériaux d'excavation et de perçement	14
1.1	Objectif	5	4.1	Généralités	14
1.2	Champ d'application	5	4.2	Matériaux de construction sur les chantiers	15
1.3	Bases légales	5	4.3	Matériaux de construction dans les décharges	15
2	Définitions	6	4.4	Matière première pour la fabrication de matériaux de construction	15
2.1	Déchets de chantier	6	4.5	Comblement de sites de prélèvement de matériaux	15
2.2	Déchets de chantier minéraux	6	4.6	Modifications de terrain autorisées	16
2.3	Matériaux d'excavation et de perçement	6	5	Matériaux de perçement de tunnels	17
2.4	Terrains meubles	7	5.1	Importance du plan d'élimination des déchets pour les projets de construction de tunnels	17
2.5	Rocher, roche en place	7	5.2	Bases du plan d'élimination des déchets	17
2.6	Matériaux de perçement de tunnels	7	5.3	Classification des matériaux de perçement de tunnels	17
2.7	Modifications de terrain	7	5.4	Éviter les pollutions anthropiques des matériaux de perçement	17
2.8	Exportation	7	5.5	Analyses en cours de travaux	18
2.9	Types de pollution	7	5.6	Valorisation des matériaux de perçement de tunnels	18
2.9.1	Pollution par des substances chimiques causée par des activités humaines	7	6	Index	20
2.9.2	Pollution par des déchets de chantier minéraux	7	6.1	Figures	20
2.9.3	Pollution par d'autres substances étrangères	7	6.2	Tableaux	20
2.9.4	Pollution géogène	8	6.3	Bibliographie	20
2.9.5	Pollution par des organismes exotiques envahissants (p. ex. néophytes)	8	Annexes	22	
2.10	Catégories de pollution	8	A1	Installations de traitement des matériaux d'excavation et de perçement	22
3	Démarche et appréciation	9	A2	Possibilités de valorisation pour les matériaux d'excavation et de perçement non pollués	24
3.1	Aperçu de la réglementation	9	A3	Démarche pour l'établissement d'un plan d'élimination des déchets (tunnels)	25
3.2	Investigation sur les pollutions dans le cadre du plan d'élimination des déchets	9			
3.3	Examen du matériau pendant les travaux de construction	9			
3.4	Recommandations sur la gestion des matériaux pollués par des substances géogènes	11			
3.4.1	Investigations concernant la menace pesant sur les biens à protéger sur le lieu de l'élimination	11			
3.5	Gestion des matériaux d'excavation et de perçement pollués par des organismes exotiques envahissants	13			
3.6	Programme d'échantillonnage destiné aux examens pour déterminer les propriétés du matériau dans le cadre de projets de grande d'envergure	13			

1 Introduction

1.1 Objectif

L'art. 19 de l'ordonnance sur les déchets (OLED; RS 814.600) exige que les déchets d'excavation et de percement non pollués ou faiblement pollués soient autant que possible valorisés intégralement. Face à la raréfaction de l'espace disponible dans les décharges, le stockage définitif dans celles-ci ne doit être envisagé que pour les déchets dont les propriétés ne permettent pas une valorisation correspondant à l'état de la technique. Le présent document, qui constitue une partie de module de *l'aide à l'exécution relative à l'OLED*, concrétise les exigences applicables aux différentes méthodes d'élimination spécifiques.

1.2 Champ d'application

La présente partie de module de *l'aide à l'exécution relative à l'OLED* traite de la valorisation écologiquement rationnelle des matériaux d'excavation et de percement pollués et non pollués visée à l'art. 19 OLED. Ce document remplace la Directive pour la valorisation, le traitement et le stockage des matériaux d'excavation et déblais (Directive sur les matériaux d'excavation, 1999). La valorisation des matériaux minéraux de déconstruction sera traitée dans une partie distincte du module « Déchets de chantier » de *l'aide à l'exécution relative à l'OLED*. L'élimination des déblais de voie est décrite dans la Directive sur les déblais de voie (2018). La valorisation des matériaux terreux issus du décapage du sol est réglée à l'art. 18 OLED et fait l'objet du module « Évaluation des sols en vue de leur valorisation » (2021) de *l'aide à l'exécution* « Construire en préservant les sols ». Le stockage définitif de matériaux d'excavation et de percement est traité dans le module « Décharges » de *l'aide à l'exécution relative à l'OLED*.

1.3 Bases légales

Les lois et ordonnances suivantes sont déterminantes pour valoriser et éliminer les matériaux d'excavation et de percement en respectant l'environnement.

La loi sur la protection de l'environnement (LPE, RS 814.01), la loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux, RS 814.20) et l'OLED contiennent les principes de base d'une gestion des déchets de chantier respectueuse de l'environnement.

L'OLED comporte des prescriptions techniques et organisationnelles concernant la limitation, la valorisation, le traitement et le stockage définitif des déchets. Elle vise à protéger l'environnement contre les atteintes nuisibles ou incommodes dues à ces derniers. Elle a par ailleurs pour but de promouvoir une utilisation durable des matières premières par une valorisation des déchets ménageant l'environnement.

L'ordonnance sur les mouvements de déchets (OMoD, RS 814.610) règle notamment les mouvements de déchets spéciaux et d'autres déchets soumis à contrôle à l'intérieur de la Suisse et les mouvements transfrontières des déchets.

L'art. 15, al. 2, de l'ordonnance sur la dissémination dans l'environnement (ODE, RS 814.911) régit notamment l'utilisation des organismes exotiques envahissants visés à l'annexe 2 ODE. L'art. 15, al. 3, ODE porte sur l'élimination (y c. la valorisation) du sol décapé et pollué biologiquement par de tels organismes.

2 Définitions

Les termes importants pour la compréhension de la présente partie de module d'aide à l'exécution sont définis ici. *Le glossaire de l'OFEV* contient d'autres définitions. Une liste des installations de valorisation des matériaux d'excavation et de percement se trouve à l'annexe A1.

2.1 Déchets de chantier

Déchets produits lors de la construction, de la transformation ou de la déconstruction d'installations fixes (art. 3, let. e, OLED).

2.2 Déchets de chantier minéraux

Déchets visés au point 2.1 de composition minérale, c'est-à-dire les matériaux minéraux de déconstruction (p. ex.

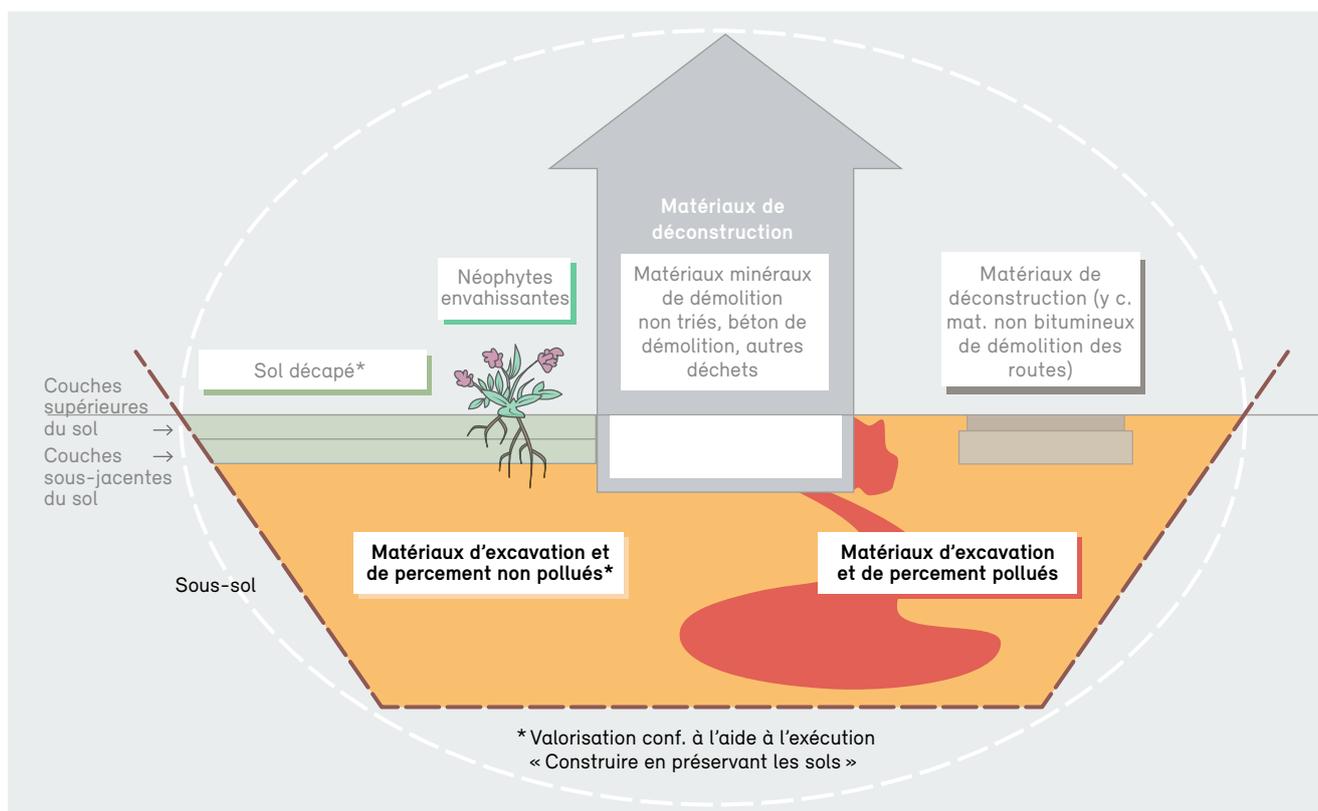
béton de démolition, matériaux bitumineux, matériaux non bitumineux de démolition des routes), les matériaux d'excavation et de percement ainsi que le sol décapé (cf. annexe 1 OLED, classe 4).

2.3 Matériaux d'excavation et de percement

Les matériaux d'excavation et de percement comprennent les matériaux qui résultent d'activités dans les secteurs du bâtiment et du génie civil ou du creusement de tunnels, de cavernes ou de galeries ; ne sont pas inclus les matériaux terreux issus du décapage de la couche supérieure et de la couche sous-jacente du sol. Ne sont pas non plus incluses les fondations de gravier non liées (matériaux non bitumineux de démolition des routes) utilisées légalement comme partie d'une construction (cf. figure 1 ; pour plus de détails, voir le point 2.2 « Champ d'application »

Figure 1

Champ de validité de l'art. 19 OLED, matériaux d'excavation et de percement



du module « Déchets de chantier » de l'aide à l'exécution relative à l'OLED).

Les matériaux de percement et d'excavation comprennent en particulier :

- a. roches meubles (ou terrains meubles) telles que pierres, graviers, sable, limons, argiles et leurs mélanges ;
- b. roches concassées ;
- c. matériaux excavés contenant non seulement des composants naturels, mais également des résidus provenant de constructions antérieures (p. ex. remplissages et remblais) ou d'anciens sites de stockage définitif.

Les matériaux d'excavation et de percement comportent essentiellement des composants minéraux. Ils peuvent toutefois contenir aussi des substances étrangères (cf. point 2.9) et des matières organiques provenant de couches de tourbe ou de sol situé au-dessus ou de racines profondes de plantes.

Outre les polluants anthropiques, les matériaux d'excavation et de percement peuvent contenir des polluants géogènes. Ces substances n'étant pas dues à l'activité humaine, elles ne doivent pas être prises en considération dans le classement des matériaux d'excavation (annexe 3 OLED). Des recommandations plus détaillées à propos de la gestion des matériaux pollués par des substances géogènes sont formulées au point 3.4.

2.4 Terrains meubles

Ensemble de particules de minéraux ou de roches, parfois de matière organique non ou très peu cimentés. Les terrains meubles sont constitués de particules solides et de pores plus ou moins remplis d'air, de gaz ou d'eau (définition selon la norme SIA 199 [2015]).

2.5 Rocher, roche en place

Massif rocheux, y compris discontinuités et vides de tous ordres (définition selon la norme SIA 199 [2004]).

2.6 Matériaux de percement de tunnels

Les matériaux de percement de tunnels sont des matériaux qui résultent de la construction d'un ouvrage souterrain et qui sont produits par l'utilisation d'explosifs, d'un tunnelier ou d'une autre méthode d'avancement. Un ouvrage souterrain est une caverne, un puits, un puits incliné, une galerie ou un tunnel au sens de la norme SIA 198 (2004).

2.7 Modifications de terrain

Les modifications de terrain ont valeur d'installation au sens de l'art. 7, al. 7, LPE. La création ou la transformation d'une installation est soumise à autorisation (art. 22 de la loi sur l'aménagement du territoire [RS 700]).

2.8 Exportation

L'exportation des matériaux d'excavation et de percement est régie par l'OMoD. Une telle exportation requiert une notification. Les conditions posées aux exportations sont expliquées dans la Communication de l'OFEV aux requérants (2017).

2.9 Types de pollution

2.9.1 Pollution par des substances chimiques causée par des activités humaines

Les matériaux d'excavation et de percement sont pollués par des substances chimiques en raison d'activités humaines, dans des zones industrielles par exemple.

2.9.2 Pollution par des déchets de chantier minéraux

Les matériaux d'excavation et de percement sont pollués par des déchets de chantier minéraux (p. ex. morceaux de béton, revêtement d'asphalte, céramique, plâtre ou tuiles).

2.9.3 Pollution par d'autres substances étrangères

Les matériaux d'excavation et de percement sont pollués par d'autres substances étrangères (p. ex. déchets de chantier non minéraux, biodéchets ou déchets urbains).

2.9.4 Pollution géogène

La pollution des matériaux d'excavation et de percement par des substances géogènes indique la présence de polluants (métaux lourds, amiante, etc.) qui n'est pas due à l'activité humaine, mais à la composition minérale de la roche mère, à des formations hydrothermales ou à des couches contenant des hydrocarbures.

Si, lors du traitement de ces matériaux (p. ex. criblage, concassage), une concentration de polluants se produit dans certaines fractions, la pollution ne peut plus être considérée comme géogène (p. ex. matériaux fins, boues). En effet, en raison de l'intervention humaine, le risque que présente le matériau pour l'environnement est nettement plus élevé.

2.9.5 Pollution par des organismes exotiques envahissants (p. ex. néophytes)

Les organismes exotiques envahissants sont des organismes qui ne sont pas indigènes (leur répartition géographique naturelle se situe en dehors de l'UE et de l'AELE, sans les régions d'outre-mer) et dont on sait ou doit sup-

poser qu'ils peuvent se propager en Suisse et atteindre une densité telle que la biodiversité et son utilisation durable pourraient être menacées ou qu'ils pourraient constituer un danger pour l'homme, la faune ou l'environnement (cf. art. 3, al. 1, let. f et h, ODE). L'annexe 2 ODE contient une liste des organismes exotiques envahissants dont l'utilisation directe est interdite (art. 15, al. 2, ODE). Les matériaux d'excavation et de percement peuvent être pollués par des racines de plantes envahissantes (néophytes). Le module « Évaluation des sols en vue de leur valorisation » de l'aide à l'exécution « Construire en préservant les sols » (2021) contient une liste des néophytes envahissantes.

2.10 Catégories de pollution

Les matériaux d'excavation et de percement peuvent être répartis dans les catégories de pollution suivantes en tenant compte des annexes 3 et 5 OLED et de l'ordonnance du DETEC concernant les listes pour les mouvements de déchets (RS 814.610.1):

Tableau 1

Catégories de pollution des matériaux d'excavation et de percement

Désignation et code	Critères						
	Code OLED annexe 1	Code ordonnance du DETEC concernant les listes pour les mouvements de déchets OMoD	Part de terrains ou de roches meubles en % du poids	Part d'autres déchets de chantier minéraux en % du poids	Substances étrangères*	Exigences en vertu de l'OLED	Désignation pratique
Matériaux d'excavation et de percement non pollués	4301	17 05 06	> 99 %	< 1 %	Aucune	Observation de l'annexe 3, ch. 1	Matériaux A
Matériaux d'excavation et de percement faiblement pollués	4302	17 05 94	> 95 %	< 5 %	Extraites autant que possible	Observation de l'annexe 3, ch. 2	Matériaux T
Matériaux d'excavation et de percement peu pollués	4201	17 05 97 sc	–	–	–	Observation de l'annexe 5, ch. 2.3	Matériaux B
Matériaux d'excavation et de percement fortement pollués	4201	17 05 91 scd	–	–	–	Observation de l'annexe 5, ch. 5.2	Matériaux E
Matériaux d'excavation et de percement pollués par des substances dangereuses	4101	17 05 05 S	–	–	–	Dépassement de l'annexe 5, ch. 5.2	Matériaux S

* Substances étrangères telles que les déchets urbains, les biodéchets ou les déchets de chantier non minéraux

3 Démarche et appréciation

3.1 Aperçu de la réglementation

La figure 2 illustre le processus d'appréciation pour les matériaux d'excavation et de percement. Les critères spécifiques du processus sont décrits plus en détail dans les chapitres suivants. Une fois les matériaux attribués à une catégorie de pollution, ils peuvent être valorisés ou, en cas d'impossibilité, stockés définitivement selon les indications du tableau 2.

3.2 Investigation sur les pollutions dans le cadre du plan d'élimination des déchets

La partie de module « Diagnostic des polluants et informations concernant l'élimination des déchets de chantier » de *l'aide à l'exécution relative à l'OLED* concrétise les obligations de l'art. 16 OLED, à savoir l'établissement d'un plan d'élimination des déchets et la détermination des polluants contenus dans les déchets de chantier (et donc dans les matériaux d'excavation et de percement). Les exigences énoncées dans ce document s'adressent aux maîtres d'ouvrage et valent pour tous les projets de construction soumis à autorisation pour lesquels :

- plus de 200 m³ de déchets de chantier (solides) seront produits, ou
- il y a lieu de s'attendre à des déchets de chantier contenant des substances dangereuses pour l'environnement ou pour la santé.

Si l'on soupçonne une pollution du sous-sol (p. ex. au moment d'inscrire un site au cadastre des sites pollués ou sur des cartes indicatives de la pollution des sols ; voir pour plus de détails la partie de module « Diagnostic des polluants et informations concernant l'élimination des déchets de chantier » de *l'aide à l'exécution relative à l'OLED*), cette suspicion doit faire l'objet, dans le cadre de la détermination des polluants, d'une enquête détaillée au moyen d'analyses chimiques, dont les résultats seront documentés dans le plan d'élimination des déchets. Si d'autres examens ou analyses chimiques sont prévus

durant les travaux, il convient de le noter dans le plan d'élimination des déchets.

3.3 Examen du matériau pendant les travaux de construction

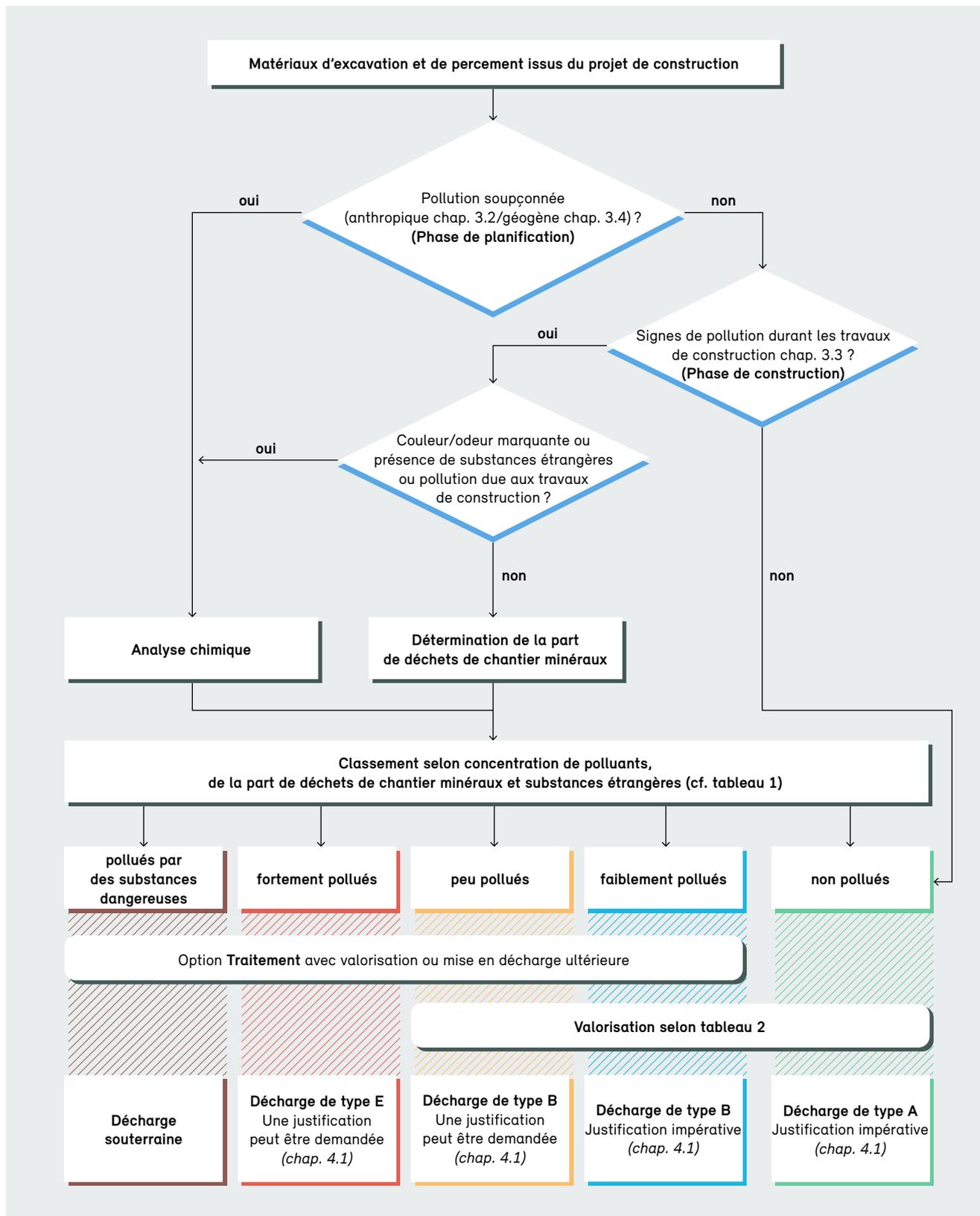
S'il n'y a pas lieu de soupçonner une pollution du sous-sol, il faut vérifier tout au long des travaux si :

- a. les matériaux d'excavation et de percement contiennent des déchets de chantier minéraux et/ou des substances étrangères (telles que biodéchets, déchets urbains, autres déchets de chantier, vieux mâchefers, métaux, matières plastiques, etc.) ;
- b. les matériaux d'excavation et de percement présentent une couleur inhabituelle ;
- c. les matériaux d'excavation et de percement ont une odeur marquante ;
- d. les matériaux d'excavation et de percement ne subissent pas une pollution du fait des travaux de prélèvement eux-mêmes.

Si aucune de ces conditions n'est remplie et si aucune autre suspicion de pollution n'existe, les matériaux d'excavation et de percement peuvent être considérés comme non pollués.

Si, lors des **travaux de construction**, il y a lieu de **soupçonner** une pollution des matériaux utilisés, ou si ces derniers ne correspondent pas aux informations fournies dans le plan d'élimination des déchets, le maître d'ouvrage ordonne, d'entente avec l'autorité compétente, des analyses chimiques complémentaires pour déterminer la qualité des matériaux et les filières d'élimination appropriées. Le programme d'investigation peut, avec l'accord de l'autorité compétente, se limiter aux paramètres pertinents liés au cas particulier. Au besoin, le plan d'élimination des déchets sera mis à jour.

Figure 2
Appréciation et élimination des matériaux d'excavation et de percement



3.4 Recommandations sur la gestion des matériaux pollués par des substances géogènes

S'il est établi que les valeurs limites visées à l'annexe 3, ch. 1, OLED sont dépassées uniquement en raison d'une pollution par des substances géogènes, les matériaux sont considérés comme non pollués en vertu de la législation sur les déchets¹. Néanmoins, la prise en compte des polluants géogènes peut être pertinente s'agissant des menaces pour les biens à protéger (eaux souterraines, eaux superficielles, sol et air). Outre les dispositions de l'OLED, le principe de précaution inscrit à l'art. 1, al. 2, LPE et le devoir de diligence arrêté à l'art. 3 LEaux doivent être respectés; en d'autres termes, les atteintes qui peuvent être nuisibles ou incommodantes doivent être limitées ou entièrement évitées à titre préventif. Pour garantir le respect de ces exigences de protection, il est possible de définir les valeurs limites relatives aux décharges de type B² (annexe 5, ch. 2.3, OLED) comme seuil d'intervention. Ces valeurs limites sont arrêtées de manière à ce que les concentrations dans un lixiviat se situent dans la fourchette des valeurs de concentration³ au sens de l'ordonnance sur les sites contaminés (OSites; RS 814.680); voir l'aide à l'exécution de l'OFEV « Détermination des valeurs de concentration et des valeurs limites » (2013).

Si l'on soupçonne une pollution géogène des matériaux (valeurs tirées de l'expérience, cartes de pollution, résultats d'analyse), il est possible de procéder selon le schéma de la figure 3. En outre, si des réglementations cantonales existent sur la gestion de la pollution causée par des substances géogènes, elles doivent être prises en considération.

Si le matériau est soupçonné d'être pollué par de l'uranium géogène ou d'autres éléments radioactifs, la Suva

doit être consultée pour ce qui est de la protection des travailleurs et la division Radioprotection de l'Office fédéral de la santé publique pour les questions de valorisation et de stockage définitif. La protection des travailleurs doit aussi être observée dans le cas de l'amiante.

3.4.1 Investigations concernant la menace pesant sur les biens à protéger sur le lieu de l'élimination

Si les valeurs limites fixées à l'annexe 5, ch. 2.3, OLED ne peuvent être respectées en raison de la pollution géogène, l'autorité peut exiger du maître d'ouvrage qu'il procède à des clarifications afin d'assurer une élimination de ces matériaux pollués qui respecte l'environnement. Le maître d'ouvrage peut s'appuyer sur les points suivants pour indiquer les effets qu'aura la solution d'élimination proposée sur les biens à protéger pertinents à l'emplacement prévu :

- teneur totale des matériaux d'excavation et de percement en polluants géogènes (mg/kg);
- solubilité des polluants géogènes dans les matériaux d'excavation et de percement, mesurée au moyen d'un test de lixiviation (mg/l);
- effets sur les biens à protéger pertinents (eaux souterraines, sols, etc.) à l'emplacement prévu pour l'élimination;
- comparaison entre les matériaux à stocker définitivement et le sous-sol du lieu d'élimination sur les plans de la composition et de la teneur en polluants géogènes (toutes choses étant égales par ailleurs).

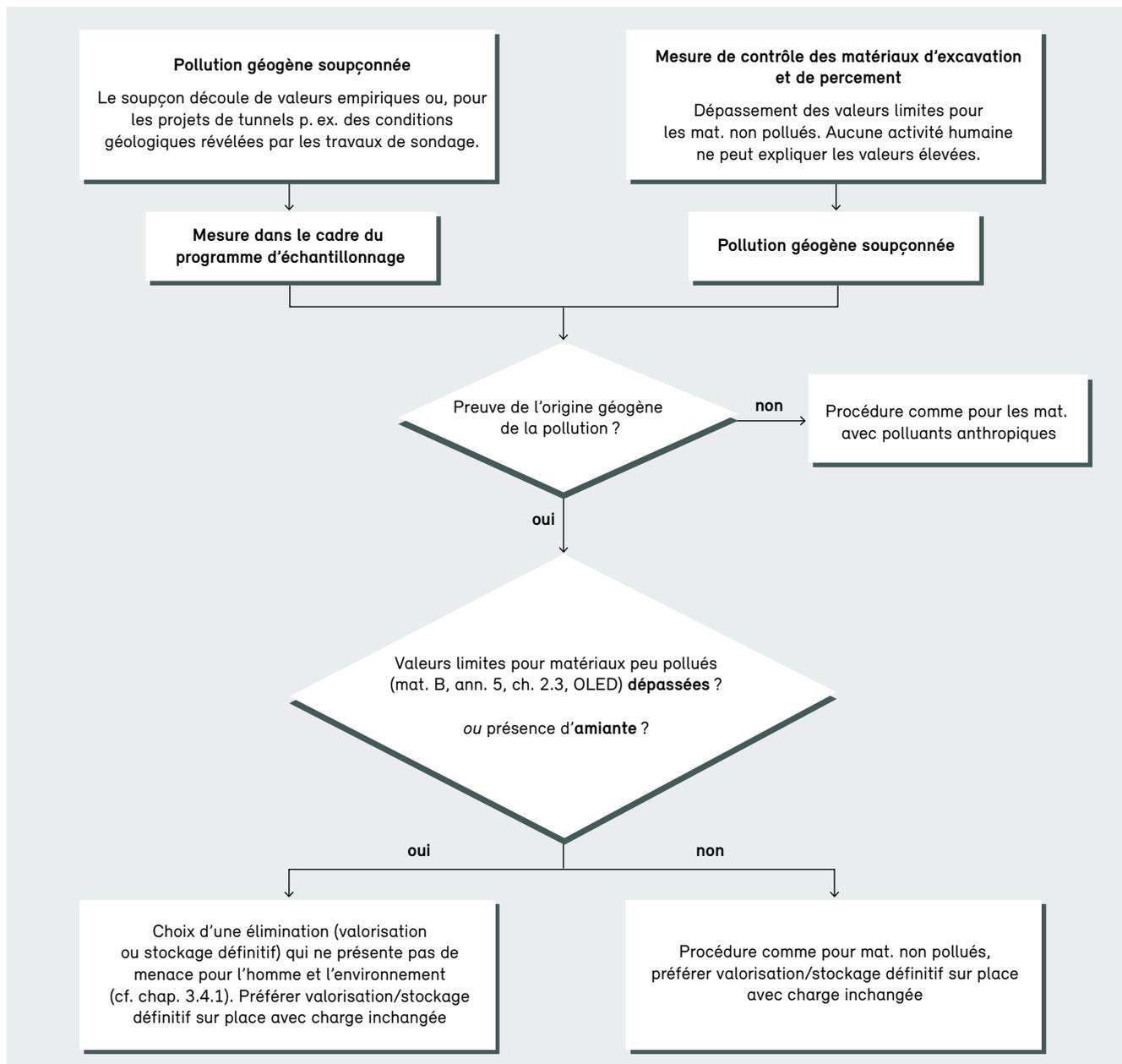
Le maître d'ouvrage doit s'accorder sur la solution d'élimination proposée avec l'autorité compétente. Celle-ci pourra par exemple interdire, à titre préventif, que des matériaux d'excavation et de percement pollués par des substances géogènes ne soient utilisés pour une modification de terrain ou le comblement d'une gravière dans une zone A_u de protection des eaux.

1 Voir la formulation de l'annexe 3, ch. 1, let. c, et de l'annexe 3, ch. 2, let. c, OLED: « si les substances qu'ils contiennent ne dépassent pas les valeurs limites suivantes (teneurs totales) ou si le dépassement n'est pas dû à l'activité humaine ».

2 En ce qui concerne les hydrocarbures géogènes, il est possible, en raison de leur important potentiel d'émission (odeur) et de leur solubilité élevée, de définir la valeur limite relative aux décharges de type A comme seuil d'intervention.

3 Les valeurs de concentration de l'OSites se fondent sur des données de base en toxicologie humaine combinées avec un scénario d'exposition donné (absorption de polluants par le corps à travers l'eau potable). Les valeurs de concentration correspondent ainsi à une valeur d'eau potable répondant à des critères de toxicologie humaine.

Figure 3
Démarche recommandée en cas de suspicion de pollution géogène



3.5 Gestion des matériaux d'excavation et de percement pollués par des organismes exotiques envahissants

Si les matériaux d'excavation et de percement sont pollués par des organismes exotiques envahissants figurant dans le module « Évaluation des sols en vue de leur valorisation (2021) » de l'aide à l'exécution « Construire en préservant les sols », les restrictions de valorisation s'appuient sur les exigences de l'ODE (art. 15). La gestion des matériaux d'excavation et de percement pollués correspond à la gestion du sol pollué telle que décrite dans le module d'aide à l'exécution susmentionné.

3.6 Programme d'échantillonnage destiné aux examens pour déterminer les propriétés du matériau dans le cadre de projets de grande envergure

Lors de projets de grande envergure, des examens préalables détaillés sont indispensables pour garantir une gestion correcte des matériaux et l'optimisation des frais d'élimination. Ces investigations consistent d'une part à clarifier de manière approfondie une éventuelle suspicion de pollution du sous-sol (cf. partie de module « Diagnostic des polluants et informations concernant l'élimination des déchets de chantier » de l'aide à l'exécution relative à l'OLED) et, d'autre part, à tenir compte de la situation géologique (en incluant les éventuels polluants géogènes) et des pollutions dues au processus de construction (résidus d'explosifs, béton, lubrifiants, etc.); pour plus de détails, cf. chapitre 5 et annexe A3. L'échantillonnage et les analyses doivent être effectués conformément au module « Échantillonnage des déchets solides » de l'aide à l'exécution relative à l'OLED et à l'aide à l'exécution « Méthodes d'analyse dans le domaine des déchets et des sites pollués » (2017).

4 Valorisation des matériaux d'excavation et de percement

4.1 Généralités

Une obligation de valoriser s'applique pour les matériaux d'excavation et de percement non pollués ou faiblement pollués en vertu de l'art. 19 OLED. L'objectif est de boucler les cycles de matières premières. Si, dans un cas exceptionnel, la valorisation n'est pas possible, le **stockage définitif** des matériaux d'excavation et de percement non pollués ou faiblement pollués doit être **justifié** dans le plan d'élimination des déchets. Les matériaux d'excavation et de percement plus fortement pollués doivent eux aussi être traités conformément à l'état de la technique afin que leurs parties valorisables puissent être valorisées. Pour évaluer les possibilités de traite-

ment des matériaux d'excavation plus fortement pollués, il faut non seulement effectuer un diagnostic des polluants conformément à l'OLED, mais aussi mener des investigations supplémentaires en fonction de la méthode de traitement (p. ex. distribution granulométrique et composition des matériaux). Des indications en ce sens doivent figurer dans le plan d'élimination des déchets (pour plus de détails, cf. partie de module « Diagnostic des polluants et informations concernant l'élimination des déchets de chantier » de l'aide à l'exécution relative à l'OLED).

Les possibilités de valorisation existantes sont présentées dans le tableau 2.

Tableau 2
Possibilités de valorisation (valorisation admise/** valorisation pas autorisée)

Valorisation	Catégorie de pollution	Matériaux d'excavation et de percement non pollués	Matériaux d'excavation et de percement faiblement pollués	Matériaux d'excavation et de percement peu pollués	Matériaux d'excavation et de percement fortement pollués	Matériaux d'excavation et de percement pollués par des substances dangereuses
		Matériau A	Matériau T	Matériau B	Matériau E	Matériau S
traitement optionnel		Dans une installation d'élimination des déchets conformément aux art. 26 ss OLED, avec valorisation ou mise en décharge ultérieure				
comme matériaux de construction sur place			(a)	(b)	**	**
comme matériaux de construction dans une décharge		(c)	(c)	(c)	**	
comme matières premières pour la fabrication de matériaux de construction			aux liants hydrauliques ou bitumineux	**	**	**
comme matières premières dans une cimenterie				Selon les critères d'admission de l'annexe 4 OLED	Selon les critères d'admission de l'annexe 4 OLED	Selon les critères d'admission de l'annexe 4 OLED
comblement de sites de prélèvement de matériaux			**	**	**	**
modifications de terrain		sur autorisation uniquement	**	**	**	**
exportation		Selon OMoD (avec notification)				

a) L'art. 19, al. 2, let. d, OLED s'applique. b) L'art. 19, al. 3, let. b, OLED s'applique.
c) Les dispositions de l'annexe 2, ch. 2.3.1 à 2.3.3, OLED et de l'annexe 2, ch. 2.3.4, OLED s'appliquent.

4.2 Matériaux de construction sur les chantiers

Généralement, la valorisation la plus judicieuse est l'utilisation comme matériaux de construction directement sur le chantier ou sur des chantiers situés à proximité, afin de réduire autant que possible les transports et les émissions entraînées par ceux-ci. Selon la nature (distribution granulométrique) des matériaux, plusieurs utilisations sont possibles. Des utilisations appropriées sont par exemple (voir aussi annexe A2) :

- remblayage, comblement ;
- couches fonctionnelles (porteuses, infiltration ou fondation) ;
- aménagement du terrain.

Les matériaux d'excavation et de percement peuvent être utilisés comme matériaux de construction meubles directement après leur prélèvement ou à l'issue d'un traitement (criblage, concassage, etc.). Il est judicieux d'étudier les possibilités de valorisation à un stade précoce, en s'adjoignant les services de spécialistes de l'élimination/d'ingénieurs géotechniciens/d'entreprises de traitement des matériaux. Le plan d'élimination des déchets doit indiquer les possibilités de valorisation.

En ce qui concerne les matériaux d'excavation et de percement faiblement pollués, les possibilités de valorisation décrites ci-dessus s'appliquent conformément à l'art. 19, al. 2, OLED à condition que ces matériaux puissent être valorisés sous forme non liée exclusivement sur le lieu où ils sont produits.

4.3 Matériaux de construction dans les décharges

Les matériaux d'excavation et de percement peuvent être utilisés comme matériaux de construction dans les décharges en fonction de leur adéquation technique et de leur degré de pollution (annexe 2 OLED). Il est généralement nécessaire de traiter ces matériaux au préalable, de sorte que les éléments de construction finaux répondent aux exigences techniques. Les matériaux présentant d'im-

portantes charges géogènes ne se prêtent pas comme matériaux de construction dans les décharges.

4.4 Matière première pour la fabrication de matériaux de construction

Selon leur composition minéralogique et leurs propriétés géotechniques, les matériaux d'excavation et de percement peuvent être valorisés sous forme de granulats non liés ou de granulats destinés à la fabrication de béton et d'asphalte ou encore sous forme de matière première ou d'ajout pour la production de ciment. La valorisation sous forme de granulats destinés à la fabrication de béton et d'asphalte ou d'ajout pour la production de ciment doit respecter les valeurs limites inscrites à l'annexe 3, ch. 2, OLED. S'ils doivent être utilisés comme matière première dans la production de ciment, les matériaux d'excavation et de percement doivent alors respecter les valeurs limites fixées à l'annexe 4, al. 1, OLED, et le clinker de ciment doit respecter la valeur limite fixée à l'annexe 4, ch. 1.6, OLED.

Ces possibilités de valorisation doivent être examinées soigneusement et à un stade précoce en particulier dans les projets de construction de tunnels. Dans ce contexte, si des matériaux de percement ne peuvent pas servir de granulats pour la fabrication de béton ou d'asphalte en raison de leurs propriétés, il faut toujours envisager leur valorisation dans une cimenterie.

4.5 Complément de sites de prélèvement de matériaux

Les matériaux d'excavation et de percement non pollués peuvent servir à combler des sites de prélèvement de matériaux (p.ex. gravières, marnières, carrières). Cette utilisation est considérée comme une valorisation, contrairement à la mise en décharge. Il revient à l'autorité qui délivre l'autorisation de prélever les matériaux de décider, en appliquant par analogie l'annexe 5, ch. 1, OLED, si, en plus des matériaux d'excavation et de percement non pollués, d'autres déchets non pollués peuvent être utilisés pour combler des sites de prélèvement de matériaux. En raison de ses caractéristiques techniques, le ballast de

voie ferrée non polluée doit servir à la fabrication de matériaux de construction et non au comblement.

Pour les matériaux pollués par des substances géogènes, il convient d'évaluer, conformément aux exigences définies au point 3.4, s'il y a lieu de craindre une mise en danger de l'homme et de l'environnement.

4.6 Modifications de terrain autorisées

Les matériaux d'excavation et de percement non pollués peuvent être utilisés pour réaliser des modifications de terrain autorisées (art. 7, al. 7, LPE) dans le cadre d'un projet de construction si celles-ci remplissent un objectif de construction précis. Quelques exemples de ces utilisations sont présentés ci-après.

- Dignes (digues entourant des zones protégées ou servant de protection contre les crues)
- Parois antibruit
- Aménagements paysagers liés à la protection de la nature et du paysage
- Dans le cadre de projets d'amélioration du sol afin d'aménager les abords des zones urbaines et les espaces verts à l'intérieur de la zone bâtie
- Relèvement de zones à bâtir menacées d'inondation
- Aménagement d'espaces dédiés au sport et à la détente
- Aménagements du terrain de parcs urbains
- Relèvement de la hauteur de carrés dans les cimetières
- Aménagements de cours d'eau (immersions dans la zone du delta pour une revalorisation écologique ou la protection du paysage, création de bassins de rétention des crues)
- Immersion dans des lacs (rétablissement de zones littorales peu profondes pour la faune et la flore, protection contre l'érosion)
- Remblais pour préserver ou rétablir la sécurité des eaux souterraines

Les propriétés techniques des matériaux déterminent les utilisations envisageables. Il convient de tenir compte de la protection du sol et du paysage dans ce contexte, sans quoi les projets ne peuvent être réalisés.

Une immersion de matériaux d'excavation et de percement dans les eaux peut être autorisée par les autorités cantonales dans des cas exceptionnels uniquement, aux conditions prévues par l'art. 39, al. 2, LEaux, plus particulièrement pour entreprendre la revalorisation écologique d'un rivage ou réaliser une construction qui ne peut être érigée en un autre lieu et qui est située dans une zone bâtie. En cas d'immersions dans un lac ou un cours d'eau, il est impératif de tenir compte de la protection des eaux. En raison du risque d'un fort accroissement de la turbidité de l'eau, les travaux de déversement doivent être réalisés conformément aux lois, ordonnances et directives en vigueur et selon l'état de la technique (« Matériaux d'excavation non pollués : immersion dans les lacs autorisée par la LEaux [1999] »).

5 Matériaux de percement de tunnels

5.1 Importance du plan d'élimination des déchets pour les projets de construction de tunnels

Les projets de tunnel entraînent généralement des quantités considérables de matériaux de percement, dont l'élimination constitue un élément important du projet et du processus d'autorisation. Pour qu'il soit possible d'évaluer l'élimination des matériaux de percement dans le cadre de l'autorisation du projet mis à l'enquête, il est nécessaire d'élaborer un plan d'élimination des déchets de manière détaillée déjà dans le rapport d'impact sur l'environnement, en mettant l'accent sur les méthodes de valorisation envisageables. Ce plan d'élimination doit être régulièrement adapté et précisé par un spécialiste au fur et à mesure de la planification et de la réalisation.

L'élaboration d'un plan d'élimination des déchets dans le cadre d'un projet de construction de tunnel fait l'objet d'une description détaillée à l'annexe A3. Les autres projets d'ouvrages souterrains sont à traiter par analogie.

5.2 Bases du plan d'élimination des déchets

Les informations contenues dans le plan d'élimination des déchets constituent l'une des bases de l'appel d'offres pour les travaux. Il est important que les soumissionnaires connaissent les détails concernant la qualité des matériaux destinés aux différentes filières d'élimination et puissent en tenir compte dans la réalisation du projet. Il faut définir quelles pollutions sont liées au système et lesquelles sont évitables. Il est indiqué en outre de convenir qui supportera les éventuels coûts supplémentaires s'il n'est pas possible de respecter les filières d'élimination prévues en raison de pollutions anthropiques évitables dues à un travail réalisé de manière incorrecte.

La méthode d'avancement choisie influe directement sur les pollutions inhérentes au système et sur les quantités de matériaux produites ; elle détermine donc aussi le besoin en surface pour le traitement et la valorisation. L'espace requis pour le projet mis à l'enquête doit être

connu à un stade précoce pour pouvoir mener les négociations avec les propriétaires fonciers. Il convient de définir la méthode de travail à employer dans le plan d'élimination des déchets déjà, afin de réduire les éventuelles pollutions dues à la technique d'avancement choisie.

Le plan d'élimination des déchets doit aussi spécifier le traitement, la valorisation et le stockage définitif prévus pour les différents matériaux d'excavation qui seront produits. Un point important en l'occurrence est leur valorisation comme matière première dans le cadre du projet lui-même (p. ex. pour la fabrication de béton ou de ciment, voir aussi figure A3-2 à l'annexe A3).

5.3 Classification des matériaux de percement de tunnels

En vue de leur valorisation, il est judicieux de répartir les matériaux de percement de tunnels en classes de matériau selon la norme SIA 199 (2015). Ces dernières se rapportent aux propriétés techniques des matériaux et à leur aptitude à la valorisation, en tenant compte des traitements nécessaires. Ce faisant, les aspects écologiques et économiques peuvent être optimisés. Les possibilités de valorisation effectives dépendent toutefois de la distribution granulométrique, qui est liée à la méthode d'avancement et au traitement consécutif.

5.4 Éviter les pollutions anthropiques des matériaux de percement

Toute technique d'avancement employée dans la construction de tunnels entraîne une pollution anthropique des matériaux de percement. Néanmoins, lorsque de grandes quantités de matériaux de percement sont produites (hormis les résidus de traitement tels que des boues, des matières fines, etc.), ces matériaux peuvent en principe être considérés comme non pollués si leur pollution est réduite au strict minimum durant les travaux de construction. Il convient ainsi de prendre des mesures adéquates, répondant à l'état de la technique, afin de

réduire autant que possible la pollution des matériaux de percement par d'autres déchets de chantier minéraux (béton projeté). Par ailleurs, la séparation des matériaux de percement et du béton provenant du soutènement de la fouille et des rebonds de béton projeté doit être entreprise en utilisant toutes les possibilités qu'offre la technique. Les matériaux provenant du radier du tunnel ne peuvent pas être considérés comme non pollués.

D'une manière générale, les travaux d'avancement, la consolidation, le marinage, le concassage des matériaux de percement de tunnels et leur éventuel tri doivent être effectués avec soin afin que la part de matières minérales et d'autres substances étrangères (restes de béton projeté, métaux, etc.) dans les matériaux de percement soit la plus faible possible. Les pollutions chimiques liées aux travaux de construction, par exemple au chrome(VI), aux hydrocarbures aliphatiques ($\text{HC}_{\text{C}_{10}\text{-C}_{40}}$), à l'ammonium ou aux nitrites doivent demeurer aussi basses que possible. Pour y parvenir, il faut travailler de manière soignée, entretenir régulièrement les machines et retirer à la main les substances étrangères.

Éviter les pollutions anthropiques augmente les possibilités de valorisation des matériaux de percement. À cet effet, il faut encourager les mesures adéquates. Il convient d'optimiser les travaux de percement et le traitement de manière à permettre une valorisation quasi intégrale des matériaux. Les mesures requises à cette fin doivent figurer dans les contrats conclus entre le maître d'ouvrage et les entreprises (entrepreneurs, bureaux d'ingénieurs/d'études environnementales).

5.5 Analyses en cours de travaux

Au cours d'avancement, des échantillons doivent être prélevés régulièrement dans les matériaux excavés et analysés afin de contrôler la qualité des travaux et l'apport de polluants engendré. Il convient de prévoir des intervalles standard pour les mesures (au moins un échantillon par sondage tous les $10\,000\text{ m}^3$ (solides), pour contrôler la qualité des matériaux de percement) et de planifier le prélèvement d'échantillons si des signes d'un apport accru de polluants anthropiques apparaissent ou pour limiter les charges géogènes. Ainsi, un grand nombre d'échantillons

doit être prélevé au début des travaux de percement ainsi qu'en cas de changements fréquents de lithologie. Les analyses des matériaux excavés doivent porter sur les paramètres suivants (voir point 6.1, annexe A3).

Anthropiques

- Part de substances étrangères, en fonction de la masse de béton projeté utilisée, déterminée à l'aide d'un bilan massique. La concentration de chrome(VI) ne doit pas être mesurée directement, mais peut être calculée à partir de la masse de béton projeté.
- Résidus d'azote (NH_4^+ , NO_2^-) par rapport au type et à la qualité d'explosif utilisé.
- Hydrocarbures aliphatiques ($\text{HC}_{\text{C}_{10}\text{-C}_{40}}$) par rapport à la quantité excavée.

Géogènes

- Si l'on soupçonne la présence de certains polluants géogènes, ceux-ci doivent être inclus dans le programme de mesure standard. Les analyses doivent être plus fréquentes en cas de changements de lithologie et spécialement pour les strates dont on sait qu'elles contiennent de plus grandes quantités de ces substances.

Le nombre de paramètres mesurés peut être réduit dès que les pollutions anthropiques ont été ramenées au strict minimum (p. ex. on ne mesurera plus que le paramètre déterminant la méthode d'élimination). En cas d'irrégularités et de suspicions de pollutions plus importantes, tous les paramètres pertinents sont mesurés.

Les tâches et les compétences des différents acteurs impliqués dans l'examen de la qualité des matériaux de percement, ainsi que du nombre d'échantillons, doivent être définis par voie contractuelle.

5.6 Valorisation des matériaux de percement de tunnels

Si, dans la mise en œuvre des exigences du point 5.5, il peut être prouvé que la pollution des matériaux de percement a été réduite au strict minimum durant les travaux d'avancement, alors ces matériaux peuvent être classés parmi les matériaux non pollués et valorisés conformément aux exigences du chapitre 4.

En raison des grandes quantités de matériaux de percement, il est recommandé d'impliquer les exploitants d'installations et les autorités compétentes (le plus souvent les cantons) afin de trouver des solutions d'élimination judicieuses. Cela vaut en particulier dans le cas d'une pollution par des substances géogènes (point 3.4). Dès que les possibilités de valorisation ont été évaluées ou que le site de stockage définitif est connu, les exigences spécifiques peuvent être clarifiées avec les autorités.

Si, selon une variante d'entreprise, de nouvelles filières d'élimination, non prévues dans le plan d'élimination des déchets, doivent être créées, elles doivent satisfaire aux mêmes exigences que celles prévues initialement dans le plan. Le plan doit être adapté en conséquence puis soumis à nouveau à l'autorité compétente.

Les canaux d'élimination et/ou décharges prévu(e)s dans le plan d'élimination des déchets doivent être prêts et les autorisations nécessaires, disponibles au moment où les travaux d'avancement commencent. Le temps de préparation nécessaire pour mettre en place les filières d'élimination dépend de la complexité du projet et du devoir de valorisation consécutif à ce dernier.

6 Index

6.1 Figures

Figure 1

Champ de validité de l'art. 19 OLED, matériaux d'excavation et de percement

6

OFEFP (éd.). (1999). Matériaux d'excavation non pollués : immersion dans les lacs autorisée par LEaux. *L'environnement pratique. Informations concernant la protection des eaux no 32*. Berne : Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage.

Figure 2

Appréciation et élimination des matériaux d'excavation et de percement

10

OFEFP (éd.). (2001). Recommandation pour l'élimination des matériaux d'excavation et déblais altérés par des floculants. *L'environnement pratique*. Berne : Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage.

Figure 3

Démarche recommandée en cas de suspicion de pollution géogène

12

OFEV (éd.). (2009). Manuel EIE. *Directive de la Confédération sur l'étude de l'impact sur l'environnement. L'environnement pratique no 0923*. Berne : Office fédéral de l'environnement.

6.2 Tableaux

Tableau 1

Catégories de pollution des matériaux d'excavation et de percement

8

OFEV (éd.). (2013). Détermination des valeurs de concentration et des valeurs limites. Aide à l'exécution relative à l'ordonnance sur les sites contaminés et à l'ordonnance sur le traitement des déchets. *L'environnement pratique no 1333*. Berne : Office fédéral de l'environnement.

Tableau 2

Possibilités de valorisation

14

OFEV (éd.). (2017). Méthodes d'analyse dans le domaine des déchets et des sites pollués. *L'environnement pratique no 1715*. Berne : Office fédéral de l'environnement.

6.3 Bibliographie

Cercle exotique. (29 mars 2016). Utilisation de matériaux issus du décapage de sols contaminés par des plantes exotiques envahissantes dans le sens de l'annexe 2 ODE. Recommandations du CE en vue de la mise en œuvre de l'art. 15, al. 3, ODE. KVV. Consulté sur https://extranet.kvu.ch/files/documentdownload/150625115316_Utilisation_de_materiaux_d%E2%80%99excavation_contamines.pdf

OFEV (éd.). (2017). Mouvements transfrontières de déchets. Communication de l'OFEV aux requérants. *L'environnement pratique no 1702*. Berne : Office fédéral de l'environnement.

OFEV (éd.). (2021). Valorisation des matériaux terreux décapés. *Aide à l'exécution Construire en préservant les sols, partie 2*. Berne : Office fédéral de l'environnement.

OFEFP (éd.). (1999). Directive sur les matériaux d'excavation. *Directive pour la valorisation, le traitement et le stockage des matériaux d'excavation et déblais*. Berne : Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage.

OFT (éd.). (2018). Directive sur les déblais de voie. *Planification de travaux d'excavation et élimination des déblais de voie*. Berne : Office fédéral des transports.

SIA. (2004). SIA 198. *Constructions souterraines – Exécution*. Zurich : Société suisse des ingénieurs et des architectes.

SIA. (2015). SIA 199. *Étude du massif encaissant pour les travaux souterrains*. Zurich : Société suisse des ingénieurs et des architectes.

Winzeler, R. (8 mars 2018). Umweltrelevante Erfahrungen beim Tunnelbau mit Sprengvortrieb. Zurich : Geo Partner AG. Consulté sur https://extranet.kvu.ch/files/documentdownload/180409065659_Bericht_WS_Tunnelausbruchmaterial_2017_Stand_2018_03_08.pdf

Annexes

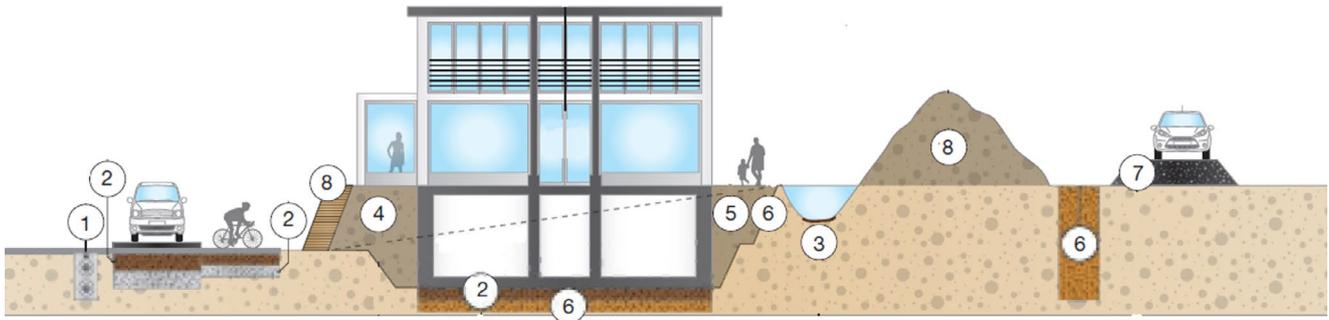
A1 Installations de traitement des matériaux d'excavation et de percement

Installations de traitement des matériaux d'excavation et de percement (liste non exhaustive)

Type d'installation	Déchets pouvant être traités	État des déchets (solides, liquides, gazeux)	Objectif du traitement	Informations spécifiques à l'installation			
				Critères d'adéquation et d'admission	Temp. de combustion	Temp. de post-combustion	Extrants (parts approx.)
Installations de traitement thermique							
Cimenterie (cru de substitution)	Déchets minéraux à l'exception des matériaux bitumineux de déconstruction	Solides	Destruction des polluants organiques, intégration des polluants inorganiques dans le ciment Processus thermique : oxydation/combustion	Critères d'admission : selon annexe 4 OLED et caractéristiques spécifiques de l'installation Teneur en ML ~ < type B ; part organique et polluants : dépend de l'installation	Gaz 2000 °C (entrée du four), clinker 1450 °C		100% ciment (les poussières de filtres provenant de la fabrication de clinker de ciment peuvent être valorisées comme ajouts/adjuvants dans ce processus)
Désorption thermique/pyrolyse	Matières minérales polluées par des composés volatils	Solides	Destruction des polluants organiques volatils, séparation des métaux/composés métalliques volatils, récupération de matières brutes (valorisation) ou extrants pouvant être mis en décharge. Processus thermique : désorption ou pyrolyse	Critère d'admission : fixés spécifiquement pour l'installation Part organique < 20 % Teneur en ML ~ < type B	500-650 °C	950-1200 °C	78% de composants minéraux (valorisation ou mise en décharge) 22% fumées
Autres installations/possibilités de traitement importantes				Critères d'adéquation et d'admission	Processus appliqués		Extrants (parts approx.)
Traitement mécanique à sec	Mélanges de matériaux séparables et contenant différentes charges de polluants	Solides	Séparation des matériaux en fonction de la granulométrie, de la densité et de la composition	Adéquation à des matériaux graveleux/sableux avec peu de fraction fine pour séparation puis valorisation, traitement ou stockage définitif	Tamisage, séparation par ventilation, tri par densité		Fractions séparées > peuvent être valorisées matière, traitées ou mises en décharge

Type d'installation	Déchets pouvant être traités	État des déchets (solides, liquides, gazeux)	Objectif du traitement	Informations spécifiques à l'installation		
Traitement mécanique par voie humide	Déchets minéraux dont une partie est valorisable	Solides, en suspension	Séparation physico-chimique, épuration des fractions entrant et concentration des polluants dans la fraction fine (boues de flottation, gâteau de filtration) ainsi qu'extraction des fractions polluées par des polluants d'après leurs propriétés (p. ex. tri par densité des projectiles dans les matériaux provenant des buttes pare-balles ou polluants organiques dans les matériaux légers)	Adéquation à différents matériaux pour séparation puis valorisation ou stockage définitif Part organique idéalement < 25 % Approprié pour des polluants tels que : ML, HC, BTEX, HAP, PCB, cyanure, pesticides, etc.	Lavage, extraction, tamisage, tri par densité et traitement de l'eau	Composants valorisables (gravier, sable, fractions métalliques); Gâteau de filtration : valorisation / traitement ou stockage définitif
Aspiration d'air avec post-traitement	Mélanges de matériaux contenant des éléments organiques volatils	Solides	Élimination des polluants volatils de la matrice à l'aide d'un flux d'air constant.	Approprié pour les matériaux graveleux/sableux perméables au gaz Approprié pour des polluants tels que : HCCV, HC _{C5-C10} , BTEX	Vacuum-heap	Composants valorisables ou stockables; flux d'air passe par du charbon actif, incinération ou analogue
Traitement biologique	Mélanges de matériaux contenant des polluants biodégradables	Solides	Réduction de la charge polluante par minéralisation	Approprié pour les matériaux plutôt graveleux/sableux Approprié pour des polluants tels que : HC _{C5-C10}	Décontamination par des micro-organismes	Composants valorisables ou stockables
Immobilisation/stabilisation	Déchets contenant des éléments inorganiques solubles (p. ex. métaux lourds)	Solides	Les polluants sont transformés ou fixés, par réaction chimique ou sorption, en composés moins nocifs ou moins mobiles. Mise en décharge consécutive	Approprié pour les matériaux fins contenant des polluants inorganiques		Matériaux pouvant être mis en décharge

A2 Possibilités de valorisation pour les matériaux d'excavation et de percement non pollués⁴



1. Remblayage des fossés collecteurs
2. Couches de base et de fondation*
3. Étanchéification : barrière et remblayage dense, étanchéification des bassins
4. Surélévation du terrain
5. Remblayage : bâtiment, éléments de support
6. Évacuation des eaux, drainage
7. Digue ou remblai pour l'infrastructure routière
8. Aménagement du terrain et éléments utiles avec/sans fonction de soutènement : mur, remblais antibruit, colline

* après traitement

A3 Démarche pour l'établissement d'un plan d'élimination des déchets (tunnels)

Démarche pour établir un plan d'élimination des déchets dans le cadre d'un projet de tunnel

1. Introduction

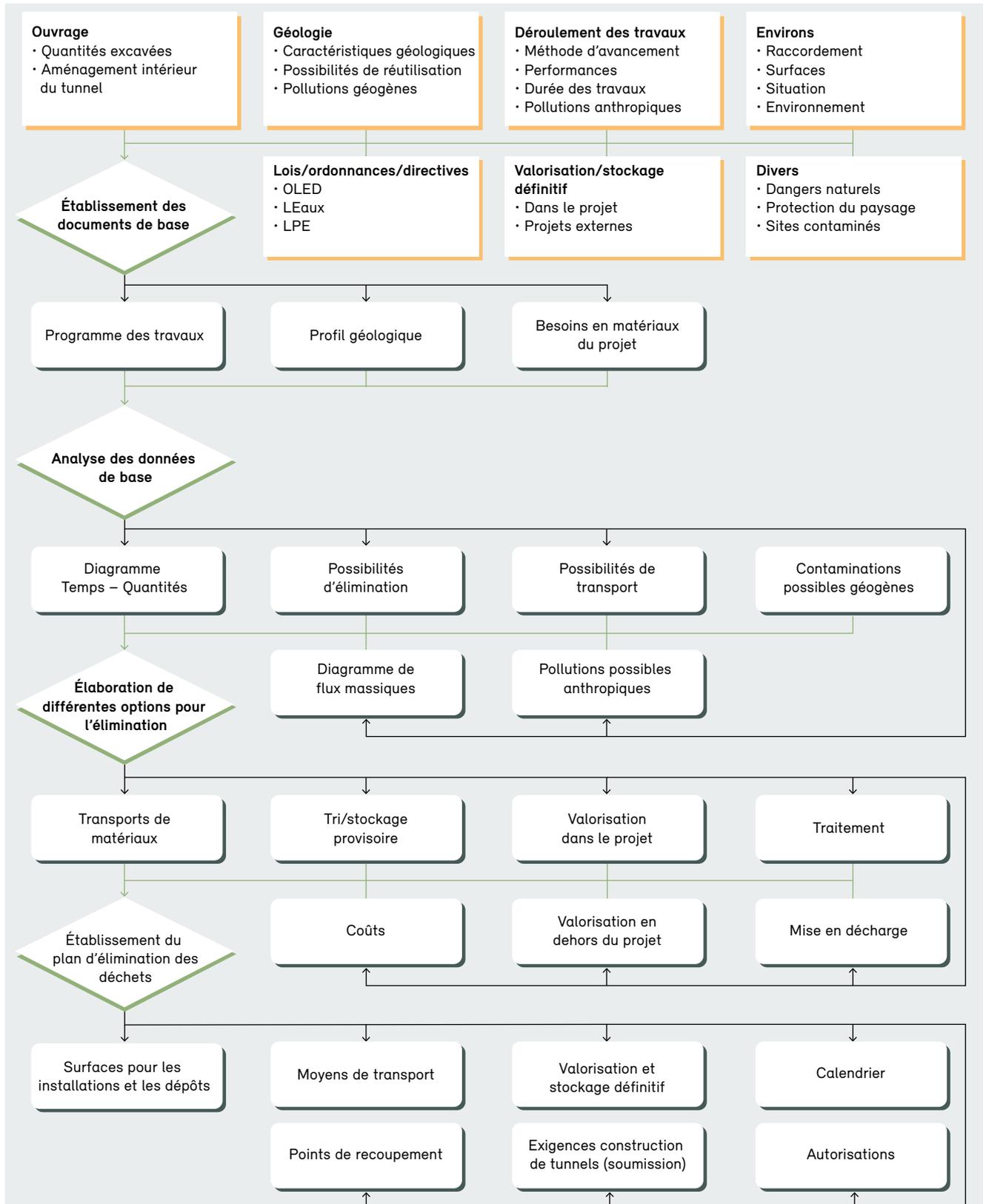
Un plan d'élimination des déchets plausible et susceptible d'obtenir une autorisation est primordial pour la mise en œuvre réussie d'un projet de tunnel. Dans le cadre de l'approbation du plan par les autorités, il convient de mettre à disposition suffisamment d'informations permettant d'évaluer et d'approuver le projet. Le plan doit ensuite être concrétisé lors du déroulement du projet de sorte qu'une version définitive soit disponible lorsque commencent les travaux de percement. Il convient de se procurer les assurances et les autorisations nécessaires afin de garantir l'élimination des matériaux produits.

Le plan d'élimination des déchets (et les contrats également) doit définir clairement les responsabilités et les compétences du maître d'ouvrage, de l'organisme chargé du suivi environnemental de réalisation (SER) et de l'entreprise. Il doit ressortir précisément qui est responsable de quels éléments de base et de quels contrôles.

Le schéma de la page suivante (figure A3-1) illustre la démarche à suivre pour élaborer un plan d'élimination des déchets. Il est suivi d'explications relatives aux différentes étapes.

Figure A3-1

Démarche à suivre pour élaborer un plan d'élimination des déchets produits par le percement d'un tunnel



2. Éléments de base d'un plan d'élimination des déchets

L'élaboration d'un plan d'élimination des déchets plausible requiert la préparation préalable des éléments de base. Les bases nécessaires sont décrites ci-après.

I. Ouvrage

Le projet d'ouvrage doit d'abord être défini. Il convient de déterminer les données ci-dessous en se basant sur la géométrie (longueur, diamètre, etc.) et sur les normes de construction du tunnel prévu :

- quantités de matériaux de percement (tunnel principal, centrales, niches, galeries de liaison, rampes d'accès, etc.);
- quantités de matériaux de construction minéraux (béton, graviers mélangés, mélanges non traités aux liants, matériaux de remblayage sans exigence particulière, etc.).

II. Géologie

Pour déterminer les méthodes de valorisation ou d'élimination entrant en ligne de compte pour les matériaux de percement, il est impératif de connaître les qualités des matériaux sur la base de la géologie. À cet effet, il faut établir un profil en long géologique du projet de tunnel fournissant les données suivantes :

- géologie et pétrographie, y compris pollutions géogènes et autres matériaux problématiques sur le plan technique (p. ex. mica, sulfates, réaction alcali-granulat [RAG]);
- hydrogéologie.

Le profil géologique ainsi que la répartition de la granulométrie et le degré de pollution découlant de la méthode d'avancement déterminent quelles méthodes de valorisation ou d'élimination sont envisageables pour les matériaux d'excavation. La répartition obéit à la norme SIA 199.

- 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

- Classe de matériau 3 : matériau utilisable pour les remblais sans exigence particulière, les remplissages ou remblayages
- Classe de matériau 4 : matériau non réutilisable sur le chantier; doit être mis en décharge ou valorisé dans une cimenterie

Remarque : en règle générale, il faut prendre comme base la classe de matériau la moins bonne sur l'ensemble du profil du tunnel; autrement dit, la moins bonne qualité de la section du tunnel définit la classification au sens de la norme SIA 199.

III. Déroulement des travaux

Pour élaborer le plan d'élimination des déchets, il faut en outre connaître le déroulement effectif des travaux. Il s'agit en particulier de disposer des informations suivantes :

- prestations (avancement, aménagement intérieur, etc.);
- méthodes d'avancement;
- pollutions anthropiques potentielles (rebonds du béton projeté, hydrocarbures, mode de chargement des explosifs);
- succession chronologique des travaux, avancement-aménagement (simultanément, consécutivement);
- heures de travail (une équipe, deux équipes, 24 heures sur 7 jours);
- marinage (tapis roulant, rail, pneumatique, pompe).

IV. Environs/conditions locales

Le plan d'élimination des déchets doit être directement adapté à l'environnement concret du projet. Il existe plusieurs points de contact avec les environs dont il faut tenir compte. Les connaissances suivantes sont ainsi pertinentes pour son établissement :

- accès au chantier (routes d'accès et voies ferrées existantes, abords immédiats, eau, courant électrique, etc.);
- espaces, surfaces;
- emplacement du chantier (ville, campagne, montagne, eaux, pentes, zones de protection des eaux, dangers naturels);
- obstacles (lignes à haute tension, conduites, cours d'eau, etc.);

- conditions du sol (type de sol, caractéristiques, sensibilité à la compaction, bilan hydrique, eaux souterraines, protection de l'environnement, etc.).

V. Valorisation/stockage définitif

Les grandes quantités de matériaux qui sont généralement produites lors de la construction d'un tunnel doivent être valorisées ou stockées définitivement de manière efficace. Il faut partir du principe que plusieurs méthodes seront nécessaires. Les différentes options doivent être examinées, puis définies. Souvent, des solutions provisoires doivent être incluses pour assurer une valorisation optimale. Les différentes possibilités de valorisation sont présentées ci-après.

Valorisation dans le cadre du projet

La valorisation des matériaux de percement dans le cadre du projet lui-même doit en principe être favorisée pour des raisons écologiques et généralement aussi économiques, à condition que la qualité des matériaux le permette. Il

existe de nombreuses possibilités pour transformer les déblais en matériaux de construction minéraux, qui peuvent ensuite être utilisés sur place (cf. figure A3-2).

La valorisation des matériaux de percement dans la construction du tunnel présente les avantages suivants :

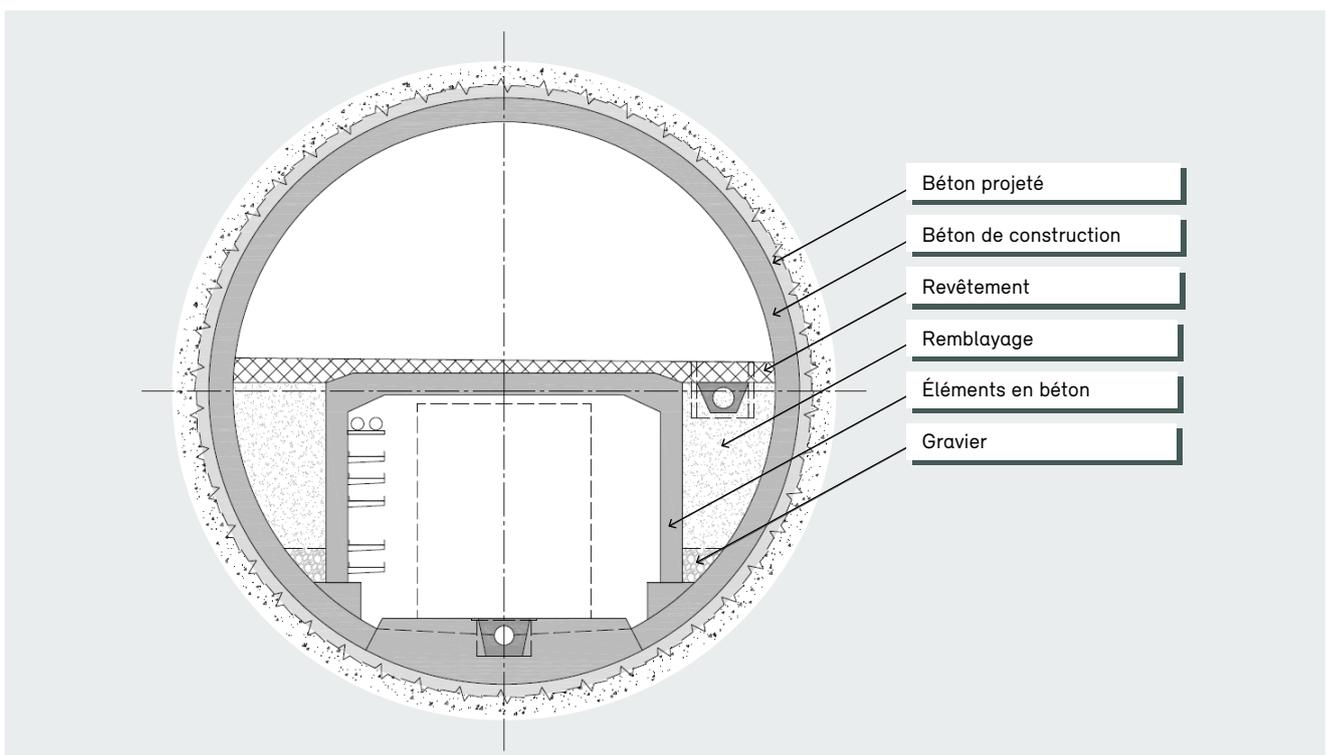
- réduction des coûts ;
- réduction des transports ;
- économie de ressources ;
- ménagement de l'espace en décharge.

En contrepartie, plusieurs points du projet deviennent plus complexes :

- qualité de l'ouvrage ;
- surfaces requises pour le stockage et les installations ;
- émissions (poussières, bruit) ;
- programme de construction.

Figure A3-2

Possibilités de valorisation de matériaux de percement dans la construction d'un tunnel



Valorisation externe

Différentes possibilités de valorisation externe sont présentées dans le chapitre 4 de la présente partie de module d'aide à l'exécution (p. ex. autres projets, matières premières pour l'industrie du ciment et du béton, modifications de terrain, etc.).

3. Établissement et analyse des documents de base

3.1 Établissement des documents de base

En partant des connaissances rassemblées, il convient ensuite de compiler les documents de base du projet.

I. Programme de construction

Un plan d'élimination des déchets efficace doit s'intégrer de façon optimale dans le déroulement des travaux de construction. Pour pouvoir planifier la valorisation des déblais, il faut par conséquent disposer du programme de

construction du tunnel. Inversement, il faut un plan d'élimination efficace et parachevé pour pouvoir entamer les travaux d'avancement à proprement parler. Au moment de lancer les travaux, les méthodes d'élimination doivent impérativement avoir été décidées. Le temps nécessaire pour mettre à jour le plan d'élimination des déchets doit être pris en compte dans le programme de construction. Ce dernier définit de son côté le flux de matériaux (matériaux produits et utilisation de ceux-ci), ce qui influera également sur les méthodes d'élimination.

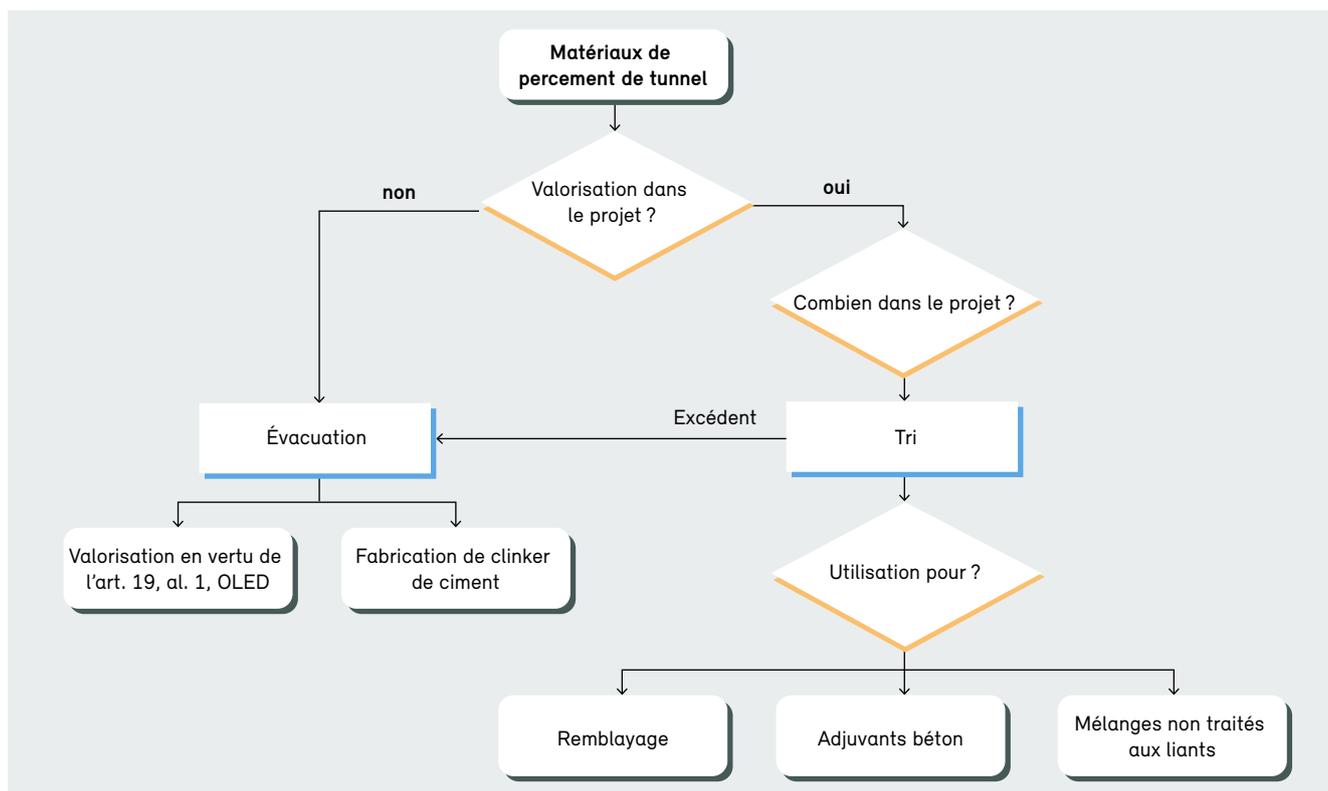
II. Profil géologique

Le profil en long géologique indique la production escomptée des différents matériaux sur la durée du projet.

III. Besoins du projet en matériaux minéraux

La valorisation dans le cadre du projet suppose que les matériaux de construction minéraux nécessaires et leurs quantités (et qualités) soient connus, tout comme le calendrier concernant l'utilisation de ces matériaux.

Figure A3-3
Diagramme de décision



3.2 Analyse des données de base

Il s'agit ensuite de **compiler toutes les données de base** et de concrétiser les différentes options. D'une manière générale, la valorisation des matériaux de percement dans le cadre du projet est une solution souhaitable sur le plan écologique et généralement aussi du point de vue économique. Ainsi, les **possibilités de valorisation** dans le cadre du projet peuvent être définies en se fondant sur les documents de base réunis, d'après le diagramme de décision ci-dessus.

Pour relever le défi logistique de l'élimination des grandes quantités de déblais produites, il est indispensable de réaliser un **diagramme Temps – Quantités** avec tous les paramètres nécessaires. Le diagramme Temps – Quantités est établi pour la durée des travaux d'avancement et de construction. Il est judicieux d'établir une grille mensuelle, qui fournit suffisamment d'informations sur les flux de matériaux.

Le diagramme Temps – Quantités met en relation les éléments fondamentaux suivants :

- déroulement temporel du projet ;
- quantités excavées ;
- classes de valorisation/de matériaux ;

- besoins du projet en matériaux ;
- valorisation en dehors du projet ;
- quantités à éliminer.

Les paramètres suivants sont calculés ou déterminés à l'aide du diagramme Temps – Quantités :

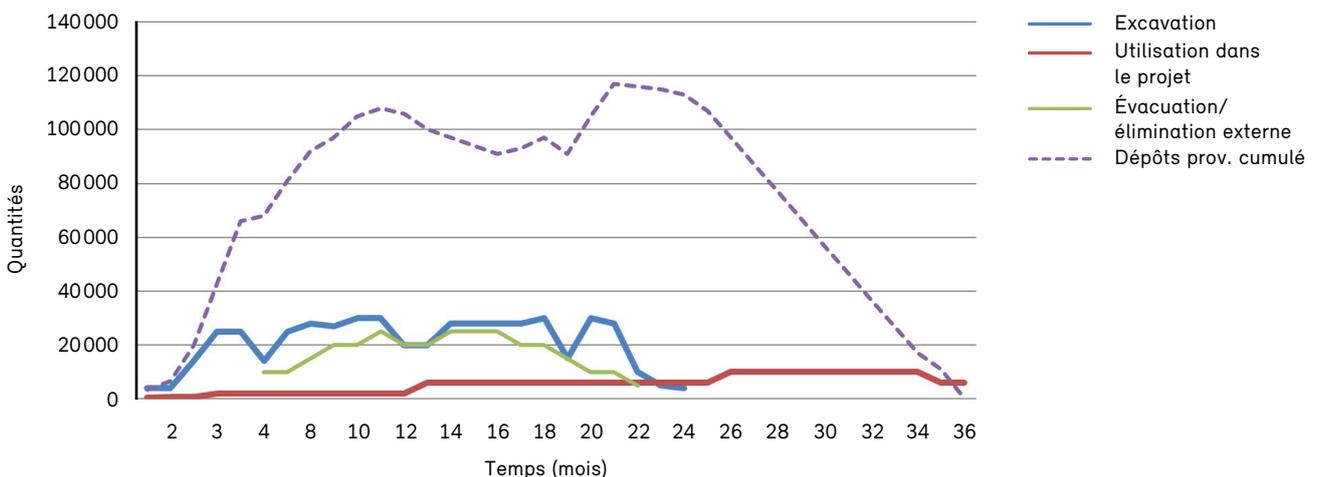
- surfaces de stockage nécessaires ;
- performances des installations nécessaires ;
- capacités de transport nécessaires ;
- volumes en décharge nécessaires.

En plus des possibilités de valorisation primaires, à savoir dans le cadre du projet, il faut généralement rechercher des options supplémentaires pour l'élimination des excédents de matériaux. Un **diagramme de flux massiques** permet de représenter les différentes filières d'élimination.

En outre, les **capacités de transport** nécessaires doivent être précisées. Le transport constitue en effet une partie importante du plan d'élimination des déchets étant donné que les quantités sont généralement considérables. Les transports de masse doivent, selon la solution choisie, être planifiés à temps pour la mise en œuvre d'un plan de gestion réussi.

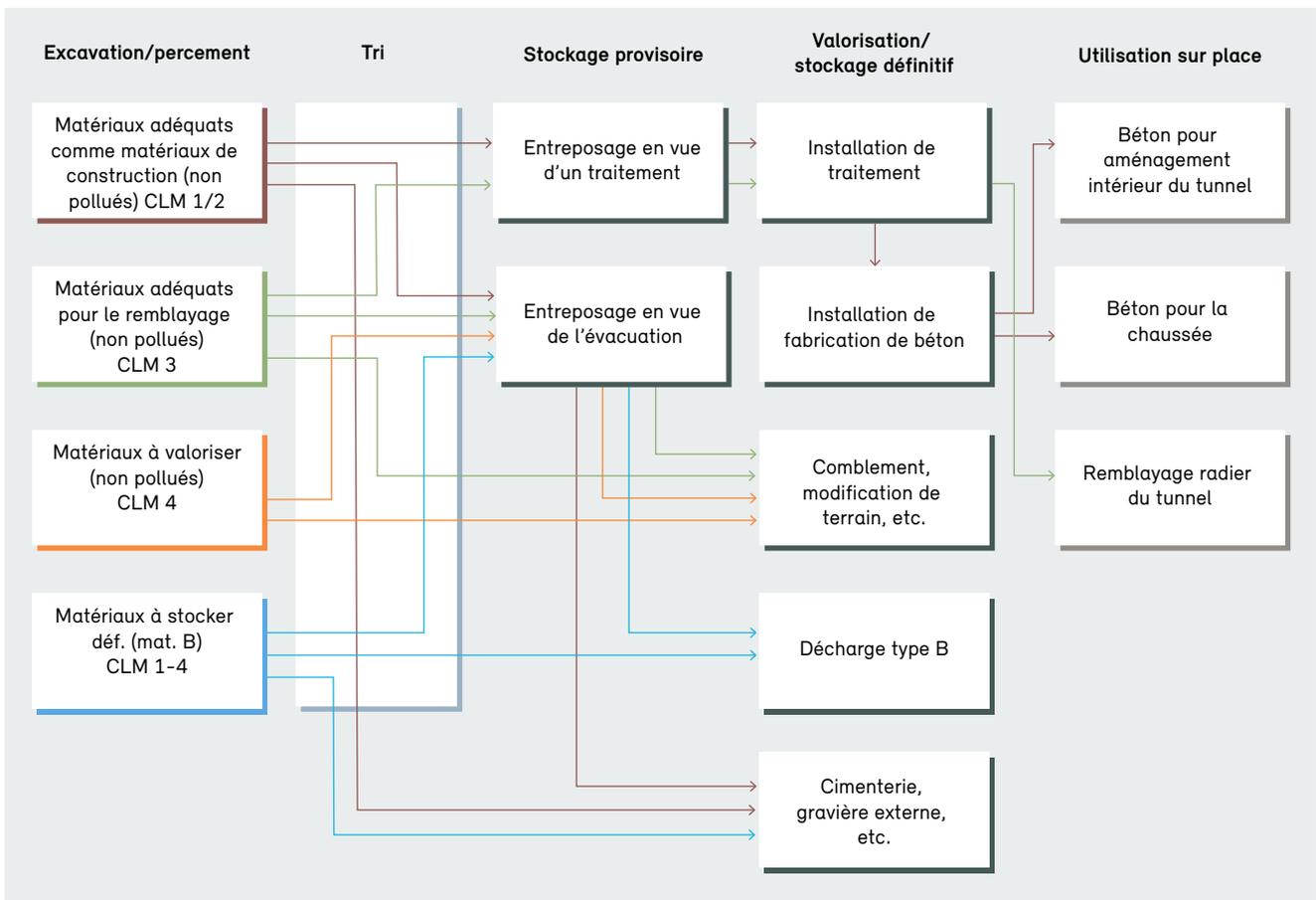
Figure A3-4

Diagramme Temps – Quantités (exemple)



Il convient aussi de prendre en considération à un stade précoce de l'analyse les **pollutions anthropiques** dues aux travaux d'avancement et ne pouvant être évitées (cf. chap. 5 ci-après) ainsi que les éventuelles **pollutions géogènes** de la roche mère (cf. point 3.4 de la présente partie de module d'aide à l'exécution).

Figure A3-5
Exemple de diagramme de flux massiques



4. Établissement du plan d'élimination des déchets

Concevoir le plan d'élimination pour les matériaux de percement d'un tunnel est généralement une tâche complexe. Il est impératif d'esquisser d'abord un plan incluant l'ensemble de la chaîne logistique afin de pouvoir réunir et préciser, en vue de la réalisation à proprement parler, les données nécessaires au cours des premières phases du projet déjà (autorisation, mise à l'enquête, projet détaillé). Le plan doit donc être adapté au fur et à mesure à l'état d'avancement du projet.

La méthode d'élimination peut comprendre une multitude d'installations techniques. Les installations nécessaires dans les différents secteurs du plan d'élimination des déchets dépendent d'une série de critères (non exhaustifs) :

- caractéristiques des matériaux/géologie (pétrographie, forme des grains, degré de pollution, teneur en eau, granulométrie, etc.) → aptitude à la valorisation → procédé technique ;
- méthode d'avancement → avancement continu (tunnelier) ou discontinu (p. ex. abattage à l'explosif) → type et degré de la pollution des matériaux inhérente au système ;
- vitesse de percement → performance de marinage requise ;
- place dans le tunnel (section du tunnel) et sur le site de surface ;
- surfaces d'installation existantes → volume de stockage nécessaire → possibilités de stockage temporaire → espace nécessaire pour le traitement ;
- besoins en matériaux de construction minéraux → quantités traitées → capacité ;
- distances de transport sur le chantier et en dehors de celui-ci ;
- infrastructures existantes (voies ferrées, routes, eaux superficielles, etc.).

Ces critères sont ensuite formulés de manière plus détaillée pour l'élaboration du plan d'élimination des déchets.

Transports de matériaux

Des matériaux sont transportés aussi bien sur le chantier qu'en dehors de celui-ci. Différents moyens de transport sont possibles. Le transport doit se faire par chemin de fer ou par bateau selon les possibilités. Le plus souvent, il s'agit d'une combinaison. L'évacuation du front du tunnel et le transport ultérieur se font généralement vers d'autres sites, situés en dehors du chantier. Ils doivent par conséquent emprunter les voies de communication publiques, ce qui suppose de réserver dans les temps les capacités nécessaires (fenêtre dans les horaires pour le chargement ferroviaire, p. ex.). L'évacuation et le transport ultérieur nécessitent aussi des dispositifs de chargement.

Moyens pour le transport intermédiaire, ultérieur et l'évacuation :

- convoyeur à bande ;
- rail ;
- bateau ;
- véhicules sur pneus (tombereaux, camions, chargeuses, etc.) ;
- conduit de pompage ;
- ...

Tri/stockage temporaire

Les matériaux de percement ne peuvent souvent pas être traités ou évacués immédiatement. En règle générale, il y a plusieurs classes de matériaux simultanément, parce que le tunnel passe par différentes couches et que les pollutions anthropiques inhérentes au système varient en conséquence. Les matériaux doivent donc être triés et entreposés. Il existe différentes possibilités pour le stockage temporaire :

- silos ;
- fosses couvertes ;
- terril à ciel ouvert ;
- cuvettes ;
- ...

Le stockage temporaire peut être nécessaire aussi bien pour les matériaux bruts que pour ceux qui ont déjà été traités. En effet, un second entreposage après traitement peut être requis. Les surfaces de stockage et d'installation requises pour les installations nécessaires (entrepôts,

installations de traitement, silos, tapis roulants, transbordement, chargement des camions, rail, bateau, etc.) doivent être définies et faire l'objet d'une demande d'autorisation dans le projet mis à l'enquête. Dans ce contexte, selon la nature géogène ou anthropique de la pollution des matériaux de percement, il convient également de donner des indications sur les équipements et sur la gestion des eaux usées.

Traitement sur le chantier

La complexité du traitement sur le chantier peut fortement varier, notamment en fonction de la valorisation prévue. Autrement dit, le procédé technique et la performance du traitement doivent être adaptés spécifiquement aux besoins de chaque projet de tunnel. Il est fréquent de combiner différentes techniques de traitement.

Valorisation/stockage définitif

Les différentes possibilités de valorisation sont présentées dans le chapitre 4 de la présente partie de module d'aide à l'exécution. En général, plusieurs possibilités de valorisation et de stockage définitif doivent être examinées à un stade précoce du plan d'élimination des déchets. Ensuite, il s'agit de définir les méthodes pour les matériaux de percement, à savoir ce qui sera valorisé dans le cadre du projet, ce qui le sera en dehors et ce qui sera stocké définitivement dans une décharge appropriée.

Il faut tenir compte des points suivants :

- valorisation dans le cadre du projet, quantités ;
- valorisation en dehors du projet, quantités ;
- modifications de terrain dans le cadre du projet ;
- immersions dans un lac ;
- stockage définitif pour les matériaux pollués par des substances géogènes ;
- mise en décharge, quantités ;
- ...

Comparaison des coûts

La valorisation des matériaux de percement est le plus souvent un élément central de la planification et de la réalisation d'un projet de tunnel. Son importance en matière de coûts est non négligeable (généralement entre 10 et 15 % des coûts de construction). Il convient par conséquent de prêter dûment attention au plan d'élimination

des déchets et de ne pas le considérer comme un élément secondaire. Son élaboration doit commencer suffisamment tôt afin qu'il puisse être testé et soit entièrement prêt au début des travaux d'avancement. Il est important également qu'il présente un bon rapport coût-bénéfice.

Calendrier

Le plan de valorisation et d'élimination doit être opérationnel au moment où commencent les travaux d'avancement à proprement parler. Il faut par conséquent compter suffisamment de temps de préparation ou prévoir les solutions transitoires nécessaires. Pour un grand projet de tunnel, il faut compter jusqu'à deux ans pour mettre en place les méthodes d'élimination, avant le début effectif des travaux.

Autorisations

Il faut obtenir toutes les autorisations nécessaires pour le plan de valorisation et d'élimination sélectionné. S'il s'agit d'un plan de grande envergure, les démarches à cet effet requièrent passablement de temps. Il faut par conséquent s'y prendre suffisamment à l'avance afin de parvenir à une certaine sécurité juridique pour le projet retenu.

Les résultats de toutes les analyses susmentionnées déterminent les autorisations nécessaires à la mise en œuvre du plan d'élimination des déchets :

- surfaces d'installation et de stockage (périmètre du chantier) ;
- lignes ferroviaires pour évacuer les matériaux ;
- autorisations pour le stockage définitif ;
- type de décharge ;
- immersion dans un lac ;
- modifications de terrain ;
- ...

Informations / exigences relatives au percement du tunnel (avancement)

Pour garantir le bon fonctionnement du plan d'élimination des déchets, il faut définir suffisamment tôt différents paramètres se recoupant avec le chantier principal du tunnel (avancement) afin que la conception et le dimensionnement du plan soient adaptés. Dans certains cas, les points suivants doivent impérativement être prédéfinis et être clairement formulés dans l'appel d'offres :

- performance maximale (performance d'avancement, de transport, d'aménagement, etc.);
- granulométrie maximale pour la manutention et le transport;
- précautions spéciales lors des travaux pour réduire les pollutions anthropiques conformément à l'état de la technique de l'OLED (cf. aussi chap. 5);
- tri prescrit de classes de matériaux;
- calendrier de la production de matériaux de percement;
- calendrier des besoins en matériaux de construction minéraux.

Points de recouplement

Outre les exigences relatives à la construction de tunnels, il est judicieux de définir plus précisément et d'harmoniser d'autres points de recouplement.

- Points de recouplement avec la production de béton/les installations de fabrication de béton
 - Équipement de l'installation de fabrication de béton
 - Performance
 - Mélanges finis ou composants individuels
- Points de recouplement avec les décharges et les sites de stockage définitif
 - Quantités quotidiennes
 - Capacités
 - Qualités
- Points de recouplement avec les transporteurs (lieu de destination/date/heure)
 - Quantités de chargement
 - Qualités des matériaux

5. Exigences en matière de gestion des matériaux

Les exigences fondamentales à satisfaire dans la gestion des matériaux sont définies ci-après. À noter qu'elles peuvent être complétées par des exigences spécifiques découlant du projet lui-même.

Durée d'utilisation prévue

Pour concevoir et planifier la gestion des matériaux, il faut définir la durée d'exploitation escomptée, en se fondant sur les exigences du projet; il s'agit d'adapter la durée de vie minimale de l'installation à la période d'utilisation.

Exigences générales

En plus des exigences se rapportant spécifiquement à la gestion des matériaux, il peut y avoir d'autres conditions à respecter pour l'exploitation et les installations.

- Les installations doivent pouvoir être exploitées dans des conditions hivernales.
- Émissions de bruit et de poussières
 - Les exigences relatives aux machines et appareils ainsi qu'aux véhicules de transport doivent s'aligner sur le niveau de mesures B selon la Directive sur le bruit des chantiers (OFEV, juin 2006).
 - Les émissions de poussières doivent être réduites le plus possible, en application de la directive de l'OFEV « Protection de l'air sur les chantiers » (janvier 2016).
- Les capacités des installations doivent être dimensionnées de manière à ce qu'une interruption d'une certaine durée n'ait pas de répercussions sur l'avancement du projet.

Toutes les installations doivent être planifiées et construites selon les lois et prescriptions en vigueur (directive relatives aux machines, Suva, CFST, OCIAMT, etc.).

Propriétés des matériaux et pollutions anthropiques

Les composants/produits issus des matériaux de percement destinés à être réutilisés dans le cadre du projet doivent satisfaire à toutes les exigences inscrites dans les normes SN EN relatives aux granulats. Il faut prouver, à l'aide d'un plan de vérification, que cette condition est remplie.

Pour l'élimination, il convient également de respecter certaines qualités ou valeurs limites en vertu de l'OLED. Là aussi, un **plan de vérification** sera appliqué, qui servira de preuve. Voici ci-après des processus de construction pertinents et des mesures possibles pour réduire au strict minimum les pollutions anthropiques.

Avancement à l'explosif – résidus d'explosifs

Le dynamitage laisse des résidus d'explosifs, qu'il s'agit de réduire au strict minimum par des mesures adéquates. Les mesures suivantes doivent être appliquées lors du dynamitage :

- sensibilisation des responsables de chantier à la nécessité de contrôle et d'éventuelles corrections sur le lieu d'utilisation ;
- contrôles consignés par écrit des équipements à des intervalles définis en fonction de l'intensité de l'activité.

Si les émulsions explosives sont utilisées correctement, elles ne présentent pas d'inconvénients importants par rapport aux explosifs encartouchés s'agissant du dépassement des valeurs limites. Il faut toutefois réduire ou éliminer les risques d'une mauvaise manutention en prescrivant des mesures adéquates et en formulant les exigences nécessaires.

Hydrocarbures

En cas d'utilisation d'un tunnelier pour effectuer les travaux d'avancement, selon le procédé, des lubrifiants sont toujours employés, ce qui entraîne une certaine pollution aux hydrocarbures des matériaux de percement. Mais au-delà de ce type de travaux, il faut prendre les mesures de précaution qui s'imposent pour tous les travaux risquant de libérer des hydrocarbures, afin d'éviter que ces substances ne parviennent dans les matériaux de percement.

- Évacuation des eaux de chantier conçue et gérée conformément à la recommandation SIA 431.
- Évacuation des eaux par le biais d'un bassin de décantation avec séparateur d'huile.
- Stockage sécurisé des liquides pouvant polluer les eaux (volume de rétention de 100 %), limitation des quantités stockées, en particulier aucun dépassement des seuils quantitatifs selon l'ordonnance sur les accidents majeurs (RS 814.012).
- Les travaux de maintenance et d'entretien des machines se font exclusivement avec des cuvettes de rétention, dans un atelier conforme aux prescriptions sur la protection des eaux ou sur des places étanches.
- Utilisation de machines entretenues de façon optimale. Contrôles réguliers des systèmes à des intervalles courts, avec des protocoles de maintenance rigoureux.
- Les équipements pour lutter contre les accidents d'hydrocarbures et les liants doivent être disponibles en taille et quantité suffisantes.

Rebonds de béton (béton projeté)

Les rebonds de béton projeté doivent être saisis séparément par l'entreprise ; ils doivent être valorisés ou stockés définitivement en fonction de leur composition chimique.

Les matériaux de percement contenant des rebonds de béton projeté peuvent être classés dans la catégorie des matériaux « non pollués », si les critères suivants sont remplis cumulativement et qu'il n'y a pas d'autres pollutions.

- Il s'agit uniquement de matériaux de percement (pas de résidus de traitement tels que des boues, des matières fines, etc.).
- Les matériaux ne proviennent pas du radier du tunnel.
- Le ciment utilisé est conforme aux exigences de l'ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques (RS 814.81).
- La séparation des matériaux de percement et du béton provenant du soutènement de la fouille et des rebonds de béton projeté doit être entreprise en utilisant toutes les possibilités qu'offre la technique. Une pollution minimale par d'autres déchets de chantier minéraux peut être tolérée (cf. point 5.4 de la présente partie de module d'aide à l'exécution).
- Si l'on veut évaluer la séparation, il faut mesurer et documenter les flux massiques du béton utilisé. La documentation doit indiquer tous les flux sous forme de bilans massiques (quantité totale utilisée, quantité de rebonds de béton projeté éliminée, quantité de béton séparée des matériaux de percement après la passe, et enfin le résultat, à savoir la part de béton dans les matériaux de percement).

Une des solutions pouvant être appliquées pour garantir le respect des critères susmentionnés consiste à inscrire dans un tableau les bilans des quantités selon les indications suivantes.

Colonne [1] : Répartition théorique du volume des déblais selon le plan, en calotte, stross et radier/piste de chantier (varie selon le diamètre de percement).

Colonne [2] : Transports des déblais vers la décharge de l'entreprise selon les bordereaux de pesée (bulletin de réception de l'exploitant de la décharge).

Colonne [3]: Répartition du volume de déblais effectif proportionnellement aux cubages théoriques (colonne [1]). Le transport des parts venant du radier/de la piste de chantier n'a pas encore été effectué et ce flux volumique n'est donc pas intégré; il est indiqué uniquement à titre informatif.

Colonne [4]: Répartition en pourcentages des volumes excavés de la calotte et du stross, chiffres de la colonne [3].

Colonne [5]: Indication à titre informatif de la quantité théorique de béton projeté selon le plan.

Colonne [6]: Quantité totale de béton projeté livré (selon bulletin de livraison et journal de bétonnage).

Colonne [7]: La quantité de rebonds de béton est estimée sur la base de la norme SIA 118/198 (20%) ou elle sera au besoin déterminée à l'aide d'essais de rebond.

Colonne [8]: Quantité rapportée de béton projeté pour le soutènement de la fouille (selon bulletin de livraison et journal de bétonnage).

Colonne [9]: Part du soutènement immédiat des parois du tunnel (voûte et bretelles) qui reste dans le tunnel et qui est appliqué en même temps que le soutènement de fouille (selon bulletin de livraison).

Colonne [10]: Détermination de la quantité de béton projeté appliquée à titre de soutènement de fouille, sous forme de cubage solide abattu par une seule passe. Le calcul du rebond se fait en application de la norme SIA 118/198, selon la colonne [7]. Le soutènement de fouille ne peut pas être séparé; il est évacué à 100% avec les matériaux de percement.

Colonne [11]: Quantité théorique de béton projeté dans les déblais; somme des rebonds et du soutènement de la fouille. La procédure prévoit que les rebonds de l'avancement du stross/radier restent à 100% sur la piste de chantier et ne sont évacués qu'à la fin des travaux d'avancement. Seul le soutènement de fouille qui a été appliqué est évacué avec les matériaux de percement du stross.

Colonne [12]: Quantité théorique de béton projeté dans les matériaux de percement en [t].

Colonne [13]: Matériaux de percement triés, y compris rebonds de béton projeté, qui sont acheminés dans une décharge de type B (selon bulletins de la décharge).

Colonne [14]: Part de rebonds de béton projeté dans les matériaux de percement triés (hypothèse, 70%).

Colonne [15]: Part de béton projeté demeurant dans les matériaux de percement (différence entre [11] et [13]).

Colonne [16]: Pourcentage en poids du béton projeté par rapport au poids total de matériaux de percement.

Planification, entretien et surveillance des installations

Un dimensionnement minimal des installations de gestion des matériaux ressort des flux de matériaux prévus. Le maître d'ouvrage peut toutefois ajouter des exigences, en raison des conséquences extraordinaires qui pourraient autrement en résulter pour le projet (retards dans le programme de construction, coûts d'immobilisation, interruption de l'avancement, etc.):

- réserves;
- redondances;
- sécurité.

Le cahier des charges de l'exploitant doit prévoir une surveillance minutieuse des installations pendant les heures de travail. En dehors de ces périodes, le périmètre doit être bouclé. Pour les cas d'urgence, l'exploitant doit prévoir un service de piquet.

La personne responsable doit disposer des compétences nécessaires pour assurer la gestion des matériaux. L'exploitant doit désigner une personne spécifique comme interlocuteur responsable à tout moment de la communication aux différents points de recoupement.

6. Remarques concernant la soumission

Il est important que les soumissionnaires disposent de toutes les données du plan d'élimination des déchets pour faire les calculs ; ils doivent être tenus d'appliquer ce plan ou, s'ils proposent une variante, de fournir des informations tout aussi détaillées dans leur offre, ainsi que toutes les autorisations requises.

Plus les pollutions anthropiques sont faibles, plus les possibilités de valorisation des matériaux de percement sont nombreuses. Les pollutions qui sont inhérentes au procédé de construction et au système, et qui sont donc inévitables, doivent être réduites par des mesures appropriées durant le processus de construction et par un traitement consécutif des matériaux.

L'appel d'offres doit établir clairement que l'entreprise est responsable des pollutions anthropiques évitables. Il doit préciser que les frais supplémentaires dus à des pollutions anthropiques qu'il était possible d'éviter seront à la charge de l'entreprise.

Il est judicieux de mentionner dans l'appel d'offres les procédés de construction qui risquent de provoquer des pollutions anthropiques et de prescrire des mesures en conséquence.

6.1 Preuves

Pour vérifier le bon fonctionnement des travaux, il faut exiger les contrôles nécessaires. Les intervalles entre les prélèvements d'échantillons dépendent de la méthode d'avancement et des processus de construction choisis ainsi que de l'alternance des couches géologiques.

Le maître d'ouvrage doit procéder aux examens nécessaires à partir des paramètres suivants pour caractériser et classer les matériaux de percement ainsi que les éventuelles pollutions géogènes :

- classification géologique ;
- pollution géogène.

Il convient, en outre, d'analyser régulièrement les matériaux de percement pour détecter d'éventuelles pollutions

anthropiques et pour s'assurer que la valorisation ou la mise en décharge est conforme au droit.

En l'occurrence, les exigences ci-après sont applicables.

La part de substances étrangères (en %) dans les matériaux de percement est déterminée selon le plan de vérification. Les analyses des échantillons doivent porter sur les paramètres suivants (selon les méthodes OLE, à moins qu'il en ait été convenu autrement) :

- hydrocarbures aliphatiques ($HC_{C_{10}-C_{40}}$) ;
- carbone organique total (COT) ;
- ammonium/ammoniac (lixivié pendant 24 h selon l'OLE) ;
- nitrite (lixivié pendant 24 h selon OLE), en cas d'abatage à l'explosif ;
- d'autres paramètres en fonction de la valorisation prévue par l'entreprise.

Le prélèvement des échantillons doit être documenté par un procès-verbal, lequel doit contenir au moins les indications suivantes :

- personne qui effectue le prélèvement avec signature ;
- lieu, date ;
- désignation des échantillons ;
- section concernée (approximation) ;
- conditions météorologiques (température, précipitations) ;
- lieu du prélèvement et éventuelle durée de stockage sur le chantier ;
- description des échantillons (couleur, odeur, type de matériaux) ;
- estimation de la part de morceaux d'un diamètre > 10 cm (en %) ;
- remarques/renseignements (photos, etc.).

Après chaque prélèvement d'échantillons, ceux-ci doivent être remis, rapidement et spontanément, à l'autre partie et aux autorités compétentes. Ils doivent être archivés au moins jusqu'à la fin de la période de construction.

Aussi bien le maître d'ouvrage que l'entreprise devraient vérifier périodiquement les résultats de l'autre et procéder chacun à des contrôles et des analyses afin de s'as-

surer que les matériaux de percement sont valorisés ou mis en décharge en conformité du droit.

6.2 Écarts dans la qualité et la quantité

Le profil géologique est généralement établi sur la base de forages de sondage ainsi que sur des connaissances et des hypothèses scientifiques concernant la géologie de la région concernée. Une prédiction exacte est toutefois difficile, signifiant que la qualité et les quantités des différentes classes de matériaux peuvent s'écarter des prévisions. Ces écarts ont des conséquences pour la valorisation et pour le stockage définitif. Il est dès lors indiqué de relever les modifications dans un bilan continu afin de prendre à temps les mesures qui s'imposent.